TABLA DE CONTENIDO

3 CARACTERIZACIÓN DE ÁREA DE INFLUENCIA 40
3.3 MEDIO BIÓTICO 40
3.3.3 Ecosistemas acuáticos continentales 40
3.3.3.1 Importancia de los ecosistemas acuáticos en el contexto regional 40
3.3.3.2 Caracterización de los ecosistemas acuáticos 42
3.3.3.2.1 Microcuenca Bajo río Negro 54
3.3.3.2.2 Microcuenca Caño Banderas 86
3.3.3.2.3 Microcuenca caño Barbascos 122
3.3.3.2.4 Microcuenca caño El Aceite 137
3.3.3.2.5 Microcuenca caño El Boral 146
3.3.3.2.6 Microcuenca caño El Paso 192
3.3.3.2.7 Microcuenca caño El Totumal 213
3.3.3.2.8 Microcuenca caño Emma 254
3.3.3.2.9 Microcuenca caño Güio 279
3.3.3.2.10 Microcuenca caño Ipapa 324
3.3.3.2.11 Microcuenca caño La Lilbana 343
3.3.3.2.12 Microcuenca caño La Victoria 355
3.3.3.2.13 Microcuenca caño Macapay 374
3.3.3.2.14 Microcuenca caño Menegua 391
3.3.3.2.15 Microcuenca caño Navajas Sur 426
3.3.3.2.16 Microcuenca caño Navajitas 457
3.3.3.2.17 Microcuenca Piedra Candela 473
3.3.3.2.18 Microcuenca caño Pirigua 488
3.3.3.2.19 Microcuenca caño Santoya 536
3.3.3.2.20 Microcuenca caño Venturosa 574
3.3.3.2.21 Microcuenca caño Yarico 601
3.3.3.2.22 Microcuenca caño Yurimena 653
3.3.3.2.23 Microcuenca río Cabuyarito 675
3.3.3.2.24 Microcuenca río Humea 700

3.3.3.2.25 Microcuenca río Meta 742
3.3.3.2.26 Microcuenca río Metica 800
3.3.3.2.27 Microcuenca río Upía 821
3.3.3.2.28 Microcuenca río Yucao 838
3.3.3.2.29 Ictiofauna 854
3.3.3.2.30 Diversidad Beta 912
3.3.3.2.31 Índice de Calidad Ecológica (ICE) 940
3.3.3.2.32 Conclusiones 960

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.3.3-1 Puntos de muestreo de aguas superficiales y comunidades hidrobiológicas muestreadas Bloque CPO-5 47
Tabla 3.3.3-2 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época seca 58
Tabla 3.3.3-3 Índices Ecológicos e la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) caño Bajo río Negro época seca 59
Tabla 3.3.3-4 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época seca 62
Tabla 3.3.3-5 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton caño Bajo río Negro época seca 66
Tabla 3.3.3-6 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) caño Bajo río Negro época seca 67
Tabla 3.3.3-7 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca Bajo rio Negro, época seca 69
Tabla 3.3.3-8 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época lluvias 71
Tabla 3.3.3-9 Índices Ecológicos de la Comunidad el Fitoplancton (Alfa) caño Bajo río Negro época lluvias 72
Tabla 3.3.3-10 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época lluvias 74
Tabla 3.3.3-11 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton caño Bajo río Negro época lluvias 77
Tabla 3.3.3-12 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) caño Bajo río Negro época lluvias 78

Tabla 3.3.3-13 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos caño Bajo río Negro época lluvias. 78
Tabla 3.3.3-14 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) caño Bajo río Negro época lluvias 81
Tabla 3.3.3-15 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos caño Bajo río Negro época lluvias. 82
Tabla 3.3.3-16 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas caño Bajo río Negro época lluvias 83
Tabla 3.3.3-17 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca Bajo rio Negro, época lluvias 84
Tabla 3.3.3-18 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca Bajo rio Negro, época lluvias 85
Tabla 3.3.3-19 Ensamble Ecológico Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época seca 90
Tabla 3.3.3-20 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época seca 91
Tabla 3.3.3-21 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época seca 94
Tabla 3.3.3-22 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época seca 95
Tabla 3.3.3-23 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifíton Microcuenca caño Banderas, época seca 98
Tabla 3.3.3-24 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época seca 99
Tabla 3.3.3-25 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Banderas, época seca 99
Tabla 3.3.3-26 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época seca 101
Tabla 3.3.3-27 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Banderas, época seca 103
Tabla 3.3.3-28 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Banderas, época seca 104
Tabla 3.3.3-29 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias 108
Tabla 3.3.3-30 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época lluvias 110

Tabla 3.3.3-31 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias 112
Tabla 3.3.3-32 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época lluvias 113
Tabla 3.3.3-33 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Banderas, época lluvias 116
Tabla 3.3.3-34 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Banderas, época lluvias 117
Tabla 3.3.3-35 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época lluvias 118
Tabla 3.3.3-36 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col). 120
Tabla 3.3.3-37 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época lluvias 121
Tabla 3.3.3-38 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos época seca 126
Tabla 3.3.3-39 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Barbascos época seca 127
Tabla 3.3.3-40 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Barbascos época seca 127
Tabla 3.3.3-41 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época seca 129
Tabla 3.3.3-42 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época seca 130
Tabla 3.3.3-43 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos, época lluvias 133
Tabla 3.3.3-44 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Barbascos, época lluvias 134
Tabla 3.3.3-45 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Barbascos, época lluvias 134
Tabla 3.3.3-46 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época lluvias 136
Tabla 3.3.3-47 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época lluvias 137
Tabla 3.3.3-48 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Aceite época seca 141

Tabla 3.3.3-49 índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Aceite época seca 142
Tabla 3.3.3-50 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Aceite época lluvias 144
Tabla 3.3.3-51 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Aceite, época lluvias 145
Tabla 3.3.3-52 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral época seca 150
Tabla 3.3.3-53 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Boral época seca 151
Tabla 3.3.3-54 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral época seca 153
Tabla 3.3.3-55 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral época seca 156
Tabla 3.3.3-56 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Boral época seca 157
Tabla 3.3.3-57 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral época seca 158
Tabla 3.3.3-58 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Boral época seca 161
Tabla 3.3.3-59 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral época seca 162
Tabla 3.3.3-60 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral época seca 163
Tabla 3.3.3-61 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Boral época seca 165
Tabla 3.3.3-62 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral época seca 165
Tabla 3.3.3-63 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época seca 167
Tabla 3.3.3-64 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época seca 169
Tabla 3.3.3-65 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias 171
Tabla 3.3.3-66 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Boral, época lluvias 172

Tabla 3.3.3-67 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias 175
Tabla 3.3.3-68 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias 176
Tabla 3.3.3-69 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral, época lluvias 180
Tabla 3.3.3-70 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Boral, época lluvias 182
Tabla 3.3.3-71 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral, época lluvias 183
Tabla 3.3.3-72 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Boral, época lluvias 185
Tabla 3.3.3-73 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral, época lluvias 186
Tabla 3.3.3-74 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral, época lluvias 187
Tabla 3.3.3-75 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época lluvia 190
Tabla 3.3.3-76 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época lluvias 191
Tabla 3.3.3-77 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época seca 197
Tabla 3.3.3-78 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Paso, época seca 197
Tabla 3.3.3-79 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época seca 198
Tabla 3.3.3-80 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Paso, época seca 200
Tabla 3.3.3-81 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época seca 201
Tabla 3.3.3-82 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época seca 202
Tabla 3.3.3-83 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época seca 203
Tabla 3.3.3-84 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época lluvias 206

Tabla 3.3.3-85 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Paso, época lluvias 206
Tabla 3.3.3-86 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época lluvias 207
Tabla 3.3.3-87 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Paso, época lluvias 209
Tabla 3.3.3-88 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época lluvias 210
Tabla 3.3.3-89 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época lluvia 211
Tabla 3.3.3-90 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época lluvia 212
Tabla 3.3.3-91 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca 216
Tabla 3.3.3-92 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época seca 217
Tabla 3.3.3-93 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca 219
Tabla 3.3.3-94 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época seca 222
Tabla 3.3.3-95 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época seca 223
Tabla 3.3.3-96 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época seca 223
Tabla 3.3.3-97 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época seca 227
Tabla 3.3.3-98 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Totumal, época seca 229
Tabla 3.3.3-99 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época seca 230
Tabla 3.3.3-100 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Totumal, época seca 231
Tabla 3.3.3-101 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 234
Tabla 3.3.3-102 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 235

Tabla 3.3.3-103 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 238
Tabla 3.3.3-104 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) 239
Tabla 3.3.3-105 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton (Loticos) Microcuenca caño El Totumal, época lluvia 240
Tabla 3.3.3-106 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton (Lenticos) Microcuenca caño El Totumal, época lluvia 241
Tabla 3.3.3-107 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época lluvia 244
Tabla 3.3.3-108 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época lluvia 245
Tabla 3.3.3-109 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 246
Tabla 3.3.3-110 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 248
Tabla 3.3.3-111 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 248
Tabla 3.3.3-112 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 249
Tabla 3.3.3-113 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col). 251
Tabla 3.3.3-114 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 251
Tabla 3.3.3-115 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Totumal, época lluvia 252
Tabla 3.3.3-116 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época seca 258
Tabla 3.3.3-117 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Emma, época seca 260
Tabla 3.3.3-118 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época seca 260
Tabla 3.3.3-119 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Emma, época seca 264
Tabla 3.3.3-120 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época lluvias 267
Tabla 3.3.3-121 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Emma, época lluvias 268

Tabla 3.3.3-122 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época lluvias 269
Tabla 3.3.3-123 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Emma, época lluvias 272
Tabla 3.3.3-124 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época lluvias 273
Tabla 3.3.3-125 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Emma, época lluvia 276
Tabla 3.3.3-126 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Emma época lluvia 278
Tabla 3.3.3-127 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Güio época seca 283
Tabla 3.3.3-128 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca del caño Güio época seca 284
Tabla 3.3.3-129 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Güio época seca 287
Tabla 3.3.3-130 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca del caño Güio época seca 288
Tabla 3.3.3-131 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Güio época seca 291
Tabla 3.3.3-132 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Güio época seca 292
Tabla 3.3.3-133 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Güio época seca 292
Tabla 3.3.3-134 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Güio época seca 295
Tabla 3.3.3-135 Índices alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Güio época seca 296
Tabla 3.3.3-136 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Güio época seca 297
Tabla 3.3.3-137 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Güio época seca 300
Tabla 3.3.3-138 Índices alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Güio época seca 301
Tabla 3.3.3-139 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Güio, época seca 303

Tabla 3.3.3-140 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas Microcuenca caño Güio época seca 304
Tabla 3.3.3-141 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Güio época lluvia 306
Tabla 3.3.3-142 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Güio época lluvia 307
Tabla 3.3.3-143 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Güio época lluvia 310
Tabla 3.3.3-144 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Güio época lluvia 311
Tabla 3.3.3-145 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Güio época lluvia 314
Tabla 3.3.3-146 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Güio época lluvia 315
Tabla 3.3.3-147 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Güio época lluvias 316
Tabla 3.3.3-148 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Güio época lluvias 318
Tabla 3.3.3-149 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Güio época lluvias 319
Tabla 3.3.3-150 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Güio época lluvias 320
Tabla 3.3.3-151 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Güio época lluvias 322
Tabla 3.3.3-152 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Güio, época lluvia 323
Tabla 3.3.3-153 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Ipapa época seca 329
Tabla 3.3.3-154 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Ipapa época seca 330
Tabla 3.3.3-155 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Ipapa época seca 330
Tabla 3.3.3-156 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col). 333
Tabla 3.3.3-157 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Ipapa época seca 334

Tabla 3.3.3-158 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Ipapa, época seca 335
Tabla 3.3.3-159 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Ipapa, época lluvias 339
Tabla 3.3.3-160 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Ipapa, época lluvias 340
Tabla 3.3.3-161 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Ipapa, época lluvia 341
Tabla 3.3.3-162 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Ipapa época lluvia 342
Tabla 3.3.3-163 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época seca 347
Tabla 3.3.3-164 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época seca 348
Tabla 3.3.3-165 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias 351
Tabla 3.3.3-166 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias 352
Tabla 3.3.3-167 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias 352
Tabla 3.3.3-168 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias 354
Tabla 3.3.3-169 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias 355
Tabla 3.3.3-170 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época seca 359
Tabla 3.3.3-171 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño La Victoria época seca 360
Tabla 3.3.3-172 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época seca 361
Tabla 3.3.3-173 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño La Victoria época seca 363
Tabla 3.3.3-174 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época lluvias 366
Tabla 3.3.3-175 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño La Victoria época lluvias 367

Tabla 3.3.3-176 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época lluvias 368
Tabla 3.3.3-177 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño La Victoria época lluvias 371
Tabla 3.3.3-178 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época lluvias 372
Tabla 3.3.3-179 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño La Victoria, época lluvia 373
Tabla 3.3.3-180 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño La Victoria época lluvia 374
Tabla 3.3.3-181 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época seca 378
Tabla 3.3.3-182 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Macapay época seca 379
Tabla 3.3.3-183 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Macapay época seca 379
Tabla 3.3.3-184 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Macapay época seca 382
Tabla 3.3.3-185 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Macapay época seca 383
Tabla 3.3.3-186 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época lluvias 386
Tabla 3.3.3-187 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) caño Macapay época lluvias 387
Tabla 3.3.3-188 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos caño Macapay época lluvias 388
Tabla 3.3.3-189 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) caño Macapay época lluvias 389
Tabla 3.3.3-190 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos. 389
Tabla 3.3.3-191 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Macapay, época lluvia 390
Tabla 3.3.3-192 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Macapay época lluvia 391
Tabla 3.3.3-193 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época seca 395
Tabla 3.3.3-194 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Menegua época seca 397

Tabla 3.3.3-195 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época seca 400
Tabla 3.3.3-196 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Menegua época seca 401
Tabla 3.3.3-197 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época seca 402
Tabla 3.3.3-198 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Menegua época seca 405
Tabla 3.3.3-199 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Menegua época seca 407
Tabla 3.3.3-200 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Menegua época seca 408
Tabla 3.3.3-201 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Menegua, época seca 409
Tabla 3.3.3-202 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Menegua época seca 410
Tabla 3.3.3-203 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época lluvias 412
Tabla 3.3.3-204 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca del caño Menegua época lluvias 413
Tabla 3.3.3-205 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Menegua época lluvias 415
Tabla 3.3.3-206 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época lluvias 418
Tabla 3.3.3-207 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Menegua época lluvias 419
Tabla 3.3.3-208 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época lluvias 420
Tabla 3.3.3-209 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Menegua época lluvias 422
Tabla 3.3.3-210 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época lluvias 423
Tabla 3.3.3-211 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Menegua, época lluvia 424
Tabla 3.3.3-212 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Menegua época lluvia 425
Tabla 3.3.3-213 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 430

Tabla 3.3.3-214 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 431
Tabla 3.3.3-215 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 433
Tabla 3.3.3-216 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 434
Tabla 3.3.3-217 Ensamble Ecológico de la Comunidad el Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 437
Tabla 3.3.3-218 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 438
Tabla 3.3.3-219 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 439
Tabla 3.3.3-220 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 441
Tabla 3.3.3-221 Índices alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 441
Tabla 3.3.3-222 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajas Sur, época seca 443
Tabla 3.3.3-223 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 445
Tabla 3.3.3-224 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 446
Tabla 3.3.3-225 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 449
Tabla 3.3.3-226 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 450
Tabla 3.3.3-227 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 451
Tabla 3.3.3-228 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 453
Tabla 3.3.3-229 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 454
Tabla 3.3.3-230 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajas Sur, época lluvia 455
Tabla 3.3.3-231 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Navajas Sur época lluvias 456

Tabla 3.3.3-232 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época seca 461
Tabla 3.3.3-233 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Navajitas época seca 462
Tabla 3.3.3-234 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época seca 463
Tabla 3.3.3-235 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Navajitas época seca 465
Tabla 3.3.3-236 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época seca 466
Tabla 3.3.3-237 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época lluvias 469
Tabla 3.3.3-238 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Navajitas época lluvias 470
Tabla 3.3.3-239 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época lluvias 471
Tabla 3.3.3-240 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajitas época lluvias 472
Tabla 3.3.3-241 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajitas época lluvias 473
Tabla 3.3.3-242 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época seca 477
Tabla 3.3.3-243 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época seca 478
Tabla 3.3.3-244 Ensamble Ecológico de la Comunidad el Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 481
Tabla 3.3.3-245 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 482
Tabla 3.3.3-246 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 482
Tabla 3.3.3-247 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col). 485
Tabla 3.3.3-248 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 486
Tabla 3.3.3-249 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 487

Tabla 3.3.3-250 Índices de diversidad Alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 488
Tabla 3.3.3-251 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época seca 492
Tabla 3.3.3-252 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época seca 493
Tabla 3.3.3-253 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época seca 496
Tabla 3.3.3-254 Índices de Diversidad Ecológica para la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época seca 497
Tabla 3.3.3-255 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época seca 500
Tabla 3.3.3-256 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época seca 501
Tabla 3.3.3-257 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época seca 502
Tabla 3.3.3-258 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Pirigua época seca 504
Tabla 3.3.3-259 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época seca 505
Tabla 3.3.3-260 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época seca 507
Tabla 3.3.3-261 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época seca 509
Tabla 3.3.3-262 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias 512
Tabla 3.3.3-263 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época lluvias 513
Tabla 3.3.3-264 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias 515
Tabla 3.3.3-265 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época lluvias 516
Tabla 3.3.3-266 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias 517
Tabla 3.3.3-267 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época lluvias 521

Tabla 3.3.3-268 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época lluvias 522
Tabla 3.3.3-269 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época lluvias 523
Tabla 3.3.3-270 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Pirigua época lluvias 526
Tabla 3.3.3-271 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época lluvias 527
Tabla 3.3.3-272 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Pirigua época lluvias 528
Tabla 3.3.3-273 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Pirigua época lluvias 530
Tabla 3.3.3-274 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Pirigua época lluvias 531
Tabla 3.3.3-275 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época lluvias 534
Tabla 3.3.3-276 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época lluvias 535
Tabla 3.3.3-277 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época seca 540
Tabla 3.3.3-278 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Santoya época seca 541
Tabla 3.3.3-279 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Santoya época seca 543
Tabla 3.3.3-280 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época seca 547
Tabla 3.3.3-281 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época seca 547
Tabla 3.3.3-282 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época seca 548
Tabla 3.3.3-283 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Santoya época seca 550
Tabla 3.3.3-284 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época seca 551
Tabla 3.3.3-285 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época seca 552

Tabla 3.3.3-286 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época seca 554
Tabla 3.3.3-287 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época lluvias 558
Tabla 3.3.3-288 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Santoya época lluvias 559
Tabla 3.3.3-289 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Santoya época lluvias 560
Tabla 3.3.3-290 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época lluvias 563
Tabla 3.3.3-291 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Santoya época lluvias 564
Tabla 3.3.3-292 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época lluvias 564
Tabla 3.3.3-293 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Santoya época lluvias 567
Tabla 3.3.3-294 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época lluvias 568
Tabla 3.3.3-295 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época lluvias 569
Tabla 3.3.3-296 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Santoya época lluvias 571
Tabla 3.3.3-297 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época lluvias 572
Tabla 3.3.3-298 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Santoya época lluvias 573
Tabla 3.3.3-299 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Santoya época lluvias 574
Tabla 3.3.3-300 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época seca 578
Tabla 3.3.3-301 Índices Ecológicos e la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Laguna Venturosa época seca 579
Tabla 3.3.3-302 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Laguna Venturosa época seca 582
Tabla 3.3.3-303 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Laguna Venturosa época seca 583

Tabla 3.3.3-304 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época seca 584
Tabla 3.3.3-305 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Laguna Venturosa época seca 586
Tabla 3.3.3-306 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época seca 587
Tabla 3.3.3-307 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Laguna Venturosa época seca 588
Tabla 3.3.3-308 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época lluvias 591
Tabla 3.3.3-309 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Laguna Venturosa época lluvias 592
Tabla 3.3.3-310 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Laguna Venturosa época lluvias 594
Tabla 3.3.3-311 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época lluvias 596
Tabla 3.3.3-312 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Laguna Venturosa época lluvias 598
Tabla 3.3.3-313 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época lluvias 599
Tabla 3.3.3-314 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Laguna Venturosa época lluvias 600
Tabla 3.3.3-315 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época seca 605
Tabla 3.3.3-316 Índices de Diversidad Ecológica (Alfa) Microcuenca caño Yarico época seca 606
Tabla 3.3.3-317 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico época seca 609
Tabla 3.3.3-318 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época seca 610
Tabla 3.3.3-319 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época seca 613
Tabla 3.3.3-320 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época seca 614
Tabla 3.3.3-321 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época seca 614

Tabla 3.3.3-322 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época seca 617
Tabla 3.3.3-323 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época seca 618
Tabla 3.3.3-324 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época seca 619
Tabla 3.3.3-325 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época seca 622
Tabla 3.3.3-326 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época seca 623
Tabla 3.3.3-327 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yarico época seca 626
Tabla 3.3.3-328 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia 629
Tabla 3.3.3-329 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época lluvia 631
Tabla 3.3.3-330 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia 633
Tabla 3.3.3-331 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época lluvia 634
Tabla 3.3.3-332 Ensamble Ecológico de la Comunidad de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia 635
Tabla 3.3.3-333 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época lluvia 638
Tabla 3.3.3-334 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época lluvia 640
Tabla 3.3.3-335 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época lluvia 640
Tabla 3.3.3-336 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época lluvia 644
Tabla 3.3.3-337 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época lluvia 645
Tabla 3.3.3-338 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época lluvia 645
Tabla 3.3.3-339 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época lluvia 648

Tabla 3.3.3-340 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época lluvia 649
Tabla 3.3.3-341 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yarico época lluvia 652
Tabla 3.3.3-342 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época seca 657
Tabla 3.3.3-343 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yurimena época seca 658
Tabla 3.3.3-344 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época seca 659
Tabla 3.3.3-345 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yurimena época seca 661
Tabla 3.3.3-346 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época seca 662
Tabla 3.3.3-347 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yurimena época seca 663
Tabla 3.3.3-348 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época lluvias 666
Tabla 3.3.3-349 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yurimena época lluvias 667
Tabla 3.3.3-350 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época lluvias 667
Tabla 3.3.3-351 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yurimena época lluvias 671
Tabla 3.3.3-352 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época lluvias 672
Tabla 3.3.3-353 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yurimena época lluvias 673
Tabla 3.3.3-354 Índices de diversidad Alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yurimena época lluvias 674
Tabla 3.3.3-355 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época seca 679
Tabla 3.3.3-356 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Cabuyarito época seca 680
Tabla 3.3.3-357 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época seca 681

Tabla 3.3.3-358 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Cabuyarito época seca 683
Tabla 3.3.3-359 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época seca 684
Tabla 3.3.3-360 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Cabuyarito época seca 685
Tabla 3.3.3-361 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 689
Tabla 3.3.3-362 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 690
Tabla 3.3.3-363 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 691
Tabla 3.3.3-364 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 694
Tabla 3.3.3-365 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 696
Tabla 3.3.3-366 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 698
Tabla 3.3.3-367 Índices de diversidad Alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 699
Tabla 3.3.3-368 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época seca 704
Tabla 3.3.3-369 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época seca 705
Tabla 3.3.3-370 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época seca 708
Tabla 3.3.3-371 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Humea época seca 709
Tabla 3.3.3-372 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Humea época seca 712
Tabla 3.3.3-373 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Humea época seca 713
Tabla 3.3.3-374 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Humea época seca 713
Tabla 3.3.3-375 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época seca 714

Tabla 3.3.3-376 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Humea época seca 717
Tabla 3.3.3-377 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época seca 718
Tabla 3.3.3-378 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Humea época seca 721
Tabla 3.3.3-379 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época lluvias 724
Tabla 3.3.3-380 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca río Humea época lluvias 725
Tabla 3.3.3-381 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época lluvias 728
Tabla 3.3.3-382 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Humea época lluvias 729
Tabla 3.3.3-383 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca río Humea época lluvias 730
Tabla 3.3.3-384 Ensamble Ecológico de la Comunidad el Perifiton Microcuenca río Humea época lluvias 733
Tabla 3.3.3-385 Índices Ecológicos Comunidad del Perifton (Alfa) Microcuenca río Humea época lluvias 734
Tabla 3.3.3-386 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Humea época lluvias 734
Tabla 3.3.3-387 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época lluvias 735
Tabla 3.3.3-388 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Humea época lluvias 738
Tabla 3.3.3-389 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época lluvias. 739
Tabla 3.3.3-390 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Humea época lluvias 741
Tabla 3.3.3-391 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta 746
Tabla 3.3.3-392 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca río Meta 747
Tabla 3.3.3-393 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta 750

Tabla 3.3.3-394 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Meta 751
Tabla 3.3.3-395 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta 754
Tabla 3.3.3-396 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Meta 755
Tabla 3.3.3-397 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta 756
Tabla 3.3.3-398 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta Época seca 757
Tabla 3.3.3-399 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Meta 759
Tabla 3.3.3-400 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta 760
Tabla 3.3.3-401 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta 763
Tabla 3.3.3-402 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca río Meta 764
Tabla 3.3.3-403 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta 767
Tabla 3.3.3-404 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Meta 768
Tabla 3.3.3-405 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta 771
Tabla 3.3.3-406 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Meta 772
Tabla 3.3.3-407 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta, época lluvia 773
Tabla 3.3.3-408 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Meta 775
Tabla 3.3.3-409 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta 776
Tabla 3.3.3-410 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta época lluvia 777
Tabla 3.3.3-411 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Meta época lluvia 780
Tabla 3.3.3-412 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta época lluvia 781

Tabla 3.3.3-413 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Meta época lluvia 783
Tabla 3.3.3-414 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca río Meta época lluvias 784
Tabla 3.3.3-415 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos directos al río Meta, época seca 785
Tabla 3.3.3-416 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) directos al río Meta 786
Tabla 3.3.3-417 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos directos al río Meta 787
Tabla 3.3.3-418 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Drenajes directos al río Meta época seca 788
Tabla 3.3.3-419 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton en los Drenajes directos al río Meta 791
Tabla 3.3.3-420 Diversidad Ecológica de los Drenajes que van directo a la Microcuenca del río Meta 793
Tabla 3.3.3-421 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos drenajes directos al rio Meta, época lluvias 793
Tabla 3.3.3-422 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) drenajes directos al rio meta, época lluvias 796
Tabla 3.3.3-423 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos drenajes directos al rio Meta, época lluvias 797
Tabla 3.3.3-424 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Drenajes directos al río Meta época lluvia 799
Tabla 3.3.3-425 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Drenajes directos al río Meta, época lluvias 800
Tabla 3.3.3-426 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época seca 804
Tabla 3.3.3-427 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Metica época seca 805
Tabla 3.3.3-428 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época seca 805
Tabla 3.3.3-429 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Metica época seca 808
Tabla 3.3.3-430 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época seca. 809

Tabla 3.3.3-431 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Metica época seca 810
Tabla 3.3.3-432 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época lluvias 814
Tabla 3.3.3-433 Índices de Diversidad de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Metica época lluvias 815
Tabla 3.3.3-434 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época lluvias 815
Tabla 3.3.3-435 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Metica época lluvias 818
Tabla 3.3.3-436 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época lluvias 819
Tabla 3.3.3-437 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Metica 820
Tabla 3.3.3-438 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía época seca 825
Tabla 3.3.3-439 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Upía 826
Tabla 3.3.3-440 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía 827
Tabla 3.3.3-441 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía época lluvias 831
Tabla 3.3.3-442 Índices Ecológico de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Upía época lluvias 832
Tabla 3.3.3-443 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía época lluvias 832
Tabla 3.3.3-444 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Upía época lluvias 835
Tabla 3.3.3-445 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía época lluvias 836
Tabla 3.3.3-446 Ensamble ecológico de la comunidad de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Upía época lluvias 837
Tabla 3.3.3-447 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época seca 842
Tabla 3.3.3-448 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Yucao época seca 843

Tabla 3.3.3-449 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época seca 843

Tabla 3.3.3-450 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época lluvias 847

Tabla 3.3.3-451 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Yucao época lluvias 848

Tabla 3.3.3-452 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época lluvias 848

Tabla 3.3.3-453 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Yucao época lluvias 851

Tabla 3.3.3-454 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época lluvias. 852

Tabla 3.3.3-455 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Yucao época lluvias 853

Tabla 3.3.3-456 Clasificación taxonómica del ensamble general de peces registrados dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca y lluviosa. 857

Tabla 3.3.3-457 Clasificación taxonómica de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en la llanura de inundación dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca. 861

Tabla 3.3.3-458 Índices ecológicos de Abundancia, Riqueza, diversidad de Shannon, Simpson e índice de uniformidad de Pielou de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en la llanura de inundación dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca. 863

Tabla 3.3.3-459 Clasificación taxonómica de la comunidad de peces en cuerpos lóticos en los dos biomas (llanura de inundación y altillanura) dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca. 867

Tabla 3.3.3-460 Índices ecológicos de Abundancia, Riqueza, diversidad de Shannon, Simpson e índice de uniformidad de Pielou de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en la llanura de inundación y la Altillanura dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca 874

Tabla 3.3.3-461 Clasificación taxonómica de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en los dos biomas (llanura de inundación y altillanura) dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época lluviosa 880

Tabla 3.3.3-462 Clasificación taxonómica de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en los dos biomas (llanura de inundación y altillanura) dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época lluviosa. 888

Tabla 3.3.3-463 Índices ecológicos de Abundancia, Riqueza, diversidad de Shannon, Simpson e índice de uniformidad de Pielou de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos

en la llanura de inundación y la Altillanura dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época lluviosa. 899

Tabla 3.3.3-464 Hábito alimenticio de las especies de la comunidad de ictiofauna dentro del área de influencia de Bloque CPO-5 905

Tabla 3.3.3-465 Categorías, grado de amenaza y vedas de las especies de la comunidad Ictica dentro del AI del Bloque CPO-5. 908

Tabla 3.3.3-466 Usos de las especies de la comunidad Ictica dentro del área de influencia del Bloque CPO-5. 910

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.3.3-1 Localización de los puntos de muestreo aguas superficiales Bloque CPO-5 43

Figura 3.3.3-2 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca Bajo río Negro 54

Figura 3.3.3-3 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época seca 57

Figura 3.3.3-4 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época seca 61

Figura 3.3.3-5 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad de Perifiton caño Bajo río Negro época seca 65

Figura 3.3.3-6 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época lluvias 70

Figura 3.3.3-7 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época lluvias 73

Figura 3.3.3-8 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton caño Bajo río Negro época lluvias 76

Figura 3.3.3-9 Familias de macroinvertebrados bentónicos caño Bajo río Negro época lluvias. 80

Figura 3.3.3-10 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño Banderas 87

Figura 3.3.3-11 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época seca 89

Figura 3.3.3-12 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época seca 93

Figura 3.3.3-13 Porcentaje de Abundancia para la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Banderas, época seca 97

Figura 3.3.3-14 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época seca. 102

Figura 3.3.3-15 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias 107
Figura 3.3.3-16 Porcentajes de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias 111
Figura 3.3.3-17 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Banderas, época lluvias 115
Figura 3.3.3-18 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época lluvias 119
Figura 3.3.3-19 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño Barbascos 123
Figura 3.3.3-20 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos época seca 125
Figura 3.3.3-21 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos, época lluvias 132
Figura 3.3.3-22 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño El Aceite 138
Figura 3.3.3-23 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Aceite época seca 140
Figura 3.3.3-24 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño El Boral 147
Figura 3.3.3-25 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral época seca 149
Figura 3.3.3-26 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral época seca 152
Figura 3.3.3-27 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral época seca 155
Figura 3.3.3-28 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral época seca 160
Figura 3.3.3-29 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral época seca 164
Figura 3.3.3-30 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias 170
Figura 3.3.3-31 Porcentajes de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias 174
Figura 3.3.3-32 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral, época lluvias 178
Figura 3.3.3-33 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral, época lluvias 184
Figura 3.3.3-34 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño El Paso 192

Figura 3.3.3-35 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época seca 196
Figura 3.3.3-36 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época seca 199
Figura 3.3.3-37 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época lluvias 205
Figura 3.3.3-38 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época lluvias 208
Figura 3.3.3-39 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca caño El Totumal 213
Figura 3.3.3-40 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca 215
Figura 3.3.3-41 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca 218
Figura 3.3.3-42 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época seca 221
Figura 3.3.3-43 Familias de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época seca 225
Figura 3.3.3-44 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época seca 228
Figura 3.3.3-45 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 233
Figura 3.3.3-46 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 237
Figura 3.3.3-47 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época lluvia 243
Figura 3.3.3-48 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 247
Figura 3.3.3-49 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época lluvias 250
Figura 3.3.3-50 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Emma 255
Figura 3.3.3-51 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época seca 257
Figura 3.3.3-52 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época seca 262
Figura 3.3.3-53 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época lluvias 266

Figura 3.3.3-54 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época lluvias 271
Figura 3.3.3-55 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Güio 280
Figura 3.3.3-56 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Güio época seca 282
Figura 3.3.3-57 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Güio época seca 286
Figura 3.3.3-58 Porcentajes de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Güio época seca 290
Figura 3.3.3-59 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Güio época seca 294
Figura 3.3.3-60 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Güio época seca 299
Figura 3.3.3-61 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Güio época lluvia 305
Figura 3.3.3-62 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Güio época lluvia 309
Figura 3.3.3-63 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Güio época lluvia 313
Figura 3.3.3-64 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Güio época lluvias 317
Figura 3.3.3-65 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Güio época lluvias 321
Figura 3.3.3-66 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Ipapa 325
Figura 3.3.3-67 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Ipapa época seca 328
Figura 3.3.3-68 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Ipapa época seca 332
Figura 3.3.3-69 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Ipapa, época lluvias 338
Figura 3.3.3-70 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño La Lilbana 344
Figura 3.3.3-71 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época seca 346
Figura 3.3.3-72 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias 350

Figura 3.3.3-73 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias 353
Figura 3.3.3-74 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño La Victoria 356
Figura 3.3.3-75 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época seca 358
Figura 3.3.3-76 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época seca 362
Figura 3.3.3-77 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época lluvias 365
Figura 3.3.3-78 Porcentaje de familias de macroinvertebrados bentónicos microocuenca caño La Victoria época lluvias 369
Figura 3.3.3-79 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Macapay 375
Figura 3.3.3-80 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época seca 377
Figura 3.3.3-81 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Macapay época seca 381
Figura 3.3.3-82 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época lluvias 385
Figura 3.3.3-83 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Menegua 392
Figura 3.3.3-84 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época seca 394
Figura 3.3.3-85 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época seca 399
Figura 3.3.3-86 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época seca 403
Figura 3.3.3-87 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Menegua época seca 406
Figura 3.3.3-88 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época lluvias 411
Figura 3.3.3-89 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época lluvias 417
Figura 3.3.3-90 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época lluvias 421
Figura 3.3.3-91 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Navajas Sur 427
Figura 3.3.3-92 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 429

Figura 3.3.3-93 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 432
Figura 3.3.3-94 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 436
Figura 3.3.3-95 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Navajas Sur época seca 440
Figura 3.3.3-96 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 444
Figura 3.3.3-97 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 448
Figura 3.3.3-98 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias 452
Figura 3.3.3-99 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Navajitas 458
Figura 3.3.3-100 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época seca 460
Figura 3.3.3-101 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época seca 464
Figura 3.3.3-102 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época lluvias 468
Figura 3.3.3-103 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Piedra Candela 474
Figura 3.3.3-104 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época seca 476
Figura 3.3.3-105 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 480
Figura 3.3.3-106 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias 484
Figura 3.3.3-107 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Pirigua 489
Figura 3.3.3-108 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época seca 491
Figura 3.3.3-109 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época seca 495
Figura 3.3.3-110 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época seca 499
Figura 3.3.3-111 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época seca 503

Figura 3.3.3-112 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias 510
Figura 3.3.3-113 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias 514
Figura 3.3.3-114 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época lluvias 519
Figura 3.3.3-115 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época lluvias 525
Figura 3.3.3-116 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Pirigua época lluvias 529
Figura 3.3.3-117 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Santoya 537
Figura 3.3.3-118 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época seca 539
Figura 3.3.3-119 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Santoya época seca 542
Figura 3.3.3-120 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton 546
Figura 3.3.3-121 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época seca 549
Figura 3.3.3-122 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época seca 553
Figura 3.3.3-123 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época lluvias 557
Figura 3.3.3-124 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época lluvias 562
Figura 3.3.3-125 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época lluvias 566
Figura 3.3.3-126 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época lluvias 570
Figura 3.3.3-127 Localización de los puntos de muestreo Laguna Venturosa 575
Figura 3.3.3-128 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época seca 577
Figura 3.3.3-129 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton época seca 581
Figura 3.3.3-130 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época seca 585
Figura 3.3.3-131 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época lluvias 590

Figura 3.3.3-132 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Laguna Venturosa época lluvias 593
Figura 3.3.3-133 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época lluvias 597
Figura 3.3.3-134 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca caño Yarico 602
Figura 3.3.3-135 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época seca 604
Figura 3.3.3-136 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico 608
Figura 3.3.3-137 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época seca 612
Figura 3.3.3-138 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época seca 616
Figura 3.3.3-139 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época seca 621
Figura 3.3.3-140 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia 628
Figura 3.3.3-141 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia 632
Figura 3.3.3-142 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época lluvia 637
Figura 3.3.3-143 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época lluvia 642
Figura 3.3.3-144 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época lluvia 647
Figura 3.3.3-145 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca caño Yurimena 654
Figura 3.3.3-146 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época seca 656
Figura 3.3.3-147 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época seca 660
Figura 3.3.3-148 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época lluvias 665
Figura 3.3.3-149 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época lluvias 669
Figura 3.3.3-150 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Cabuyarito 676

Figura 3.3.3-151 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época seca 678
Figura 3.3.3-152 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época seca 682
Figura 3.3.3-153 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 687
Figura 3.3.3-154 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época lluvias 693
Figura 3.3.3-155 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Humea 701
Figura 3.3.3-156 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época seca 703
Figura 3.3.3-157 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época seca 707
Figura 3.3.3-158 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Humea época seca 711
Figura 3.3.3-159 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época seca 716
Figura 3.3.3-160 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época lluvias 723
Figura 3.3.3-161 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época lluvias 727
Figura 3.3.3-162 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Humea época lluvias 732
Figura 3.3.3-163 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época lluvias 737
Figura 3.3.3-164 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Meta 743
Figura 3.3.3-165 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta 745
Figura 3.3.3-166 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta 749
Figura 3.3.3-167 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta 753
Figura 3.3.3-168 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta 758
Figura 3.3.3-169 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta 762

Figura 3.3.3-170 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta 766
Figura 3.3.3-171 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta 770
Figura 3.3.3-172 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta 774
Figura 3.3.3-173 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta época lluvia 779
Figura 3.3.3-174 Familias de macroinvertebrados bentónicos directos al río Meta, época seca 786
Figura 3.3.3-175 Porcentajes de Abundancia de los Drenajes directo a la Microcuenca del río Meta 790
Figura 3.3.3-176 Familias de macroinvertebrados bentónicos drenajes directos al rio Meta, época lluvias 795
Figura 3.3.3-177 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Metica 801
Figura 3.3.3-178 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época seca 803
Figura 3.3.3-179 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época seca 807
Figura 3.3.3-180 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época lluvias 813
Figura 3.3.3-181 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época lluvias 817
Figura 3.3.3-182 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Upía 822
Figura 3.3.3-183 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía 824
Figura 3.3.3-184 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía época lluvias 830
Figura 3.3.3-185 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía época lluvias 834
Figura 3.3.3-186 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Yucao 839
Figura 3.3.3-187 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época seca 841
Figura 3.3.3-188 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época lluvias 846
Figura 3.3.3-189 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época lluvias 850

Figura 3.3.3-190 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Fitoplancton (Seca) 913
Figura 3.3.3-191 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Fitoplancton (Lluvia) 914
Figura 3.3.3-192 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Zooplancton (Seca) 915
Figura 3.3.3-193 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Zooplancton (lluvia) 916
Figura 3.3.3-194 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Perifiton (Seca) 918
Figura 3.3.3-195 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Perifiton (lluvia) 919
Figura 3.3.3-196 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados bentónicos en época seca. 920
Figura 3.3.3-197 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados bentónicos en época de lluvias. 922
Figura 3.3.3-198 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados asociados a macrófitas en época seca. 923
Figura 3.3.3-199 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados asociados a macrófitas en época de lluvias. 924
Figura 3.3.3-200 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Macrófitas acuáticas cuerpos de agua lénticos 926
Figura 3.3.3-201 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de macrófitas acuáticas cuerpos de agua lóticos 927
Figura 3.3.3-202 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de macrófitas acuáticas cuerpos de agua lenticos 929
Figura 3.3.3-203 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de macrófitas acuáticas cuerpos de agua lóticos 930
Figura 3.3.3-204 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de icitiofauna en cuerpos lénticos en época seca. 931
Figura 3.3.3-205 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en época seca. 933
Figura 3.3.3-206 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en época lluviosa. 935
Figura 3.3.3-207 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en época lluviosa. 938
Figura 3.3.3-208 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 942
Figura 3.3.3-209 Modelo de Correspondencia Analítica 942
Figura 3.3.3-210 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de Fitoplancton 944

Figura 3.3.3-211 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 945
Figura 3.3.3-212 Modelo de Correspondencia Analítica 945
Figura 3.3.3-213 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de Zooplancton 946
Figura 3.3.3-214 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 947
Figura 3.3.3-215 Modelo de Correspondencia Analítica 947
Figura 3.3.3-216 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad del perifiton 948
Figura 3.3.3-217 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 949
Figura 3.3.3-218 Modelo de Correspondencia Analítica 949
Figura 3.3.3-219 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de macroinvertebrados acuáticos 951
Figura 3.3.3-220 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 952
Figura 3.3.3-221 Modelo de Correspondencia Analítica 952
Figura 3.3.3-222 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de Fitoplancton 953
Figura 3.3.3-223 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 954
Figura 3.3.3-224 Modelo de Correspondencia Analítica 954
Figura 3.3.3-225 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de zooplancton 955
Figura 3.3.3-226 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 956
Figura 3.3.3-227 Modelo de Correspondencia Analítica 956
Figura 3.3.3-228 Modelo de Correspondencia Analítica Perifiton 958
Figura 3.3.3-229 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado 958
Figura 3.3.3-230 Modelo de Correspondencia Analítica 959
Figura 3.3.3-231 Modelo de Correspondencia Analítica macroinvertebrados acuáticos 960

3 CARACTERIZACIÓN DE ÁREA DE INFLUENCIA

3.3 MEDIO BIÓTICO

3.3.3 Ecosistemas acuáticos continentales

En este estudio se abarcan dos tipos de ecosistemas acuáticos: sistemas lóticos (ríos, arroyos, canales, etc.) y sistemas lénticos (esteros, zonas de amortiguación, represamientos de cañadas, madreviejas, lagunas de rebalse, etc.). Los sistemas lóticos son complejos y dinámicos e interactúan constantemente con los ecosistemas terrestres aledaños y su funcionamiento depende en gran medida de las características litológicas del territorio que recorren y el clima que los cobije. Aunado a esto, los ríos presentan una estructura hidrográfica jerárquica que le brinda una dinámica distinta a cabeceras, tramos medios y bajos (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007); esto favorece la biodiversidad dada la variedad de hábitats que se generan a lo largo del recorrido del cauce. Es así como el estudio de una Microcuenca está definido en la longitud del cauce, pero también, en los afluentes que descargan sus aguas, en sus planicies de inundación y en el uso del suelo de los territorios que abarque (Elosegui, 2009.).

Los sistemas lénticos, carecen de corriente evidente y son altamente vulnerables a los cambios en el uso del suelo, a las dinámicas de los sistemas de corrientes aledaños y a las épocas pluviométricas imperantes. Cabe resaltar que las condiciones climáticas debilitan las dinámicas ecológicas en estos ecosistemas acuáticos, y se muestran con mayor relevancia en zonas donde existen actividades antrópicas. Las comunidades biológicas que cohabitan en estas áreas son diferentes a las consideradas en los ecosistemas lóticos o ríos, pero están altamente relacionadas y son fuente de productividad y diversidad (Esteves F. , 1998).

El presente estudio pretende caracterizar y monitorear las comunidades hidrobiológicas (Plancton conformado por las comunidades de fitoplancton, zooplancton e ictioplancton, Perifiton, Macroinvertebrados acuáticos, Macrófitas acuáticas e Ictiofauna), de los sistemas lóticos y lénticos permanentes y/o intermitentes presentes dentro del área de Influencia establecida para el Bloque CPO-5, con la finalidad de conocer su comportamiento, dinámica en diferentes períodos pluviométricos (temporada de lluvias y temporada seca) y sus usos potenciales como herramientas de bioindicación, dadas sus cualidades (autoecología y sinecología), y representatividad dentro de los cuerpos de agua, siendo complementarios para establecer los niveles de perturbación paralelamente con las variables fisicoquímicas más relevantes desde el punto de vista limnológico, como son oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura, conductividad, pH, formas del nitrógeno (nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal) y fósforo (fósforo orgánico e inorgánico) y materia orgánica expresada en DBO5 y DQO, principalmente.

3.3.3.1 Importancia de los ecosistemas acuáticos en el contexto regional

Desde mediados del siglo XIX la región de los llanos orientales se articuló al comercio internacional a través del comercio fluvial. El río Humea y el río Meta principales afluentes de la zona de estudio formaron parte de esta ruta que unía a los llanos colombo-venezolanos con el centro de Colombia

y las Antillas. La ruta comercial iniciaba en el río Humea, continuaba con el río Meta y terminaba en el río Orinoco que finalmente desembocaba en el océano Atlántico (G. R., 2010).

Se desarrollo, también, desde comienzos del siglo XIX, y sigue siendo así, la ganadería como actividad económica importante. La cría de ganado constituye una lucrativa actividad con poca inversión en mano de obra e insumos; dadas las grandes extensiones de las fincas ganaderas estas se abastecían y siguen abasteciéndose de agua para el ganado de los ríos que las atravesaban y el pasto dependía del temporal. A pesar de la importancia económica de la actividad ganadera, no solo en la región sino en todos los llanos orientales colombianos, la explotación fue y es principalmente extensiva. Sin embargo, a diferencia del comercio fluvial la ganadería sigue siendo la principal actividad económica de la región.

En el municipio de Cabuyaro, la agricultura constituye el segundo renglón económico de la región, pasando de una agricultura de autoconsumo a una comercial en las últimas tres décadas. Actualmente, la agricultura se desarrolla en dos niveles: uno altamente tecnificado (arroz, palma, cítricos) y otro de baja tecnología netamente tradicional, caracterizado por su baja productividad con productos de pancoger (yuca, caña y plátano). Las nuevas dinámicas del comercio internacional y la demanda de nuevos productos agrícolas comerciales, los cuales se ven favorecidos en la región, por el alto nivel de monopolio de la tierra, han dado un nuevo uso a los ríos: el de fuente de abastecimiento para el riego. En este panorama socioeconómico se desarrolla paralelamente un proceso de transformación en la gestión social de los recursos, especialmente el agua.

En el municipio de Puerto López, los recursos hídricos como el río Meta y diversas lagunas juegan un papel fundamental en el desarrollo económico local. Estos cuerpos de agua no solo sustentan actividades tradicionales como la pesca artesanal, sino que también impulsan sectores emergentes como el ecoturismo y la ganadería extensiva, al proporcionar agua para el riego de pastos y el consumo animal (Corporinoquia, Plan de Acción Institucional 2020-2023, 2020). Además, la navegación fluvial en el río Meta permite la movilización de productos agrícolas y ganaderos hacia mercados regionales, fortaleciendo el comercio interno. El aprovechamiento sostenible de estos recursos se ha convertido en un eje estratégico para el desarrollo económico, aunque enfrenta desafíos relacionados con la conservación ambiental y el uso responsable del agua (Sostenible, 2018).

Desde el punto de vista ecológico y cultural, los cambios ecológicos, las nuevas demandas de la producción, la deforestación cuencas arriba y de los lechos de los ríos, la derivación del agua para el riego y la presión de nuevos usuarios han generado una crisis ecológica que se observa en la disminución del caudal de los cuerpos de agua superficiales y el conato de conflictos aguas abajo de la cuenca. Son de gran importancia para la región, ya que son un eje de integración regional, utilizados para la pesca, el transporte fluvial, el riego de cultivos y la subsistencia de muchos habitantes. Además, son ecosistemas ricos en biodiversidad, con una gran variedad de especies de peces, aves y mamíferos que dependen del río y sus afluentes para su supervivencia y adicionalmente permiten la existencia, alimentación y conservación de ecosistemas lénticos de relevancia socioeconómica, ecológica, paisajística y turística. Los cuerpos de agua que recorren el

área de influencia del proyecto son importantes para aportar nutrientes a las llanuras de desborde por donde discurren, manteniendo así la fertilidad y nivel freático de los suelos, pero con todo lo que se mencionó con anterioridad la contaminación es uno de los mayores problemas que enfrenta el recurso en la región. La descarga de aguas residuales sin tratar y la eliminación inadecuada de desechos sólidos son las principales causas de la contaminación (colombiaverde, 2025). Esto ha llevado a la acumulación de sustancias tóxicas en el agua y la muerte masiva de peces y otros seres vivos en el río, lo que también es importante resaltar pues al estar contaminada el agua, los suelos también se contaminan y se ven afectados los ecosistemas terrestres de la zona.

3.3.3.2 Caracterización de los ecosistemas acuáticos

El muestreo y el análisis de las comunidades acuáticas se realizó bajo la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (2018), presentado por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, los términos de referencia HI-TER-103 para proyectos de explotación de hidrocarburos. Así mismo este estudio se realizó bajos los lineamientos establecidos en la Resolución 0600 del 31 de julio de 2012 emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y se siguieron las metodologías autorizadas en el permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales otorgado por ANLA a la sociedad MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S., con NIT 830.073.450-5. (Resolución N° 2334 del 10 octubre de 2023) (Ver **Anexo 1.4_Permiso_ingreso_predios** y **Anexo 1.8_Metodologías**), laboratorio acreditado por el IDEAM mediante Resolución 1849 del 26 de agosto de 2022 y encargado de la recolección de información In Situ y análisis de laboratorio de las muestras tomadas en campo en las dos épocas hidroclimáticas (Ver **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**).

Como parte de la caracterización ambiental de los ecosistemas acuáticos, se realizaron muestreos de las diferentes comunidades hidrobiológicas en dos épocas hidroclimáticas contrastantes, teniendo en cuenta el régimen monomodal de lluvias del área de estudio. En total, se analizaron 106 puntos de muestreo (**Figura 3.3.3-2**).



Figura 3.3.3-1 Localización de los puntos de muestreo aguas superficiales Bloque CPO-5

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Por esta razón, en la **Tabla 3.3.3-1**, se pueden observar resaltados en color rojo los puntos utilizados que son específicamente ocupaciones de cauce codificados como OC11, OC12, OC13, OC14, OC15, OC17, OC18, OC19, GÜIO_CL_02 y YARICO_CL_02 denominados así para el monitoreo de lluvias de 2024 pero que para la temporada seca toman los siguientes ID y así se encuentran en la GDB respectiva: PMASup_DS_11, PMASup_DS_12, PMASup_DS_13, PMASup_DS_14, PMASup_DS_15, PMASup_DS_17, PMASup_DS_18, PMASup_DS_19, OCMY4 y OCMY5. Para mayor detalle, consultar el **Anexo 1.4_Permiso_ingreso_predios**, el **3.3-**

6b_Reportes_Ep_Lluvia (Reportes de laboratorio – Temporada de lluvias), y el **Anexo 1.8_Metodologías**.

Tanto para la época de lluvia como para la época seca, se ejecutó un total de 106 puntos de muestreo, así (**Figura 3.3.3-2**) (ver **Anexo 1.4_Permiso_ingreso_predios**):

1. Época de lluvia:

- 26 puntos ejecutados del 4 al 19 de julio de 2024, en el municipio de Cabuyaro, Meta.
- 80 puntos ejecutados entre los días 11 a 17 de julio de 2024, en los municipios de Cabuyaro y Puerto López, Meta.

2. Época seca:

- 26 puntos del 22 al 30 de enero de 2025, en el municipio de Cabuyaro, Meta.
- 80 puntos entre los días 22 de enero al 03 de febrero de 2025, en los municipios de Cabuyaro y Puerto López, Meta.

En el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **Anexo 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia** se puede apreciar la información primaria obtenida y generada por el laboratorio de los monitoreos del Bloque CPO-5.

En la **Tabla 3.3.3-1** se pueden observar las comunidades monitoreadas en cada uno de los puntos y en cada temporada climática, además, en el **Anexo Cartográfico,** se puede consultar la ubicación de los puntos y la descripción de cada uno se puede ver en el numeral 3.2.5.1 Sitios de muestreo y en la **Figura 3.3.3-2** se pueden observar la localización de los puntos de monitoreo por Microcuenca.

En el monitoreo de aguas superficiales del Bloque CPO-5, se reconocen dos unidades fisiográficas contrastantes: la llanura de inundación en el municipio de Cabuyaro y parte oeste del río Metica en el municipio de Puerto López y la altillanura en la parte centro y sur del río Meta y oriente del río Metica en el municipio de Puerto López, ambas en el departamento del Meta, lo cual se tuvo en cuenta para la ubicación de los puntos de monitoreo. La llanura de inundación forma parte del sistema de planicies aluviales de la Microcuenca del río Meta, caracterizada por suelos hidromórficos mal drenados, alta variabilidad en el régimen hídrico y coberturas dominadas por pastizales, morichales (*Mauritia flexuosa*) y fragmentos de bosques ribereños que cumplen funciones ecológicas clave como la regulación hídrica y la retención de sedimentos (IDEAM, Ecosistemas estratégicos de los Llanos Orientales: caracterización y monitoreo, 2015); (Romero-Ruiz, 2004). En contraste, la altillanura de Puerto López presenta un relieve suavemente ondulado, con suelos ácidos de baja fertilidad, típicamente oxisoles y ultisoles, con una vegetación predominante de sabanas naturales y coberturas inducidas por actividades agropecuarias, lo que genera procesos de compactación y pérdida de materia orgánica (IGAC., 2020); (Rippstein, 2001).

Estas diferencias en estructura de paisaje, cobertura y tipo de suelo condicionan la dinámica de escorrentía, infiltración y calidad del agua, aspectos importantes para el diseño e interpretación del monitoreo ambiental de aguas superficiales en el Bloque CPO-5.

El análisis se realiza para cada Microcuenca presente e identificada dentro de Área de Influencia Fisicobiótica del Bloque CPO-5, para cada una se realiza por separado el estudio de las comunidades hidrobiológicas por época hidroclimática (seca y lluvias).

El estudio integral de la calidad ecológica en sistemas acuáticos requiere la inclusión de diversas comunidades que actúen como sensores biológicos a diferentes escalas temporales y espaciales. El monitoreo de la calidad ecológica en ecosistemas acuáticos se fundamentó en la premisa de que distintas comunidades biológicas responden de manera diferenciada a las condiciones físicas y químicas del entorno. En cuerpos de agua lénticos (lagos y embalses), el fitoplancton y zooplancton son indicadores clave debido a su ciclo de vida corto y su posición en la base de la red trófica, lo que les permite reaccionar rápidamente a procesos de eutrofización y cambios en la columna de agua. Por el contrario, en sistemas lóticos (ríos y arroyos), el perifitón resulta esencial, ya que, al estar adherido al sustrato, integra los efectos de los contaminantes y nutrientes que fluyen continuamente, reflejando el estado de salud del tramo específico. De manera transversal, los macroinvertebrados bentónicos, macrófitas y peces se estudian en todos los ecosistemas por su capacidad de reflejar la salud del hábitat a largo plazo y la integridad de los sedimentos. A este grupo se suma el ictioplancton (huevos y larvas de peces), cuya presencia en todo tipo de cuerpos de agua es crucial, no solo para identificar áreas y épocas de desove, sino también porque las fases tempranas de los peces son extremadamente vulnerables a contaminantes químicos y cambios térmicos, funcionando como una señal de alerta temprana sobre el éxito reproductivo y la viabilidad futura de las poblaciones ícticas.

Es importante aclarar que el muestreo de las comunidades de Fitoplancton y Zooplancton solo se realizó en los cuerpos de agua lenticos atendiendo así las Metodologías para elaboración de Estudios Ambientales, las comunidades de Ictioplancton se muestrearon en todos los puntos tanto lenticos como lóticos. La comunidad de Perifiton se tomó únicamente en cuerpos de agua lóticos y finalmente, la comunidad de macroinvertebrados se tomó en todos los puntos de muestreo al igual que la de macrófitas acuáticas y la de Ictiofauna. La selección de ensambles se realizó bajo el principio de pertinencia ecológica. En microcuencas con cauces intermitentes o de baja profundidad detectadas durante el monitoreo en el Bloque CPO-5, se priorizaron comunidades sésiles (Perifiton). La exclusión de ciertos grupos se justifica técnicamente por la ausencia de microhábitats óptimos (sustratos) y la baja columna de agua que impide el flujo de energía necesario para sostener poblaciones de macrofitas o ensambles de mayor porte como los macroinvertebrados asociados a macrófitas.

En cumplimiento con la Metodología General del MADS, se aclara que la caracterización hidrobiológica no se limitó a una lista taxativa, sino que se adaptó a la oferta ambiental de cada unidad de análisis en este caso las Microcuencas presentes en el Área de influencia de Proyecto. En la **Tabla 3.3.3-1** se presenta en la matriz la representatividad por microcuenca y comunidad

(Perifiton, Fitoplancton, Zooplancton, Ictioplancton, Macroinvertebrados acuáticos, Peces y Macrófitas) efectivamente realizado con limitaciones técnicas en el caso de no realizarse.

El análisis de las comunidades de Fitoplancton, Zooplancton, Ictioplancton, Perifiton y Macroinvertebrados se realiza con el nivel taxonómico de Género, esto debido a que es la categoría taxonómica superior de mayor certeza en su determinación. Adicionalmente es importante señalar que, con el fin de lograr una adecuada homogeneización de la comunidad y minimizar sesgos en la determinación taxonómica, las morfoespecies corresponden a la agrupación de diferentes morfotipos determinados (Mf1, Mf2, Mf3…) usando como clasificación taxonómica la base de datos ITIS, the Integrated Taxonomic Information System, esta descripción en detalle fue abordada en el **Anexo 1.8_Metodologías.**

El capítulo de la Ictiofauna (peces), para efectos prácticos, se maneja de manera diferente a las otras comunidades hidrobiológicas, esto debido a la complejidad de la información y al tratamiento y manejo de esta que se hace siguiendo los lineamientos de fauna. Se describen y analizan las especies capturadas de acuerdo a la época de muestreo (seca y lluviosa), al Bioma (Altillanura o Llanura Inundable) y al tipo de cuerpo de agua (lénticos y lóticos) dentro de cada Microcuenca.

Tabla 3.3.3-1 Puntos de muestreo de aguas superficiales y comunidades hidrobiológicas muestreadas Bloque CPO-5

	Punto Id	Microcuenca	Sistema	Municipio	Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional		Comunidad Hidrobiológica Monitoreada													
					Este	Norte	Fitoplancton		Zooplancton Y/O Ictioplancton		Perifiton		Macroinvertebrados Bentónicos		Macroinvertebrados Asociados A Macrófitas		Macrofitas Acuáticas		Ictiofauna	
							Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
1	NEGRO_CL_01	BAJO RÍO NEGRO	Lótico	Puerto López	5.000.994,14	2..011.888,86			X		X	X	X	X			X	X	X	X
2	NEGRO_CL_02	BAJO RÍO NEGRO	Lótico	Puerto López	5.004.983,62	2.016.458,16			X		X	X	X	X			X	X	X	X
3	MADREVIEJA_NEGRO_02	BAJO RÍO NEGRO	Lótico	Puerto López	5.002.471,26	2.012.906,82	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
4	BANDERAS_CLE_01	CAÑO BANDERAS	Léntico	Puerto López	5.001.881,30	2.006.937,81	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
5	OCmn12	CAÑO BANDERAS	Lótico	Puerto López	5.003.270,72	2.006.901,50	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
6	OCmn13	CAÑO BANDERAS	Lótico	Puerto López	5.003.574,51	2.008.132,02			X		X	X	X	X			X	X	X	X
7	BARBASCOS_CL_01	CAÑO BARBASCOS	Lótico	Puerto López	5.045.746,45	2.011.879,70			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
8	ACEITE_CL_01	CAÑO EL ACEITE	Lotico	Puerto López	5.026.712,57	2.023.240,48			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
9	OCmn17	CAÑO EL ACEITE	Lotico	Puerto López	5.026.296,29	2.024.759,82			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
10	BORAL_CL_01	Caño El Boral	Lotico	Cabuyaro	5.001.759,78	2.028.080,00			X		X		X				X		X	
11	BORAL_CL_02	Caño El Boral	Lotico	Cabuyaro	5.004.914,17	2.025.457,39			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
12	BORAL_CL_03	Caño El Boral	Lotico	Cabuyaro	5.011.547,58	2.026.806,03			X		X		X				X		X	
13	PMASup_DS_11 (OC11)	Caño El Boral	Lótico	Cabuyaro	5.005.253,90	2.025.778,82			X		X		X				X		X	
14	PMASup_DS_13(OC13)	Caño El Boral	Lótico	Cabuyaro	5.000.542,97	2.025.874,99			X		X		X				X		X	
15	PMASup_DS_14(OC14)	Caño El Boral	Lótico	Cabuyaro	5.000.909,33	2.027.207,76			X		X		X				X		X	
16	PMASup_DS_15(OC15)	Caño El Boral	Lótico	Cabuyaro	5.000.686,69	2.028.416,07			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
17	PMASup_DS_17(OC17)	Caño El Boral	Lótico	Cabuyaro	5.000.907,22	2.029.542,43			X		X		X				X		X	
18	PMASup_DS_19(OC19)	Caño El Boral	Lótico	Cabuyaro	5.002.576,75	2.027.573,94			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
19	BORAL_CLE_01	Caño El Boral	Léntico	Cabuyaro	5.009.839,34	2.026.352,80	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
20	BORAL_CLE_02	Caño El Boral	Léntico	Cabuyaro	5.011.083,37	2.025.978,98	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
21	EL PASO_CL_01	CAÑO EL PASO	Lótico	Puerto López	5.010.917,88	2.005.956,14			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
22	TOTUMAL_CL_01	Caño El Totumal	Lótico	Cabuyaro	5.005.810,63	2.023.251,53			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
23	TOTUMAL_CLE_02	Caño El Totumal	Léntico	Cabuyaro	5.008.246,83	2.022.989,28	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
24	TOTUMAL_CLE_03	Caño El Totumal	Léntico	Cabuyaro	5.009.136,26	2.022.944,77	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
25	PMASup_DS_12(OC12)	Caño El Totumal	Lótico	Cabuyaro	5.004.392,34	2.024.565,52			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X

	Punto Id	Microcuenca	Sistema	Municipio	Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional		Comunidad Hidrobiológica Monitoreada													
					Este	Norte	Fitoplancton		Zooplancton Y/O Ictioplancton		Perifiton		Macroinvertebrados Bentónicos		Macroinvertebrados Asociados A Macrófitas		Macrofitas Acuáticas		Ictiofauna	
							Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
26	EMMA_CL_03*	CAÑO EMMA	Lótico	Puerto López	5.059.190,11	2.019.118,97			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
27	OCMY12	CAÑO EMMA	Lótico	Puerto López	5.042.156,63	2.016.833,15			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
28	OCMY13	CAÑO EMMA	Lótico	Puerto López	5.039.382,27	2.015.581,68			X		X	X	X	X			X	X	X	X
29	OCMY14	CAÑO EMMA	Lótico	Puerto López	5.038.594,34	2.015.832,19			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
30	OCMY15	CAÑO EMMA	Lótico	Puerto López	5.032.336,60	2.015.485,92			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
31	OCMY17	CAÑO EMMA	Lótico	Puerto López	5.026.651,51	2.013.047,46			X		X	X	X	X			X	X	X	X
32	GÜIO_CL_01	Caño Güio	Lotico	Cabuyaro	5.005.446,12	2.033.589,63			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
33	OCMY4 (GÜIO_CL_02)	Caño Güio	Lotico	Cabuyaro	5.010.648,40	2.032.076,38			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
34	GÜIO_CLE_01	Caño Güio	Léntico	Cabuyaro	5.008.699,26	2.033.418,64	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
35	GÜIO_CLE_02	Caño Güio	Léntico	Cabuyaro	5.009.329,12	2.032.903,35	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
36	IPAPA_CL_01	CAÑO IPAPA	Lótico	Puerto López	5.022.641,77	2.021.526,69			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
37	OCMY9	CAÑO IPAPA	Lotico	Puerto López	5.024.860,64	2.024.951,61			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
38	OCmn19	CAÑO LA LILBANA	Lótico	Puerto López	5.017.482,99	2.018.432,27			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
39	OCmn14	CAÑO LA VICTORIA	Lótico	Puerto López	5.042.119,76	2.028.150,14			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
40	OCmn15	CAÑO LA VICTORIA	Lótico	Puerto López	5.039.987,70	2.027.750,92			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
41	OCMY11	CAÑO LA VICTORIA	Lótico	Puerto López	5.045.024,21	2.030.120,42			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
42	MACAPAY_CL_01	CAÑO MACAPAY	Lótico	Puerto López	5.003.797,63	2.037.226,19			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
43	MACAPAY_CL_02	CAÑO MACAPAY	Lótico	Puerto López	5.009.196,30	2.037.884,07			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
44	MENEGUA_CLE_02	CAÑO MENEGUA	Léntico	Puerto López	5.007.363,51	2.003.946,87	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
45	MENEGUA_CL_02	CAÑO MENEGUA	Lótico	Puerto López	5.014.789,72	2.008.741,09			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
46	OCMY18	CAÑO MENEGUA	Lótico	Puerto López	5.020.913,92	2.010.020,04			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
47	NAVAJAS_SUR_CL_01	CAÑO NAVAJAS SUR	Lótico	Puerto López	5.008.810,82	1.994.873,63			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
48	NAVAJAS_SUR_CL_02	CAÑO NAVAJAS SUR	Lótico	Puerto López	5.005.825,37	2.001.569,.16			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X

	Punto Id	Microcuenca	Sistema	Municipio	Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional		Comunidad Hidrobiológica Monitoreada													
					Este	Norte	Fitoplancton		Zooplancton Y/O Ictioplancton		Perifiton		Macroinvertebrados Bentónicos		Macroinvertebrados Asociados A Macrófitas		Macrofitas Acuáticas		Ictiofauna	
							Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
49	NAVAJAS_SUR_CLE_01	CAÑO NAVAJAS SUR	Léntico	Puerto López	5.006.588,55	2.000.208,48	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
50	NAVAJITAS_CL_01	CAÑO NAVAJITAS	Lótico	Puerto López	5.013.470,81	1.999.327,00			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
51	NAVAJITAS_CL_02	CAÑO NAVAJITAS	Lótico	Puerto López	5.007.893,97	1.999.763,75			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
52	PIEDRA CANDELA_CL_01	PIEDRA CANDELA	Lótico	Puerto López	5.048.566,10	2.024.156,05			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
53	OCMY10	PIEDRA CANDELA	Lótico	Puerto López	5.049.347,40	2.030.513,86			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
54	OCmn1	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.024.308,83	2.031.108,48	X		X				X		X		X		X	
55	OCmn2	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.021.621,15	2.038.876,91			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
56	OCmn3	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.020.796,72	2.038.550,28			X		X		X				X		X	
57	OCmn11	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.020.088,04	2.038.130,22			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
58	OCMY1	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.024.401,79	2.030.849,97			X		X		X				X		X	
59	OCMY2	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.017.800,63	2.038.235,15			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
60	OCMY6	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.019.188,41	2.038.932,02			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
61	PIRIGUA_CL_02	CAÑO PIRIGUA	Lótico	Puerto López	5.019.897,95	2.037.525,33			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
62	PIRIGUA_CLE_01	CAÑO PIRIGUA	Léntico	Puerto López	5.022.884,86	2.037.074,35	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
63	PIRIGUA_CLE_02	CAÑO PIRIGUA	Léntico	Puerto López	5.023.004,15	2.036.858,11	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
64	SANTOYA_CL_01	CAÑO SANTOYA	Lótico	Puerto López	5.014.033,50	2.019.757,00			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
65	SANTOYA_CL_02	CAÑO SANTOYA	Lótico	Puerto López	5.014.909,51	2.022.044,33			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
66	SANTOYA_CLE_01	CAÑO SANTOYA	Léntico	Puerto López	5.019.214,19	2.025.833,38	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
67	SANTOYA_CLE_02	CAÑO SANTOYA	Léntico	Puerto López	5.020.738,38	2.025.533,19	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
68	VENTUROSA_CLE_01	CAÑO VENTUROSA	Léntico	Puerto López	4.996.426,51	2.002.131,52	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
69	VENTUROSA_CLE_02	CAÑO VENTUROSA	Léntico	Puerto López	5.003.960,83	2.011.181,81	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X

	Punto Id	Microcuenca	Sistema	Municipio	Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional		Comunidad Hidrobiológica Monitoreada													
					Este	Norte	Fitoplancton		Zooplancton Y/O Ictioplancton		Perifiton		Macroinvertebrados Bentónicos		Macroinvertebrados Asociados A Macrófitas		Macrofitas Acuáticas		Ictiofauna	
							Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
70	VENTUROSA_CLE_03	CAÑO VENTUROSA	Léntico	Puerto López	4.998.204,51	2.003.483,55	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
71	YARICO_CL_01	Caño Yarico	Lótico	Cabuyaro	4.998.558,07	2.034.219,27			X		X		X				X		X	
72	OCMY5 (YARICO_CL_02)	Caño Yarico	Lótico	Cabuyaro	5.007.326,03	2.027.982,84			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
73	YARICO_CL_03	Caño Yarico	Lótico	Cabuyaro	5.001.475,26	2.031.247,04			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
74	YARICO_CLE_01	Caño Yarico	Léntico	Cabuyaro	5.004.062,38	2.032.793,04	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
75	YARICO_CLE_02	Caño Yarico	Léntico	Cabuyaro	5.004.109,21	2.032.181,46	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
76	PMASup_DS_18(OC18)	Caño Yarico	Lótico	Cabuyaro	5.000.503,23	2.031.139,21			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
77	OCmn16	CAÑO YURIMENA	Lotico	Puerto López	5.034.254,63	2.022.753,15			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
78	OCmn18	CAÑO YURIMENA	Lótico	Puerto López	5.028.266,06	2.016.558,20			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
79	OCMY16	CAÑO YURIMENA	Lótico	Puerto López	5.030.085,21	2.020.402,80			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
80	YURIMENA_CL_03	CAÑO YURIMENA	Lotico	Puerto López	5.031.002,86	2.031.064,83			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
81	CABUYARITO_CL_01	RÍO CABUYARITO	Lotico	Puerto López	5.014.818,94	2.032.607,37			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
82	CABUYARITO_CL_02	RÍO CABUYARITO	Lotico	Puerto López	5.020.653,71	2.031.194,29			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
83	OCmn5	RÍO CABUYARITO	Lótico	Puerto López	5.010.248,35	2.034.271,88			X		X		X				X		X	
84	OCmn6	RÍO CABUYARITO	Lótico	Puerto López	5.010.043,91	2.034.863,82			X		X		X				X		X	
85	OCmn7	RÍO CABUYARITO	Lótico	Puerto López	5.009.938,37	2.035.363,64			X		X		X				X		X	
86	OCmn8	RÍO CABUYARITO	Lótico	Puerto López	5.009.473,08	2.036.682,16			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
87	OCmn9	RÍO CABUYARITO	Lótico	Puerto López	5.013.995,67	2.034.453,98			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
88	OCmn10	RÍO CABUYARITO	Lótico	Puerto López	5.011.688,75	2.036.942,04			X		X		X				X		X	
89	HUMEA_CL_01A	Río Humea	Lótico	Cabuyaro	5.000.460,60	2.019.120,19			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
90	MADREVIEJA_HUMEA_01	Río Humea	Léntico	Cabuyaro	5.002.597,18	2.019.675,37	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
91	MADREVIEJA_HUMEA_02	Río Humea	Léntico	Cabuyaro	5.001.572,25	2.020.511,45	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
92	META_CL_01A	RÍO META	Lótico	Puerto López	5.022.983,45	2.031.024,15			X		X	X	X	X			X	X	X	X
93	META_CL_02	RÍO META	Lotico	Puerto López	5.059.485,38	2.035.400,40			X		X	X	X	X			X	X	X	X
94	META_CL_03	RÍO META	Lótico	Puerto López	5.024.514,96	2.029.029,98			X		X	X	X	X			X	X	X	X

	Punto Id	Microcuenca	Sistema	Municipio	Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional		Comunidad Hidrobiológica Monitoreada													
					Este	Norte	Fitoplancton		Zooplancton Y/O Ictioplancton		Perifiton		Macroinvertebrados Bentónicos		Macroinvertebrados Asociados A Macrófitas		Macrofitas Acuáticas		Ictiofauna	
							Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
95	META_CLE_01	RÍO META	Léntico	Puerto López	5.011.481,86	2.020.426,71	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
96	MADREVIEJA META_01	RÍO META	Lótico	Puerto López	5.025.912,31	2.028.345,01	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
97	MADREVIEJA META_02	RÍO META	Lentico	Puerto López	5.029.062,99	2.027.296,34	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
98	OCmn4	RÍO META(Drenajes directos al río Meta)	Lótico	Puerto López	5.011.403,09	2.030.473,08			X		X		X				X		X	
99	OCMY7	RÍO META(Drenajes directos al río Meta)	Lótico	Puerto López	5.024.309,84	2.027.381,66			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
100	METICA_CL_01	RÍO METICA	Lótico	Puerto López	5.009.108,16	2.016.087,36			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
101	METICA_CL_02	RÍO METICA	Lótico	Puerto López	5.007.067,35	2.011.281,45			X		X	X	X	X			X	X	X	X
102	METICA_CL_03	RÍO METICA	Lótico	Puerto López	5.001.509,10	1.998.431,04			X		X	X	X	X			X	X	X	X
103	UPIA_CL_01*	RÍO UPIA	Lótico	Puerto López	5.020.810,44*	2.044.509,38*			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
104	UPIA_CL_02*	RÍO UPIA	Lótico	Puerto López	5.025.850,17*	2.036.167,82*			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
105	YUCAO_CL_01*	RÍO YUCAO	Lótico	Puerto López	5.027.604,97	2.004.005,24			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
106	YUCAO_CL_02*	RÍO YUCAO	Lótico	Puerto López	5.040.081,64	2.004.349,16			X	X	X		X	X			X	X	X	X

	Punto Seco en temporada de bajas precipitaciones (enero de 2025)
	Punto de monitoreo no efectivo debido a que el propietario del predio no permitió el acceso al mismo. El cuerpo de agua es inaccesible debido a las condiciones del mismo
(*)	La ubicación de los puntos de monitoreo con ID_PUNTO_M "UPIA_CL_01", y "UPIA_CL_02", corresponde al límite del drenaje doble (Río Upía), "EMMA_CL_03", corresponde a la margen interna del lecho seco del caño Emma; "YUCAO_CL_01" y "YUCAO_CL_02", corresponde al límite del drenaje doble (Río Yucao); que a su vez delimita el área de influencia físico-biótica del Bloque CPO-5 en este sector; sin embargo, las coordenadas de estos puntos expuestas en el documento y GDB, se diferencian de las coordenadas presentadas por el laboratorio en los anexos de calidad de aguas (1_Informe_Lab, 2_Reportes_Lab, y, 3_Soportes_campo), debido a posibles errores en navegación de GPS, así como condiciones particulares en la fecha de la toma de la muestra.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En el capítulo de caracterización físico química de las aguas superficiales del proyecto (Numeral 3.2.5.1.3) se describen las principales características morfológicas e hidrológicas de los puntos de monitoreo de calidad de agua a analizar durante las dos épocas hidroclimáticas caracterizadas, los puntos están agrupados por microcuenca hidrográfica.

A continuación de desarrolla el informe de caracterización de las comunidades hidrobiológicas por Microcuenca hidrográfica en el que se puede apreciar que se describen los ecosistemas acuáticos por temporada hidroclimática (seca y de lluvias) y se hace descripción de la diversidad alfa al terminar cada comunidad en cada Microcuenca y cada época climática. La diversidad beta se detalla en el numeral 3.1.1.2.30.

El capítulo de la Ictiofauna (numeral 3.1.1.2.29), para efectos prácticos, se maneja de manera diferente y separada de las otras comunidades hidrobiológicas, esto debido a la complejidad de la información y al tratamiento y manejo de esta que se hace siguiendo los lineamientos de fauna. Se describen y analizan las especies capturadas de acuerdo a la época de muestreo (seca y lluviosa), al Bioma (Altillanura o Llanura Inundable) y al tipo de cuerpo de agua (lénticos y lóticos) dentro de cada Microcuenca.

Después de la caracterización de todas las comunidades hidrobiológicas dentro de las cuales se analizó también la Diversidad Alfa mediante índices de diversidad, en el numeral 3.1.1.2.30 se realizar el análisis de la Diversidad Beta, que se refiere a la variación en la composición de especies entre diferentes comunidades o hábitats dentro de un paisaje, midiendo cómo cambia la biodiversidad de un sitio a otro, ya sea por diferencias ambientales, espaciales o temporales, cuantificando la heterogeneidad biológica entre áreas, por comunidad hidrobiológica, por época hidroclimática y por tipo de sistema (cuerpos de agua lenticos y cuerpos de agua lóticos).

Seguidamente, en el numeral 3.1.1.2.31, se hace el análisis de los Índices de Calidad Ecológica (ICE) y finalmente se presentan conclusiones por comunidad y en época hidroclimática.

Es importante hacer las siguientes aclaraciones respeto a la selección de los puntos de muestreo:

La caracterización fisicoquímica e hidrobiológica del drenaje denominado Caño Navajas Sur se adelantó con base en los monitoreos de calidad de aguas realizados en temporada de lluvia (julio 2024) y temporada seca (enero 2025). Dentro del presente análisis se contempla el drenaje principal "Caño Navajas Sur" teniendo en cuenta su recorrido y espacialidad. Dado lo anterior desde el punto de vista fisicoquímico e hidrobiológico la caracterización se realiza tomando aguas arriba (NAVAJAS_SUR_CL_01), aguas medias (NAVAJAS_SUR_CLE_01, que corresponde a un cuerpo de agua lentico tipo laguna), y aguas abajo (NAVAJAS_SUR_CL_02).

La selección de los puntos de la campaña de monitoreo de calidad de agua del presente EIA para la modificación de licencia del Bloque CPO-5 responde a los criterios técnicos y normativos del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua (IDEAM, 20211[1]), y la Metodología General para

[1] IDEAM, INVEMAR (2021). Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá, D.C., 2021. 631 páginas

la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales - MGEPEA (Resolución 1402 del 25 de julio de 2018 del MADS - ANLA). Por lo anterior, se generó una red de puntos de monitoreo que cubre las 28 microcuencas más representativas de las subzonas hidrográficas del área de influencia físico-biótica del proyecto. Las microcuencas monitoreadas fueron seleccionadas por su representatividad hidrológica considerando el porcentaje del área de la microcuenca al interior del AI físico-biótica del proyecto, así como la influencia potencial de las actividades proyectadas en el Bloque CPO-5, incluyendo la solicitud de uso y aprovechamiento de recursos como franjas de captación de agua superficial y permiso de ocupaciones de cauce.

Los puntos de monitoreo se encuentran distribuidos a lo largo del gradiente de cada microcuenca (alta, media y baja), siguiendo los patrones de drenaje locales de las microcuencas seleccionadas (Dendrítico con cauces meándricos, presencia de drenajes canalizados, meándrico, dendrítico, y pinnado); de esta manera, se ubicaron puntos de monitoreo a lo largo del drenaje principal de las microcuencas representativas, además de tramos típicos de los cuerpos de agua principales en la microcuenca, por ejemplo, en el caño Menegua, se ubicaron puntos aguas arriba donde inicia el drenaje dendrítico, en zonas de meandros abandonados (Madrevieja y Pantano), y en cauces en planicie aluvial. Esto con el fin de reforzar la representatividad hidrológica de las microcuencas, ya que, de esta forma, se logra caracterizar la influencia del relieve y la erosión en las muestras de agua obteniendo una información hidrológica completa.

Los puntos seleccionados representan los principales ecosistemas acuáticos del área de influencia (sistemas lóticos y sistemas lénticos). En cada microcuenca se ubicaron puntos de monitoreo en ríos y caños (sistemas de corriente rápida), así como en cuerpos de agua lénticos donde el movimiento/ flujo de agua es casi nulo (Madreviejas, lagunas y pantanos); esto garantiza una representatividad ecológica dentro del análisis de calidad de agua, donde se monitorean los sistemas lóticos principales, y los cuerpos de agua lénticos asociados a estos.

Es importante señalar que dentro de la red de puntos de muestreo, se encuentran puntos que monitorearon la calidad de agua de las franjas de captación autorizadas por la Resolución 600 de 2012 (CAP_03: METICA_CL_01, CAP_07: CABUYARITO_CL_01, y CAP_12: YUCAO_CL_02) y de la Resolución 1690 de 2015 (CAP_05: BORAL_CL_02, y CAP_06: OCMY5, de las cuales se está solicitando actualización de las coordenadas en el sentido de ajustar las coordenadas de acuerdo con la actualización de la cartografía y la operatividad de la captación, y las nuevas solicitudes (CAP_01: METICA_CL_03, CAP_02: METICA_CL_02, CAP_08: META_CL_01A, CAP_09 y CAP_10: META_CL_03, CAP_11: META_CL_02).

Así mismo, se encuentran puntos de monitoreo en las ocupaciones de cauce que son objeto de solicitud en la presente modificación de licencia (OCMY1, OCMY2, OCMY4, OCMY5, OCMY6, OCMY7, OCMY9, OCMY10, OCMY11, OCMY12, OCMY13, OCMY14, OCMY15, OCMY16, OCMY17, OCMY18, OCmn2, OCmn3, OCmn4, OCmn5, OCmn6, OCmn7, OCmn8, OCmn9, OCmn10, OCmn11, OCmn12, OCmn13, Ocmn14, Ocmn14, Ocmn15, Ocmn16, Ocmn17, Ocmn18, Ocmn19).

3.3.3.2.1 Microcuenca Bajo río Negro

El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en la Microcuenca del caño Bajo río Negro, ubicada en el municipio de Puerto López, Meta (Colombia), se desarrolló con el propósito de caracterizar la estructura ecológica de los ecosistemas acuáticos presentes en el Área de influencia del Bloque CPO-5. El estudio se llevó a cabo en tres puntos de muestreo: dos ambientes lóticos (NEGRO_CL_01 y NEGRO_CL_02) y un ambiente léntico (MADREVIEJA_NEGRO_02) (**Figura 3.3.3-2**), lo que permitió evaluar la biodiversidad y el estado ecológico en diferentes tipos de cuerpos de agua. La Microcuenca del río Negro hace parte del sistema hidrográfico del río Meta y se caracteriza por presentar una red de drenaje densa, suelos de origen aluvial y una alta productividad biológica, siendo además influenciada por la dinámica estacional de las lluvias y las crecientes, que determinan la conectividad entre caños, madreviejas y zonas inundables (IDEAM, 2014; Rangel-Ch, 2015). Estas condiciones hacen del Bajo río Negro un área clave para la conservación de la biodiversidad acuática y la evaluación de la calidad ecológica mediante bioindicadores, especialmente en el contexto de posibles presiones antrópicas derivadas del uso del suelo y actividades agropecuarias.

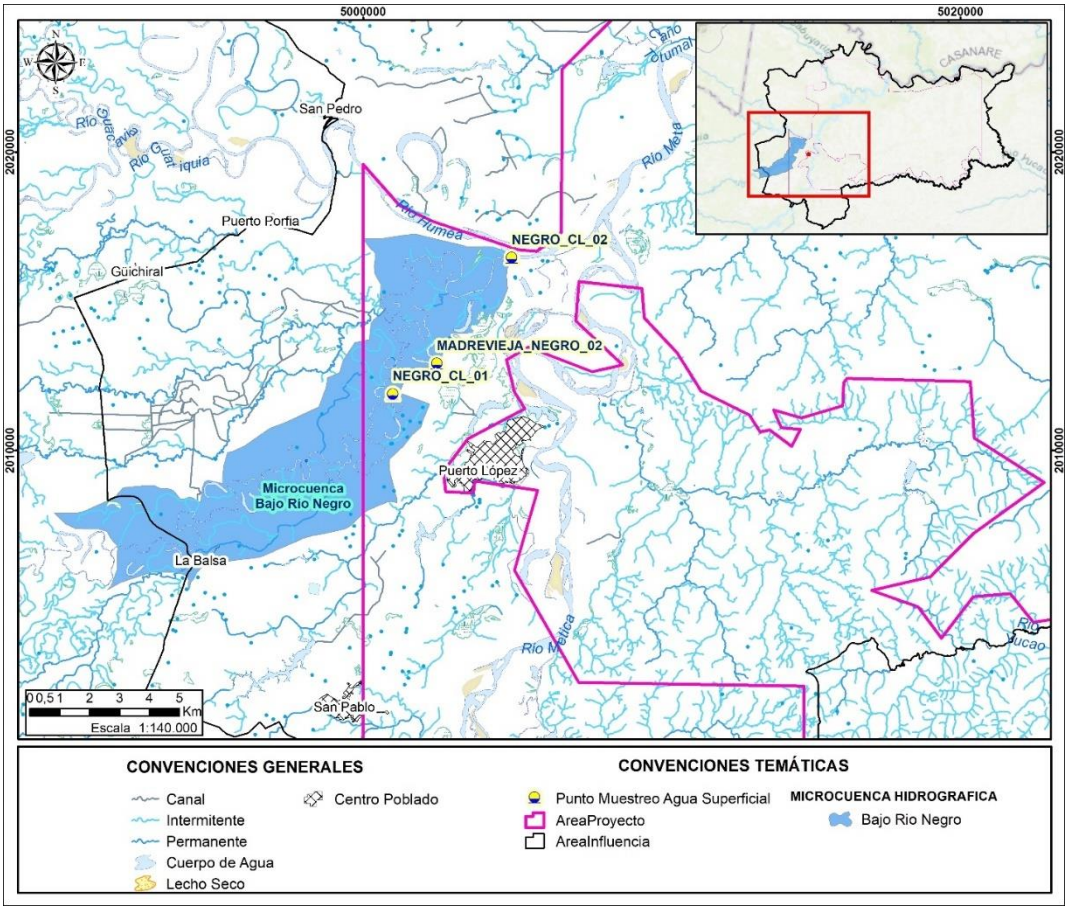


Figura 3.3.3-2 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca Bajo río Negro

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del Bajo río Negro, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

La comunidad del fitoplancton está formada por los productores primarios del plancton o microalgas presentes en la columna de agua; son organismos microscópicos que flotan en el agua según sea su movimiento (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008). Su taxonomía reúne cinco phylas principales, los cuales se encuentran en el fitoplancton y en el perifiton.

El phylum Heterokontophyta está compuesto por algas conocidas también como diatomeas, son organismos unicelulares y se pueden encontrar formando una sola unidad o de forma filamentosa (Bicudo & Menezes, 2006). Las Cyanobacterias son organismos unicelulares y pluricelulares, predominando en estos últimos las formas filamentosas. Pueden considerarse como poseedoras de un amplio rango de tolerancia a muchos factores (Bicudo & Menezes, 2006), pues se encuentran distribuidas en todos los biotopos del ecosistema acuático.

Las Chlorophytas son conocidas como algas verdes, constituyen un grupo muy amplio y variado, debido a su alta tolerancia muchas son consideradas indicadoras de contaminación (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008). Otro grupo principal es Charophyta, cuyos representantes a pesar de ser algas verdes, se clasifican aparte por su similitud con las plantas terrestres y por la formación de sus estructuras reproductivas (Timme et al., 2012).

El phylum Euglenophycota está conformado por algas unicelulares coloniales que habitan aguas dulces temporales con altos niveles de materia orgánica, tienen dos filamentos caudales o flagelos los cuales los utilizan para su locomoción (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008).

El ensamble ecológico de la comunidad fitoplanctónica estudiada en el ecosistema léntico "Madrevieja_Negro_02", perteneciente a la Microcuenca del Río Negro y presente en la llanura inundable, reportando una abundancia total de 0.465 Ind/mL, distribuida entre 12 taxones identificados a nivel de género (**Figura 3.3.3-3**). La comunidad está representada por organismos de los filos Euglenophyta (con la clase Euglenophyceae), Heterokontophyta (con las clases Bacillariophyceae y Coscinodiscophyceae), Cyanobacteria y Charophyta, lo que indica una diversidad moderada en términos de grupos taxonómicos. Entre los géneros más abundantes destacan *Pinnularia* (0.104 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (22,4%), *Achnanthes* (0.072 Ind/mL) y un porcentaje (15,5%) (**Figura 3.3.3-3**) y *Trachelomonas* (0.055 Ind/mL) y

abundancia relativa (11,8%) (**Figura 3.3.3-3**), mientras que géneros como *Navicula* (0.003 Ind/mL) y *Mougeotia* (0.006 Ind/mL) presentan una presencia menor y un menor porcentaje (**Figura 3.3.3-3**). Esta distribución sugiere condiciones ambientales específicas, como una posible influencia de nutrientes y luz, típicas de sistemas lénticos en época seca.

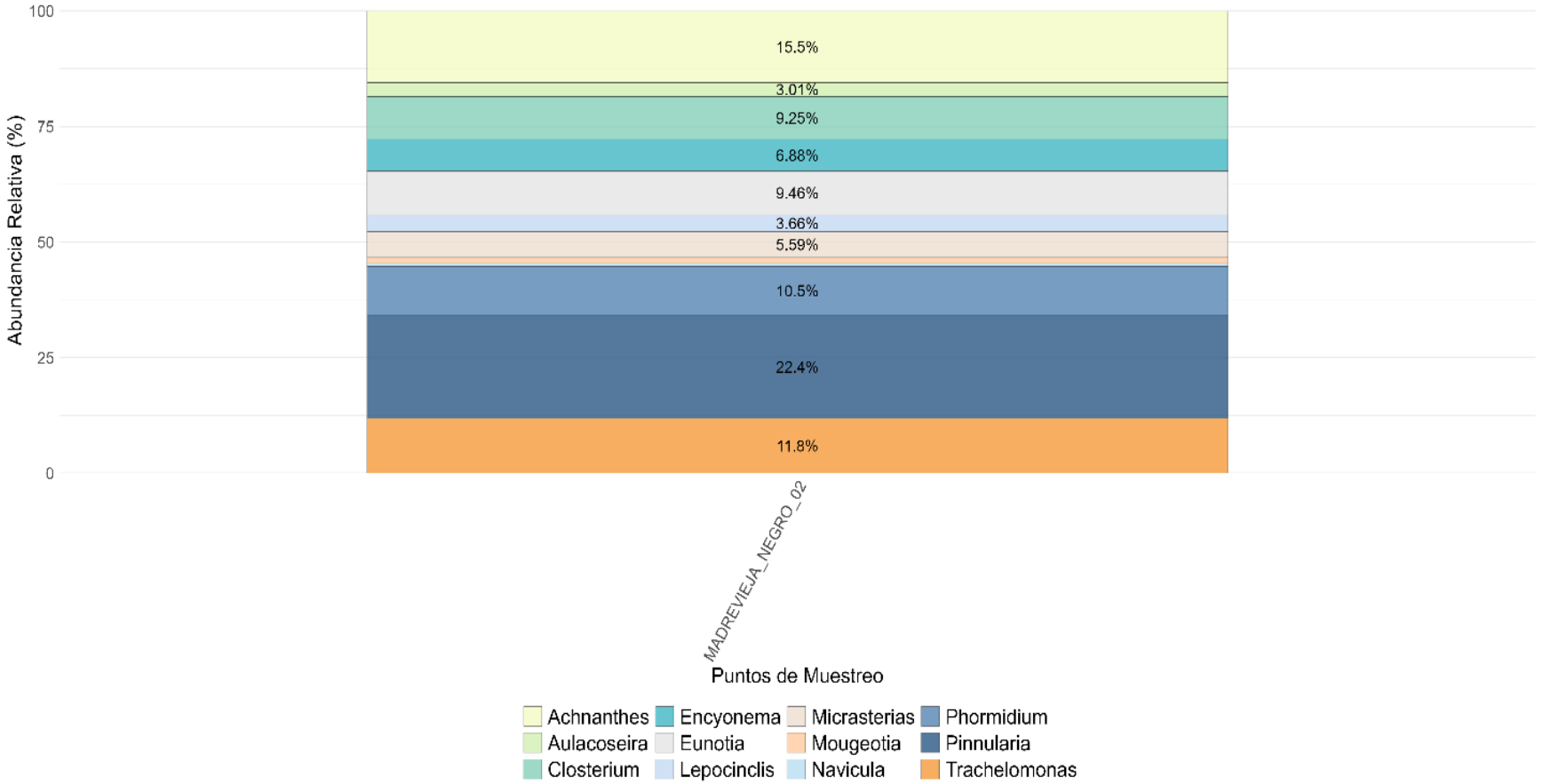


Figura 3.3.3-3 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la bioindicación, se puede mencionar que la presencia de Bacillariophyceae (*Pinnularia, Achnanthes*) sugiere aguas con baja a moderada contaminación orgánica, típicas de sistemas lénticos bien oxigenados (Round et al., The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera, 1990). Por otro lado, los Euglenophyta (*Trachelomonas, Lepocinclis*) pueden indicar enriquecimiento de materia orgánica, aunque su baja abundancia aquí no señala eutrofización severa (Palmer, 1969). La escasa representación de Cyanobacteria (*Phormidium*, 0.049 Ind/mL) sugiere ausencia de floraciones algales, coincidiendo con condiciones de luz o nutrientes no limitantes (Paerl & Huisman, 2008). Los Charophyta (*Closterium, Micrasterias*), sensibles a cambios químicos, apoyan la idea de estabilidad en este sistema (Coesel & Meesters, Desmids of the Lowlands, 2007).

El estado ecológico del sistema puede clasificarse como moderado, con características tanto de ambientes preservados como de aquellos sujetos a presiones naturales propias de la época seca como por ejemplo reducción de flujo, aumento de temperatura. La interacción entre este ecosistema léntico, los sistemas lóticos y los terrestres circundantes es clave. Ya que el ecosistema lentico como el madrevieja actúan como refugio de biodiversidad durante la sequía, mientras que los sistemas lóticos facilitan la dispersión de especies y nutrientes en épocas de creciente (Wantzen K. M. et al., 2008). La conexión con ecosistemas terrestres aporta materia orgánica y sedimentos, modulando la productividad fitoplanctónica (Vannote et al., The river continuum concept, 1980).

En conclusión, la comunidad fitoplanctónica analizada en el punto de muestreo "Madrevieja_Negro_02" refleja un ecosistema léntico con condiciones ecológicas moderadas, donde se evidencia una clara influencia de los procesos hidrológicos y terrestres característicos de la Microcuenca del Río Negro. No obstante, es fundamental considerar que los resultados obtenidos representan únicamente las condiciones particulares de este sitio específico durante el periodo de muestreo. Como señalan (Wetzel R. G., 2001) y (Reynolds, 2006), es importante tener muestreos más amplios que permitan evaluar la variabilidad natural de estos ecosistemas. Por lo tanto, las conclusiones presentadas deben interpretarse como características puntuales de este ambiente particular.

Tabla 3.3.3-2 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo río negro
				Punto muestreo	Madrevieja_negro_02
				Genero	Abundancia (ind/ml)
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,055
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,017
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,104
			Naviculaceae	*Navicula*	0,003
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,044
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*	0,032
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	0,072
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,014
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*	0,049

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo río negro
				Punto muestreo	Madrevieja_negro_02
				Genero	Abundancia (ind/ml)
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,043
			Desmidiaceae	*Micrasterias*	0,026
		Zygnematales	Zygnemataceae	*Mougeotia*	0,006
Gran Total Microcuenca (Ind/mL)					**0,465**
Total géneros					**12**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad del punto MADREVIEJA_NEGRO_02 muestran características ecológicas destacables para la comunidad fitoplanctónica. Se registra una abundancia de (0.465 Ind/mL) acompañada de una riqueza específica media-alta de (12 géneros), lo que sugiere condiciones ambientales favorables para el desarrollo del fitoplancton. El índice de Shannon (2.294) indica una diversidad elevada, complementado por un valor particularmente bajo de Simpson (0.122) que revela una mínima dominancia de especies particulares. Este patrón se ve reforzado por el alto índice de Pielou (0.923) (**Tabla 3.3.3-3**), que demuestra una distribución notablemente equitativa entre los géneros presentes. En conjunto, estos parámetros describen un ambiente acuático bien conservado, con alta productividad fitoplanctónica y una estructura comunitaria diversa y equilibrada, características típicas de ecosistemas con buena calidad ecológica y disponibilidad adecuada de nutrientes sin llegar a estados de eutrofización.

Sin embargo, es fundamental reconocer que este análisis, basado en un único punto de muestreo, presenta limitaciones significativas para extrapolar conclusiones sobre el estado ecológico de toda la Microcuenca. La comunidad fitoplanctónica exhiben naturalmente variabilidad espacial debido a diferencias en profundidad, aportes de nutrientes, exposición solar y otros factores microambientales. Un solo muestreo no puede capturar esta heterogeneidad, impidiendo determinar si las condiciones observadas son representativas del sistema completo o corresponden a un microhábitat particularmente favorable. Los datos actuales, aunque alentadores en cuanto a la calidad del punto muestreado, solo permiten afirmar que existe al menos un sector de la Microcuenca en excelente estado ecológico, pero no son suficientes para calificar el sistema en su conjunto.

Tabla 3.3.3-3 Índices Ecológicos e la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) caño Bajo río Negro época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_NEGRO_02	0.465	12	2.294	0.122	0.923

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

La comunidad zooplanctónica juega un papel crucial en el ecosistema acuático y en los sistemas lóticos, debido a que sus individuos cumplen funciones como el control de la población de

fitoplancton, ya que al alimentarse de estos individuos regulan su crecimiento y evita la proliferación excesiva (Wetzel R. G., 2001), así mismo, es fuente de alimento para peces, crustáceos y otros animales acuáticos (Hynes, 1970), otra función importante es que el zooplancton ayuda a reciclar nutrientes como nitrógeno y fosforo en el ciclo de los nutrientes, cuando consume fitoplancton y excreta los nutrientes (Reynolds, 2006) y también es un indicador de calidad de aguas, sin embargo, la indicación se debe analizar dependiendo de la de riqueza y abundancia (Sládeček, 1983).

El comportamiento de esta comunidad en cuerpos loticos se caracteriza por realizar migraciones verticales en la columna de agua y esto se da en respuesta a la luz y la temperatura y así mismo a la disponibilidad de alimento (Cushing, 1990), en cuanto a la distribución longitudinal puede variar a lo largo de los sistemas lóticos, con diferentes especies dominantes y en diferentes tramos (Ward, Aquatic Insect Ecology, 1992), los ciclos diarios llegan a mostrar patrones de actividad, como la migración vertical o la alimentación así mismo en respuesta de la luz y la temperatura (Gliwicz, 1986).

En cuanto a la temporada seca se puede mencionar que la comunidad se ve afectada tanto en su diversidad y riqueza debido a que los cambios en la dinámica de estos ecosistemas afectan de manera directa ciertas especies que no logra sobrevivir en condiciones de baja disponibilidad de nutrientes y de agua (Ward & Stanford, 1983), lo mencionado anteriormente da como respuesta la disminución en la tasa reproductiva de estas especies (Gliwicz, 1986).

El ensamble ecológico para esta comunidad en el sistema léntico "Madrevieja_Negro_02", ubicado en la Microcuenca baja del Río Negro y presente en la llanura inundable, presenta una abundancia total extremadamente baja (0.0089 Ind/mL), representada por solo dos taxones del filo *Amoebozoa*, *Arcella* (Arcellidae) con 0.0059 Ind/mL y una representatividad del (66,3%) (**Figura 3.3.3-4**) y *Difflugia* (Difflugiidae) con 0.003 Ind/mL y una representatividad del (33,7%) (**Figura 3.3.3-4**). Esta comunidad notablemente reducida, compuesta exclusivamente por protozoos testados del orden Arcellinida, sugiere condiciones ambientales particulares propias de la época seca en sistemas lénticos tropicales (Payne et al., 2016).

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de Arcellinida como organismos dominantes es particularmente reveladora. Según estudios de (Roe & Patterson, 2014), estos protozoos tecados son conocidos por su tolerancia a condiciones fluctuantes de oxígeno y su asociación con sedimentos ricos en materia orgánica en descomposición. La baja diversidad y abundancia podrían indicar. Es un ambiente con limitada disponibilidad de recursos para microcrustáceos y rotíferos típicos del zooplancton, o el ecosistema tiene condiciones químicas propias de los ecosistemas de altillanura como pH bajo o alta concentración de taninos comunes en estos ecosistemas (Ferreira M. J., 2020). La ausencia total de rotíferos y microcrustáceos, grupos usualmente dominantes en zooplancton léntico, refuerza la hipótesis de un ambiente extremo durante este periodo seco, sin perder la característica que este reporta las morfoespecies características de un ecosistema madrevieja en una altillanura.

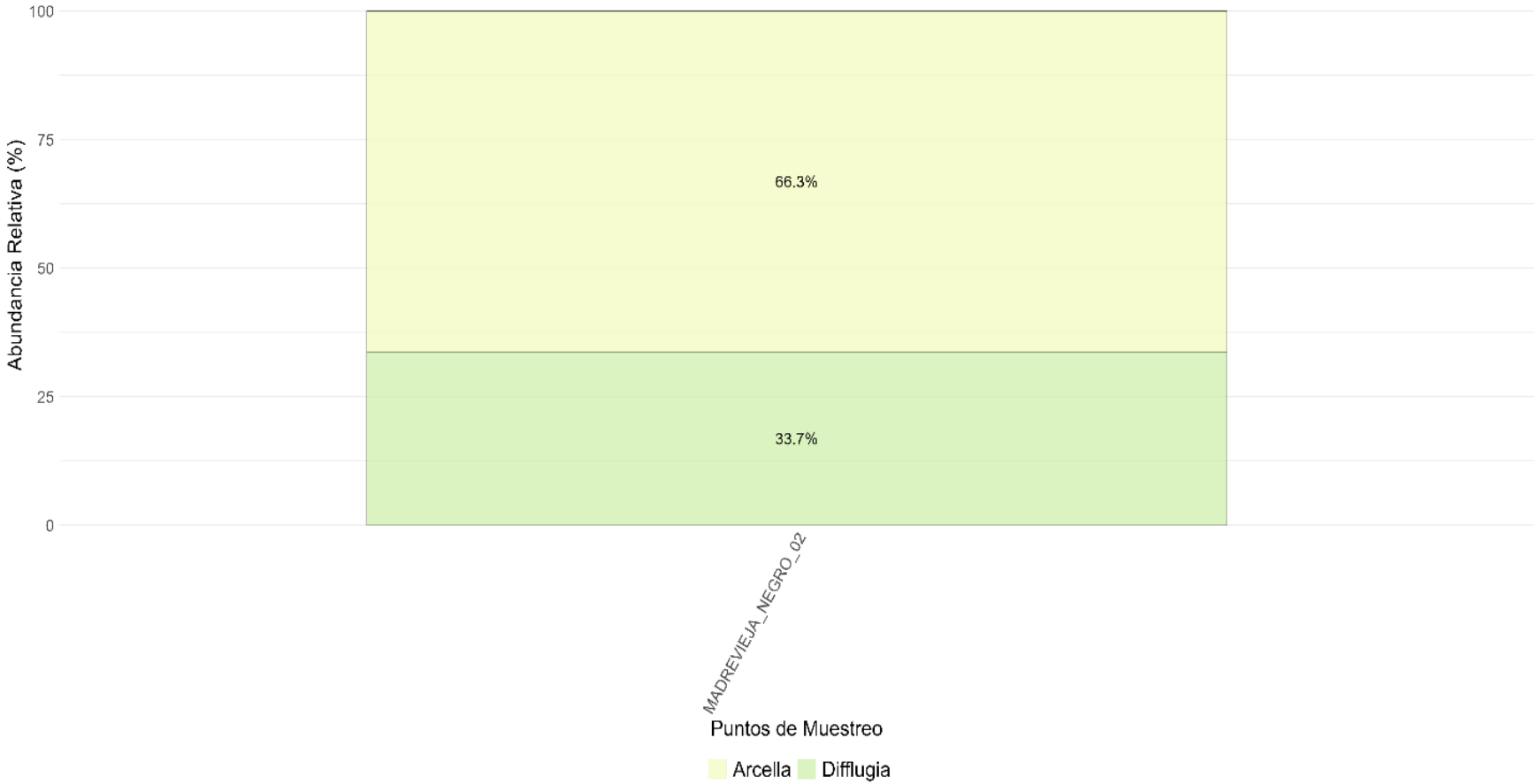


Figura 3.3.3-4 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El estado ecológico del sistema podría clasificarse como altamente perturbado durante la época de muestreo, considerando la drástica reducción en abundancia y diversidad zooplanctónica. Sin embargo, es crucial contextualizar estos hallazgos dentro de la dinámica natural de las madreviejas tropicales. Como señala (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013), estos sistemas experimentan fluctuaciones extremas entre épocas secas y húmedas, donde la conectividad con el río principal (sistema lótico) juega un papel fundamental en el reclutamiento de especies. La ausencia de zooplancton tradicional sugiere que este punto específico podría estar aislado hidrológicamente durante la sequía, limitando el intercambio biótico.

La interacción de este sistema léntico, el Río Negro (lótico) y los ecosistemas terrestres circundantes explica parcialmente estas observaciones. La escorrentía terrestre durante la época seca es mínima, reduciendo el aporte de nutrientes y materia orgánica particulada que sustenta redes tróficas complejas (Vannote et al., 1980). Simultáneamente, la desconexión temporal del río limita el ingreso de especies zooplanctónicas más diversas, creando condiciones donde solo organismos altamente especializados como *Arcella* y *Difflugia* persisten.

El zooplancton estudiado muestra condiciones críticas en la época seca, con predominio de protozoos como *Arcella* y ausencia de los grupos habituales como rotíferos y microcrustáceos. Sin embargo, estos datos corresponden solo a un momento específico en un sistema que varía naturalmente dependiendo a la temporada climática.

Tabla 3.3.3-4 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo río negro
				Punto muestreo	Madrevieja_negro_02
				Género	Abundancia (ind/ml)
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0059
			Difflugiidae	*Difflugia*	0,003
Gran Total (Ind/mL)					**0,0089**
TOTAL GÉNEROS					**2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Es importante mencionar que, aunque autores como (Magurran A. E., 2004) y (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001) señalan que un análisis estadístico básico puede realizarse con un mínimo de tres morfoespecies, en este caso no se aplicaron índices ecológicos debido a la baja abundancia muestral. Esto se debe a que, bajo tales condiciones, los resultados carecerían de robustez estadística, imposibilitando la obtención de conclusiones confiables o precisas.

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores

ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

- ✓ *Perifíton*

  - Composición y Estructura de la comunidad

Esta comunidad se caracteriza por estar constituida de microalgas adheridas a sustratos duros como piedras, troncos, raíces u otros, las cuales se encuentran favorecidas en la Microcuenca baja de quebradas y ríos por el mayor establecimiento de vegetación ribereña acuática y semiacuática. Esta comunidad ha sido asociada directamente con el grado de contaminación orgánica de las aguas, por lo tanto sistemas con características oligosaprobias se encuentra ligado con un buen desarrollo de la comunidad indicando aguas limpias; en contraste los sistemas con características mesosaprobias se encontrará asociado con baja presencia de algas y abundancia de ciliados indicando aguas medianamente contaminadas, y finalmente, sistemas con características polisaprobias presentaran predominancia de bacterias indicando aguas muy contaminadas (Ramírez & Viña , 1998).

En cuanto a los factores que inciden en el desarrollo del perifiton, se pueden mencionar tanto el tipo de sistema acuático (lentico o lotico), disponibilidad de luz, transparencia y turbidez; tipo de sustrato (condición del mismo, localización, profundidad, tipo y disponibilidad); aspectos físicos del cuerpo de agua corrientes y velocidad; pH, alcalinidad y dureza; nutrientes y elementos (nitrógeno, fósforo, sílice, carbono, etc.); y otras variables fundamentales como la temperatura, salinidad, oxígeno y CO_2 (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008).

El ensamblaje ecológico del perifiton en el sistema lótico de altillanura durante la época seca, reporta la dominancia del grupo de las diatomeas (Heterokontophyta) y algas verdes (Chlorophyta y Charophyta), grupos frecuentemente asociados a ambientes fluviales bien oxigenados y con moderada disponibilidad de nutrientes (Bicudo & Menezes, 2006) (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). Las estaciones de muestreo, NEGRO_CL_01 reporto una abundancia total (162.7 ind/cm²) y una riqueza de 10 géneros y NEGRO_CL_02 reporta una abundancia total (50.7 ind/cm²) con una riqueza total de seis géneros (**Tabla 3.3.3-5**), pertenecen a la Microcuenca río Negro y presente en la llanura inundable, estas diferencias en abundancia y riqueza posiblemente están relacionadas con variaciones en el flujo hídrico,

disponibilidad lumínica o aportes de materia orgánica (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007).
La riqueza de morfoespecies incluye géneros bioindicadores como *Pinnularia* (39.9 ind/cm²) con un porcentaje de abundancia de (24.5%) y *Stauroneis* (10.7 ind/cm²) y un porcentaje de abundancia de (6.58%) (**Tabla 3.3.3-5**) (**Figura 3.3.3-5**), diatomeas pennadas típicas de aguas limpias y poco eutrofizadas (Round et al., 1990). *Cosmarium* (41.4 ind/cm²) y *Euastrum* (10.8 ind/cm²) con abundancias totales para la Microcuenca (**Tabla 3.3.3-5**), desmidias asociadas a aguas blandas y bajas concentraciones de nutrientes (Coesel & Meesters, 2007). *Nitzschia* (34.7 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-5**), un género tolerante a condiciones variables, que puede indicar alteraciones en la calidad del agua (Potapova & Charles, 2007) y *Aulacoseira* (18.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-5**), común en sistemas lóticos con mezcla turbulenta (Spaulding & Edlund, 2008).

La interacción entre estos géneros sugiere una partición de nichos, donde las diatomeas dominan en sustratos estables, mientras que las algas verdes (*Scenedesmus*, 19 ind/cm²; *Pectinodesmus*, 3.9 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-5**) pueden reflejar aportes desde sistemas lénticos adyacentes (Reynolds, 2006). Esta dinámica resalta la conectividad entre sistemas lóticos y lénticos, donde el transporte pasivo de especies y la deposición de materia orgánica terrestre influyen en la estructura del perifiton (Wetzel R. G., 2001).

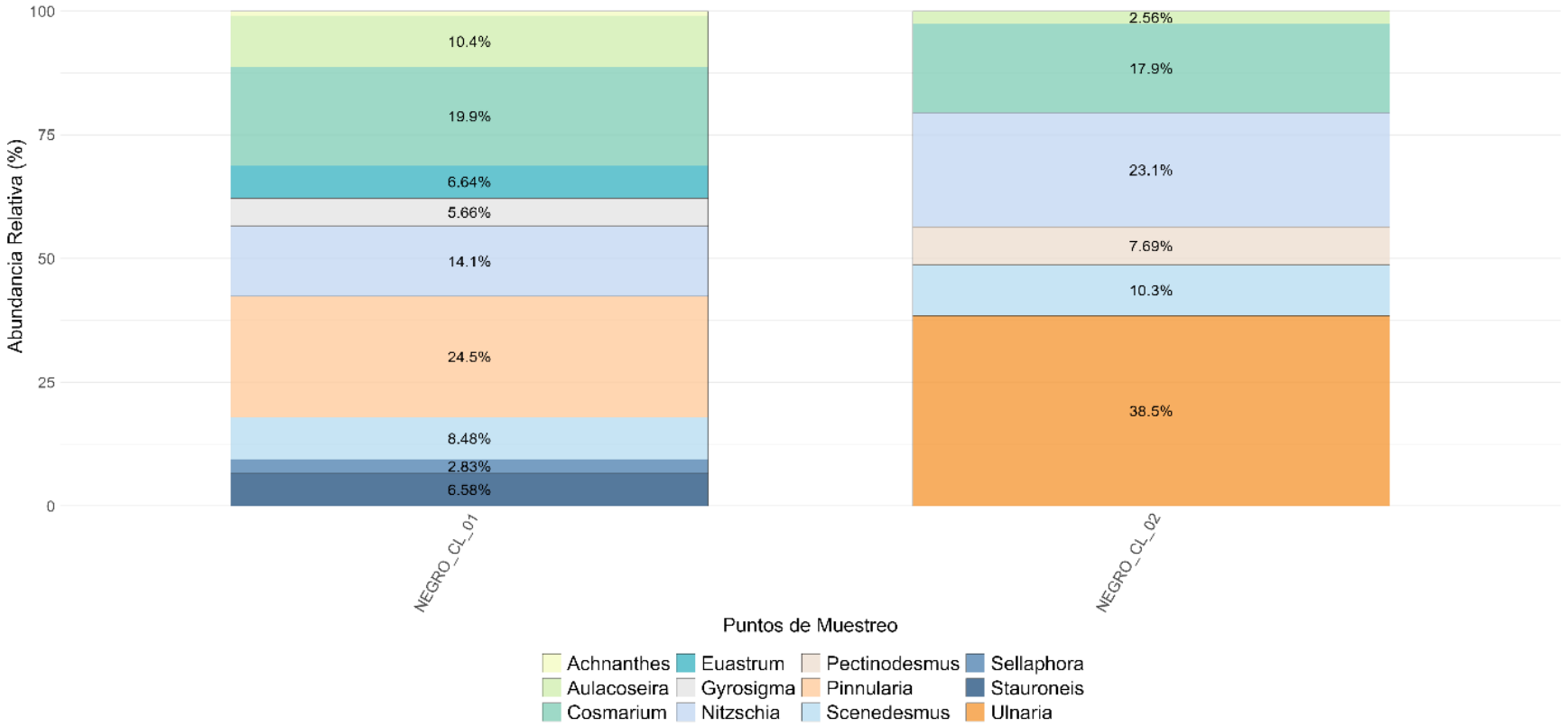


Figura 3.3.3-5 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad de Perifiton caño Bajo río Negro época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamblaje estudiado refleja una comunidad adaptada a condiciones lóticas en época seca, con predominio de diatomeas y desmidias como indicadoras de aguas bien oxigenadas y baja eutrofización. La presencia de algas verdes sugiere interacciones con sistemas lénticos, mientras que las diferencias en abundancia entre estaciones podrían deberse a factores locales como parches de sombras o variaciones en el caudal (Smith, 2003).

Tabla 3.3.3-5 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton caño Bajo río Negro época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo Río Negro	
				Punto Muestreo	Negro_Cl_01	Negro_Cl_02
				Genero	Abundancia (Ind/cm2)	Abundancia (Ind/cm2)
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	39,9	
			Naviculaceae	*Gyrosigma*	9,2	
			Sellaphoraceae	*Sellaphora*	4,6	
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	10,7	
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		19,5
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	1,5	
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	23	11,7
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	16,9	1,3
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	13,8	5,2
				Pectinodesmus		3,9
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	32,3	9,1
				Euastrum	10,8	
Gran Total (Ind/cm2)					**162,7**	**50,7**
Total géneros por punto					**10**	**6**
Total géneros por Microcuenca					**12**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad de los puntos NEGRO_CL_01 y NEGRO_CL_02 revelan condiciones ecológicas diferenciadas para la comunidad de perifiton en esta Microcuenca. En NEGRO_CL_01 se registra una abundancia alta (162.7 Ind/cm^2) junto con una riqueza considerable de 10 géneros, valores que se complementan con un índice de Shannon elevado (2.148) que indica alta diversidad, un bajo valor de Simpson (0.144) que muestra mínima dominancia de especies, y un índice de Pielou cercano a 1 (0.933) (**Tabla 3.3.3-6**) que refleja una distribución casi perfectamente equitativa entre los taxones. Este perfil corresponde a un ambiente acuático altamente favorable para el desarrollo del perifiton, con disponibilidad óptima de nutrientes y condiciones de sustrato adecuadas. En contraste, NEGRO_CL_02 presenta valores más moderados, pero aún positivos, con abundancia significativa (50.7 Ind/cm^2) aunque menor que el punto anterior, riqueza media con seis géneros, y todos los índices (Shannon = 1.646; Simpson = 0.237; Pielou = 0.919) (**Tabla 3.3.3-6**) que siguen indicando buena diversidad y equitatividad, aunque con ligeramente mayor dominancia de algunas especies.

La evaluación conjunta de ambos puntos sugiere que la Microcuenca mantiene condiciones ecológicas globalmente buenas a excelentes para las comunidades de perifiton, aunque con cierta variabilidad espacial en los parámetros cuantitativos. La diferencia en abundancia entre los dos

puntos podría deberse a variaciones naturales en disponibilidad de nutrientes, características del sustrato o condiciones lumínicas. Sin embargo, es importante destacar que este análisis, basado en solo dos puntos de muestreo, tiene limitaciones importantes para representar el estado ecológico de toda la Microcuenca. Las comunidades de perifiton presentan una distribución espacial altamente heterogénea influenciada por factores microambientales locales (tipo de sustrato, corriente, sombreado), por lo que dos estaciones no son suficientes para capturar esta complejidad. Los datos actuales deben interpretarse como indicios de que existen áreas de la Microcuenca con condiciones excelentes para el perifiton, pero no permiten descartar la presencia de zonas con problemas ecológicos.

Tabla 3.3.3-6 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) caño Bajo río Negro época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NEGRO_CL_01	162.7	10	2.148	0.144	0.933
NEGRO_CL_02	50.7	6	1.646	0.237	0.919

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

Para la Microcuenca Bajo Río Negro no se registraron organismos asociados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos durante la época seca, lo cual puede estar relacionado con múltiples factores ambientales y antrópicos que afectan negativamente la habitabilidad del hábitat. En primer lugar, la marcada reducción en el caudal característica de la estación seca puede generar condiciones de desecación parcial o total en algunos tramos del cauce, disminuyendo significativamente la disponibilidad de microhábitats y reduciendo los niveles de oxígeno disuelto, esenciales para la supervivencia de muchos organismos bentónicas (Merritt & Cummins, 2008; Roldan G. , 2003).

Asimismo, el aumento de la temperatura del agua y la concentración de contaminantes debido a la menor dilución pueden intensificar el estrés ambiental sobre los organismos acuáticos, favoreciendo únicamente a formas de vida más tolerantes o generando condiciones incompatibles incluso para estas (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). Adicionalmente, procesos como la colmatación del sustrato por sedimentos finos, la acumulación de materia orgánica en descomposición pueden alterar drásticamente la calidad del hábitat bentónico, limitando el establecimiento de comunidades estables (Bonada et al., 2006; Rosenberg & Resh, 1993).

Es importante considerar también que la ausencia de organismos puede deberse a un evento reciente de perturbación intensa (natural o antrópica) que haya ocasionado un colapso temporal de la comunidad biológica, así como a limitaciones metodológicas en la colecta, asociadas a la naturaleza del sustrato, la velocidad del flujo o la baja densidad poblacional (Domínguez & Fernández, 2009). En este sentido, se recomienda realizar muestreos complementarios durante otras épocas del año y evaluar en paralelo parámetros fisicoquímicos y características del hábitat, con el fin de obtener un diagnóstico más integral sobre el estado ecológico de la Microcuenca y su capacidad de resiliencia ante las fluctuaciones estacionales.

✓ *Macrófitas acuáticas*

En los municipios de Puerto López y Cabuyaro, específicamente en el área de influencia del Bloque CPO-5, las macrófitas acuáticas desempeñan un papel ecológico fundamental en la interfaz entre ecosistemas acuáticos y terrestres, particularmente en paisajes dominados por la llanura de inundación en la parte norte y oeste del Bloque y la altillanura en la parte centro y este del Bloque. En las llanuras de inundación, áreas que se inundan periódicamente debido a la dinámica de los ríos y caños por efecto de los ríos Metica y Meta, estas plantas contribuyen a la regulación hídrica y a la retención de nutrientes, facilitando procesos ecológicos como la sedimentación y la descomposición de materia orgánica, que son esenciales para la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de la biodiversidad ribereña (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989). En contraste, en la altillanura, caracterizada por suelos más antiguos, ácidos y de menor fertilidad, la presencia de macrófitas es más restringida a cuerpos de agua temporales o depresiones estacionales, donde igualmente actúan como puntos de biodiversidad y conectividad ecológica (Román-Valencia, 2015). La interacción entre estos dos grandes sistemas fisiográficos (llanura de inundación y altillanura) se ve mediada por las macrófitas, que facilitan el flujo de materia y energía entre ambientes acuáticos y terrestres, favoreciendo la resiliencia ecológica frente a actividades humanas como la expansión agroindustrial y ganadera, que en la región del Meta han incrementado en las últimas décadas (Sánchez-Cuervo, 2013), (Romero-Ruiz, 2004).

- Composición y Estructura de la comunidad

La caracterización de la flora acuática en la Microcuenca del Bajo Río Negro se realizó en tres puntos de muestreo (Negro_CL_01, Negro_CL_02 y Madrevieja_Negro_02) pero solo se registraron macrófitas en el último de estos tres (**Tabla 3.3.3-7**). Se identificó la presencia de *Salvinia auriculata*, una especie de macrófita flotante perteneciente a la división Tracheophyta, clase Polypodiidae, orden Salviniales y familia Salviniaceae. Este registro se realizó, como se mencionó anteriormente, en el punto de muestreo denominado Madrevieja_Negro_02, donde dicha especie representó el 100% de la cobertura registrada.

Salvinia auriculata es un Pteridófito acuático flotante libre que se distribuye ampliamente en cuerpos de agua dulce de América del Sur y Central. Esta especie suele colonizar ambientes lénticos como lagunas, caños y madreviejas, mostrando una alta capacidad de reproducción vegetativa, lo que favorece su expansión en ambientes eutrofizados (Sculthorpe, The Biology of Aquatic Vascular Plants, 1967); (Ferreira F. A.). Es reconocida por su importancia ecológica en el control de nutrientes, retención de sedimentos y refugio para organismos acuáticos, aunque en condiciones favorables puede comportarse como invasora, afectando el intercambio gaseoso y reduciendo la luz disponible para otras especies sumergidas (Barrett, 1989); (Oliveira, 2015).

La presencia exclusiva de *S. auriculata* en el punto evaluado sugiere condiciones ambientales que favorecen el crecimiento de especies flotantes libres, asociadas con aguas estancadas, rica disponibilidad de nutrientes y baja velocidad de corriente, lo cual es característico de ambientes secundarios como madreviejas.

Tabla 3.3.3-7 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca Bajo rio Negro, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo Río Negro					
				Punto De Meustreo	Madrevieja_Negro_02		Negro_Cl_01		Negro_Cl_02	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia auriculata*	100	100	0	0	0	0
Cobertura Total general					**100**	**100**	**0**	**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Punto					**1**		**0**		**0**	
Morfoespecies por Microcuenca					**1**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con una morfoespecie, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran A. E., 2004). La diversidad alfa contempla tanto el número de especies presentes como la proporción relativa de individuos entre ellas, y cuando solo hay una morfoespecie, la riqueza es mínima (igual a uno) y la equidad no puede calcularse, lo que limita severamente su valor informativo. En tales casos, aplicar índices como Shannon o Simpson no solo es metodológicamente inadecuado, sino que puede generar interpretaciones erróneas sobre la estructura y complejidad del ecosistema analizado (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001). Por lo tanto, en situaciones con baja riqueza específica, es más pertinente, como se hace en el presente documento, emplear otras aproximaciones descriptivas, como análisis con abundancias absolutas, que permitan caracterizar el sistema sin sobrestimar su diversidad.

➢ *Época lluvias*

✓ *Fitoplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del fitoplancton en el sistema léntico estudiado, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época lluviosa, está dominado por especies pertenecientes a la división *Heterokontophyta*, específicamente a la clase *Bacillariophyceae* (diatomeas) (**Tabla 3.3.3-8**). Los géneros identificados en la estación Madrevieja_Meta_02 correspondiente a la Microcuenca Bajo Río Negroincluyen *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Eunotia*, *Amphipleura* y *Pinnularia*, con abundancias totales que oscilan entre 0.015 y 0.045 Ind/mL y porcentajes de abundancia que van entre los 11.8% hasta los 35.4%) (**Figura 3.3.3-6**), sumando una abundancia total de 0.127 Ind/mL para la Microcuenca (**Tabla 3.3.3-8**). Estos valores reflejan una riqueza moderada de morfoespecies, típica de ambientes lénticos con condiciones estables durante la época de lluvias, donde las diatomeas suelen ser indicadoras de aguas poco turbulentas y ricas en nutrientes (Round et al., 1990).

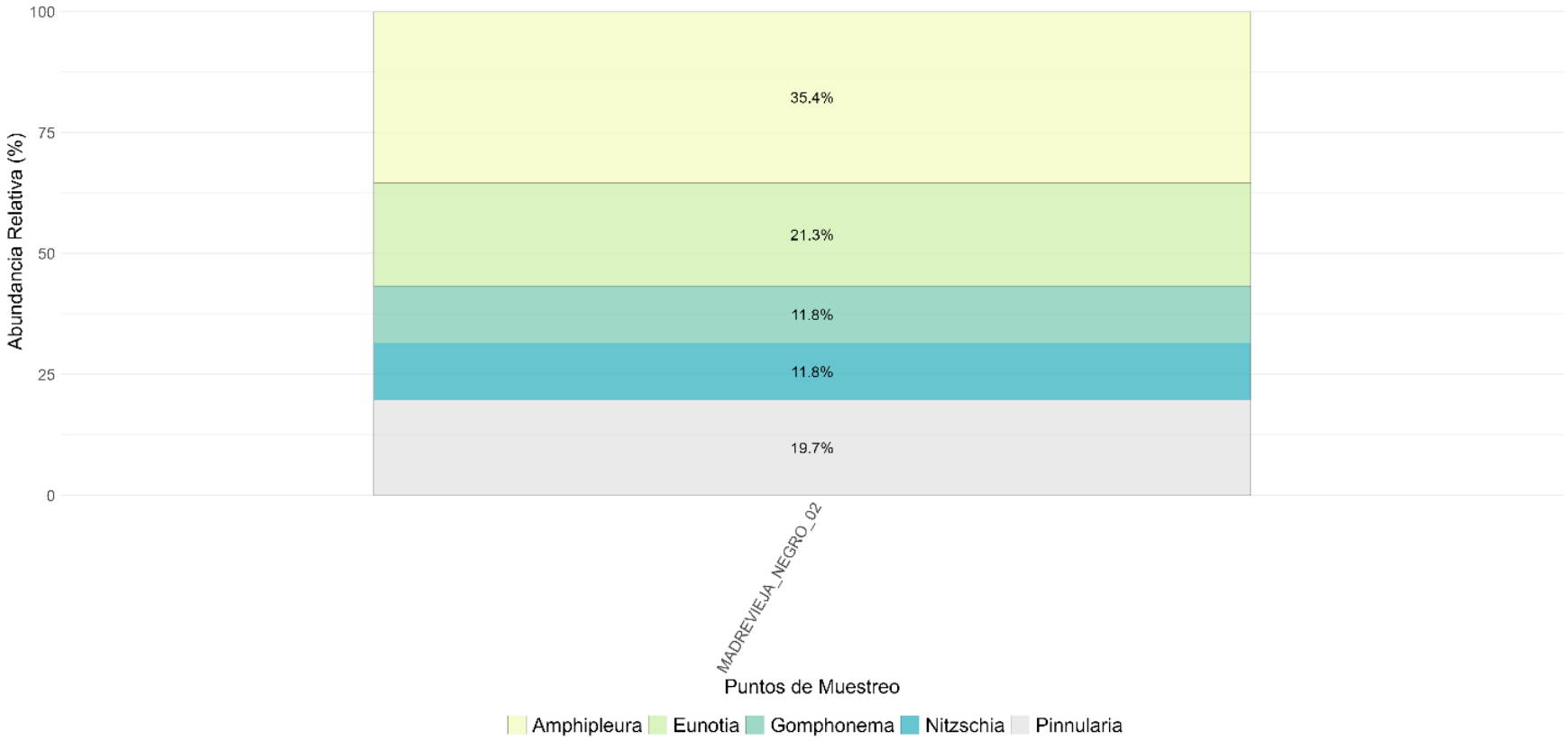


Figura 3.3.3-6 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de géneros como *Nitzschia* y *Gomphonema* sugiere una bioindicación de aguas con moderada productividad y posible influencia de materia orgánica, mientras que *Eunotia* y *Pinnulari* son frecuentes en ambientes con bajo pH y alta transparencia, lo que podría indicar una limitada influencia antropogénica (Van Dam et al., 1994). La interacción entre estos géneros en la Microcuenca del río Negro evidencia una dinámica ecológica equilibrada, donde las condiciones lénticas favorecen la coexistencia de especies con requerimientos similares. Además, la conexión potencial con sistemas lóticos y terrestres circundantes podría explicar la presencia de *Amphipleura*, un género adaptable a cambios en el flujo de nutrientes provenientes de áreas adyacentes (Wetzel R. G., 2001).

La calificación ecológica de la Microcuenca se considera moderadamente saludable, dado que la composición del fitoplancton refleja condiciones ambientales estables y una baja presión de perturbaciones externas. Sin embargo, la baja abundancia total sugiere limitaciones en la disponibilidad de nutrientes o luz, factores críticos en sistemas lénticos de altillanura.

Tabla 3.3.3-8 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton caño Bajo río Negro época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo Río Negro
				Punto Muestreo	Madrevieja_Meta_02
				Genero	Abundancia (Ind/ml)
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	0,015
		Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,015
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,027
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Amphipleura*	0,045
			Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,025
Gran Total (Ind/mL)					**0,127**
Total géneros por punto					**5**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los resultados del análisis de diversidad para la comunidad de fitoplancton en el punto *Madrevieja_Negro_02* correspondiente a la Microcuenca bajo Río Negro, revelan una abundancia total de 0.127 Ind/mL, con una riqueza de cinco morfoespecies (**Tabla 3.3.3-9**). Los índices de diversidad muestran valores de Shannon (1.648), Simpson (0.216) y Pielou (1.024) (**Tabla 3.3.3-9**), los cuales proporcionan información clave sobre la estructura y equitatividad de la comunidad. El valor de Shannon sugiere una diversidad moderada, típica de sistemas lénticos con condiciones ambientales estables, mientras que el índice de Simpson, cercano a 0, indica una baja dominancia de especies, lo que refleja una distribución equilibrada entre los taxones presentes. Por su parte, el índice de Pielou, superior a 1, señala una alta equitatividad, lo que implica que las especies están bien distribuidas en términos de abundancia, sin una marcada predominancia de alguna en particular (Magurran A. E., 2004).

Estos sugieren que la Microcuenca del río Negro, en el punto monitoreado, presenta una comunidad de perifiton estructurada y saludable, con una diversidad biológica que refleja

condiciones ambientales favorables y baja perturbación. La combinación de una riqueza moderada y una alta equitatividad apunta hacia un ecosistema con estabilidad ecológica, capaz de sostener múltiples especies sin la dominancia de unas pocas. Sin embargo, la baja abundancia total podría indicar limitaciones en la disponibilidad de recursos o una productividad primaria reducida, lo cual es común en sistemas de altillanura durante ciertas épocas del año (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007).

En conjunto, la calificación ecológica de la Microcuenca en este punto puede considerarse buena, dado que los índices de diversidad reflejan un equilibrio en la comunidad y condiciones ambientales adecuadas. No obstante, estos análisis no arrojan resultados robustos para poder llegar a obtener una conclusión más integral de la salud del ecosistema.

Tabla 3.3.3-9 Índices Ecológicos de la Comunidad el Fitoplancton (Alfa) caño Bajo río Negro época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_NEGRO_02	0.127	5	1.648	0.216	1.024

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico en el sistema léntico monitoreado durante la época lluviosa, específicamente en la estación *Madrevieja_Negro_02* de la Microcuenca del río Negro, está compuesto por dos morfoespecies: *Arcella* y *Nematoda Mf.* (**Tabla 3.3.3-10**). La abundancia total registrada es muy baja (0.0118 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-10**), distribuida en 0.0071 Ind/mL y con un porcentaje de abundancia (60.2%) para *Arcella* y 0.0047 Ind/mL y un porcentaje del (39.8%) para nematodos (**Tabla 3.3.3-10**) (**Figura 3.3.3-7**). Esta baja riqueza de especies sugiere un ambiente con limitaciones en la disponibilidad de recursos o condiciones que no favorecen la proliferación de una comunidad zooplanctónica diversa.

La presencia de *Arcella*, un protozoo testado común en ambientes lénticos, indica aguas con moderada estabilidad y posible acumulación de materia orgánica en el sedimento, ya que este género se asocia frecuentemente a fondos ricos en detritos (Foissner & Berger, 1996). Por otro lado, los nematodos, aunque inespecíficos en su identificación morfológica, son bioindicadores de sustratos con descomposición orgánica y pueden reflejar interacciones con sistemas terrestres adyacentes, especialmente en zonas inundables durante la época lluviosa (Traunspurger, 2000). La baja abundancia de ambos taxones sugiere una productividad secundaria limitada, posiblemente vinculada a la escasez de fitoplancton (base de la red trófica) o a condiciones físico-químicas restrictivas, como bajas concentraciones de oxígeno disuelto en estratos profundos.

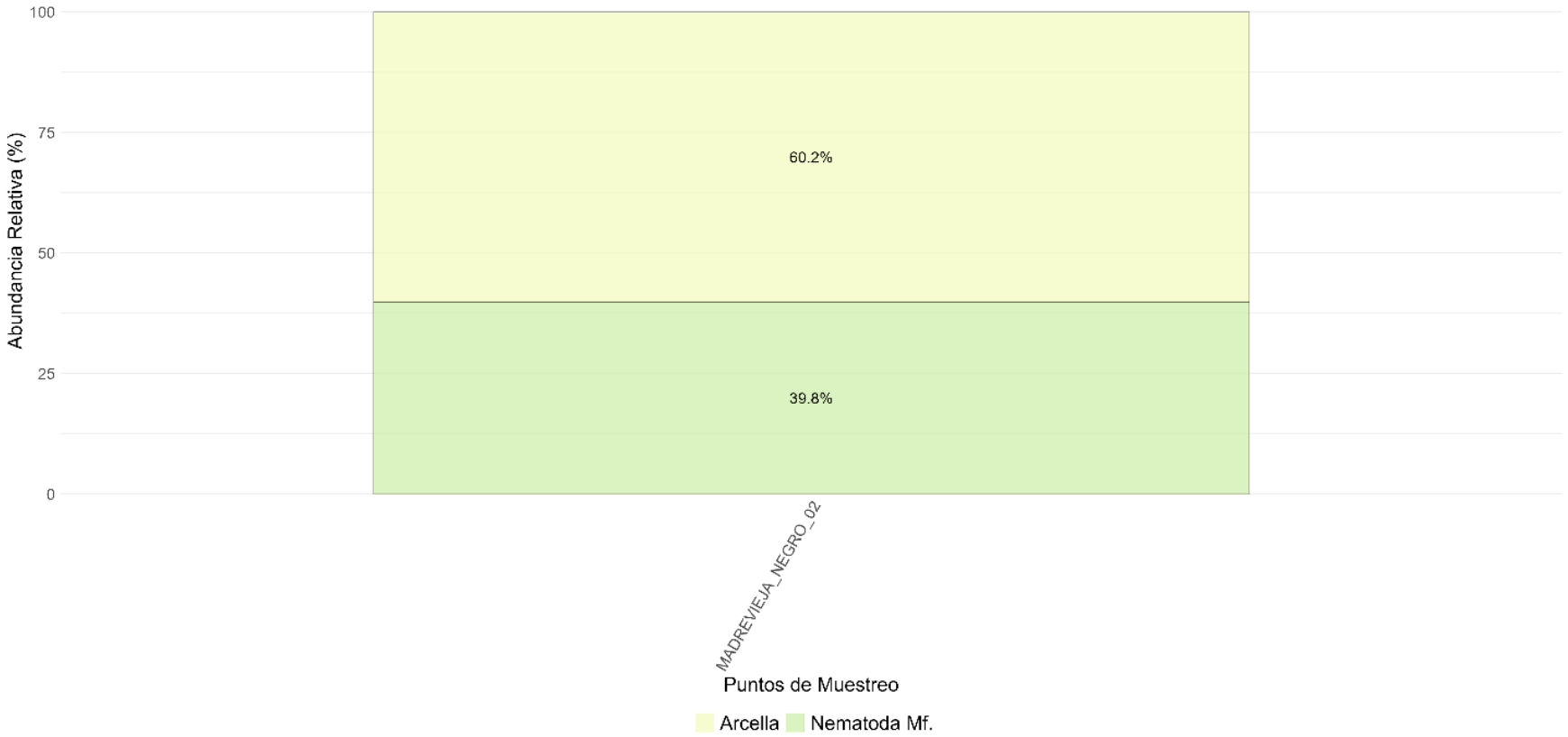


Figura 3.3.3-7 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres en esta Microcuenca parece tener un impacto mínimo en la comunidad zooplanctónica en el punto analizado. La ausencia de rotíferos o cladóceros, grupos típicos de ambientes lénticos productivos, refuerza la hipótesis de un sistema oligotrófico o con limitaciones temporales como el lavado de nutrientes por lluvias. Además, la conexión con sistemas lóticos podría estar diluyendo las poblaciones zooplanctónicas debido al flujo de agua, mientras que la influencia terrestre se manifiesta principalmente a través de la entrada de materia orgánica alóctona, sustentando a organismos bentónicos como nematodos.

En conclusión, la Microcuenca del río Negro, en el punto *Madrevieja_Negro_02*, presenta una comunidad zooplanctónica pobre en diversidad y abundancia, lo que le asigna una calificación ecológica regular a deficiente. Esta condición podría deberse a factores naturales como se mencionó anteriormente (limitación de recursos o las altas precipitación) o antrópicos.

Tabla 3.3.3-10 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton caño Bajo río Negro época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo Río Negro
				Punto Muestreo	Madrevieja_Negro_02
				Morfoespecies	Abundancia(Ind/ml)
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0071
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.	0,0047
				Grand Total (Ind/mL)	**0,0118**
				Total morfoespecies por punto	**2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en este punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no

necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico en el sistema lótico de la Microcuenca del río Negro, monitoreado durante la época lluviosa en las estaciones NEGRO_CL_01 y NEGRO_CL_02, muestra una comunidad diversa dominada por diatomeas (Bacillariophyceae) y algas verdes conjugadas (Zygnematophyceae). La abundancia total en la Microcuenca alcanza 280.9 Ind/ cm^2 (**Tabla 3.3.3-11**), con una distribución desigual entre estaciones, NEGRO_CL_01 registró 46.5 Ind/ cm^2 (**Tabla 3.3.3-11**) mientras que NEGRO_CL_02 presentó 234.4 Ind/ cm^2 (**Tabla 3.3.3-11**), destacando esta última por su mayor riqueza y abundancia. Los géneros más representativos para el punto NEGRO_CL_01 incluyen los géneros *Pinnularia* (18.6 Ind/ cm^2 y 40%) y *Cosmarium* (14.9 Ind/ cm^2 y 32.0%) y para el punto NEGRO_CL_02 se registra el género *Eunotia* (188.3 Ind/ cm^2 y 80.3%) (**Tabla 3.3.3-11**) (**Figura 3.3.3-8**).

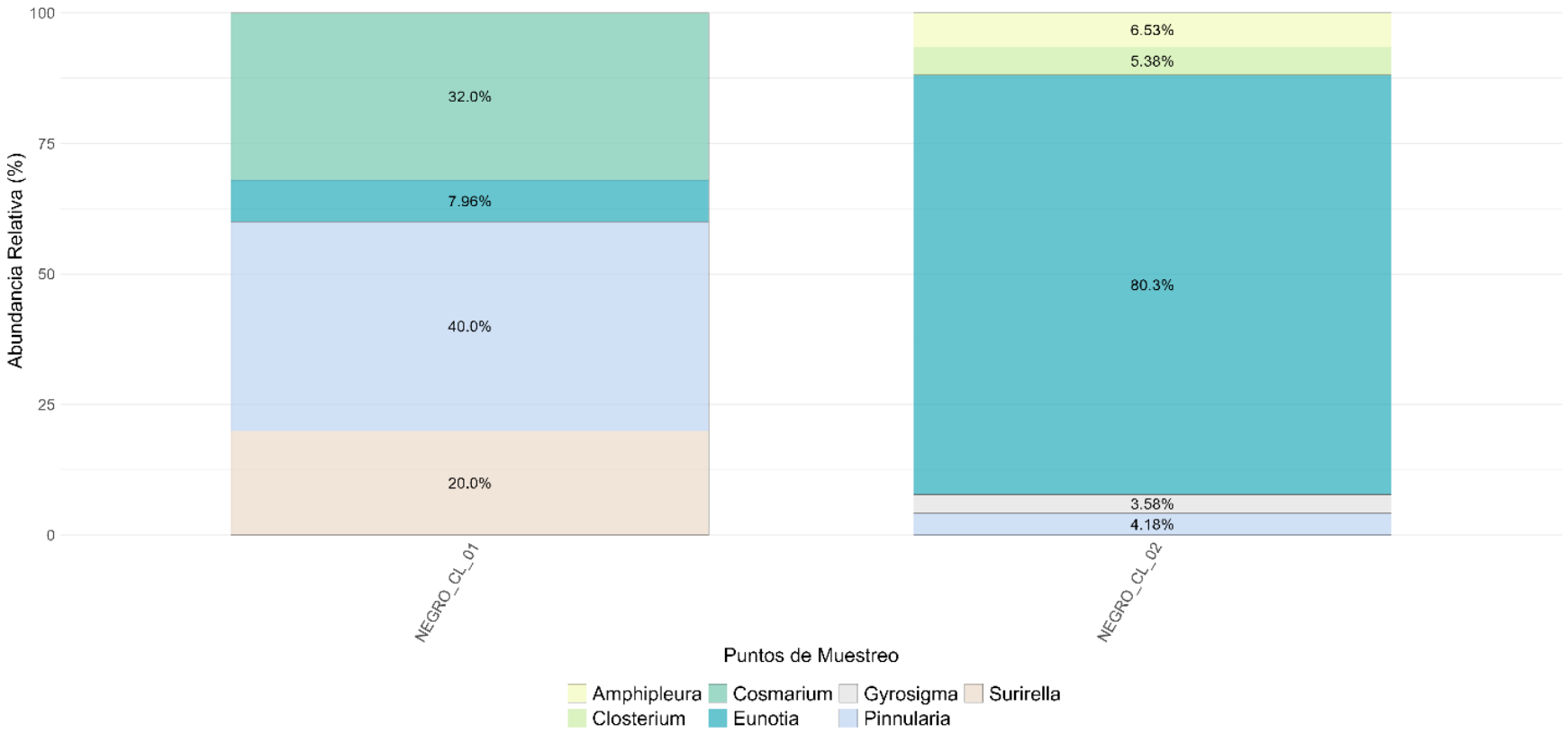


Figura 3.3.3-8 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton caño Bajo río Negro época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la predominancia de *Eunotia* en NEGRO_CL_02 (188.3 Ind/mL) sugiere condiciones ácidas y bajos nutrientes, típicas de aguas negras con alto contenido de taninos (Round et al., 1990). La presencia simultánea de *Pinnularia* y *Amphipleura*, indicadoras de aguas oligotróficas pero bien oxigenadas (Van Dam et al., 1994), revela microhábitats heterogéneos dentro del sistema. Los desmidios (*Cosmarium* y *Closterium*), sensibles a cambios químicos, confirman la baja conductividad característica de la altillanura (Coesel & Meesters, Desmids of the Lowlands, 2007). La marcada diferencia entre estaciones sugiere que NEGRO_CL_02 recibe mayores aportes terrestres como la de la escorrentía de bosques inundables, mientras que NEGRO_CL_01 refleja condiciones más autóctonas del cauce principal.

La interacción con sistemas lénticos adyacentes se evidencia en la presencia de *Surirella*, género asociado a remansos con sedimentación fina (Wetzel R. G., 2001), mientras que la conexión terrestre se manifiesta a través de la alta abundancia de *Eunotia*, vinculada a hojarasca en descomposición.

El flujo unidireccional típico de sistemas lóticos explica la distribución desigual de taxa, donde NEGRO_CL_02 actúa como zona de acumulación de comunidades procedentes de tributarios o áreas inundadas.

En conclusión, la Microcuenca del río Negro presenta una condición ecológica buena a muy buena**,** ya que el sistema reporto una alta diversidad funcional (7 géneros con roles tróficos complementarios), la presencia de bioindicadores sensibles con el género (*Eunotia*, desmidios), y la heterogeneidad espacial que refleja conectividad ecológica. No obstante, la desproporción en abundancias entre estaciones señala microambientes con distinto grado de influencia terrestre, requiriendo monitoreo adicional para descartar perturbaciones localizadas.

Tabla 3.3.3-11 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton caño Bajo río Negro época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Bajo Río Negro		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					Negro_Cl_01	Negro_Cl_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	9,3		9,3
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	18,6	9,8	28,4
			Amphipleuraceae	*Amphipleura*		15,3	15,3
			Naviculaceae	*Gyrosigma*		8,4	8,4
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	3,7	188,3	192
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	14,9		14,9
			Closteriaceae	*Closterium*		12,6	12,6
Gran Total					**46,5**	**234,4**	**280,9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad para la comunidad de perifiton en las estaciones NEGRO_CL_01 y NEGRO_CL_02 de la Microcuenca del río Negro revelan patrones ecológicos contrastantes que permiten evaluar el estado de la Microcuenca. En *NEGRO_CL_01* se registró una abundancia de

46.5 Ind/ cm^2 con cuatro géneros, mostrando valores de Shannon (1.266) y Pielou (0.913) (**Tabla 3.3.3-12**) relativamente altos, junto con un índice de Simpson (0.302) que indica baja dominancia. Estos valores sugieren una comunidad equilibrada, con buena distribución de especies y sin dominancia marcada de ningún taxón en particular. Por el contrario, *NEGRO_CL_02* presentó una abundancia significativamente mayor (234.4 Ind/ cm^2) con cinco géneros, pero con valores de Shannon (0.748) y Pielou (0.465) (**Tabla 3.3.3-12**) notablemente más bajos, acompañados de un Simpson (0.676) que refleja mayor dominancia de especies. Esta diferencia indica que, aunque NEGRO_CL_02 tiene mayor riqueza y abundancia, la comunidad está dominada por pocas especies, lo que reduce su equitatividad.

La comparación entre ambas estaciones sugiere que NEGRO_CL_01 mantiene una estructura comunitaria más saludable, con mayor equilibrio entre las especies, mientras que NEGRO_CL_02, pese a su alta abundancia, presenta una distribución menos equitativa, posiblemente debido a condiciones locales que favorecen el predominio de especies tolerantes a factores específicos como pH ácido o alta carga orgánica. Esta diferencia podría estar asociada a variaciones en el flujo de agua, aportes terrestres o disponibilidad de sustratos entre los puntos de muestreo.

En conjunto, la Microcuenca del río Negro muestra una calificación ecológica moderada a buena, con áreas de alta estabilidad (NEGRO_CL_01) y otras con dominancia de especies (NEGRO_CL_02).

Tabla 3.3.3-12 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) caño Bajo río Negro época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NEGRO_CL_01	46.5	4	1.266	0.302	0.913
NEGRO_CL_02	234.4	5	0.748	0.676	0.465

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante el monitoreo de época de lluvias en el Bajo Río Negro, se registró un ensamble de macroinvertebrados bentónicos conformado por un total de ocho (8) morfoespecies, distribuidas en dos (2) phylum, dos (2) clases, cinco (5) órdenes, siete (7) familias y cuatro (4) géneros identificados. La abundancia total fue de 29 individuos/m^2, distribuidos entre dos estaciones de monitoreo: **NEGRO_CL_01** con 12 individuos/m^2 y **NEGRO_CL_02** con 17 individuos/m^2 (**Tabla 3.3.3-13**).

Tabla 3.3.3-13 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos caño Bajo río Negro época lluvias.

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Bajo Río Negro		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						Negro_Cl_01	Negro_Cl_02	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*	2,2		2,2
		Tubificida	Naididae		*Naididae Mf.*	4,4	1,1	5,5

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Bajo Río Negro		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						Negro_Cl_01	Negro_Cl_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*	4,4	6,6	11
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia sp.*		1,1	1,1
		Hemiptera	Micronectidae	Tenagobia	*Tenagobia sp.*		6,7	6,7
			Belostomatidae	Lethocerus	*Lethocerus sp.*		1,1	1,1
		Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	*Leptonema sp.*	1,1		1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**12**	**17**	**29**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Las morfoespecies identificadas fueron: *Glossiphoniidae Mf*. (Rhynchobdellida), *Naididae Mf*. (Tubificida), *Chironomidae Mf.* (Diptera), *Alluaudomyia sp.* (Ceratopogonidae), *Tenagobia sp.* (Micronectidae), *Lethocerus sp*. (Belostomatidae) y *Leptonema sp.* (Hydropsychidae). El grupo más representativo en términos de abundancia fue *Chironomidae Mf.* con 11 individuos/m², seguido por *Naididae Mf.* con 5.5 individuos/m². En términos de riqueza por estación, se observó una mayor diversidad en NEGRO_CL_02, donde se identificaron cinco morfoespecies distintas, frente a tres registradas en NEGRO_CL_01.

Desde el enfoque de bioindicación, la presencia de Hydropsychidae (*Leptonema sp*.), grupo moderadamente sensible a la contaminación orgánica, sugiere condiciones ambientales levemente favorables, al menos de forma puntual. Sin embargo, la dominancia de Chironomidae y Naididae, familias tolerantes a condiciones anóxicas o con alta carga orgánica, apunta hacia ecosistemas con estrés ambiental moderado o intermitente, posiblemente influenciados por el arrastre de materia orgánica, sedimentos y contaminantes difusos durante los eventos de lluvia intensa, como se ha documentado para llanuras de inundación tropicales (Roldan G. , 1996; Springer, 2010).

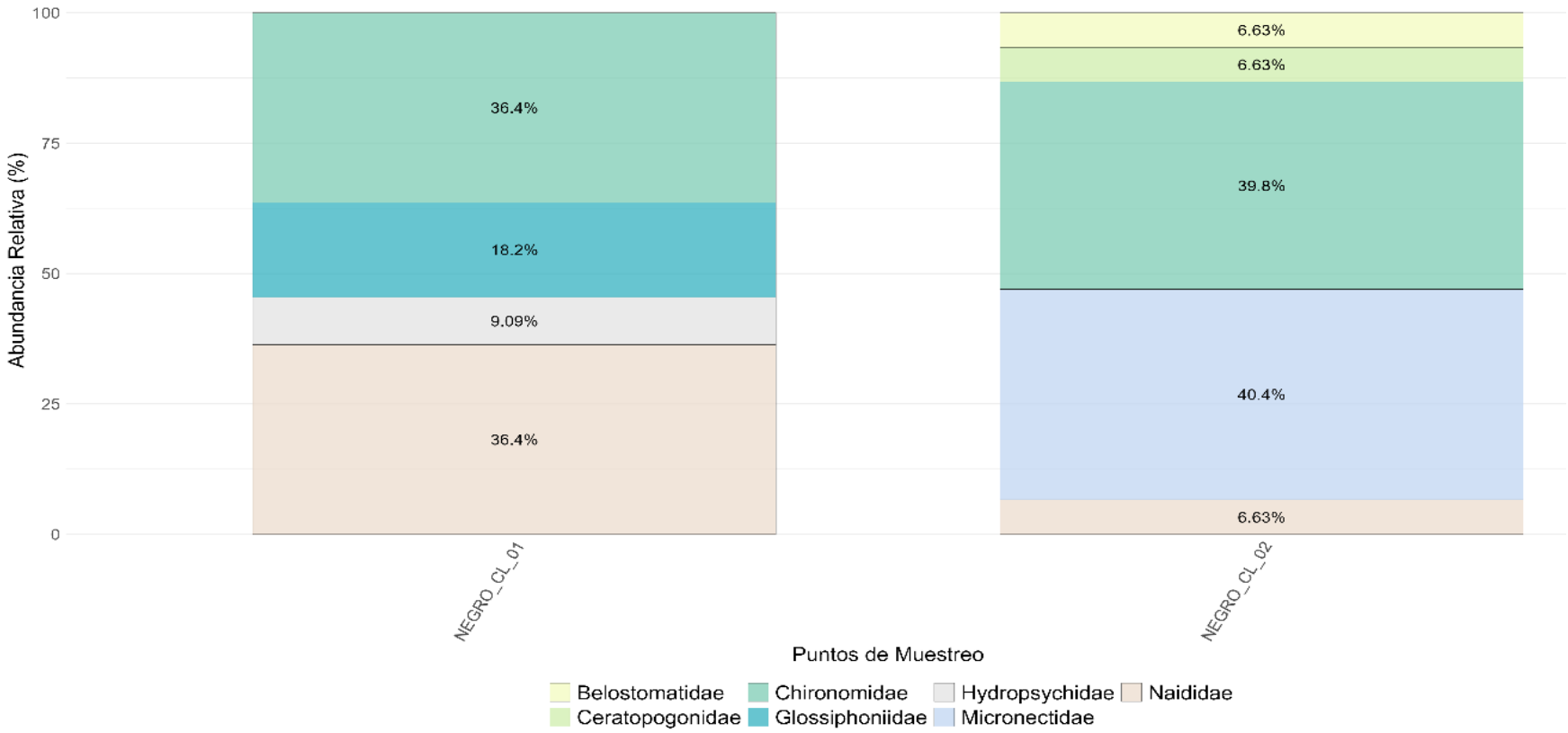


Figura 3.3.3-9 Familias de macroinvertebrados bentónicos caño Bajo río Negro época lluvias.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La aparición *de Lethocerus sp.* (Belostomatidae) y *Tenagobia* sp. (Micronectidae), generalmente asociados a hábitats con vegetación flotante o sumergida y baja velocidad de corriente, sugiere también una transición hidrológica entre sistemas lóticos y lénticos en estos puntos del río, típica en zonas de meandros o brazos muertos. La interacción con ambientes terrestres se evidencia en el registro de grupos facultativos como Glossiphoniidae o Ceratopogonidae, que pueden encontrarse en ambientes marginales con humedad intermitente y hojarasca acumulada (Domínguez & Fernández, 2009).

No obstante, el índice BMWP/Col en esta Microcuenca arroja valores asociados a una calidad Muy Crítica con significancia de aguas fuertemente contaminadas para los dos puntos de monitoreo (**Tabla 3.3.3-14**), debido a que varias de las familias registradas (Naididae, Ceratopogonidae, Micronectidae, Belostomatidae) no están incluidas dentro de la matriz del índice, el cual fue desarrollado para condiciones específicas de corriente en Colombia y con base en una lista restringida de familias bioindicadoras (Roldan G. , 2003).

Tabla 3.3.3-14 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) caño Bajo río Negro época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
BAJO RÍO NEGRO	NEGRO_CL_01	V	Muy crítica	13	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	NEGRO_CL_02	V	Muy crítica	11	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble registrado en el Bajo Río Negro durante época de lluvias evidencia una comunidad bentónica con baja diversidad y dominancia de grupos tolerantes, pero también con señales puntuales de recuperación ambiental o heterogeneidad de microhábitats. Las condiciones hidrológicas propias de la temporada lluviosa parecen favorecer la dispersión de organismos semiacuáticos y el contacto funcional entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa en los puntos de monitoreo NEGRO_CL_01 y NEGRO_CL_02 de la Microcuenca del Bajo Río Negro, monitoreados durante época de lluvias, permite identificar diferencias sutiles en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, reflejadas en los valores de abundancia, riqueza y equidad.

En primer lugar, se evidencia que NEGRO_CL_02 presentó una mayor abundancia total (16.6 ind/m²) y una riqueza de 5 morfoespecies, frente a NEGRO_CL_01, que reportó 12.1 ind/m² y 4 morfoespecies. Estas diferencias, aunque no marcadas, indican una leve mayor diversidad taxonómica en el segundo punto. Es así como el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H’), que combina riqueza y equidad, fue de 1.552 en NEGRO_CL_02 y 1.468 en NEGRO_CL_01, lo que indica que ambas estaciones tienen una diversidad intermedia, sin dominancia marcada de una sola morfoespecie. Este resultado sugiere una comunidad relativamente equilibrada, con una distribución de abundancias cercana a la uniformidad (**Tabla 3.3.3-15**).

Tabla 3.3.3-15 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos caño Bajo río Negro época lluvias.

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BAJO RÍO NEGRO	NEGRO_CL_01	12.1	4	1.468	0.256	1.059
	NEGRO_CL_02	16.6	5	1.552	0.253	0.964

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El índice de Simpson (D), que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes, arrojó valores de 0.253 (NEGRO_CL_02) y 0.256 (NEGRO_CL_01), lo cual reafirma la baja dominancia en ambas estaciones, siendo valores cercanos entre sí e indicativos de una comunidad con distribución equitativa de abundancias (**Tabla 3.3.3-15**).

Finalmente, el índice de equidad de Pielou (J') mostró un valor mayor en NEGRO_CL_01 (1.059) frente a NEGRO_CL_02 (0.964), aunque ambos valores son altos, lo que indica que las especies están representadas de forma relativamente similar en proporción. El leve descenso en NEGRO_CL_02 podría explicarse por un incremento en la abundancia de una o dos morfoespecies dominantes (**Tabla 3.3.3-15**).

En conjunto, los resultados sugieren que la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ambos puntos del Bajo Río Negro se encuentra en un estado de diversidad ecológica intermedia y equitativa, posiblemente como consecuencia de la mayor disponibilidad de microhábitats y materia orgánica particulada generada durante la época de lluvias, que tiende a diversificar los nichos y aumentar la heterogeneidad estructural de los sistemas acuáticos (Roldán, 1999; Springer, 2009). No obstante, estos niveles de diversidad aún deben contrastarse con datos fisicoquímicos y otros bioindicadores para una evaluación integral de la calidad ecológica del ecosistema.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados asociados a macrófitas en la estación MADREVIEJA_NEGRO_02, correspondiente al Bajo Río Negro, monitoreada durante la época de lluvias, muestra una comunidad extremadamente simplificada. Se registró un total de una morfoespecie perteneciente al phylum Annelida, clase Clitellata, orden Rhynchobdellida, familia Glossiphoniidae, sin identificación a nivel de género, con una abundancia total de 10 individuos/m². Esta baja riqueza taxonómica y composición específica refleja un ecosistema con condiciones ecológicas restringidas para el establecimiento de una comunidad diversificada de macroinvertebrados.

Tabla 3.3.3-16 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas caño Bajo río Negro época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Bajo Río Negro	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						Madrevieja_Negro_02	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*	10	10
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**10**	**10**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia exclusiva de una morfoespecie de sanguijuela de la familia Glossiphoniidae puede estar asociada a ambientes acuáticos con alta carga orgánica, escasa oxigenación y con probable influencia de materia en descomposición, dado que estos organismos pueden tolerar condiciones de estrés ambiental y bajos niveles de oxígeno disuelto (Roldán, 1999; Merritt & Cummins, 2008). Esto sugiere que el ambiente de madrevieja, en época de lluvias, puede estar dominado por condiciones de sedimentación fina, lenta circulación del agua y aporte constante de materia orgánica, propias de ecosistemas lóticos en transición hacia condiciones más lénticas, como ocurre en tramos anegados o caños con flujo estancado.

Desde la perspectiva de la bioindicación, la ausencia de taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), ampliamente reconocidos como indicadores de buena calidad del agua, y la dominancia de un único grupo tolerante, como Glossiphoniidae, sugiere un estado ecológico empobrecido o perturbado, posiblemente vinculado con procesos de anoxia, eutrofización o acumulación de sedimentos finos, especialmente intensificados durante las lluvias cuando los flujos superficiales arrastran materiales y contaminantes hacia estos cuerpos de agua.

Dada la baja riqueza (una sola morfoespecie) y la ausencia de otros grupos taxonómicos, no es posible realizar el cálculo del índice BMWP/Col, ya que este índice depende de la presencia de varias familias de macroinvertebrados con diferentes sensibilidades a la contaminación para generar una valoración válida del estado de calidad del agua (Roldán, 2003). De igual forma, no se puede aplicar el análisis de diversidad alfa (índices de Shannon, Simpson o Pielou) debido a que estos requieren la comparación de la abundancia relativa entre múltiples especies para estimar riqueza, equidad y dominancia; en este caso, con una sola especie, los valores resultarían sin sentido estadístico o serían iguales a cero.

Finalmente, la limitada diversidad observada puede explicarse por la combinación de factores ambientales típicos de las sabanas inundables de la altill anura durante la estación lluviosa, como son los altos niveles de inundación, la alteración del sustrato por escorrentía y la reducción de microhábitats estructurales disponibles. A esto se suma la interacción entre los sistemas lóticos y lénticos, donde los caños y madreviejas actúan como zonas de retención de sedimentos y materia orgánica, y su conexión con el entorno terrestre propicia el ingreso de nutrientes y contaminantes, afectando la composición faunística (Springer, 2009; Heckman, 1998).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de las macrófitas acuáticas en la Microcuenca del Bajo Río Negro, específicamente en los puntos de muestreo Madrevieja_Negro_02, Negro_CL_01 y Negro_CL_02, revela una comunidad vegetal moderadamente diversa, dominada por especies herbáceas emergentes y flotantes propias de ambientes húmedos tropicales (**Tabla 3.3.3-17**).

Tabla 3.3.3-17 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca Bajo rio Negro, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Bajo Río Negro					
				Punto De Meustreo	Madrevieja_Negro_02		Negro_Cl_01		Negro_Cl_02	
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia* sp.	9	8,74				
	Magnoliidae	Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia* sp.			1	2,61		
		Poales	Poaceae	*Paspalum* sp.	70,67	68,61	37,33	97,39		
				Urochloa sp.					67	100,00
		Fabales	Fabaceae	*Inga* sp.	5	4,85				
		Caryophyllales	Phytolaccaceae	*Petiveria* sp.	6	5,83				
		Gentianales	Rubiaceae	*Psychotria* sp.	12,33	11,97				
Cobertura Total general					**103**	**100**	**38,33**	**100**	**67**	**100**
Morfoespecies por Punto					**5**		**2**		**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**7**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Se identificaron un total de 7 morfoespecies pertenecientes a 6 familias botánicas distribuidas en dos clases principales de Tracheophyta: Polypodiidae y Magnoliidae. La familia Poaceae (orden Poales) fue la más representativa, con dos morfoespecies: *Paspalum* sp. y *Urochloa* sp., ambas características de ambientes palustres (Cronk & Fennessy, 2001[2]).

El punto Madrevieja_Negro_02 presentó la mayor riqueza específica (5 morfoespecies), seguido por Negro_CL_01 (2 morfoespecies) y Negro_CL_02 (1 morfoespecie). Esto sugiere una heterogeneidad espacial significativa en la distribución de las especies, posiblemente influenciada por factores hidrológicos, microclimáticos o de perturbación antrópica (Junk et al., 2011[3]) (**Tabla 3.3.3-17**).

Desde el punto de vista estructural, se observa un claro patrón de dominancia de especies gramíneas, particularmente *Paspalum* sp., que alcanzó una cobertura del 70,67% en Madrevieja_Negro_02 y del 37,33% en Negro_CL_01, representando más del 97% de la abundancia relativa en este último. En el punto Negro_CL_02, la única especie registrada fue

[2] Cronk, J. K., & Fennessy, M. S. (2001). Wetland Plants: Biology and Ecology. CRC Press.
[3] Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Wittmann, F., Schöngart, J., & Parolin, P. (2011). Ecological classification of Amazonian floodplain forests. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 13(2), 81-96.

Urochloa sp., con una cobertura del 67% y 100% de abundancia relativa, evidenciando una monodominancia local.

Las especies flotantes como *Salvinia* sp. y *Ludwigia* sp. presentaron baja cobertura y abundancia relativa (≤9%), lo que podría indicar una limitada disponibilidad de hábitats flotantes o competencia por luz y espacio con las especies emergentes (Esteves, 2011[4]).

Por otro lado, especies leñosas como *Inga* sp. y *Psychotria* sp. aparecen con baja cobertura en Madrevieja_Negro_02 (≤12,33%), lo que sugiere una presencia marginal en áreas de transición entre bosque ripario y cuerpos de agua.

El patrón observado sugiere que la estructura funcional de la comunidad está dominada por macrófitas herbáceas tolerantes a fluctuaciones del nivel del agua y con alta capacidad de colonización, características típicas de ambientes inundables tropicales (Tiner, 1999[5]). La baja diversidad puede ser resultado de condiciones hidrológicas extremas o impactos antrópicos localizados.

La presencia de especies pioneras y resistentes como *Paspalum* sp. y *Urochloa* sp. puede indicar procesos de sucesión secundaria o condiciones eutróficas asociadas a la sedimentación y aporte de nutrientes.

- Diversidad Alfa

El punto de muestreo MADREVIEJA_NEGRO_02 resultó ser el único que presentó más de tres especies y que se puede tomar como una comunidad biótica, presentó una riqueza de especies de 5, lo que indica una diversidad moderadamente baja, ya que este valor representa el número total de especies observadas en la muestra (Magurran A. E., 2004).

Tabla 3.3.3-18 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca Bajo rio Negro, época lluvias

ID_PUNTO_M	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_NEGRO_02	5	1.01	0.515	0.628

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El índice de Shannon (H' = 1.01) refuerza esta interpretación, sugiriendo una comunidad con una distribución desigual de especies, donde unas pocas pueden dominar en abundancia. Este índice combina tanto la riqueza como la equitatividad de las especies, y valores cercanos a 1 suelen asociarse con ecosistemas empobrecidos o con disturbios (Moreno, 2001[6]). Asimismo, el índice de Simpson (D = 0.515) indica una probabilidad moderada de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies distintas, reflejando una dominancia relativa de ciertas especies (Krebs, 1999[7]). Finalmente, el índice de equitatividad de Pielou (J' = 0.628) sugiere una

[4] Esteves, F. A. (2011). Fundamentos de Limnologia. Interciência.
[5] Tiner, R. W. (1999). Wetland Indicators: A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification, and Mapping. CRC Press.
[6] Moreno, C.E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M & T–Manuales y Tesis SEA
[7] Krebs, C. J. (1999). Ecological methodology (2nd ed.). Benjamin Cummings.

distribución relativamente desigual entre las especies presentes, ya que un valor de 1 indicaría equidad total (Pielou, 1969[8]) (**Tabla 3.3.3-18**). En conjunto, estos indicadores sugieren una comunidad ecológica con diversidad y equidad intermedias, posiblemente influenciada por presiones ambientales o características particulares del hábitat.

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

Durante la época de lluvias, la Microcuenca del Bajo río Negro presentó una mayor riqueza y cobertura de macrófitas acuáticas, especialmente en el punto MADREVIEJA_NEGRO_02, con cinco morfoespecies y una cobertura total superior al 100%. Este punto albergó especies representativas de diversas familias como Poaceae (*Paspalum* sp.), Rubiaceae (*Psychotria* sp.), y Salviniaceae (*Salvinia* sp.), lo que evidencia una comunidad estructuralmente diversa. En contraste, los sitios NEGRO_CL_01 y NEGRO_CL_02 mostraron una menor diversidad (2 y 1 morfoespecies respectivamente), con dominancia clara de una sola especie en cada sitio (*Paspalum* sp. y *Urochloa* sp., respectivamente). Esta distribución indica que, mientras algunas zonas presentan comunidades complejas y diversas, otras están fuertemente dominadas por una sola especie, lo cual puede ser reflejo de factores como el flujo hidrológico, disponibilidad de nutrientes o disturbios antropogénicos.

Durante la época seca, se observó una reducción drástica en la diversidad y cobertura de macrófitas. Solo se registró una especie, *Salvinia auriculata*, en el punto MADREVIEJA_NEGRO_02, con un 100% de cobertura. Los demás puntos de muestreo no registraron presencia de macrófitas acuáticas. Esta simplificación de la comunidad en época seca es común en humedales estacionales y sistemas fluviales tropicales, donde la reducción del nivel de agua puede limitar la disponibilidad de hábitats adecuados y restringir el crecimiento de especies sumergidas y emergentes (Bini et al., 2005[9]).

Desde el punto de vista estructural, los datos reflejan una alta variabilidad estacional, con una comunidad más diversa y compleja durante la temporada de lluvias y una comunidad empobrecida y monoespecífica en la temporada seca. Este patrón sugiere que el régimen hidrológico es un factor clave en la configuración de la comunidad de macrófitas, como lo han demostrado estudios en humedales tropicales similares (Junk et al., 1989[3]; Chambers et al., 2008[10]).

3.3.3.2.2 Microcuenca Caño Banderas

La Microcuenca del caño Banderas, ubicada en el municipio de Puerto López, departamento del Meta, Colombia, se encuentra en la región fisiográfica de la altillanura, una subunidad de la Orinoquia caracterizada por su topografía suavemente ondulada, suelos de baja fertilidad natural y una fuerte estacionalidad climática. En este contexto, se realizó un monitoreo de comunidades

[8] Pielou, E. C. (1969). An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience.
[9] Bini, L. M., Thomaz, S. M., Murphy, K. J., & Camargo, A. F. M. (2005). Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the upper Paraná River floodplain, Brazil. Freshwater Biology, 50(10), 1698–1709.
[10] Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K. J., & Thomaz, S. M. (2008). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. Hydrobiologia, 595, 9–26.

hidrobiológicas con el fin de establecer una línea base ecológica ante posibles intervenciones sobre el sistema hídrico. El estudio se llevó a cabo en tres puntos de muestreo: dos ecosistemas lóticos (OCmn12 y OCmn13), donde se propone ocupación de cauce, y un ecosistema léntico (BANDERAS_CLE_01) (**Figura 3.3.3-10**).

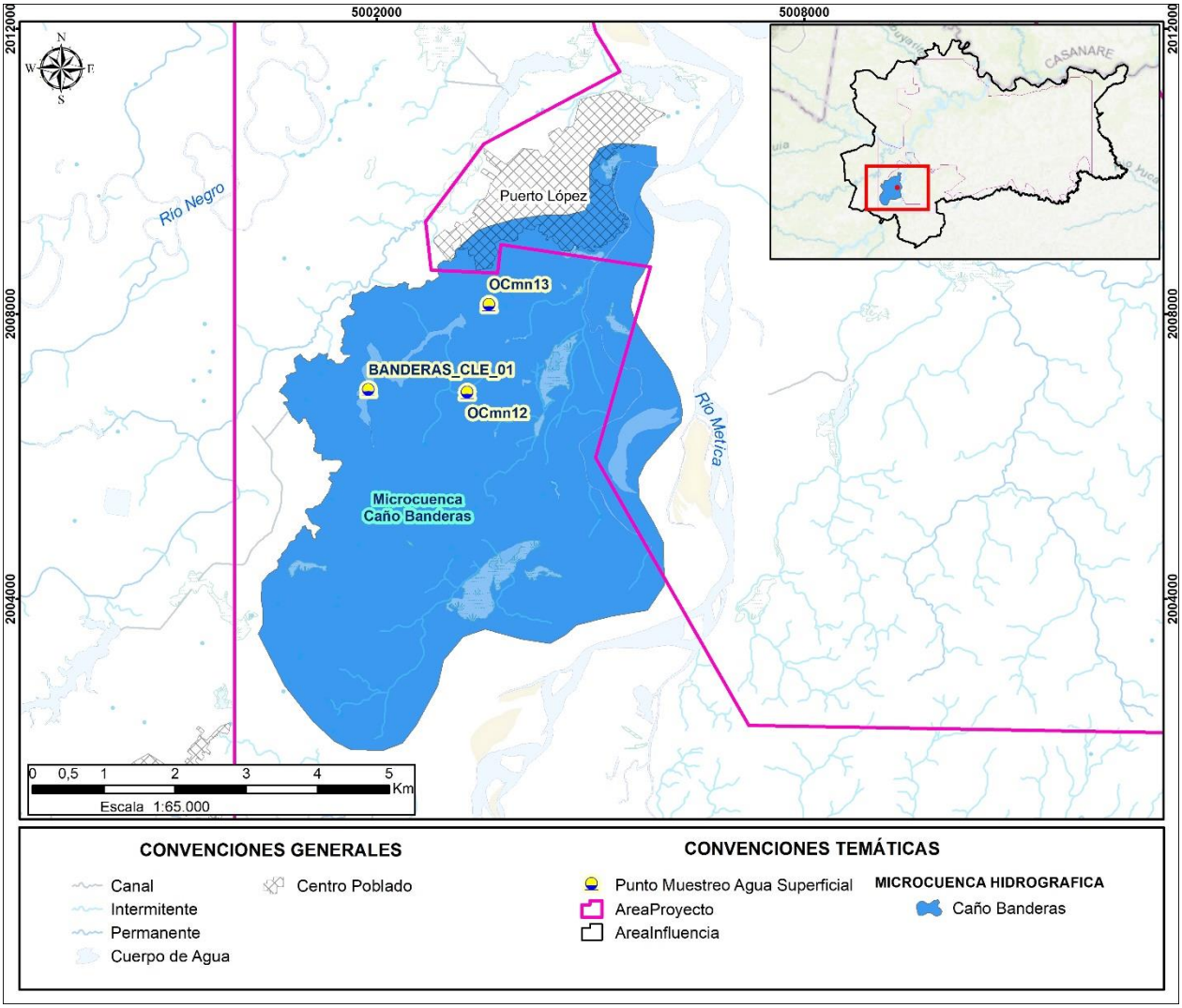


Figura 3.3.3-10 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño Banderas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Banderas, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamblaje fitoplanctónico analizado en el sistema léntico de llanura inundable durante la época seca, en la Microcuenca Caño Banderas y representado en las estaciones BANDERAS_CLE_01 con una abundancia total (0.152 ind/mL) y una riqueza de siete géneros (**Tabla 3.3.3-19**) y la ocupación de cauce OCmn12 con una abundancia total de (0.993 ind/mL) y una riqueza de 12 géneros (**Tabla 3.3.3-19**), esto evidencia una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta), clorofitas (Chlorophyta) y cianobacterias (Cyanobacteria), con una riqueza de 21 géneros y una abundancia total de 1.145 ind/mL. La estación OCmn12 presentó mayor diversidad y abundancia, destacándose géneros como *Stauroneis* (0.151 ind/mL) y un porcentaje de abundancia relativa de 15,2%), *Eunotia* (0.149 ind/mL) y *Cosmarium* (0.099 ind/mL) con porcentajes de abundancia relativa respectivas de (15,0% y 9,67% respectivamente) mientras que en BANDERAS_CLE_01 predominaron *Pinnularia* (0.039 ind/mL) con una abundancia relativa de (25,7%) y *Aulacoseira* (0.047 ind/mL) con un porcentaje de abundancia de (30,9%) (**Tabla 3.3.3-19**) (**Figura 3.3.3-11**).

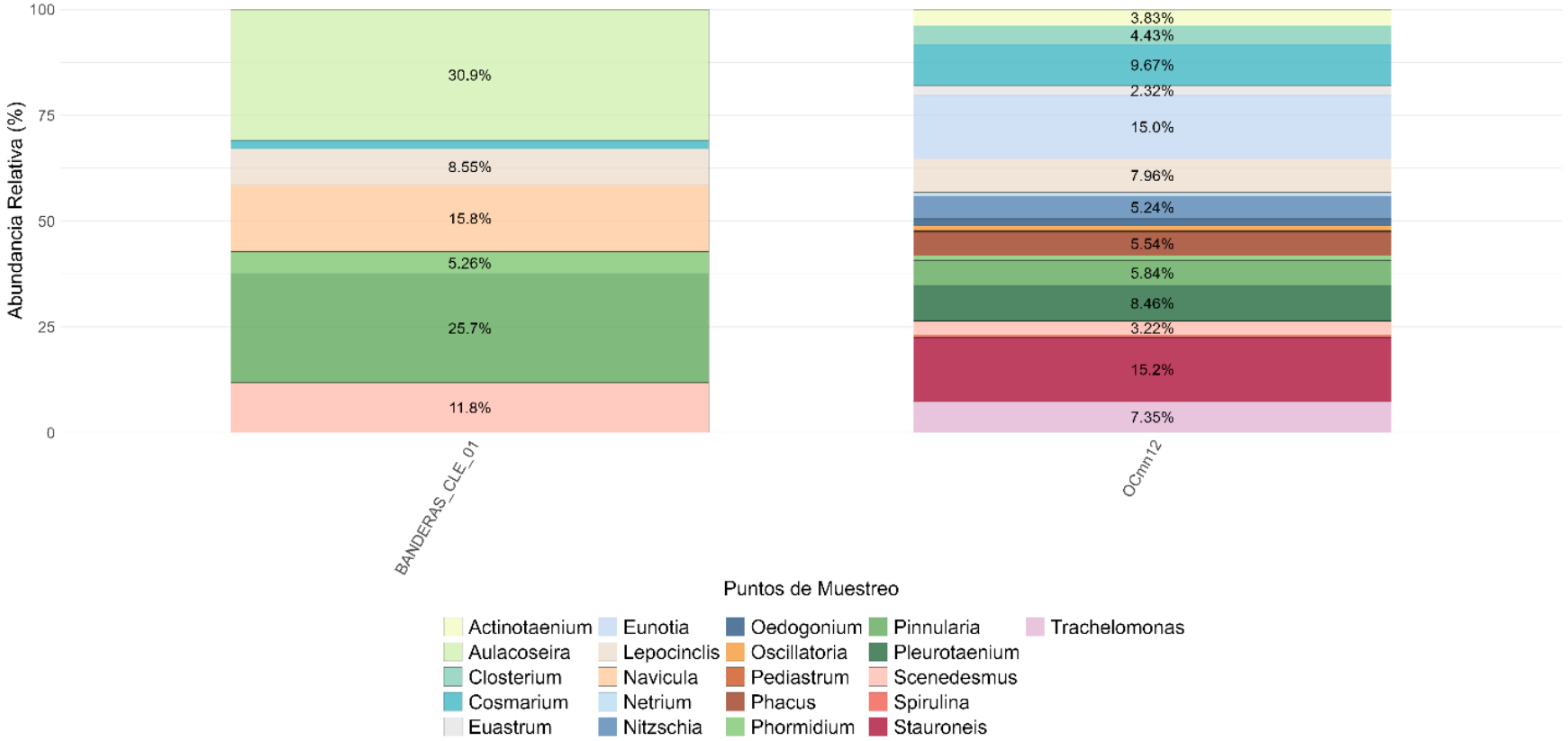


Figura 3.3.3-11 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos resultados sugieren condiciones de aguas tranquilas y posiblemente oligotróficas, con presencia de diatomeas pennadas como (*Pinnularia*, *Navicula*) y céntricas como (*Aulacoseira*), típicas de sistemas lénticos con baja turbulencia (Reynolds, 2006). La presencia de *Trachelomonas* (0.073 ind/mL) y *Lepocinclis* (0.092 ind/mL) en OCmn12 podría indicar aportes orgánicos desde sistemas terrestres adyacentes, mientras que la baja abundancia de cianobacterias con los géneros (*Oscillatoria*, 0.012 ind/mL; *Spirulina*, 0.006 ind/mL) sugiere limitación de nutrientes como nitrógeno o fósforo (Paerl & Huisman, 2008). La interacción entre estos géneros refleja una partición de nichos, donde las diatomeas ocupan hábitats bentopelágicos, mientras que las clorofitas (*Scenedesmus*, 0.05 ind/mL; *Pediastrum*, 0.003 ind/mL) y desmidias (*Cosmarium*, *Euastrum*) prosperan en zonas litorales con mayor disponibilidad lumínica (Coesel & Meesters, 2007). La conexión con sistemas lóticos y terrestres se infiere por la presencia de *Phacus* (0.055 ind/mL) y *Closterium* (0.044 ind/mL), géneros comunes en sistemas lénticos y zonas de transición, lo que resalta la influencia de flujos laterales durante eventos de lluvia esporádicos (Wetzel R. G., 2001).

En conclusión, el ensamblaje fitoplanctónico estudiado caracteriza un sistema léntico en época seca con condiciones oligotróficas y baja perturbación antropogénica, donde la dominancia de diatomeas y desmidias señala aguas bien oxigenadas y con moderada conductividad.

Tabla 3.3.3-19 Ensamble Ecológico Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Banderas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Banderas_Cle_01	Ocmn12	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*		0,073	0,073
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,013	0,079	0,092
				Phacus		0,055	0,055
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*		0,017	0,017
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	0,018	0,032	0,05
			Hydrodictyaceae	*Pediastrum*		0,003	0,003
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,039	0,058	0,097
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*		0,151	0,151
			Naviculaceae	*Navicula*	0,024		0,024
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*		0,149	0,149
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*		0,052	0,052
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,047		0,047
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*		0,012	0,012
				Phormidium	0,008	0,012	0,02
		Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina*		0,006	0,006
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		0,044	0,044
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,003	0,096	0,099
				Euastrum		0,023	0,023
				Pleurotaenium		0,084	0,084
				Actinotaenium		0,038	0,038
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*		0,009	0,009
Gran Total					**0,152**	**0,993**	**1,145**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad muestran diferencias ecológicas marcadas entre los dos ambientes estudiados en la Microcuenca. El punto léntico BANDERAS_CLE_01 presenta valores moderados de abundancia (0.152 Ind(mL) y riqueza de siete géneros, con un índice de Shannon (1.807) que indica diversidad media-alta, complementado por un bajo valor de Simpson (0.195) que revela mínima dominancia de especies y un alto índice de Pielou (0.929) (**Tabla 3.3.3-20**) que demuestra excelente equitatividad en la distribución de los taxones. Este perfil corresponde a un ambiente acuático estable y bien conservado, típico de sistemas lénticos con condiciones equilibradas. En contraste, el punto de ocupación de cauce OCmn12 muestra características excepcionalmente buenas, con abundancia muy elevada (0.993 Ind/mL) y riqueza notable de 19 géneros, respaldadas por un índice de Shannon alto (2.673) que confirma gran diversidad, un valor de Simpson muy bajo (0.086) que indica ausencia de dominancia y un Pielou igualmente elevado (0.908) (**Tabla 3.3.3-20**). Estos valores sugieren un ambiente fluvial altamente productivo y diverso, posiblemente enriquecido por aportes naturales de nutrientes, pero sin mostrar signos de eutrofización descontrolada.

La evaluación conjunta de ambos puntos permite inferir que la Microcuenca mantiene condiciones ecológicas globalmente buenas, con ambientes tanto lénticos como ocupación de cauce que sustentan comunidades fitoplanctónicas diversas y equilibradas. Sin embargo, es importante considerar que este análisis presenta limitaciones importantes para extrapolar conclusiones definitivas sobre el estado ecológico de toda la Microcuenca. La diferencia inherente entre sistemas lénticos y ocupaciones de cauce, sumada a la escasez de puntos de muestreo, impide generalizar estos resultados. La calificación ecológica aquí propuesta debe entenderse como preliminar, requiriéndose un diseño de muestreo más comprensivo que incluya el mayor número de estaciones en cada tipo de ambiente, la cobertura de zonas de transición entre sistemas, y la evaluación de parámetros fisicoquímicos complementarios. No obstante, los datos disponibles constituyen un indicio alentador sobre la salud general del ecosistema acuático en esta Microcuenca, particularmente por la ausencia de signos de degradación en ambos ambientes estudiados.

Tabla 3.3.3-20 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BANDERAS_CLE_01	0.152	7	1.807	0.195	0.929
OCmn12	0.993	19	2.673	0.086	0.908

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamblaje zooplanctónico analizado en el sistema léntico de la Microcuenca del Caño Banderas presentes en una llanura inundable durante la época seca, representado en las estaciones BANDERAS_CLE_01 con una abundancia total (0.0057 ind/mL) y una riqueza de una morfoespecie y OCmn12 (Ocupación de Cauce) con una abundancia total (0.0416 ind/mL) y una riqueza de ocho morfoespecies (**Tabla 3.3.3-21**), esto revela una comunidad de baja abundancia

total (0.0473 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-21**) pero con diversidad representativa de grupos clave como protozoos (Amoebozoa), rotíferos (Rotifera) y microcrustáceos (Arthropoda). La estación OCmn12 mostró mayor riqueza y abundancia, destacándose taxones como *Polyarthra* (0.0083 ind/mL) y una abundancia relativa (20,0%) y nauplios de copépodos (0.0111 ind/mL) y una un porcentaje de abundancia relativa de (26,7%), mientras que en BANDERAS_CLE_01 solo se registró *Arcella* (0.0057 ind/mL) y un porcentaje del 100% (**Tabla 3.3.3-21**) (**Figura 3.3.3-12**). La presencia de amebas testadas (*Arcella*, *Difflugia*, *Centropyxis*) en OCmn12 (0.0103 ind/mL en total para ambos puntos) sugiere condiciones de aguas con moderada acumulación de materia orgánica y sustratos bentónicos estables, típicos de sistemas lénticos someros (Foissner et al., 2007). Los rotíferos (*Lecane*, *Polyarthra*), indicadores de aguas con fitoplancton disponible (Wallace R. L. et al., 2016), y los microcrustáceos (nauplios, ostrácodos) reflejan una red trófica en desarrollo, aunque la escasez de cladóceros sugiere limitaciones en recursos alimenticios. La interacción entre grupos evidencia una estructura comunitaria simple, donde protozoos dominan el microzooplancton, mientras que rotíferos y copépodos ocupan nichos pelágicos, posiblemente en respuesta a la presión de depredación por invertebrados bentónicos (Dumont, 1994). La conexión con sistemas terrestres se infiere por la presencia de ostrácodos (0.0028 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-21**), organismos con etapas resistentes que colonizan hábitats acuáticos temporales (Martens et al., 2008), mientras que la ausencia de taxas lóticos como *Brachionus* refuerza el carácter léntico del sistema.

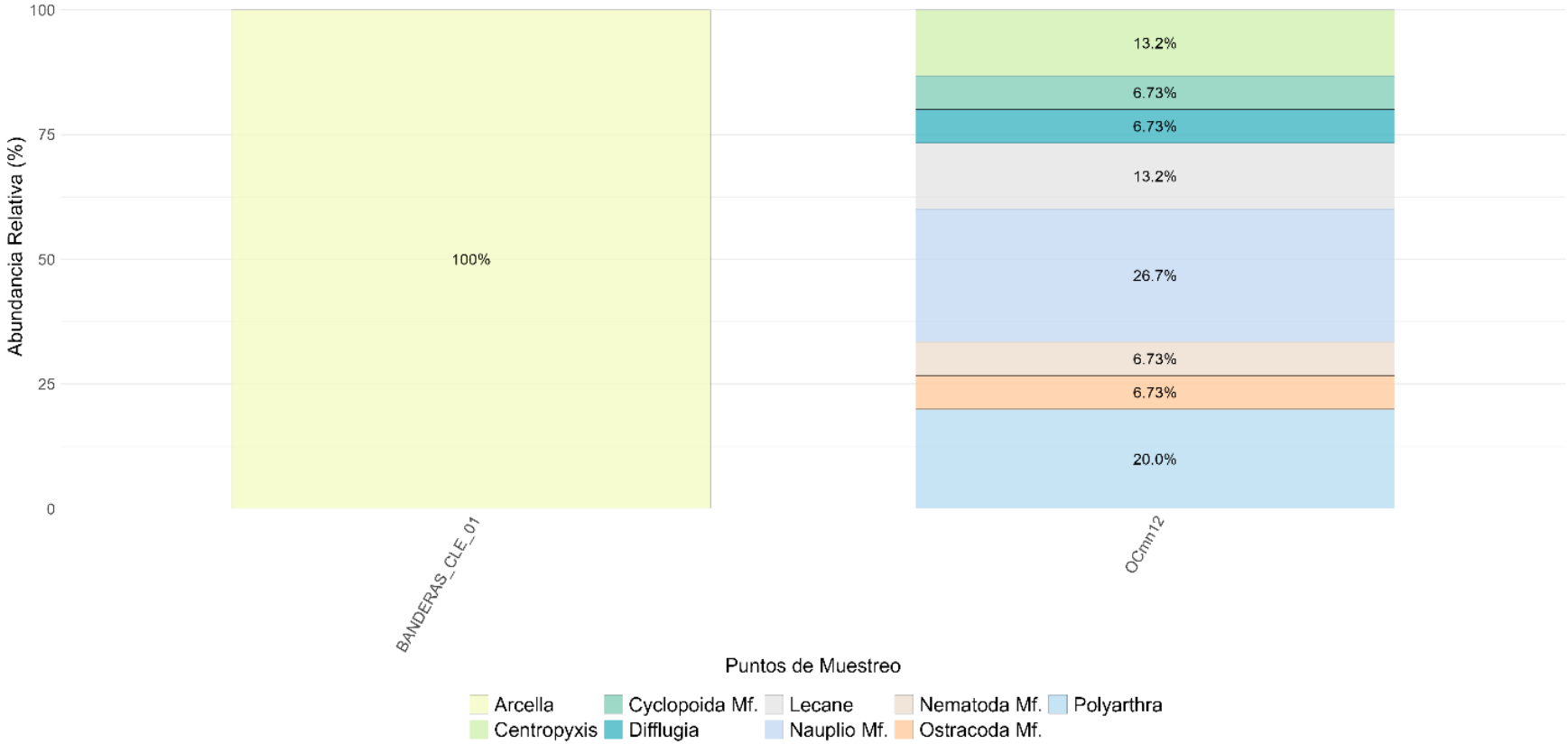


Figura 3.3.3-12 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamblaje zooplanctónico caracteriza un sistema léntico en época seca con baja productividad y limitada conectividad hidrológica, donde la dominancia de protozoos y rotíferos señala condiciones oligotróficas y una red trófica simplificada. La interacción entre grupos funcionales y la influencia de hábitats terrestres adyacentes muestran una vulnerabilidad de estos ecosistemas a cambios estacionales. Esto resalta el potencial de los taxones registrados como *Arcella* y *Polyarthra* como bioindicadores de estado trófico y estabilidad ecológica en altillanuras tropicales.

Tabla 3.3.3-21 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Banderas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Banderas_CLE_01	OCMN12	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0057		0,0057
			Difflugiidae	*Difflugia*		0,0028	0,0028
			Centropyxidae	*Centropyxis*		0,0055	0,0055
Arthropoda	-	-	-	Nauplio Mf.		0,0111	0,0111
	Maxillopoda	Cyclopoida		Cyclopoida Mf.		0,0028	0,0028
	Ostracoda	-		Ostracoda Mf.		0,0028	0,0028
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Lecanidae	*Lecane*		0,0055	0,0055
			Synchaetidae	*Polyarthra*		0,0083	0,0083
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.		0,0028	0,0028
Gran Total					**0,0057**	**0,0416**	**0,0473**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad muestra una diferencia en las comunidades zooplanctónicas entre los dos ambientes estudiados. El punto léntico BANDERAS_CLE_01 presenta una situación crítica, con una abundancia extremadamente baja (0.0057 Ind/mL) y solo reporta una morfoespecie (riqueza = 1), lo que se refleja en valores nulos en los índices de Shannon (0) y máximos en Simpson (1) (**Tabla 3.3.3-22**), indicando la completa ausencia de diversidad y la dominancia absoluta de una única morfoespecie. Este escenario es característico de ambientes acuáticos severamente degradados, posiblemente debido a condiciones de estrés químico, hipoxia o alteraciones drásticas en la base de la red trófica. En contraste, el punto de ocupación de cauce OCmn12 muestra valores considerablemente mejores, con una abundancia baja (0.0416 Ind/mL) y una riqueza de ocho morfoespecies, acompañadas de un índice de Shannon moderado-alto (1.934) que indica diversidad considerable, un valor bajo de Simpson (0.164) que señala mínima dominancia de especies, y un alto índice de Pielou (0.93) (**Tabla 3.3.3-22**) que demuestra una distribución notablemente equitativa entre los taxones presentes. Este perfil corresponde a un ambiente fluvial con condiciones ecológicas favorables para el desarrollo del zooplancton.

La evaluación conjunta de ambos puntos sugiere que la Microcuenca presenta una calidad ecológica heterogénea, con un ambiente del puto en ocupación de cauce en buen estado

(OCmn12) y un sistema léntico gravemente deteriorado (BANDERAS_CLE_01). Esta discrepancia podría deberse a diferencias en la disponibilidad de alimento (fitoplancton), condiciones hidrodinámicas, o impactos antropogénicos localizados. Sin embargo, es importante reconocer que este análisis, basado en solo dos puntos de muestreo representando diferentes ambientes, tiene limitaciones importantes para extrapolar conclusiones definitivas sobre el estado ecológico de toda la Microcuenca.

El zooplancton presenta una distribución espacial altamente variable influenciada por múltiples factores locales, y dos estaciones no son suficientes para capturar esta complejidad ecológica. Los datos actuales deben interpretarse como un análisis preliminar, sobre las causas de la degradación en el sistema léntico, pero no como un diagnóstico concluyente del estado general de la Microcuenca. La calificación ecológica tentativa sería de regular a pobre, dominada por la grave situación del ambiente léntico, aunque con la importante salvedad de que esta evaluación está limitada por la escasez de puntos de referencia.

Tabla 3.3.3-22 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BANDERAS_CLE_01	0.0057	1	0	1	
OCmn12	0.0416	8	1.934	0.164	0.93

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamblaje perifítico registrado en la estación OCmn13 (ocupación de cauce) de la Microcuenca del Caño Banderas durante la época seca y presente en llanura inundable, reporta una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta), que representan el 89.3% de la abundancia total

(333.7 ind/cm² de 373.3 ind/cm²), con una riqueza de 11 morfoespecies distribuidas en cuatro divisiones. Los géneros más abundantes fueron *Eunotia* (95.7 ind/cm²) con un porcentaje de abundancia de (25.6%), *Pinnularia* (93 ind/cm²) con porcentaje de abundancia de (24.9%) y *Tabellaria* (47.2 ind/cm²) con un porcentaje del (12.6%), todos pertenecientes a diatomeas pennadas, seguidos por *Gomphonema* (32.3 ind/cm²) con porcentaje de (8.65%) y *Navicula* (37.8 ind/cm²) con un porcentaje del (10.1%) (**Tabla 3.3.3-23**) (**Figura 3.3.3-13**). Esta composición sugiere condiciones de aguas bien oxigenadas, con bajo contenido de nutrientes y pH ligeramente ácido (entre 5.5 y 6.5), según los rangos óptimos reportados para estos taxa (Round et al., 1990) (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

La presencia dominante de *Eunotia* y *Pinnularia* bioindicadoras de aguas oligotróficas con bajo contenido de materia orgánica disuelta (Potapova & Charles, 2007) confirma el carácter de condiciones naturales bien conservadas. Por otro lado, la baja abundancia de algas verdes como *Scenedesmus* 2.7 ind/cm² (0.72%) y *Oedogonium* 12.1 ind/cm² (3.24%) y euglenofitas con *Trachelomonas* 21.6 ind/cm² y (5.79) (**Tabla 3.3.3-23** (**Figura 3.3.3-13**) sugiere limitada influencia de aportes orgánicos desde sistemas terrestres o lénticos adyacentes.

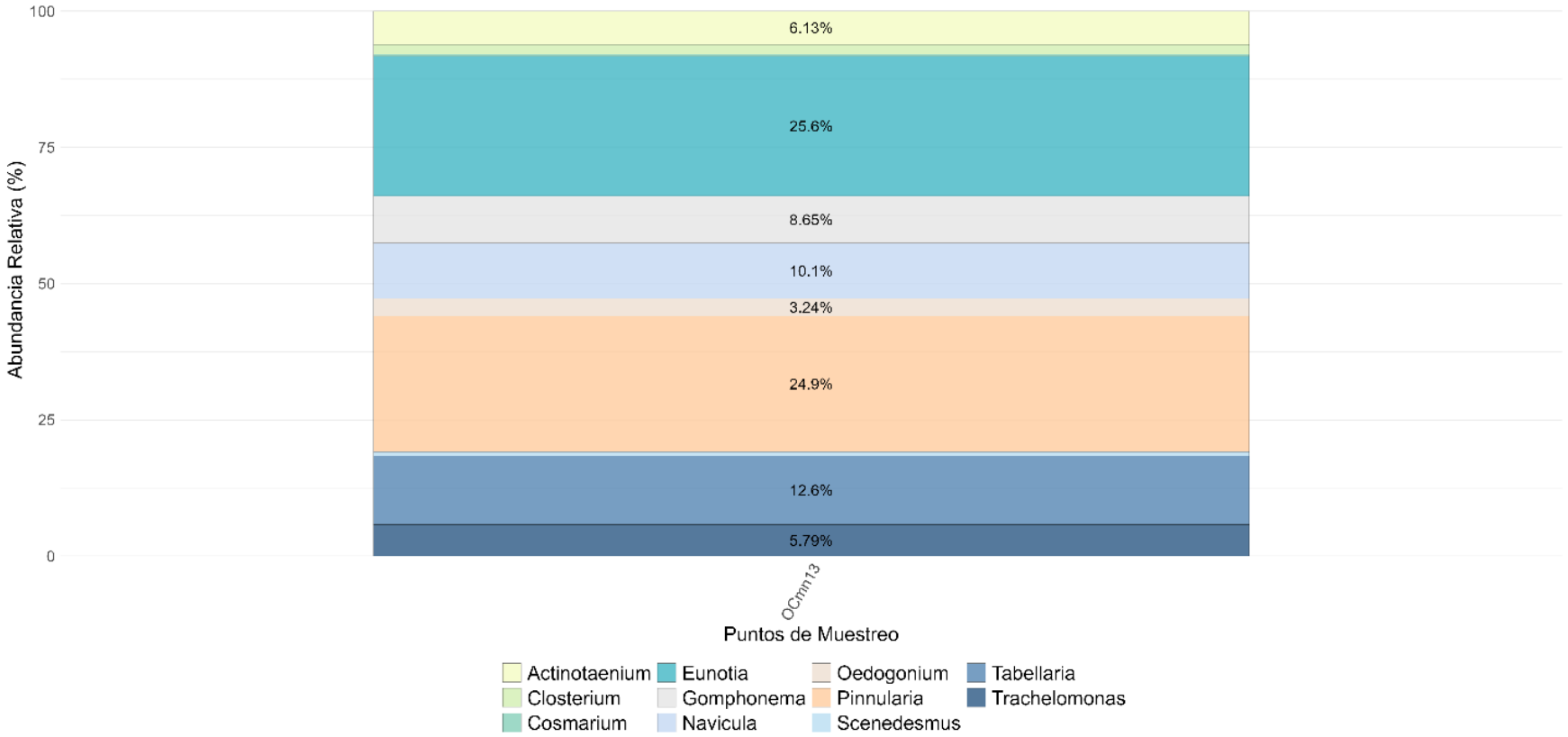


Figura 3.3.3-13 Porcentaje de Abundancia para la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Banderas, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre géneros revela una partición de nichos donde *Pinnularia* y *Navicula* colonizan sustratos duros, mientras *Tabellaria* y *Gomphonema* prefieren sustratos vegetales sumergidos, patrón típico de ríos de altillanura con lechos estables (Biggs B. F., 1996). La escasa representación de desmidias (*Cosmarium*: 1.3 ind/cm²; *Actinotaenium*: 22.9 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-23**), usualmente abundantes en ecosistemas lénticos cercanos, indica baja conectividad con sistemas lénticos durante la época seca. Esta hipótesis ecológica se ve reforzada por la ausencia de taxones típicamente lóticos-lentónicos como *Cyclotella* o *Aulacoseira*.

En conclusión, el ensamblaje estudiado caracteriza un sistema lótico de altillanura en época seca con condiciones oligotróficas estables y mínima influencia externa. La dominancia de diatomeas pennadas especializadas (*Eunotia*, *Pinnularia*) refleja adaptaciones a flujos moderados y baja disponibilidad de nutrientes, mientras que la estructura comunitaria sugiere un sistema hidrológicamente aislado temporalmente de sus entornos lénticos y terrestres.

Tabla 3.3.3-23 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifíton Microcuenca caño Banderas, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Banderas	Abundancia total microcuenca (ind/cm2)
					OCmn13	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	32,3	32,3
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	93	93
			Naviculaceae	*Navicula*	37,8	37,8
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	95,7	95,7
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	47,2	47,2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	12,1	12,1
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	2,7	2,7
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	1,3	1,3
				Actinotaenium	22,9	22,9
			Closteriaceae	*Closterium*	6,7	6,7
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	21,6	21,6
Gran Total					**373,3**	**373,3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad del punto OCmn13 muestran características ecológicas destacables para la comunidad de perifiton, con una abundancia alta (373.3 Ind/cm^2) que sugiere condiciones óptimas de disponibilidad de nutrientes y sustratos adecuados para el desarrollo de estas comunidades. La riqueza de 11 géneros, combinada con un índice de Shannon de 2.004, indica una diversidad considerable de taxones, mientras que el valor bajo de Simpson (0.169) revela una mínima dominancia de especies particulares. El índice de Pielou (0.836) (**Tabla 3.3.3-24**), muestra una distribución notablemente equitativa entre las especies presentes. Este perfil corresponde a un ambiente acuático altamente favorable para el perifiton, con condiciones que promueven tanto la productividad como la diversidad de estas comunidades bentónicas. La combinación de alta abundancia con buena diversidad y equitatividad sugiere un sistema bien equilibrado, sin signos evidentes de perturbación antropogénica significativa.

Sin embargo, es importante mencionar que este análisis, basado en un único punto de muestreo, presenta limitaciones para evaluar el estado ecológico de toda la Microcuenca. Las comunidades de perifiton exhiben una variabilidad espacial pronunciada debido a diferencias en tipo de sustrato, flujo de agua, disponibilidad lumínica y otros factores microambientales. Un solo muestreo no puede capturar esta heterogeneidad natural, impidiendo determinar si las condiciones observadas son representativas del sistema completo o corresponden a un microhábitat particularmente favorable. Los datos actuales, aunque indican excelentes condiciones en el punto muestreado, solo permiten afirmar que existe al menos un sector de la Microcuenca en estado ecológico óptimo, pero no son suficientes para calificar el sistema en su conjunto.

Tabla 3.3.3-24 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn13	373.3	11	2.004	0.169	0.836

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

En el contexto de los ecosistemas acuáticos de la altillanura colombiana, el análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en la Microcuenca del caño Banderas, correspondiente a un sistema lótico y monitoreado durante la época seca, evidencia una comunidad con muy baja diversidad en términos de estructura y funcionalidad ecológica. En esta estación, se registró únicamente una morfoespecie de la familia Naididae (Clase Clitellata, Orden Tubificida, Phyllum Annelida), con una abundancia total de 1,1 individuos/m² (**Tabla 3.3.3-25**) presente en un solo punto de monitoreo (OCm13).

Tabla 3.3.3-25 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Banderas, época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Banderas	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						Ocmn13	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae Mf.*	1,1	1,1
Total individuos/m²						1,1	1,1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta familia, ampliamente distribuida en sistemas de agua dulce, se compone de especies con alta tolerancia a condiciones de baja oxigenación, sedimentos finos y presencia de materia orgánica en descomposición (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014; Roldan G. , 2003). Su dominancia exclusiva en este punto de monitoreo indica un estado ecológico comprometido, donde las condiciones del hábitat bentónico han sido reducidas al mínimo para permitir la subsistencia solo de formas de vida altamente resistentes. Este patrón coincide con observaciones similares realizadas en cuerpos lóticos de zonas tropicales con marcada estacionalidad climática y fuerte influencia antrópica (Bonada et al., 2006; Domínguez & Fernández, 2009).

El valor ecológico de este hallazgo radica no solo en la baja riqueza y abundancia, sino también en la ausencia de otros grupos funcionales clave, como coleópteros, efemerópteros, tricópteros u odonatos, los cuales actúan como bioindicadores sensibles de calidad de agua y heterogeneidad de hábitat (Rosenberg & Resh, 1993). La carencia de estos grupos en punto OCm13 sugiere una severa simplificación del ensamblaje bentónico, posiblemente causada por factores como la desecación del cauce, el aumento en la temperatura del agua, la colmatación del lecho por sedimentos finos y/o el ingreso de contaminantes orgánicos o químicos desde fuentes difusas o puntuales presentes en la Microcuenca.

Desde una perspectiva de interacción entre sistemas, este resultado también puede interpretarse como el reflejo de un proceso de desconexión ecológica entre el sistema lótico (el caño Banderas), los sistemas lénticos circundantes (lagunas temporales o cuerpos de agua estacionales) y el sistema terrestre adyacente. En condiciones naturales, estos tres componentes del paisaje (río, humedales y bosque o sabana) se integran mediante flujos de materia, energía y organismos, lo que permite una mayor diversidad ecológica y funcional (Junk et al., 1989). Sin embargo, la pérdida de conectividad espacial y funcional —debido al cambio en el uso del suelo, la ganadería extensiva o el drenaje de humedales— puede impedir la recolonización natural de los tramos lóticos por parte de especies procedentes de hábitats vecinos, restringiendo así la resiliencia ecológica de la comunidad bentónica (Allan & Castillo, 2007).

En términos de bioindicación, la presencia exclusiva de *Naididae* Mf. sugiere un valor BMWP muy bajo, clasificado como "muy crítico" según los umbrales propuestos por Roldán (2003) para sistemas colombianos, lo que indica una alta contaminación o alteración ambiental, incluso si esta no proviene de fuentes puntuales identificables. Es relevante anotar que, si bien esta familia es útil como indicadora de condiciones eutróficas o degradadas, su presencia aislada carece del poder diagnóstico de un índice multivariado completo.

En conclusión, el análisis del ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos en esta Microcuenca revela una comunidad muy empobrecida, dominada únicamente por un grupo tolerante (Naididae Mf.), lo que evidencia condiciones ambientales limitantes tanto a nivel físico como químico. Esta situación refleja no solo los efectos de la estacionalidad extrema de la altillanura, sino también posibles efectos acumulativos derivados de la alteración del paisaje, la pérdida de conectividad entre sistemas hídricos y la presión antrópica en la Microcuenca.

- Diversidad Alfa

No se debe realizar un análisis de índices de diversidad cuando solo se ha encontrado una especie, ya que estos índices están diseñados para cuantificar la variedad de especies y su distribución relativa dentro de una comunidad biológica. La diversidad ecológica implica tanto la riqueza (número de especies) como la equitatividad (distribución de los individuos entre las especies). En presencia de una única especie, la riqueza es mínima y la equitatividad carece de sentido, lo que conduce inevitablemente a un valor de diversidad igual a cero. Aplicar índices como Shannon o Simpson en este contexto no aporta información ecológica relevante y puede inducir a interpretaciones erróneas. Por ello, se considera metodológicamente inapropiado realizar este tipo

de análisis sin una mínima riqueza de especies que justifique la evaluación de la diversidad (Magurran A. E., 2004); (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001).

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados asociados a macrófitas en sistemas lenticos, de la Microcuenca del Caño Banderas (BANDERAS_CLE_01 y OCmn12), estuvo compuesta por 10 morfoespecies distribuidas en tres (3) phyllum, dos (2) clases, cinco (5) órdenes, nueve (9) familias y cinco (5) géneros, donde comunidad estuvo dominada por artrópodos, particularmente insectos, que representan la mayor abundancia y riqueza (**Tabla 3.3.3-26**). Así como Nematoda solo logro ser determinado al nivel de phyllum debido a la complejidad para reconocer estructuras que permitan identificarla a un nivel taxonómico menor.

Tabla 3.3.3-26 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Banderas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						Banderas_CLE_01	OCmn12	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae* Mf.	1,1	5,6	6,7
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.		7,8	7,8
			Ceratopogonidae		*Ceratopogonidae* Mf.		25,6	25,6
		Coleóptera	Dytiscidae	Pachydrus	*Pachydrus* sp.		1,1	1,1
			Noteridae	Suphisellus	*Suphisellus* sp.		1,1	1,1
			Hydrophilidae	Berosus	*Berosus* sp.		4,4	4,4
		Hemiptera	Micronectidae	Tenagobia	*Tenagobia* sp.		3,3	3,3
			Corixidae	Centrocorisa	*Centrocorisa* sp.		6,7	6,7
		Trichoptera	Leptoceridae	-	*Leptoceridae* Mf.		2,2	2,2
Nematoda	-	-	-		*Nematoda* Mf.		1,1	1,1
Total general						**1**	**59**	**60**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los datos indican que la familia Ceratopogonidae (25.6 ind/m²) es la más abundante, seguida por Chironomidae (7.8 ind/m²) y Corixidae (6.7 ind/m²). Los oligoquetos (Glossiphoniidae Mf.), la única morfoespecie reportada para BANDERAS_CLE_01 (1.1 ind/m²) y nematodos presentan abundancias menores (6.7 y 1.1 ind/m², respectivamente), lo que sugiere una influencia de condiciones ambientales particulares, como un sustrato estable y disponibilidad de materia orgánica fina, típica de sistemas lóticos en época seca (Roldan & Ramirez, 2008). La presencia de coleópteros (Dytiscidae, Noteridae, Hydrophilidae) y hemípteros (Micronectidae, Corixidae) refleja la presencia en sistemas lénticos, ya que estos grupos suelen colonizar hábitats con menor corriente (Merritt & Cummins, 2008).

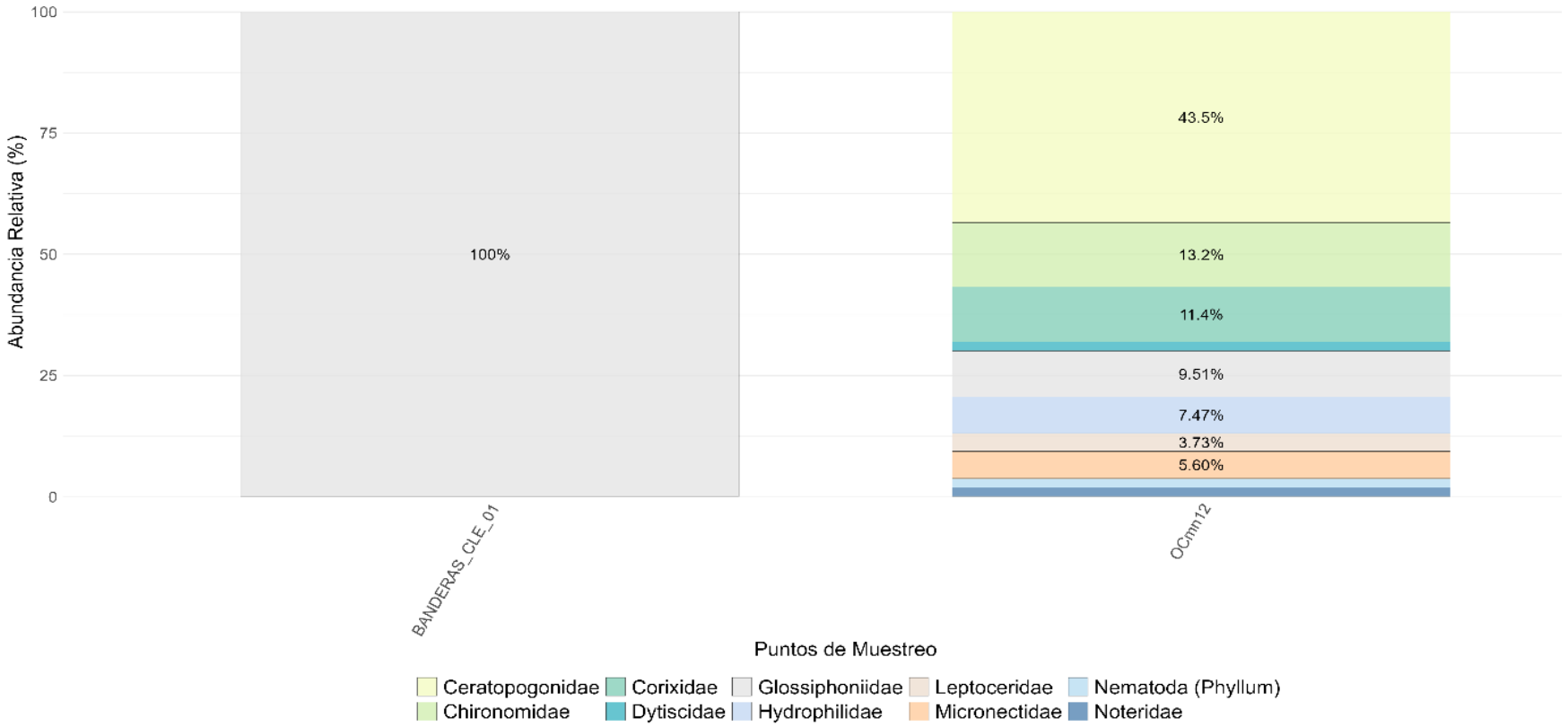


Figura 3.3.3-14 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época seca.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El BMWP/Col sugiere que la comunidad está adaptada a condiciones Critica de calidad del agua, dada la presencia de Chironomidae (**Tabla 3.3.3-27**), que toleran cierto grado de perturbación, y la ausencia de taxones altamente sensibles como Ephemeroptera o Plecóptera (Domínguez & Fernández, 2009). La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se evidencia en la presencia de géneros como *Pachydrus* y *Suphisellus* (coleópteros acuáticos), que pueden desplazarse entre hábitats, y *Tenagobia* (hemíptero), asociado a vegetación ribereña. Esto indica un flujo de materia y energía entre ecosistemas, reforzado por la época seca, que reduce la conectividad hídrica pero incrementa la dependencia de refugios terrestres (Wantzen K. M. et al., 2008).

Tabla 3.3.3-27 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Banderas, época seca

Microcuenca	Punto de monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO BANDERAS	OCmn12	IV	Critica	31	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble en Caño Banderas refleja una comunidad bentónica adaptada a condiciones lenticas en época seca, con dominancia de insectos y una estructura característica de sistemas lénticos y terrestres. La baja diversidad de morfoespecies sugiere un ambiente con limitaciones ecológicas, posiblemente relacionadas con la estacionalidad climática o presiones antrópicas.

- Diversidad alfa

En relación con los índices de diversidad alfa, y teniendo en cuenta que el comportamiento de una comunidad requiere la presencia de más de una morfoespecie, el punto OCmn12 registro un valor para índice de Shanon de diversidad media (1.859), relacionado con el índice de dominancia de Simpson el cual es bajo (0.235), esto confirmado con el índice de Pielou con un valor de 0.807 permite distinguir a esta comunidad con un comportamiento homogéneo. Respecto al índice beta Bray-curtis de similitud, este no es presentado debido a la baja diversidad de macroinvertebrados para uno de los puntos (BANDERAS_CLE_01) lo cual no permite una comparación adecuada entre estaciones.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

La caracterización de la comunidad de macrófitas acuáticas de la Microcuenca del caño Banderas se realizó mediante el muestreo en las estaciones BANDERAS_CLE_01 (Léntico), OCmn12 (lótico), OCmn13 (Lótico) (**Tabla 3.3.3-28**).

Durante el muestreo realizado en la temporada seca en la Microcuenca del caño Banderas, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, se identificó una única morfoespecie de macrófita acuática perteneciente a la familia Poaceae (monocotiledóneas, orden Poales). Esta especie fue registrada únicamente en el punto de muestreo BANDERAS_CLE_01 (léntico), con un

60 % de cobertura y una abundancia relativa del 100 %, mientras que en los puntos OCmn12 y OCmn13 (lóticos) no se registró presencia de macrófitas acuáticas (**Tabla 3.3.3-28**).

Tabla 3.3.3-28 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Banderas, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Banderas					
				Punto De Meustreo	Banderas_Cle_01		Ocmn12		Ocmn13	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Poaceae	Poaceae Mf.	60	100	0	0	0	0
Cobertura Total general					**60**	**100**	**0**	**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Punto					**1**		**0**		**0**	
Morfoespecies por Microcuenca					**1**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La baja riqueza específica (una sola morfoespecie en toda la Microcuenca) sugiere una comunidad pobremente estructurada y homogénea, lo cual podría estar influenciado por las condiciones hidrológicas de la temporada seca, que tienden a restringir el establecimiento y desarrollo de macrófitas acuáticas (Junk et al., 1989[11]). La familia Poaceae está compuesta por gramíneas que, en sistemas acuáticos, suelen estar representadas por especies emergentes adaptadas a ambientes periódicamente inundados o con fluctuaciones de nivel de agua.

La dominancia absoluta de una única especie indica una comunidad altamente simplificada, donde los mecanismos de competencia intraespecífica probablemente prevalecen sobre la interacción entre diferentes especies. Esta dominancia puede estar relacionada con factores como perturbación antrópica, variabilidad hidrológica, sedimentación o cambios en la calidad del agua (Esteves, 2011[4]).

La ausencia total de macrófitas acuáticas en los puntos OCmn12 y OCmn13 puede explicarse por múltiples factores de carácter físico-químico y ecológico. Entre las causas más comunes se pueden encontrar las condiciones hidrológicas desfavorables: Durante la temporada seca, los cuerpos de agua de la zona presentan una reducción drástica del nivel hídrico, lo cual expone sustratos, interrumpe el flujo y limita el crecimiento de especies acuáticas que requieren niveles constantes de inmersión (Bornette & Puijalon, 2011[12]).

Los sustratos duros, inestables o muy pobres en materia orgánica no ofrecen anclaje ni nutrientes adecuados para la colonización de especies radicadas. Si el fondo es arenoso, pedregoso o presenta alta compactación, es común que la comunidad de macrófitas esté ausente (Barko et al., 1986[13]).

[11] Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. In D. P. Dodge (Ed.), Proceedings of the International Large River Symposium (LARS) (Vol. 106, pp. 110–127). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences.
[12] Bornette, G., & Puijalon, S. (2011). Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. Aquatic Sciences, 73(1), 1–14.
[13] Barko, J. W., Hardin, D. G., & Matthews, M. S. (1986). Growth and morphology of submersed freshwater macrophytes in relation to light and temperature. Canadian Journal of Botany, 64(10), 2525–2530.

La turbidez y poca penetración de luz en el sistema reduce la entrada de luz, inhibe la fotosíntesis, especialmente en especies sumergidas o flotantes, afectando su establecimiento (Chambers & Kalff, 1985[14]).

Bajo oxígeno disuelto, pH extremos, o altas concentraciones de nutrientes (eutrofización) pueden alterar el equilibrio del ecosistema, promoviendo el crecimiento de algas o bacterias y desplazando a las macrófitas (Wetzel, 2001).

Presión antrópica o ganadería extensiva: Las alteraciones por actividades humanas, como el pisoteo de orillas por ganado, vertimientos, o canalización, modifican la estructura del hábitat e impiden la regeneración natural de la vegetación acuática (Thomaz & Cunha, 2010[15]).

La limitada distribución espacial de la única morfoespecie observada, presente solo en un punto con condiciones favorables, refuerza la interpretación de una comunidad en condiciones de estrés o degradación ecológica localizada. En ecosistemas más estables y diversos, es común observar una mayor heterogeneidad en la composición florística y una coexistencia de múltiples grupos funcionales de macrófitas (Padial et al., 2009[16]).

En términos de estructura, la comunidad exhibe una riqueza extremadamente baja, sin diversidad funcional apreciable, y alta dominancia, lo que la posiciona como una comunidad empobrecida ecológicamente. Este patrón es consistente con ambientes fluviales intermitentes o alterados, donde solo ciertas especies oportunistas logran establecerse.

- Diversidad alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con una morfoespecie, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran, 2004).

➢ *Época lluvias*

✓ *Fitoplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico en el sistema léntico de la Microcuenca Caño Banderas, analizado en las estaciones BANDERAS_CLE_01 y OCmn12, presenta una comunidad diversa compuesta por 13 morfoespecies pertenecientes a cuatro divisiones principales: Charophyta (46.8% de abundancia total), Heterokontophyta (19.5%), Cyanobacteria (5.0%) y Euglenophyta (7.1%). La abundancia total en la Microcuenca alcanzó 0.282 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-29**), con una marcada diferencia entre estaciones: BANDERAS_CLE_01 registró 0.068 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-29**)

[14] Chambers, P. A., & Kalff, J. (1985). Depth distribution and biomass of submerged macrophyte communities in relation to Secchi depth. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 42(4), 701–709.
[15] Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems (3rd ed.). Academic Press.
[16] Padial, A. A., Thomaz, S. M., Agostinho, A. A., & Freitas, C. E. (2009). Diversity of aquatic macrophytes in relation to connectivity and hydrological regime in floodplain lakes of a tropical river. Landscape Ecology, 24(7), 903–913.

mientras que OCmn12 mostró 0.214 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-29**), siendo esta última dominada por Mougeotia (0.149 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia (69.6%) (**Tabla 3.3.3-29**) (**Figura 3.3.3-15**). La estructura taxonómica revela patrones ecológicos significativos, con BANDERAS_CLE_01 caracterizada por una mezcla de diatomeas (*Eunotia, Frustulia, Tabellaria*) y desmidios (*Cosmarium, Euastrum, Pleurotaenium*), mientras que OCmn12 muestra predominio de Mougeotia acompañada de *Euglena* y *Spirulina*. De estas las *Eunotia* reporto una abundancia (0.019 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (27.9%) (**Tabla 3.3.3-29**) (**Figura 3.3.3-15**).

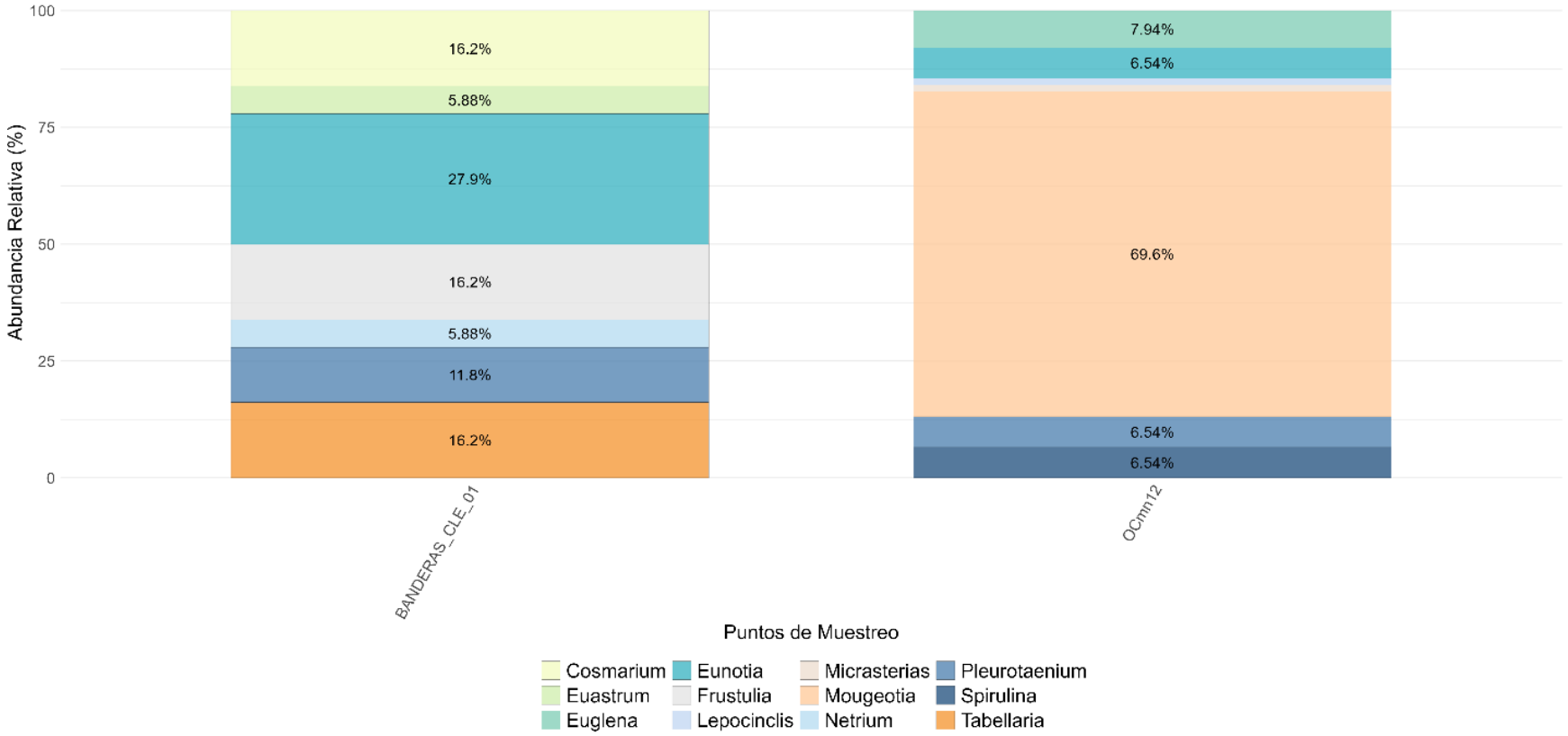


Figura 3.3.3-15 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad sugiere condiciones ambientales contrastantes entre estaciones. La presencia de desmidios (*Cosmarium*, *Micrasterias*) y diatomeas acidófilas (*Eunotia*, *Frustulia*) en ambas estaciones indica aguas blandas, pobremente mineralizadas y posiblemente ácidas con (pH <6.5), características de humedales en altillanura con influencia de suelos lateríticos (Coesel & Meesters, 2007). La dominancia de *Mougeotia* en OCmn12, alga filamentosa indicadora de aguas mesotróficas con alta transparencia (Passy, 2007), combinada con la presencia de *Euglena* y *Spirulina* (indicadoras de enriquecimiento orgánico), sugiere que esta estación recibe mayores aportes de nutrientes o materia orgánica disuelta, posiblemente por escorrentía superficial durante las lluvias. La diferencia en abundancia total con OCmn12*,* señala que esta actúa como una zona de acumulación de biomasa fitoplanctónica.

La interacción con sistemas terrestres se manifiesta claramente en la composición comunitaria. Los desmidios, altamente sensibles a cambios químicos, reflejan la influencia de aguas de drenaje de suelos ácidos, mientras que la presencia de *Euglena* y *Lepocinclis* en *OCmn12* sugiere aportes orgánicos desde la vegetación riparia. La conexión con sistemas lóticos es menos evidente, aunque la presencia de *Tabellaria* (diatomea típica de corrientes) en *BANDERAS_CLE_01* podría indicar influencia ocasional de flujos de agua. La marcada diferencia entre estaciones sugiere que *OCmn12* funciona como zona de retención, donde se acumulan tanto nutrientes como especies tolerantes a condiciones más eutróficas.

En conclusión, la alta diversidad taxonómica, la presencia de bioindicadores sensibles (desmidios, diatomeas acidófilas), y la heterogeneidad espacial funcional. Sin embargo, la dominancia de *Mougeotia* en OCmn12 (representando >50% de la abundancia total) sugiere presiones selectivas locales que podrían estar alterando el equilibrio natural. La presencia simultánea de especies indicadoras de condiciones oligotróficas (*Eunotia*) y mesotróficas (*Mougeotia*) señala la necesidad de manejar cuidadosamente los aportes externos para mantener la integridad ecológica del sistema.

Tabla 3.3.3-29 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Banderas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Banderas_ CLE_01	OCmn12	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,011		0,011
				Euastrum	0,004		0,004
				Micrasterias		0,003	0,003
				Pleurotaenium	0,008	0,014	0,022
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*	0,004		0,004
			Zygnemataceae	*Mougeotia*		0,149	0,149
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina*		0,014	0,014
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Euglena*		0,017	0,017
			Phacaceae	*Lepocinclis*		0,003	0,003

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Banderas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Banderas_ CLE_01	OCmn12	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,019	0,014	0,033
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia*	0,011		0,011
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	0,011		0,011
Gran Total					0,068	0,214	0,282

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad en las estaciones BANDERAS_CLE_01 y OCmn12 revela patrones ecológicos contrastantes en la comunidad fitoplanctónica de este sistema léntico. En BANDERAS_CLE_01 se observa una estructura comunitaria altamente equilibrada, evidenciada por un índice de Shannon de 1.817 y una equitatividad de Pielou de 0.934 (**Tabla 3.3.3-30**), valores que indican una distribución casi perfecta de las abundancias entre las especies presentes. El bajo valor de Simpson (0.179) (**Tabla 3.3.3-30**) confirma la ausencia de especies dominantes, característica típica de ambientes con condiciones ambientales estables y baja presión de perturbaciones (Margalef, 1978). Esta estación presenta una abundancia total relativamente baja (0.068 Ind/mL), lo que sugiere un sistema oligotrófico con limitada disponibilidad de nutrientes, pero con condiciones óptimas para el desarrollo de una comunidad diversificada.

Por el contrario, OCmn12 muestra una configuración comunitaria diferente, con menor diversidad (Shannon = 1.133) y equitatividad (Pielou = 0.582) (**Tabla 3.3.3-30**), combinado con mayor dominancia (Simpson = 0.49) (**Tabla 3.3.3-30**). Estos valores, junto con una abundancia total significativamente mayor (0.214 Ind/mL, 3.1 veces superior a BANDERAS_CLE_01), sugieren condiciones ambientales más selectivas que favorecen el desarrollo de ciertas especies sobre otras. La presencia de igual riqueza específica (7 especies) (**Tabla 3.3.3-30**) en ambas estaciones indica que la diferencia principal radica en la organización estructural de la comunidad más que en su composición taxonómica básica (Reynolds, 2006). La menor equitatividad en OCmn12 podría deberse a factores como mayor disponibilidad de nutrientes específicos, condiciones de luz particulares o influencia de aportes alóctonos durante la época lluviosa, que estarían favoreciendo el crecimiento de especies oportunistas.

Considerando ambos puntos de muestreo, la Microcuenca de Caño Banderas presenta una calificación ecológica buena. La presencia de una comunidad altamente equilibrada en BANDERAS_CLE_01 es indicador de condiciones ambientales favorables y baja perturbación, mientras que los patrones observados en OCmn12 sugieren influencias localizadas que están modificando la estructura comunitaria. La marcada diferencia en abundancia entre estaciones (0.068 vs 0.214 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-30**) podría reflejar procesos naturales de diferencias espaciales en sistemas lénticos, pero también podría indicar fuentes puntuales de enriquecimiento nutricional en OCmn12. La presencia simultánea de áreas con alta diversidad equilibrada (BANDERAS_CLE_01) y zonas con dominancia de especies (OCmn12) sugiere que el sistema mantiene una base ecológica saludable, pero requiere atención en las áreas donde se observan cambios en la estructura comunitaria.

Tabla 3.3.3-30 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BANDERAS_CLE_01	0.068	7	1.817	0.179	0.934
OCmn12	0.214	7	1.133	0.49	0.582

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico en la Microcuenca Caño Banderas, analizado en las estaciones BANDERAS_CLE_01 y OCmn12, presenta una comunidad de baja abundancia total (0.0442 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-31**) compuesta por seis morfoespecies pertenecientes a tres filos principales Amoebozoa, Rotifera y Arthropoda (**Tabla 3.3.3-31**). La estructura comunitaria muestra diferencias significativas entre estaciones, con BANDERAS_CLE_01 dominada por el rotífero *Polyarthra* (0.0139 Ind/mL y 71.5% de representatividad) y OCmn12 caracterizada por una mezcla de protozoos testados (*Lesquereusia*: 0.0085 Ind/mL y una representatividad del (33.1%) (**Tabla 3.3.3-31**) (**Figura 3.3.3-16**). Esta configuración taxonómica, con ausencia de cladóceros y limitada representación de copépodos, sugiere un sistema con baja productividad secundaria y posible estrés ambiental. La riqueza específica total (6 especies) (**Tabla 3.3.3-31**) es relativamente baja para un sistema léntico, lo que podría relacionarse con las condiciones particulares de la altillanura durante la época lluviosa, donde la alta precipitación puede generar lavado de nutrientes y aumento de la turbidez, afectando negativamente al zooplancton (Gliwicz, 1986).

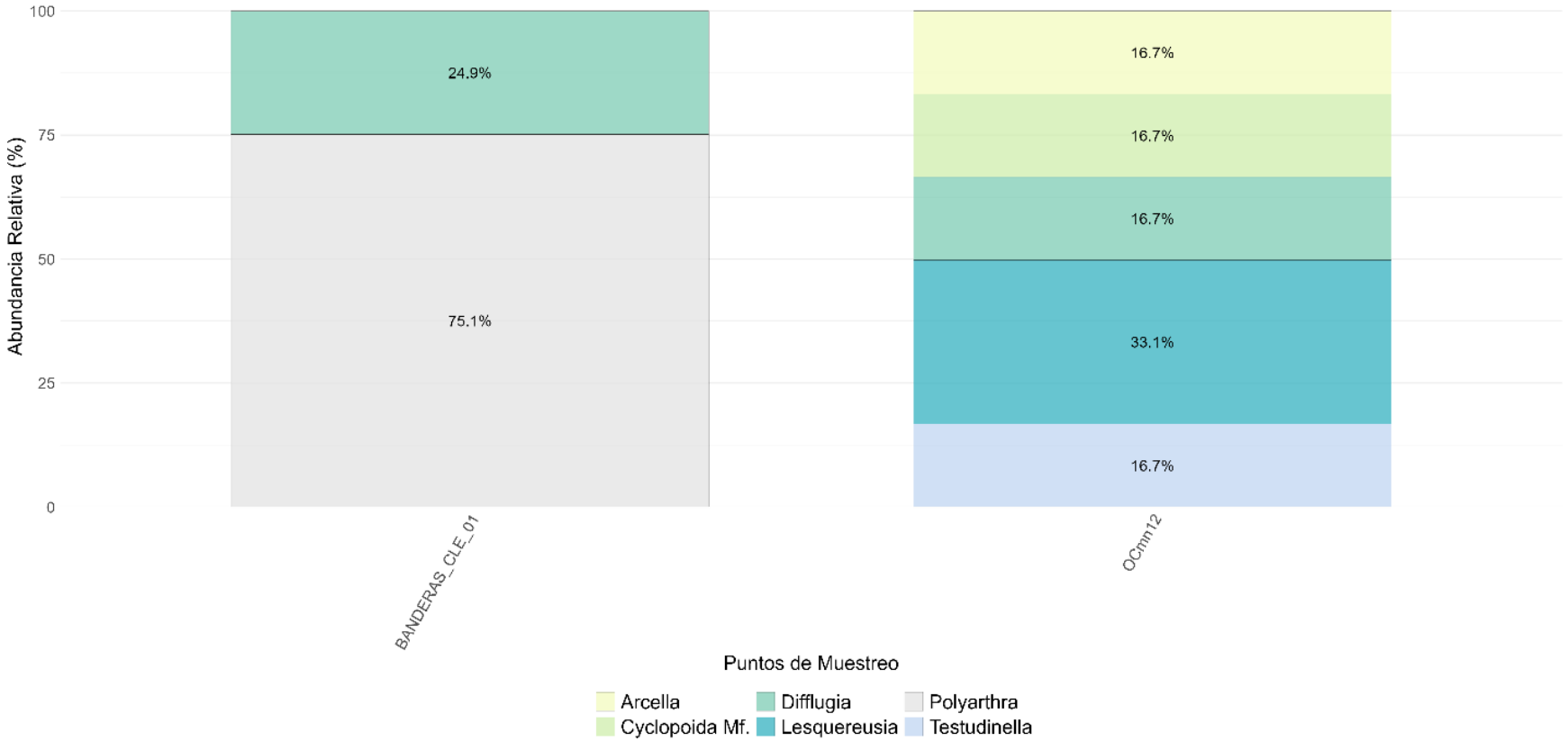


Figura 3.3.3-16 Porcentajes de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la predominancia de *Polyarthra* en BANDERAS_CLE_01 - rotífero característico de aguas con alta relación fitoplancton/bacterias - sugiere condiciones de mayor disponibilidad de recursos microbianos, mientras que la comunidad de OCmn12, dominada por protozoos testados (*Lesquereusia*, *Difflugia*), indica mayor dependencia de detritos orgánicos y sustratos bentónicos (Foissner W. , 1999). La escasa presencia de crustáceos planctónicos (solo Cyclopoida Mf. en OCmn12) refleja limitaciones en la red trófica, posiblemente por baja disponibilidad de fitoplancton adecuado en tamaño o calidad nutricional. La interacción con sistemas terrestres se manifiesta particularmente en OCmn12, donde *Lesquereusia* (organismo asociado a sustratos vegetales en descomposición) sugiere aportes significativos de materia orgánica alóctona durante las lluvias. La conexión con sistemas lóticos parece limitada, evidenciada por la ausencia de especies típicamente reófilas, aunque la presencia de *Difflugia* (presente en ambas estaciones) podría indicar cierta influencia de corrientes ocasionales.

En conclusión, la Microcuenca Caño Banderas presenta una calificación ecológica regular a moderada**,** basada en la baja abundancia y riqueza zooplanctónica, la ausencia de grupos clave como cladóceros, y la dominancia de taxones indicadores de condiciones limitantes. La estructura comunitaria sugiere un sistema con productividad secundaria reducida, donde las interacciones con ambientes terrestres (aportes orgánicos) parecen más relevantes que las conexiones con sistemas lóticos. La marcada diferencia entre estaciones indica la existencia de microhábitats diferenciados uno más pelágico (BANDERAS_CLE_01) y otro bentónico-detrítico (OCmn12). La presencia de algunas especies sensibles (*Testudinella*) es un aspecto positivo, pero la comunidad en conjunto refleja condiciones subóptimas para el desarrollo zooplanctónico.

Tabla 3.3.3-31 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Banderas, época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Banderas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Banderas_CLE_01	OCmn12	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*		0,0043	0,0043
			Difflugiidae	*Difflugia*	0,0046	0,0043	0,0089
			Lesquereusiidae	*Lesquereusia*		0,0085	0,0085
Arthropoda	Maxillopoda	Cyclopoida	-	Cyclopoida Mf.		0,0043	0,0043
Rotifera	Eurotatoria	Flosculariaceae	Testudinellidae	*Testudinella*		0,0043	0,0043
		Ploima	Synchaetidae	*Polyarthra*	0,0139		0,0139
Gran Total					0,0185	0,0257	0,0442

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en las estaciones BANDERAS_CLE_01 y OCmn12 revelan diferencias significativas en la estructura de la comunidad zooplanctónica. En BANDERAS_CLE_01 se observa una comunidad extremadamente limitada, con sólo 2 especies (riqueza = 2), baja diversidad (Shannon = 0.562) y alta dominancia (Simpson = 0.625), aunque con relativa equitatividad (Pielou = 0.811) (**Tabla 3.3.3-32**). Esta configuración sugiere condiciones ambientales

restrictivas que favorecen el desarrollo de pocas especies adaptadas, posiblemente relacionadas con características hidrodinámicas particulares o limitaciones en la disponibilidad de recursos tróficos (Pace, 1986). La baja abundancia total (0.0185 Ind/mL) refuerza esta interpretación, indicando un ambiente con productividad secundaria reducida. Por el contrario, OCmn12 presenta una comunidad más diversa (riqueza = 5) con mayor equilibrio ecológico, evidenciado por valores altos de diversidad (Shannon = 1.561) y equitatividad (Pielou = 0.97), junto con baja dominancia (Simpson = 0.222) (**Tabla 3.3.3-32**). Estos patrones, combinados con una abundancia ligeramente mayor (0.0257 Ind/mL), sugieren condiciones más favorables para el desarrollo de una comunidad zooplanctónica estructurada, aunque aún con biomasa limitada.

La marcada diferencia entre estaciones, particularmente en riqueza específica (2 vs 5 especies) y estructura comunitaria, podría explicarse por factores como variaciones en la disponibilidad de alimento (fitoplancton o detritos), condiciones de hábitat o influencia diferencial de aportes alóctonos (Gliwicz, 1986). La mayor diversidad en OCmn12 sugiere que este punto podría estar funcionando como zona de convergencia de diferentes comunidades, posiblemente por su posición en el sistema o por recibir influencias de hábitats adyacentes. Sin embargo, las abundancias absolutas en ambas estaciones (0.0185-0.0257 Ind/mL) se mantienen en rangos bajos comparados con sistemas lénticos tropicales típicos, lo que indica limitaciones generalizadas en la productividad del sistema.

En conclusión, ambos puntos de muestreo, de la Microcuenca de Caño Banderas presenta una calificación ecológica regular a moderada. Mientras OCmn12 muestra características de un ambiente con condiciones adecuadas para el desarrollo zooplanctónico (alta diversidad y equitatividad), BANDERAS_CLE_01 refleja un ambiente limitante con comunidad empobrecida. Esta diferencia espacial podría ser natural en sistemas de altillanura durante épocas lluviosas, donde factores como el lavado de nutrientes y aumento de turbidez afectan diferencialmente a las comunidades acuáticas. La presencia de un punto con alta diversidad (OCmn12) es un aspecto positivo, pero la existencia simultánea de áreas con comunidades muy limitadas (BANDERAS_CLE_01) y las bajas abundancias generalizadas sugieren que el sistema enfrenta limitaciones importantes para mantener comunidades zooplanctónicas robustas.

Tabla 3.3.3-32 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Banderas, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BANDERAS_CLE_01	0.0185	2	0.562	0.625	0.811
OCmn12	0.0257	5	1.561	0.222	0.97

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos

específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

- ✓ *Perifiton*

  - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico en la estación OCmn13 de la Microcuenca Caño Banderas presenta una comunidad compuesta por tres géneros principales: *Eunotia* (14.6 Ind/ cm^2, 60.1% de abundancia total), *Navicula* (8.1 Ind/ cm^2, 33.3%) y *Closterium* (1.6 Ind/ cm^2, 6.6%) (**Tabla 3.3.3-33**) (**Figura 3.3.3-17**), con una abundancia total de 24.3 Ind/ cm^2 (**Tabla 3.3.3-33**). La estructura taxonómica, dominada por diatomeas (Heterokontophyta) y complementada por un desmidio (Charophyta), revela características ecológicas particulares de este sistema lótico en la altillanura durante la época lluviosa. La predominancia de *Eunotia*, un género acidófilo frecuente en aguas con bajo pH y alta concentración de materia orgánica disuelta (Van Dam et al., 1994), sugiere influencia significativa de aportes terrestres ricos en taninos, típicos de suelos de altillanura con vegetación riparia densa. La presencia concurrente de *Navicula*, indicadora de aguas moderadamente contaminadas o eutróficas (Round et al., 1990), y *Closterium*, sensible a cambios en la conductividad eléctrica (Coesel & Meesters, 2007), refleja la existencia de microambientes heterogéneos dentro del mismo sistema fluvial.

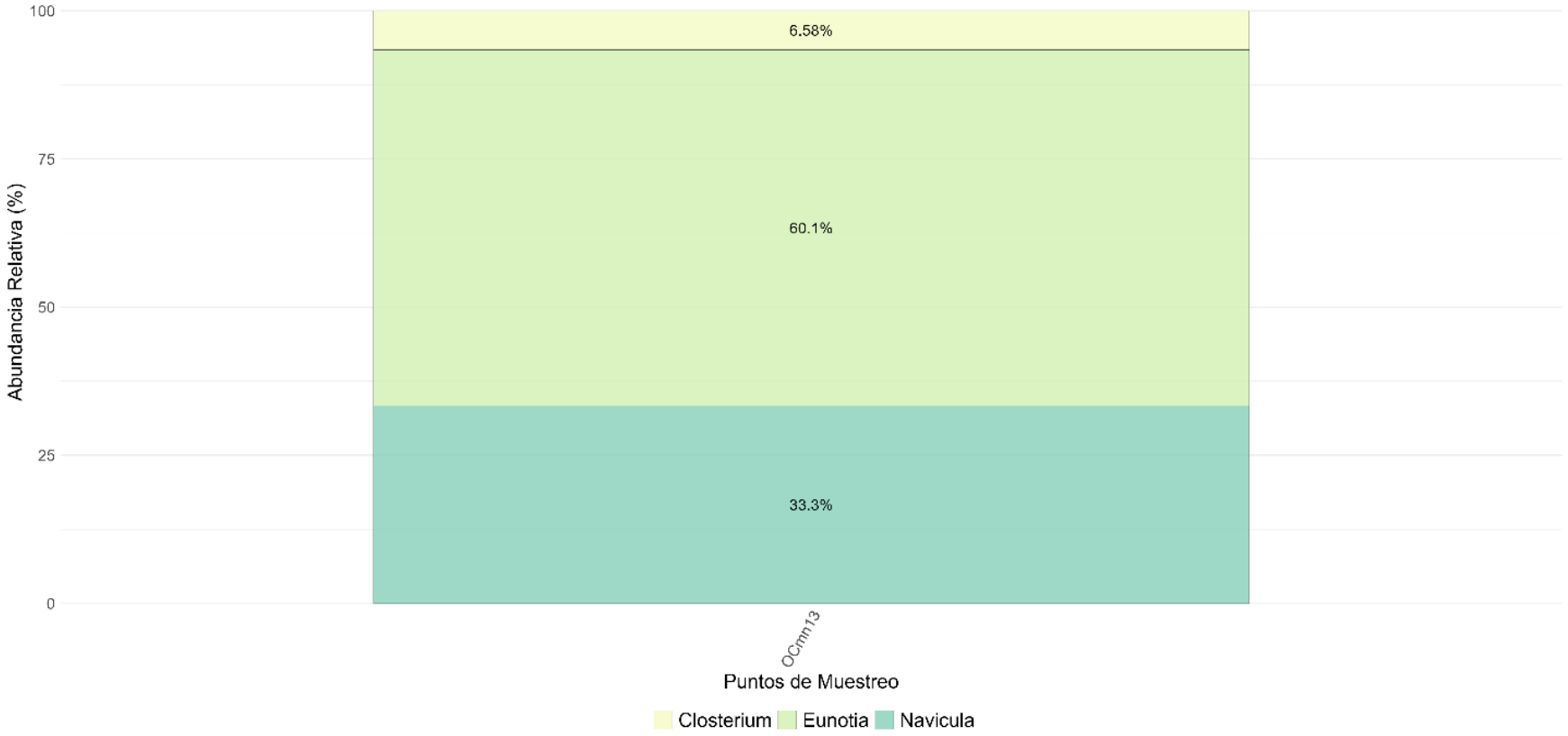


Figura 3.3.3-17 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Banderas, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la composición de esta comunidad. La alta abundancia de *Eunotia* podría estar asociada a la conexión con áreas inundables adyacentes que aportan materia orgánica extra durante las lluvias, mientras que la presencia de *Navicula* sugiere influencia de sedimentos finos transportados por la corriente principal. La baja representación de *Closterium* (1.6 Ind/ cm^2) indica limitada influencia de sistemas lénticos, lo que podría deberse a la escasez de zonas de remanso en este tramo del caño. La riqueza específica relativamente baja (3 géneros) es característica de sistemas lóticos con flujo constante, donde las condiciones hidrodinámicas limitan el establecimiento de una comunidad perifítica más diversa (Biggs B. F., 1996).

En conclusión, la Microcuenca Caño Banderas en la estación OCmn13 presenta una calificación ecológica moderadamente buena**,** sustentada por la presencia de bioindicadores sensibles (*Eunotia*, *Closterium*) que reflejan condiciones naturales características de la altillanura, una estructura comunitaria dominada por diatomeas adaptadas a sistemas lóticos, y la evidencia de interacción ecológica con sistemas terrestres adyacentes. Sin embargo, la baja riqueza específica y la marcada dominancia de *Eunotia* sugieren condiciones ambientales selectivas que podrían estar limitando el desarrollo de una comunidad más diversa.

Tabla 3.3.3-33 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Banderas, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Banderas	Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm^2)
					OCmn13	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	*Navicula*	8,1	8,1
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	14,6	14,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	1,6	1,6
Grand Total					24,3	24,3

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realizó un análisis de índice ecológico, ya que los valores de riqueza reportados en cada punto de monitoreo no proporcionan información relevante. Cabe mencionar que, aunque autores como (Magurran A. E., 2004) y (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001) indican que un análisis estadístico básico puede llevarse a cabo con un mínimo de tres morfoespecies, en este caso las tres morfoespecies registradas pertenecen a clases generalistas. Al analizarlas en conjunto, no se obtiene un sustento claro que permita llegar a conclusiones con robustez y certeza.

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el punto OCmn13, correspondiente al caño Banderas, localizado en la altillanura colombiana y monitoreado durante

la época de lluvias, evidencia una comunidad sumamente simplificada y escasamente representada. El análisis taxonómico revela la presencia de una sola morfoespecie, correspondiente al phyllum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Chironomidae, identificada como *Chironomidae* Mf., con una abundancia total de 1,1 individuos/m² (**Tabla 3.3.3-34**). Esta representación mínima de la comunidad macroinvertebrada sugiere una condición ecológica poco favorable para el desarrollo de un ensamblaje diverso o complejo.

Tabla 3.3.3-34 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Banderas, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Banderas OCmn13	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los chironómidos, comúnmente conocidos como mosquitos no picadores, son considerados taxones tolerantes a condiciones de contaminación y estrés ambiental, siendo capaces de sobrevivir en ambientes con bajo oxígeno disuelto, alta carga orgánica y sustratos fangosos o con sedimentación fina (Roldán, 1999). Su presencia exclusiva en este punto podría estar asociada a una combinación de factores típicos de los sistemas lóticos en época de lluvias en la altillanura, como lo son la inundación temporal de cauces, la saturación del suelo por escorrentía, la reconfiguración del sustrato por el arrastre de sedimentos, y el ingreso de materia orgánica procedente de sistemas terrestres aledaños.

Además, la escasa riqueza y abundancia de macroinvertebrados observada en este sistema puede estar relacionada con procesos hidrológicos intensos que reducen la estabilidad de microhábitats bentónicos, limitando la colonización y el establecimiento de otras especies. En época de lluvias, el régimen de caudal tiende a ser más irregular, provocando fluctuaciones físicas y químicas abruptas, que afectan negativamente la diversidad bentónica (Allan & Castillo, 2007; Springer, 2010).

Dado que solo se identificó una morfoespecie y no existe diversidad en términos de grupos taxonómicos con diferentes niveles de sensibilidad a la contaminación, no es posible calcular el índice BMWP/Col, el cual requiere como mínimo varias familias representadas para generar una estimación válida del estado de calidad del agua (Roldán, 2003). De la misma manera, no es factible realizar el análisis de diversidad alfa mediante índices como Shannon, Simpson o Pielou, ya que estos dependen de la comparación de abundancias relativas entre múltiples especies para estimar aspectos como equidad y dominancia. Con un solo taxón presente, los valores resultarían artificiales o estadísticamente irrelevantes.

En conclusión, el ensamble registrado en caño Banderas - estación OCmn13 refleja un ecosistema probablemente alterado o limitado ecológicamente, donde la conectividad entre sistemas lóticos y terrestres en época de lluvias genera condiciones que restringen la diversidad bentónica.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble ecológico registrado en la estación OCmn12 del caño Banderas, evidencia una comunidad compuesta por macroinvertebrados bentónicos representados por tres morfoespecies, distribuidas en un único phyllum (Arthropoda), una clase (Insecta), dos (2) órdenes (Diptera y Coleóptera), tres (3) familias (Chironomidae, Dytiscidae y Noteridae), y dos (2) géneros identificados (*Celina* y *Suphisellus*). La abundancia total registrada fue de 60 individuos por metro cuadrado, con una dominancia de Chironomidae (30 ind/m²), seguida por *Suphisellus* sp. (20 ind/m²) y *Celina* sp. (10 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-35**).

Tabla 3.3.3-35 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Banderas OCmn12	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	30	30
		Coleóptera	Dytiscidae	Celina	*Celina sp.*	10	10
			Noteridae	Suphisellus	*Suphisellus sp.*	20	20
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**60**	**60**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el enfoque de bioindicación, el predominio de larvas de Chironomidae es un indicador de condiciones de estrés ambiental o contaminación moderada, dado que estas larvas poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir en ambientes con bajo oxígeno disuelto y altos niveles de materia orgánica (Roldán, 2003). Por su parte, los coleópteros acuáticos, como *Celina sp.* (familia Dytiscidae) y *Suphisellus sp.* (Noteridae), suelen estar asociados a ambientes con mejor oxigenación y mayor heterogeneidad de microhábitats, incluyendo presencia de vegetación sumergida y sustratos firmes o parcialmente consolidados (Merritt & Cummins, 2008). Su coexistencia con los Chironomidae sugiere una condición intermedia en la calidad del hábitat, posiblemente influenciada por procesos de conectividad lateral entre sistemas lóticos y lénticos.

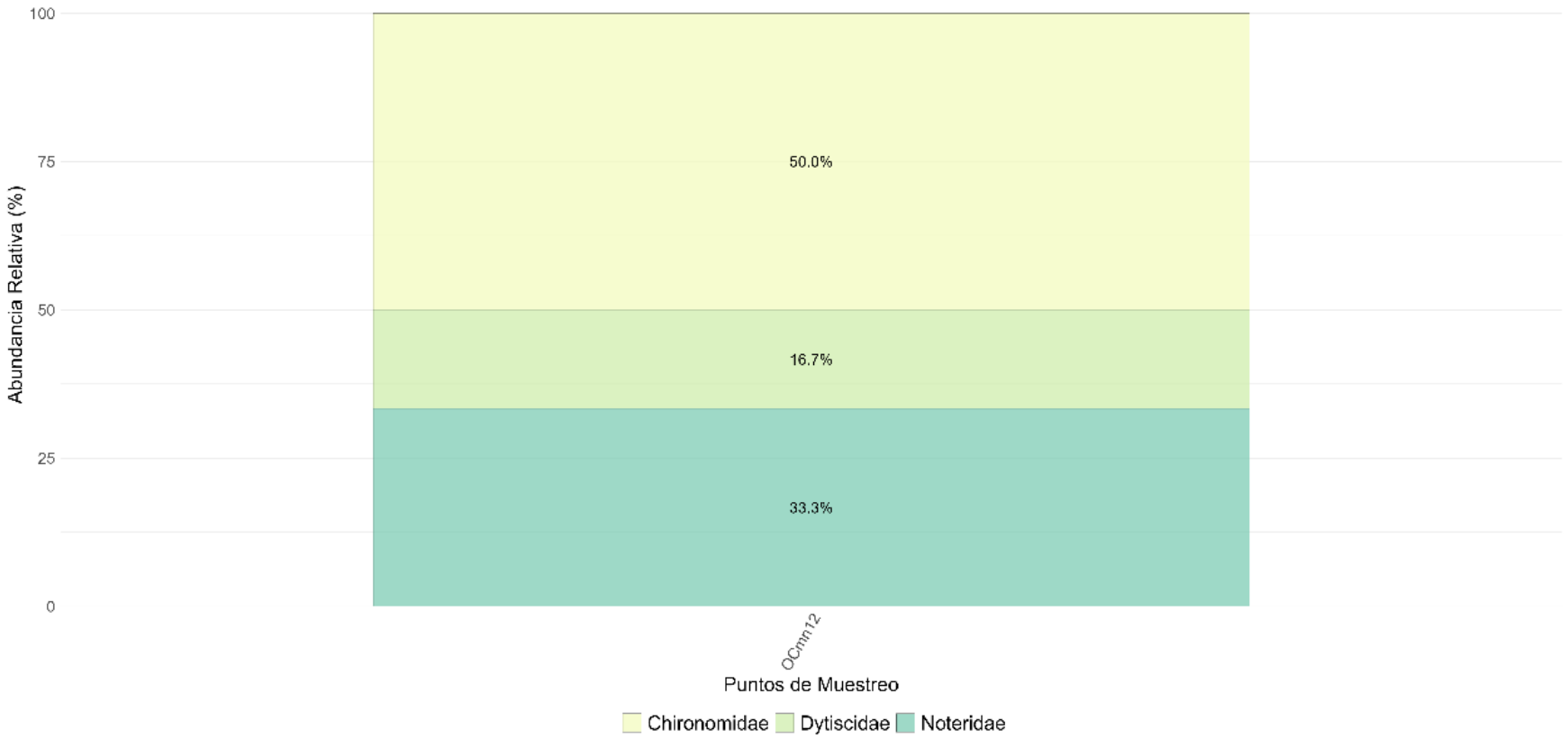


Figura 3.3.3-18 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En época de lluvias, el sistema fluvial en la altillanura tiende a expandirse, favoreciendo la formación de zonas marginales encharcadas, remansos y conectividad con cuerpos lénticos adyacentes. Esta interacción favorece el intercambio de organismos y nutrientes entre los sistemas, promoviendo una estructura comunitaria más diversa y representativa (Junk et al., 1989). En este contexto, especies como *Suphisellus* y *Celina* podrían estar utilizando el caño tanto como hábitat de desarrollo como vía de dispersión, mientras que Chironomidae podría actuar como especie pionera en la colonización de nuevos hábitats generados por las crecientes.

Además, la interacción con el sistema terrestre circundante es fundamental, ya que estos insectos acuáticos pueden depender de recursos alóctonos (hojarasca, materia orgánica, refugio de raíces) o estar sujetos a perturbaciones antrópicas como la compactación del suelo, el uso de agroquímicos y la deforestación, que alteran la disponibilidad de microhábitats y la calidad del agua (Allan & Castillo, 2007).

En conclusión, el ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos en la estación OCmn12 del caño Banderas durante la época lluviosa refleja un ecosistema con condiciones moderadas de calidad ecológica, influenciado por la conectividad entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres. La coexistencia de taxones tolerantes (Chironomidae) y de mayor sensibilidad (coleópteros acuáticos) sugiere una heterogeneidad ambiental favorecida por la dinámica hidrológica estacional de la altillanura. Este tipo de análisis evidencia la importancia de realizar evaluaciones multitemporales y multiescalares para interpretar adecuadamente las dinámicas ecológicas en regiones sujetas a pulsos hidrológicos estacionales.

Con respecto al análisis del índice BMWP/Col, indica un valor de 6 puntos, lo que ubica a esta estación dentro de la clase V (Muy crítica) según la clasificación propuesta por Roldán (2003). Esta puntuación corresponde a una categoría de "aguas fuertemente contaminadas, situación crítica", reflejando una muy baja calidad ecológica del agua (**Tabla 3.3.3-36**).

Tabla 3.3.3-36 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col).

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO BANDERAS	OCmn12	V	Muy crítica	6	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El bajo valor del índice BMWP/Col en esta estación se debe a la presencia exclusiva de familias de macroinvertebrados con baja sensibilidad a la contaminación, como Chironomidae, Dytiscidae y Noteridae. Estas familias reciben puntuaciones bajas dentro del sistema BMWP/Col: por ejemplo, Chironomidae suele tener una puntuación de 2 debido a su alta tolerancia a condiciones de baja oxigenación y alta carga orgánica, mientras que Noteridae y Dytiscidae pueden aportar entre 2 y 3 puntos, dependiendo del contexto hidrológico y la guía taxonómica empleada (Roldán, 2003).

Este resultado es consistente con un entorno potencialmente afectado por presiones antrópicas o naturales que reducen la diversidad y la presencia de taxones sensibles como Ephemeroptera,

Plecoptera o Trichoptera (EPT), los cuales no se registraron en esta estación. Además, aunque se observaron algunos coleópteros acuáticos, su contribución al índice es insuficiente para mejorar la categoría ecológica del sitio.

En resumen, el valor de 6 puntos en el BMWP/Col sugiere un ecosistema acuático en estado de deterioro severo, donde la comunidad de macroinvertebrados está dominada por grupos resistentes a la contaminación. Aunque es importante mencionar que este valor bajo del índice se relaciona en gran medida con la presencia de muy bajas morfoespecies, lo cual no permite que este índice sea del todo concluyente, más aún cuando se registra la presencia de coleópteros los cuales comúnmente puede asociarse con cuerpos de agua medianamente oxigenados.

- Diversidad Alfa.

El análisis de los índices de diversidad alfa para el punto de monitoreo OCmn12 del caño Banderas, ubicado en la altillanura y evaluado durante la época de lluvias, revela una estructura comunitaria dominada por pocas morfoespecies con altas abundancias, lo que sugiere condiciones de estrés ecológico.

La abundancia total registrada fue de 60 individuos/m², distribuidos en tres (3) morfoespecies, lo cual refleja una riqueza baja para ecosistemas lóticos tropicales, donde se esperaría una mayor diversidad funcional y taxonómica. El índice de Shannon-Wiener (H') fue 1.011, indicando una diversidad moderadamente baja, mientras que el índice de Simpson fue 0.389, lo que sugiere una dominancia relativa de una o dos especies sobre las demás. Este patrón de dominancia fue parcialmente compensado por un valor de equitatividad (Pielou) de 0.92, indicando que, aunque pocas, las especies presentes tienden a distribuirse de manera relativamente homogénea en términos de abundancia (**Tabla 3.3.3-37**).

Tabla 3.3.3-37 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Banderas, época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO BANDERAS	OCmn12	60	3	1.011	0.389	0.92

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Este conjunto de valores es típico de comunidades en ambientes acuáticos con perturbaciones físicas o químicas, como pueden ser cambios en el régimen hidrológico, presencia de materia orgánica, baja oxigenación o cargas de nutrientes. El bajo número de morfoespecies y la baja diversidad específica sugieren una limitación ecológica que puede deberse a condiciones adversas propias de la época de lluvias, como aumento en el caudal, arrastre de sustrato o sedimentación, así como posibles impactos antrópicos (Buss et al., 2004; Roldan & Ramirez, 2008).

En conclusión, la diversidad alfa del punto OCmn12 sugiere un estado de alteración moderada, con predominancia de taxa tolerantes y una baja capacidad de resiliencia ecológica, lo cual coincide con los resultados del índice BMWP/Col.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias, la composición y estructura de la comunidad de macrófitas en el caño Banderas evidenció una ausencia total de especies en los puntos de muestreo evaluados (BANDERAS_CLE_01, OCmn12 y OCmn13). No se registró cobertura de macrófitas en ninguno de los sitios, y el número de morfoespecies por punto y por Microcuenca fue igual a cero. Estos resultados indican que, bajo las condiciones hidrológicas de la temporada de lluvias, el hábitat no fue favorable para el establecimiento de comunidades de macrófitas en esta zona del sistema.

- Comparación de la Microcuenca entre épocas hidroclimáticas

Durante la comparación de la composición y cobertura de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Banderas entre las épocas de lluvias y seca, se observa una marcada diferencia en la presencia de estas especies. En la época seca, se registró la presencia de una morfoespecie perteneciente a la familia Poaceae en el punto de muestreo BANDERAS_CLE_01, con una cobertura del 60% y una abundancia relativa del 100%. En contraste, durante la época de lluvias no se detectó ninguna especie de macrófita acuática en los mismos puntos de muestreo, reportándose una cobertura y abundancia relativas del 0%. Esta variación estacional puede estar relacionada con factores hidrológicos y ecológicos como el nivel del agua, la velocidad del flujo y la disponibilidad de luz, que afectan el establecimiento y desarrollo de las macrófitas (Esteves, 2011[4]). En períodos secos, el descenso del nivel hídrico puede favorecer el crecimiento de especies helófitas o emergentes como las Poaceae, al aumentar la disponibilidad de sustrato expuesto y reducir la competencia con especies flotantes o sumergidas (Junk & Piedade, 1997[11]). Por el contrario, durante la época de lluvias, el aumento en el caudal y la turbidez del agua puede limitar la colonización de estas plantas al alterar las condiciones físicas del hábitat (Thomaz & Bini, 2003[17]).

3.3.3.2.3 Microcuenca caño Barbascos

La Microcuenca del caño Barbascos, localizada en el municipio de Puerto López, forma parte de la llanura aluvial del río Meta, se caracteriza por una topografía predominantemente plana, con pendientes suaves y suelos de origen aluvial que favorecen una alta productividad biológica (IDEAM, 2010) y para caracterizarla se realizó en un punto de muestreo (BARBASCOS_CL_01) (**Figura 3.3.3-19**).

[17] Thomaz, S. M., & Bini, L. M. (2003). Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá: EDUEM.

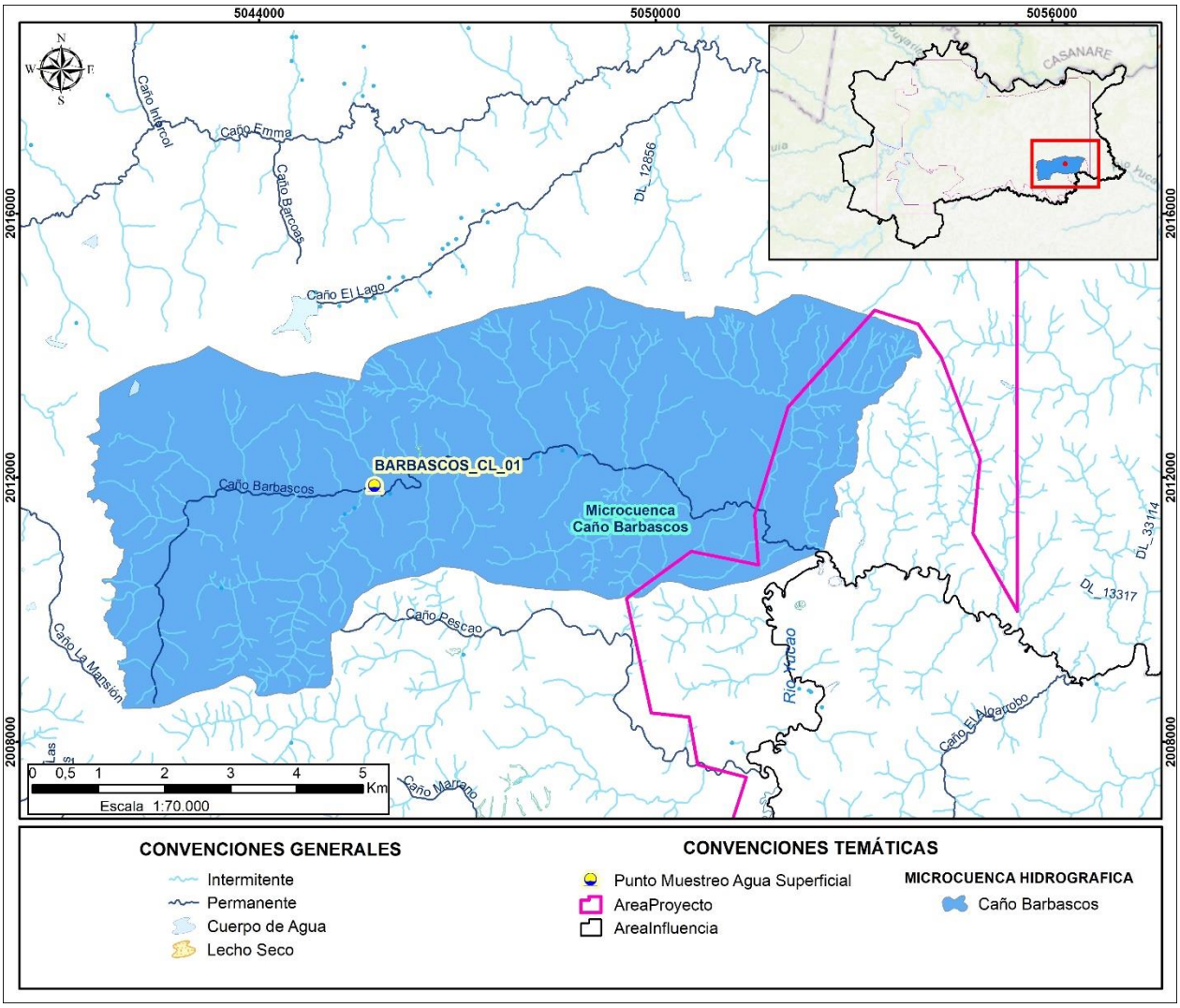


Figura 3.3.3-19 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño Barbascos

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Barbascos, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores

ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

- ✓ *Perifiton*

  - Composición y estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en el sistema lótico de Caño Barbascos, monitoreado durante la época seca en la altillanura, presenta características típicas de ambientes acuáticos con baja a moderada perturbación antropogénica. Según (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010), este tipo de comunidades son indicadoras sensibles de las condiciones ambientales en sistemas fluviales. La estación BARBASCOS_CL_01 registró una abundancia total de 46.8 Ind/cm² distribuida entre 9 géneros (**Tabla 3.3.3-38**), valor relativamente bajo comparado con otros sistemas lóticos tropicales (Biggs B. F., 1996), lo que podría relacionarse con las condiciones estacionales secas.

La marcada dominancia de *Spirogyra* (32.4 Ind/cm²), que representa el 69.2% (**Figura 3.3.3-20**) de la abundancia total, coincide con lo reportado por (Wehr et al., 2015) para ambientes con flujo reducido y enriquecimiento orgánico moderado. Esta alga filamentosa de la clase Zygnematophyceae es característica de zonas de transición entre sistemas lóticos y lénticos (Wetzel R. G., 2001). La presencia significativa de diatomeas como *Tabellaria* (5.6 Ind/cm²) y una representatividad de (11.97%) y *Eunotia* (2.2 Ind/cm²) con una representatividad de (4.70%) (**Figura 3.3.3-20**), reconocidas bioindicadoras de aguas ácidas y bajas en nutrientes (Round et al., 1990), sugiere una limitada influencia de contaminación por nutrientes inorgánicos.

La baja riqueza específica de nueve géneros, observada concuerda con los patrones descritos por (Rueda-Delgado et al., 2019) para períodos de estiaje en sistemas tropicales, donde las condiciones hidrológicas restrictivas favorecen especies tolerantes. La composición taxonómica, particularmente la presencia de *Gomphonema* y *Frustulia* con una abundancia del (1.1 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (2.35%) (**Figura 3.3.3-20**), indica sustratos estables y buena oxigenación, según los criterios de bioindicación propuestos por (Kelly et al., 2008).

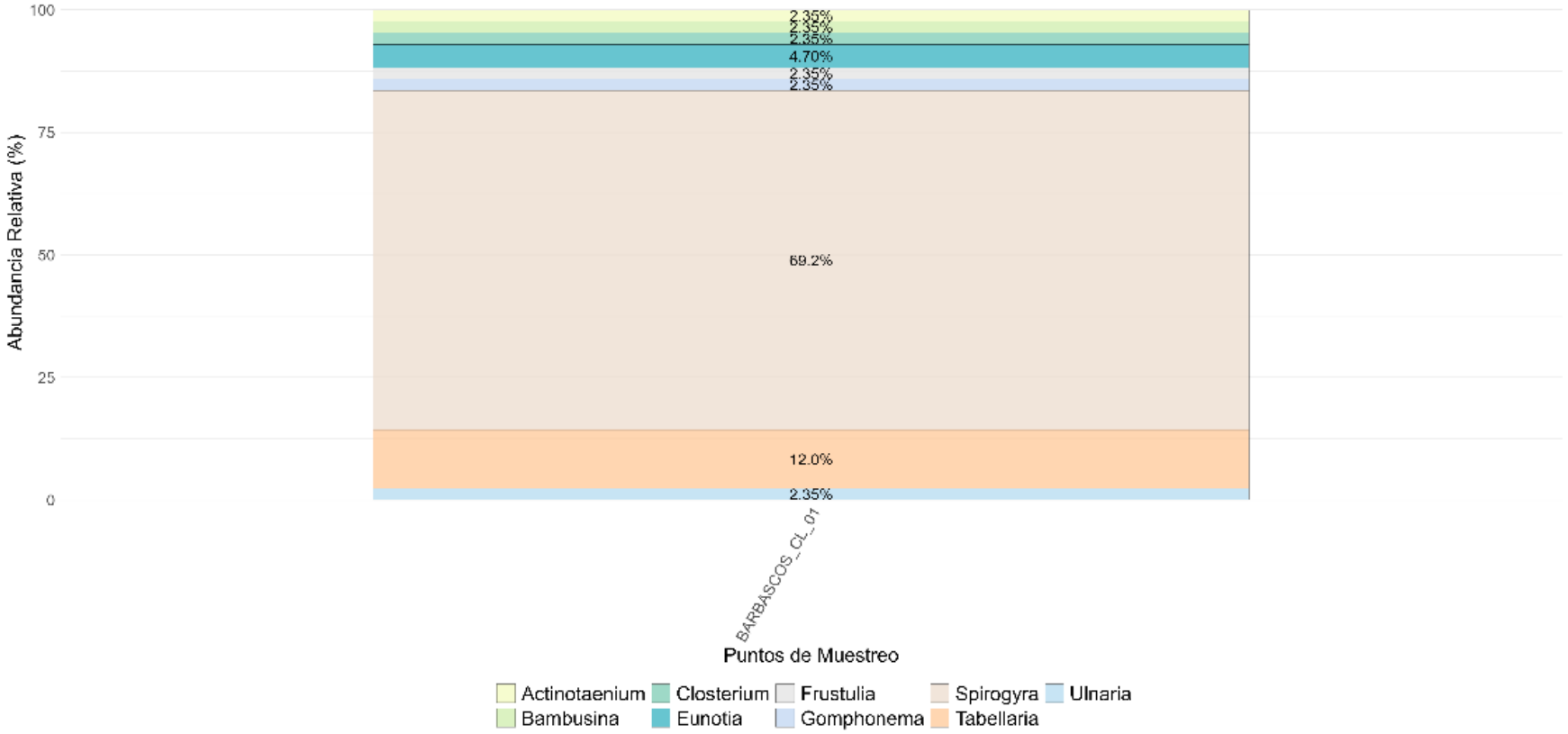


Figura 3.3.3-20 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción con sistemas terrestres se manifiesta a través de diatomeas epífitas (*Gomphonema*) asociadas a sustratos vegetales, fenómeno en sistemas ribereños. La escasa presencia de especies típicamente lénticas (*Closterium*, *Actinotaenium*) confirma el carácter predominantemente lótico del sistema durante el período de estudio.

En conclusión, el ensamble perifítico de la Microcuenca Caño Barbascos presenta características ecológicas propias de un sistema lótico tropical en época seca, con baja diversidad, pero buen estado de conservación. Los patrones observados coinciden con lo reportado en la literatura científica para ambientes similares, destacando la importancia de las diatomeas como bioindicadoras de calidad ambiental.

Tabla 3.3.3-38 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Barbascos	Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					Barbascos_Cl_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	1,1	1,1
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia*	1,1	1,1
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	2,2	2,2
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	5,6	5,6
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	1,1	1,1
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Actinotaenium*	1,1	1,1
				Bambusina	1,1	1,1
			Closteriaceae	*Closterium*	1,1	1,1
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	32,4	32,4
Gran Total					**46,8**	**46,8**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad de la comunidad perifítica en la estación BARBASCOS_CL_01 del sistema lótico de la Microcuenca del Caño Barbascos revela un ensamble con características ecológicas particulares que reflejan las condiciones ambientales del hábitat. La comunidad presenta una abundancia total moderada (46.8 Ind/cm²) distribuida entre nueve géneros (**Tabla 3.3.3-39**), valor que indica una riqueza específica relativamente baja pero dentro de los rangos esperados para sistemas acuáticos tropicales en época seca. El índice de Shannon (H' = 1.188) (**Tabla 3.3.3-39**) sugiere una diversidad moderada-baja, resultado consistente con estudios similares en sistemas de altillanura durante períodos de estiaje. Este valor, aunque aparentemente bajo, debe interpretarse considerando que en sistemas tropicales lóticos bien conservados pero sujetos a fluctuaciones estacionales, es común encontrar comunidades con diversidad reducida durante la época seca. El índice de (Simpson=0.497) (**Tabla 3.3.3-39**) indica una dominancia intermedia, mostrando que, aunque existe cierta predominancia de especies oportunistas, la comunidad mantiene una estructura que permite la coexistencia de varios taxones. La equitatividad de Pielou (J' = 0.541) (**Tabla 3.3.3-39**) refleja una distribución no homogénea de las abundancias entre las especies presentes, lo que sugiere la existencia de factores ambientales que favorecen a ciertos taxones sobre otros. Esta condición es típica de sistemas donde el estrés

hídrico estación actúa como filtro ambiental, seleccionando especies con mayores capacidades de adaptación a condiciones de flujo reducido y posible acumulación de materia orgánica. La combinación de estos indicadores ecológicos permite clasificar el punto de muestreo como un sistema en condición ecológica moderada, donde se evidencian algunos efectos de la estacionalidad (baja riqueza y equitatividad desigual), la estructura de la comunidad sugiere que se mantienen condiciones ambientales aceptables para el desarrollo del perifiton.

Se puede concluir que la comunidad perifítica en BARBASCOS_CL_01 presenta una calificación ecológica moderada, caracterizada por una diversidad algo reducida pero dentro de los parámetros esperados para la época seca, una estructura comunitaria que muestra cierta dominancia, pero sin llegar a la simplificación extrema y la presencia de taxones indicadores que sugieren condiciones ambientales aceptables. Sin embargo, es muy importante mencionar que no se puede concluir el estado de la Microcuenca en total ya que solo se tiene un punto de monitoreo de la Microcuenca, se concluye finalmente sobre ese punto que se caracterizó.

Tabla 3.3.3-39 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Barbascos época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BARBASCOS_CL_01	46.8	9	1.188	0.497	0.541

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el punto BARBASCOS_CL_01 del caño Barbascos, registra una comunidad sumamente empobrecida en términos de riqueza y abundancia. En total, se identificó una sola morfoespecie correspondiente al Phyllum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Chironomidae, con una abundancia total de 2,2 individuos/m² (**Tabla 3.3.3-40**). Este dato refleja una riqueza extremadamente baja, sin representación de otros órdenes o familias bentónicas que comúnmente se encuentran en condiciones ambientales más favorables, como Trichoptera, Ephemeroptera o Coleóptera acuáticos.

Tabla 3.3.3-40 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Barbascos época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Barbascos	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						Barbascos_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	2,2	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**2**	**2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde una perspectiva de bioindicación, la presencia exclusiva de Chironomidae puede ser indicativa de condiciones ambientales degradadas. Esta familia es conocida por su alta tolerancia

a ambientes hipóxicos y contaminados con materia orgánica, siendo frecuentemente dominante en hábitats con carga contaminante elevada o estrés físico-químico (Roldán, 2003; Merritt & Cummis, 2008). La ausencia de grupos más sensibles sugiere que las condiciones del hábitat bentónico en este tramo del caño Barbascos no son óptimas para el desarrollo de una comunidad diversa, posiblemente debido a impactos como la colmatación del sustrato, alteraciones en el flujo hidrológico, o entrada de contaminantes orgánicos o agroquímicos.

La evaluación integrada de la interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres también permite deducir un aislamiento funcional en el caño Barbascos. La limitada conectividad con zonas vegetadas riparias y con cuerpos lénticos que podrían aportar refugio y diversidad de hábitats puede estar restringiendo el ingreso de macroinvertebrados desde otras matrices ecosistémicas, limitando la recolonización natural y afectando el flujo de organismos acuáticos (Allan & Castillo, 2007). Además, la simplificación estructural del canal en época seca reduce aún más los microhábitats disponibles, favoreciendo únicamente a taxones resistentes como los chironómidos.

Teniendo en cuenta estos resultados, no es posible realizar el cálculo del índice BMWP/Col ni de los índices de diversidad alfa, debido a la baja riqueza taxonómica registrada, representada por una única morfoespecie perteneciente a la familia Chironomidae (Diptera, Insecta). En el caso del índice BMWP/Col, este método depende de la presencia de múltiples familias de macroinvertebrados acuáticos con distintos niveles de sensibilidad a la contaminación, de modo que puedan asignarse puntajes específicos para estimar la calidad ecológica del agua. Al contar con una sola familia registrada, el índice no puede reflejar la heterogeneidad biológica necesaria para una evaluación confiable, y cualquier valor asignado carecería de representatividad ecológica (Roldán, 2003).

De forma similar, los índices de diversidad alfa como Shannon, Simpson y Pielou, que miden tanto la riqueza como la equitatividad de las especies presentes, requieren al menos dos unidades taxonómicas distintas para ser válidos. Cuando hay únicamente una morfoespecie, la diversidad calculada es cero ya que no existe distribución ni proporción relativa entre distintas especies que permita evaluar patrones de dominancia o equidad (Magurran, 2004).

Por lo tanto, la carencia de una verdadera comunidad, en términos ecológicos y estadísticos, invalida el uso de estos índices, y lo único posible es describir cualitativamente la presencia del taxón registrado y su significado ecológico aislado.

En conclusión, el caño Barbascos presenta un ensamble ecológico fuertemente empobrecido, dominado exclusivamente por Chironomidae, lo que sugiere condiciones ecológicas críticas. La ausencia de diversidad taxonómica refleja una degradación en la calidad del hábitat y un bajo soporte funcional de la red trófica acuática, lo cual requiere atención en términos de restauración de la conectividad ecosistémica, recuperación del flujo hídrico y mejora de la calidad del agua.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

El monitoreo de las macrófitas cuáticas del caño Barbascos, se realizó en el punto Barbascos_CL_01, ubicado en el municipio de Puerto López en altillanura.

La comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca Caño Barbascos durante la temporada seca, evidencia una estructura dominada por pocas especies con alta cobertura. Se identificaron tres morfoespecies pertenecientes a las divisiones Tracheophyta y a los órdenes Alismatales y Poales, siendo la especie *Hydrocharis* sp. (familia Hydrocharitaceae) la dominante, con una cobertura del 85% y una abundancia relativa del 88,17%. Las especies *Panicum* sp. y una morfoespecie de Poaceae aportan coberturas menores (7,2% y 4,2% respectivamente) (**Tabla 3.3.3-41**), lo que evidencia un patrón típico de comunidades de macrófitas en cuerpos de agua tropicales donde una o pocas especies tienden a monopolizar el espacio disponible, especialmente durante estaciones secas que reducen la lámina de agua y aumentan la competencia por recursos (Esteves, 2011[4]; Junk et al., 2013[18]). Este tipo de estructura, con baja riqueza específica y alta dominancia, puede estar asociado a condiciones ambientales particulares como la estabilidad hidrológica, características físico-químicas del agua y la acción antrópica, que favorecen el establecimiento de especies pioneras o tolerantes (Thomaz & Cunha, 2010[19]). La cobertura vegetal total alcanzó un 96,4%, lo cual sugiere una alta productividad del sistema. Este tipo de composición puede tener implicaciones ecológicas importantes, ya que las macrófitas influyen en procesos como la sedimentación, oxigenación del agua y provisión de hábitats para fauna acuática (Maltchik et al., 2007[20]). La baja diversidad de morfoespecies por punto (3) y por Microcuenca (3) indica una estructura comunitaria simple, probablemente condicionada por las características estacionales del hábitat evaluado.

Tabla 3.3.3-41 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Barbascos	
				Punto De Meustreo	Barbascos_Cl_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Hydrocharitaceae	*Hydrocharis* sp.	85	88,17
		Poales	Poaceae	Poaceae Mf.	4,2	4,36
				Panicum sp.	7,2	7,47
Cobertura Total general					**96,4**	**100**
Morfoespecies por Punto					**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**3**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

[18] Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Lourival, R., Wittmann, F., Kandus, P., Lacerda, L. D., ... & Maltchik, L. (2013). Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 24(1), 5–22. https://doi.org/10.1002/aqc.2386

[19] Thomaz, S. M., & Cunha, E. R. (2010). The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. Acta Limnologica Brasiliensia, 22(2), 218–236. https://doi.org/10.4322/actalb.02202011

[20] Maltchik, L., Rolon, A. S., & Guadagnin, D. L. (2007). Emerging perspectives in the conservation of South American wetlands. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 17(3), 280–290.

- Diversidad alfa

Durante la temporada seca, en el punto BARBASCOS_CL_01 de la Microcuenca del caño Barbascos, se registró una comunidad de macrófitas acuáticas con una abundancia promedio de 96,4 individuos y una riqueza específica de tres taxones. El índice de diversidad de Shannon (H' = 0.47) indica una baja diversidad, lo cual sugiere un dominio de pocas especies en la comunidad. Esta interpretación se ve reforzada por un índice de equitatividad de Pielou (J' = 0.428), que revela una distribución desigual de los individuos entre las especies presentes. A pesar de la baja diversidad, el índice de Simpson (D = 0.766) refleja una probabilidad relativamente alta de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes, lo que se debe a la dominancia de especies tolerantes a condiciones de estrés hídrico o antrópico (Odum & Barrett, 2005[21]). Estos resultados son coherentes con estudios previos que han documentado una disminución en la diversidad de macrófitas acuáticas durante periodos de sequía, atribuida a la reducción del hábitat disponible y a las alteraciones fisicoquímicas del agua (Esteves, 2011[4]) (**Tabla 3.3.3-42**).

Tabla 3.3.3-42 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BARBASCOS_CL_01	96.4	3	0.47	0.766	0.428

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

➢ *Época lluvias*

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton en el caño Barbascos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en el sistema lótico analizado, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época lluviosa, está compuesto por una comunidad diversa de microorganismos pertenecientes a diferentes divisiones, clases y órdenes. La Microcuenca, representada por la estación "Caño Barbascos" (BARBASCOS_CL_01), muestra una riqueza de

[21] Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). Fundamentos de ecología (5.ª ed.). Thomson.

morfoespecies distribuida en siete géneros principales *Gomphonema*, *Eunotia*, *Ulnaria*, *Rhopalodia*, *Achnanthes*, *Nitzschia*, *Oedogonium*, *Mougeotia*, *Anabaena* y *Phacus* (**Tabla 3.3.3-43**). La abundancia total de la Microcuenca es de 168.5 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-43**), con *Achnanthes* (36.8 ind/cm² y 21.84% de representatividad) y *Nitzschia* (28.5 ind/cm² y 16.91%) (**Tabla 3.3.3-43**) (**Figura 3.3.3-21**) como los géneros más abundantes, seguidos por *Gomphonema* (27.3 ind/cm² y 16.202%) y *Rhopalodia* (19 ind/cm² y 11.27%) (**Tabla 3.3.3-43**) (**Figura 3.3.3-21**). Estos datos reflejan una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta), que son bioindicadoras clave de la calidad del agua y las condiciones ambientales (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

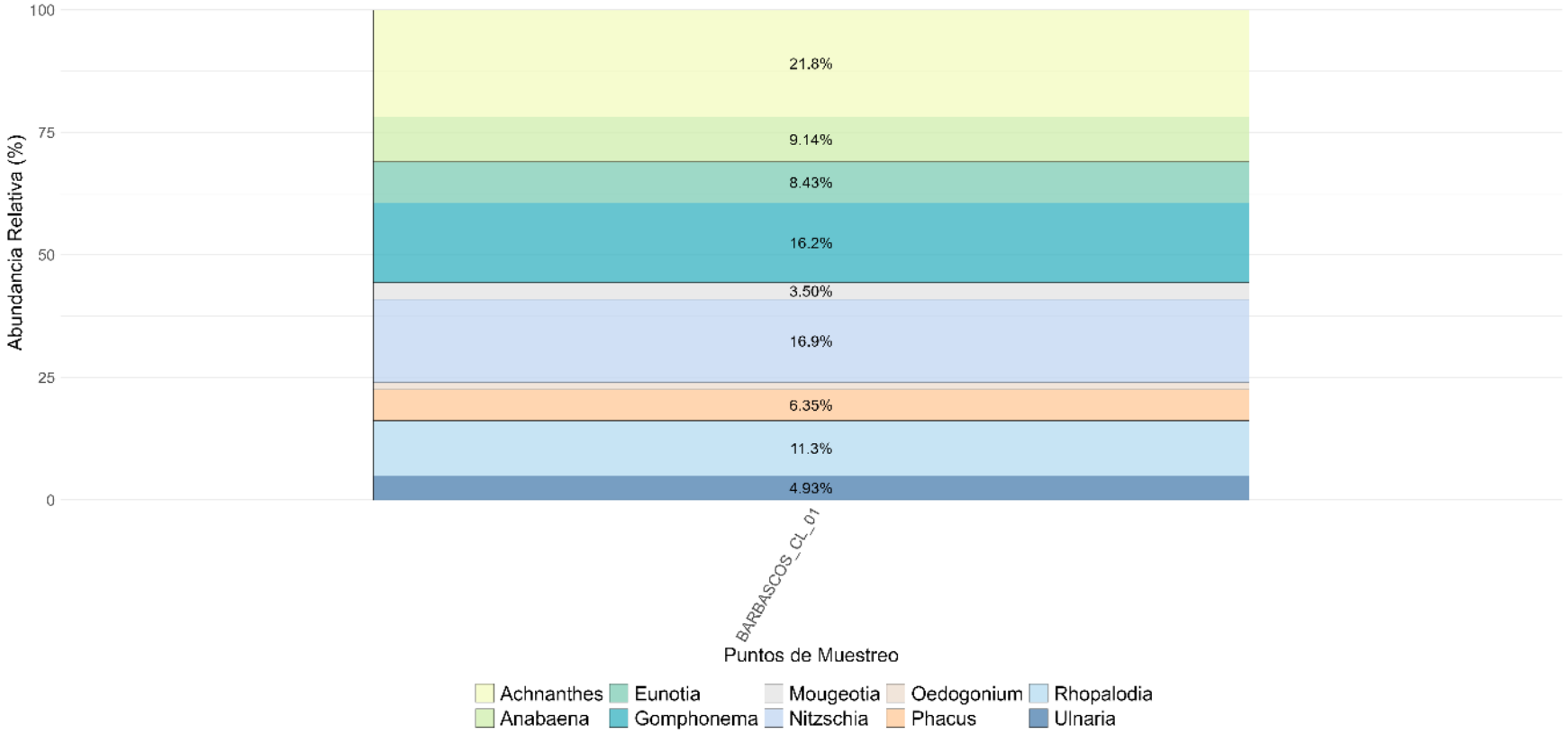


Figura 3.3.3-21 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de diatomeas como *Achnanthes* y *Gomphonema* sugiere aguas bien oxigenadas y con moderada carga orgánica, mientras que *Nitzschia* puede indicar cierta tolerancia a condiciones eutróficas (Bellinger & Sigee, 2015). La aparición de *Anabaena* (Cyanobacteria) y *Mougeotia* (Charophyta) señala posibles fluctuaciones en nutrientes, como fósforo y nitrógeno, típicas de épocas lluviosas donde el arrastre terrestre puede influir en la dinámica acuática (Wetzel R. G., 2001). La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se evidencia en la presencia de géneros como *Oedogonium* y *Phacus*, que pueden colonizar hábitats temporales o zonas de transición, destacando la conectividad ecológica de la Microcuenca.

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad del perifiton sugiere una calidad ecológica moderada, con cierta influencia antropogénica o natural por escorrentía durante la época lluviosa. La riqueza de géneros y la dominancia de diatomeas sensibles apuntan a un sistema con capacidad de autorregulación, aunque la presencia de cianobacterias alerta sobre posibles desequilibrios. En conclusión, la Microcuenca de Caño Barbascos presenta una calificación ecológica moderada-alta, con condiciones favorables para la biodiversidad.

Tabla 3.3.3-43 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Barbascos, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Barbascos	Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					Barbascos_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	27,3	27,3
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	14,2	14,2
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	8,3	8,3
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	19	19
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	36,8	36,8
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	28,5	28,5
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	2,4	2,4
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	*Mougeotia*	5,9	5,9
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena*	15,4	15,4
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Phacus*	10,7	10,7
Gran Total					168,5	168,5

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad para la comunidad de perifiton en el punto de monitoreo BARBASCOS_CL_01 correspondiente a la Microcuenca caño Barbasco, revelan una estructura ecológica con características destacables. La abundancia total de 168.5 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-44**) indica una densidad considerable de organismos, lo que sugiere un ambiente con disponibilidad de recursos y condiciones favorables para el desarrollo del perifiton. La riqueza de especies, representada por 10 géneros (**Tabla 3.3.3-44**), refleja una biodiversidad moderada, típica de sistemas lóticos bien conservados, pero con cierta influencia de factores ambientales, como posibles aportes de nutrientes durante la época lluviosa.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad proporcionan información adicional sobre la estructura de la comunidad. El índice de Shannon (H' = 2.22) (**Tabla 3.3.3-44**) sugiere un nivel de diversidad intermedio, donde no dominan exclusivamente unas pocas especies, sino que existe una distribución relativamente equilibrada. Este valor, aunque no es extremadamente alto, indica que el sistema mantiene una heterogeneidad ecológica relevante. Por otro lado, el índice de Simpson (D = 0.127) (**Tabla 3.3.3-44**) refuerza esta interpretación, ya que su bajo valor señala una baja dominancia y una mayor equitatividad en la distribución de las especies. Finalmente, el índice de Pielou (J' = 0.964) (**Tabla 3.3.3-44**) cercano a 1, confirma una alta uniformidad en la comunidad, lo que implica que ninguna especie está predominando el ensamble, un rasgo positivo desde el punto de vista ecológico.

En conjunto, estos resultados permiten inferir que la Microcuenca de Caño Barbascos presenta una calificación ecológica buena, con una comunidad de perifiton estructurada y diversa, aunque con margen para mejorar en términos de riqueza absoluta. La combinación de una abundancia significativa, una diversidad moderada-alta y una elevada equitatividad sugiere un ambiente acuático en equilibrio, con baja perturbación antropogénica severa. No obstante, la presencia de ciertos géneros bioindicadores, como *Anabaena* (Cyanobacteria), podría señalar influencias puntuales de nutrientes. En conclusión, el sistema puede considerarse bien conservado.

Tabla 3.3.3-44 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Barbascos, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BARBASCOS_CL_01	168.5	10	2.22	0.127	0.964

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en la estación BARBASCOS_CL_01, ubicada en la Microcuenca del caño Barbascos y monitoreada en época de lluvias, evidencia una comunidad altamente simplificada. En este punto se identificó una única morfoespecie correspondiente al phyllum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Ceratopogonidae, género *Probezzia*, con una abundancia total de 3.3 individuos/m², lo que limita significativamente la interpretación ecológica del sistema (**Tabla 3.3.3-45**).

Tabla 3.3.3-45 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Barbascos, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Barbascos	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						BARBASCOS_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Probezzia	*Probezzia sp.*	3,3	3,3
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**3**	**3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la familia Ceratopogonidae, y en particular el género Probezzia, suele estar asociada a hábitats acuáticos con condiciones ambientales variables y en algunos casos puede tolerar niveles moderados de contaminación orgánica, aunque no es considerada un grupo particularmente sensible ni especialmente indicativo de alta calidad ambiental (Roldán, 2003). La dominancia absoluta de esta morfoespecie indica una baja diversidad ecológica y podría reflejar condiciones de perturbación ambiental, tales como deficiencia en oxigenación, acumulación de materia orgánica, o alteraciones físicas del hábitat como el empobrecimiento del sustrato o desconexión con zonas riparias.

La presencia exclusiva de una sola morfoespecie impide, desde el punto de vista técnico y ecológico, la aplicación de índices como el BMWP/Col, ya que este método depende de la presencia y ponderación de diferentes familias de macroinvertebrados bentónicos sensibles y tolerantes para establecer un gradiente de calidad del agua (Roldán, 2003). Así mismo, no es viable calcular índices de diversidad alfa como Shannon, Simpson o Pielou, dado que estos requieren la comparación de proporciones entre varias especies dentro de una comunidad. Una comunidad con riqueza igual a 1 no cumple con el concepto básico de comunidad ecológica, entendido como una asociación de organismos de múltiples especies que interactúan en un espacio y tiempo determinados (Begon et al., 2006). En este caso, no existe posibilidad de interacción interespecífica ni estructuración ecológica compleja.

En cuanto a la interacción con otros sistemas, la escasa diversidad registrada puede estar relacionada con una desconexión funcional entre el sistema lótico del caño Barbascos y otros sistemas lénticos (madreviejas, lagunas) o terrestres adyacentes. Esta desconexión puede limitar el aporte de refugios, materia orgánica y colonizadores, disminuyendo así la heterogeneidad estructural del hábitat acuático. Además, la estacionalidad propia de los ecosistemas de la altillanura durante la época de lluvias puede generar pulsos hidrológicos que arrastran o diluyen la fauna bentónica, afectando la permanencia y complejidad del ensamble (Junk et al., 1989).

En conclusión, la comunidad bentónica del caño Barbascos en el punto BARBASCOS_CL_01 refleja un ecosistema degradado o en condiciones de baja heterogeneidad ecológica, con una comunidad empobrecida tanto en riqueza como en función biológica.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias, la comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca caño Barbascos, dentro del área de influencia Fisicobiótica del Bloque CPO-5, presentó una estructura dominada por especies pertenecientes a las órdenes Alismatales, Poales y Nymphaeales, todas dentro de la clase Magnoliidae. Se identificaron cuatro morfoespecies con una cobertura total del 87,01 %, lo cual indica una alta ocupación del espejo de agua por vegetación acuática. La especie con mayor cobertura fue *Philodendron* sp. (Araceae), con un 36,67 % de cobertura y una abundancia relativa del 42,14 %, lo que sugiere un fuerte dominio ecológico posiblemente asociado a su capacidad de adaptación a ambientes húmedos y sombreados de orilla ya que es una especie halófita. Le siguen *Nymphaea* sp. (Nymphaeaceae)

con 19,67 %, *Lasiacis* sp. y *Echinochloa* sp. (Poaceae) con coberturas de 15,67 % y 15 %, respectivamente (**Tabla 3.3.3-46**). Esta composición refleja una comunidad mixta, con la coexistencia de especies de hábitos emergentes, flotantes y posiblemente anfibios, lo que implica una estructura vertical diversa y funcionalmente compleja (Chambers et al., 2008[10]; Junk et al., 2013[18]). La dominancia de especies helófitas como *Philodendron* sp. puede estar relacionada con las condiciones hidrológicas de la temporada lluviosa, que favorecen el desarrollo de vegetación marginal en zonas de inundación temporal. Adicionalmente, la presencia de especies de Poaceae, como *Echinochloa* sp., típicas de ambientes perturbados o con cierta carga de nutrientes, podría indicar algún nivel de influencia antrópica o natural sobre la calidad del agua (Bini et al., 2005[9]). En conjunto, la diversidad registrada sugiere un ecosistema en buen estado de funcionalidad ecológica, donde las macrófitas cumplen roles claves en la estabilización del hábitat, el reciclaje de nutrientes y el soporte a otras comunidades biológicas.

Tabla 3.3.3-46 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Barbascos	
				Punto De Meustreo	Barbascos_Cl_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Philodendron* sp.	36,67	42,14
		Poales	Poaceae	*Lasiacis* sp.	15,67	18,01
				Echinochloa sp.	15	17,24
		Nymphaeales	Nymphaeaceae	*Nymphaea* sp.	19,67	22,61
Cobertura Total general					**87,01**	**100,00**
Morfoespecies por Punto					**4**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad alfa

Durante la temporada de lluvias, en el punto BARBASCOS_CL_01 de la Microcuenca del caño Barbascos, se registró una comunidad de macrófitas acuáticas con una abundancia de 87,01 individuos y una riqueza de cuatro especies. El valor del índice de Shannon (H' = 1.332) indica una diversidad moderada, lo que sugiere una comunidad más estructurada y equitativa en comparación con la temporada seca. Esta diversidad se ve respaldada por un alto valor de equitatividad de Pielou (J' = 0.961), lo cual refleja una distribución casi uniforme de los individuos entre las especies presentes. Sin embargo, el índice de Simpson (D = 0.28) muestra un valor relativamente bajo, lo que podría deberse a la menor dominancia de especies individuales, favoreciendo así una mayor diversidad (Odum & Barrett, 2005[21]). Estas condiciones suelen estar asociadas a una mayor disponibilidad de hábitats y nutrientes durante la época lluviosa, lo cual promueve el establecimiento y coexistencia de múltiples especies de macrófitas (Esteves, 2011[4]). En general, los datos sugieren que la temporada de lluvias ofrece condiciones más favorables para la diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca (**Tabla 3.3.3-47**).

Tabla 3.3.3-47 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Barbascos, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BARBASCOS_CL_01	87.01	4	1.332	0.28	0.961

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

Durante el análisis comparativo de las macrófitas acuáticas presentes en la Microcuenca del caño Barbascos entre las épocas de lluvias y sequía, se evidencian diferencias significativas en cuanto a la diversidad y cobertura de especies. En época seca, se identificaron tres morfoespecies: *Hydrocharis* sp. (Hydrocharitaceae), *Panicum* sp. y una Poaceae morfoespecie no determinada, con una dominancia clara de Hydrocharis sp., que representó el 88,17% de la abundancia relativa y cubrió el 85% del área (Cobertura total: 96,4%). En contraste, durante la época de lluvias, se registró una mayor riqueza específica con cuatro morfoespecies, entre ellas Philodendron sp. (Araceae), *Nymphaea* sp. (Nymphaeaceae), y especies de los géneros *Lasiacis* y *Echinochloa* (Poaceae), mostrando una distribución más equitativa de la cobertura (Cobertura total: 87,01%), sin que ninguna especie alcanzara la dominancia observada en época seca. Esta variación puede atribuirse a cambios en el régimen hidrológico y la disponibilidad de hábitats provocados por las lluvias, los cuales favorecen el establecimiento de una mayor diversidad de especies flotantes, emergentes y enraizadas (Cronk & Fennessy, 2001[2]). Asimismo, el aumento de cobertura de especies como *Philodendron* y *Nymphaea* sugiere condiciones más heterogéneas y un aumento en la disponibilidad de nutrientes y luz, factores que son reconocidos por influir en la estructura de las comunidades de macrófitas acuáticas (Chambers et al., 2008[10]). En resumen, mientras la época seca favorece la dominancia de unas pocas especies adaptadas a condiciones de menor profundidad y menor flujo, la época de lluvias promueve una mayor diversidad funcional y estructural dentro del ecosistema acuático del caño Barbascos.

3.3.3.2.4 Microcuenca caño El Aceite

La Microcuenca del caño El Aceite, ubicada en el municipio de Puerto López, se inserta dentro del sistema hidrográfico de la altillanura oriental colombiana, una región caracterizada por su topografía suavemente ondulada, suelos ácidos y de baja fertilidad, y un régimen hidrológico fuertemente influenciado por la estacionalidad de las precipitaciones (IGAC, 2018[22]). Este sistema de drenaje forma parte de la Microcuenca del río Meta y presenta ecosistemas acuáticos con alta biodiversidad, sensibles a las variaciones antrópicas y climáticas. El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se llevó a cabo en dos puntos estratégicos: ACEITE_CL_01, correspondiente a un tramo representativo del caño, y OCmn17, identificado como una ocupación de cauce, con el objetivo de evaluar la calidad ecológica del sistema mediante el análisis de organismos indicadores (**Figura 3.3.3-22**).

[22] IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2018). Zonificación de tierras en la altillanura colombiana. Bogotá, Colombia.

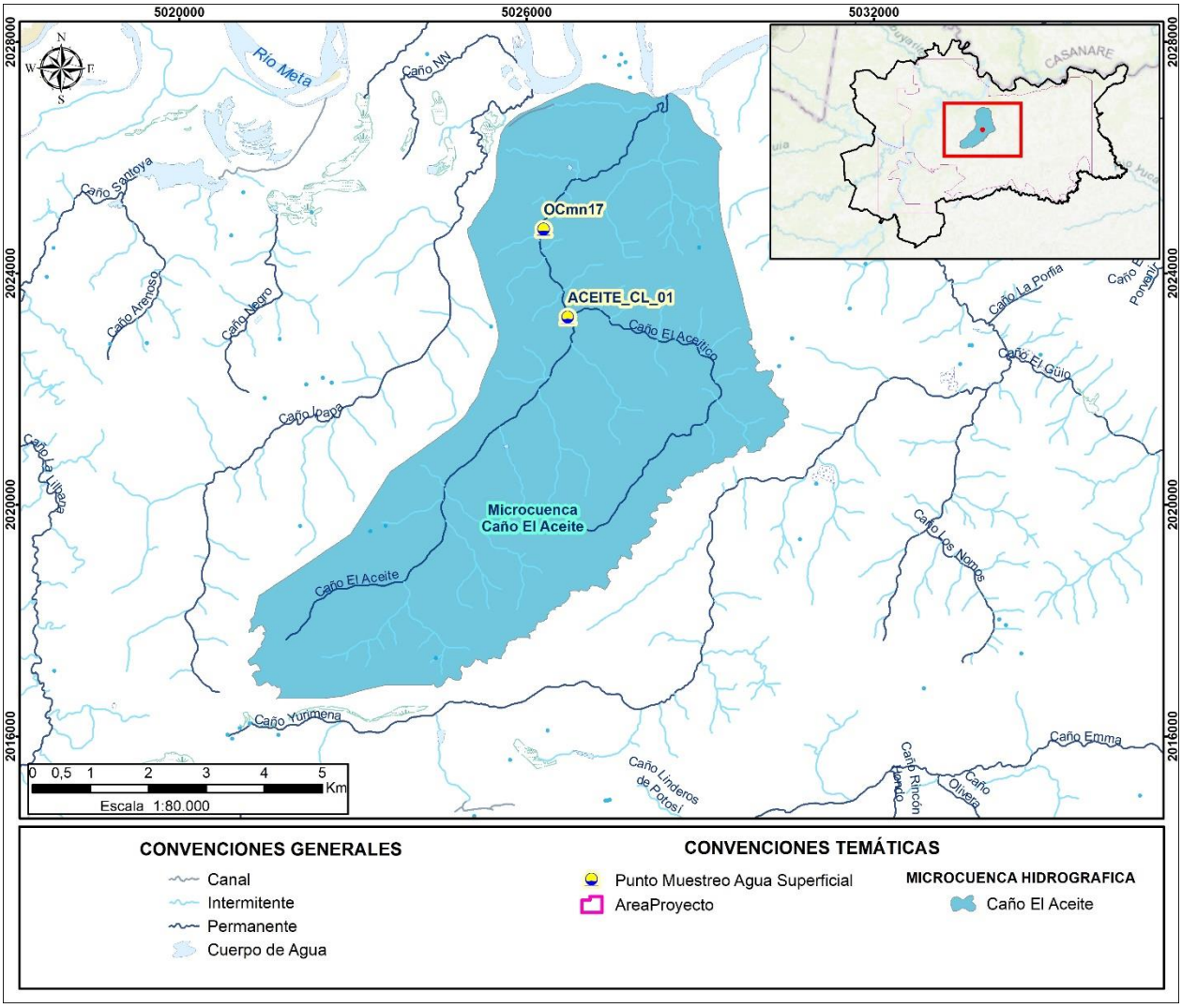


Figura 3.3.3-22 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño El Aceite

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño El Aceite, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores

ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

- ✓ *Perifíton*

  - Composición y estructura de la comunidad

El ensamble perifítico de la Microcuenca del Caño El Aceite, representado por las estaciones OCmn17 y ACEITE_CL_01 durante la época seca, revela una comunidad acuática notablemente limitada en su desarrollo ecológico. La abundancia total de 17.1 Ind/cm² (**Tabla 3.3.3-48**) se distribuye desigualmente entre ambas estaciones OCmn17 (8 Ind/cm²) y ACEITE_CL_01 (9.1 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-48**), con una riqueza taxonómica extremadamente baja con solo cinco géneros en todo el ensamble y pertenecientes a tres divisiones Heterokontophyta, Charophyta y Cyanobacteria (**Tabla 3.3.3-48**). La estructura comunitaria muestra una clara dominancia de Pinnularia (6.5 Ind/cm², 71.43% de abundancia relativa (**Figura 3.3.3-23**) en ACEITE_CL_01 y Eunotia (4 Ind/cm², 50% de abundancia relativa (**Figura 3.3.3-23**) en OCmn17.

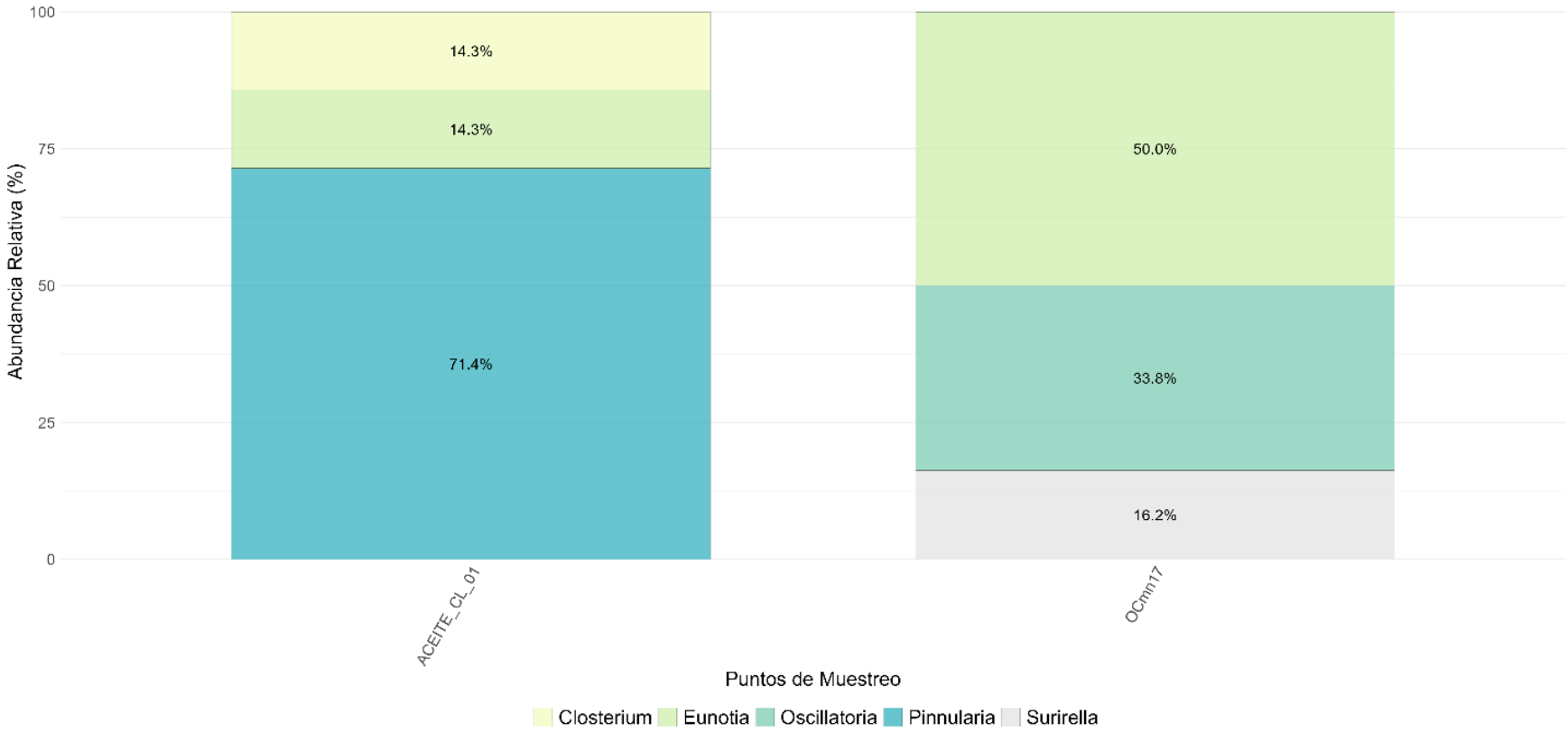


Figura 3.3.3-23 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Aceite época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad presenta señales ecológicas contrastantes. La presencia de *Eunotia* 5.3 Ind/cm² en el total del ensamble, reconocido bioindicador de aguas limpias y ligeramente ácidas según (Round et al., 1990), coexiste con *Oscillatoria* (2.7 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-48**), cianobacteria típica de ambientes con cierto grado de contaminación orgánica. Esta combinación inusual sugiere condiciones microambientales muy específicas donde áreas conservadas (con diatomeas sensibles) coexisten con zonas puntuales de impacto, posiblemente relacionadas con aportes orgánicos localizados. La aparición de *Closterium* (1.3 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-48**) exclusivamente en ACEITE_CL_01, alga característica de humedales adyacentes, indica una limitada conexión con sistemas lénticos durante la época seca.

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la distribución complementaria de género entre estaciones *Eunotia* dominante en OCmn17 en contraste con *Pinnularia* en ACEITE_CL_01, la presencia de *Closterium*, sugiriendo esporádica conectividad con humedales y la ausencia total de Chlorophyta, indicando limitado aporte de nutrientes desde el ecosistema terrestre. Estos patrones coinciden parcialmente con los descritos por (Gómez et al., 2017) para sistemas similares, aunque la extrema pobreza específica menor a seis géneros supera los umbrales reportados como normales para la región.

En conclusión, la Microcuenca del Caño El Aceite presenta una condición ecológica críticamente limitada y esto es caracterizado por una comunidad muy pequeña con cinco géneros, las abundancias menores a 10 Ind/cm² por estación y la interacción de bioindicadores sensibles como *Eunotia* con géneros tolerantes como *Oscillatoria*.

Tabla 3.3.3-48 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Aceite época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Aceite		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCmn17	Aceite_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	1,3		1,3
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		6,5	6,5
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	4	1,3	5,3
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		1,3	1,3
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	2,7		2,7
Gran Total					**8**	**9,1**	**17,1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad en las estaciones ACEITE_CL_01 y OCmn17 de la Microcuenca del Caño El Aceite revela una comunidad acuática con características ecológicas particulares durante la época seca. La estación ACEITE_CL_01 presenta valores de Shannon (H'=1.154) y (Simpson=0.388) (**Tabla 3.3.3-49**) que sugieren una diversidad moderada a baja, con una alta equitatividad (Pielou=1.0) (**Tabla 3.3.3-49**) entre sus tres géneros reportados *Pinnularia*, *Closterium* y *Eunotia*. En contraste, OCmn17 muestra valores más consistentes (Shannon=1.011, Pielou=0.92) (**Tabla 3.3.3-49**), aún dentro del rango esperado para comunidades pobres en

especies. Ambos puntos comparten una riqueza idéntica de tres géneros, pero con diferencias en la abundancia total (ACEITE_CL_01: 9.1 Ind/cm²; OCmn17: 8 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-49**).

La comparación entre las estaciones, evidencia que, pese a la similitud en riqueza específica, ACEITE_CL_01 mantiene una estructura comunitaria ligeramente más equilibrada (Pielou=0.92-1.05 en contraste con 0.92 en OCmn17) (**Tabla 3.3.3-49**). Este evento de un casi equilibrio en comunidades extremadamente pobres ha sido documentada por (Magurran A. E., 2004) como característica de ambientes con fuertes filtros ambientales que limitan el establecimiento de la mayoría de los géneros. Los valores de Simpson (0.388-0.389) (**Tabla 3.3.3-49**) confirman una dominancia intermedia donde ninguna especie ejerce un control absoluto, aunque en este caso se debe más a la escasez general de individuos que a una verdadera diversificación comunitaria.

Considerando los patrones de diversidad en conjunto con la composición taxonómica reportada previamente, la Microcuenca del Caño El Aceite presenta una calificación ecológica críticamente limitada, fundamentada en la riqueza baja menor a tres géneros, las abundancias menores a (10 Ind/cm²) y la estructura comunitaria simplificada, aunque con distribución relativamente equilibrada de las pocas especies presentes. Esta evaluación coincide con los umbrales establecidos por (Roldán, 2016) para sistemas tropicales en estado crítico, donde la combinación de estos factores señala limitantes ambientales severas, probablemente asociadas a condiciones hidrológicas extremas (flujo intermitente, falta de sustratos adecuados) más que a contaminación antrópica directa, dada la presencia de bioindicadores sensibles como *Eunotia*. Sin embargo, es muy importante mencionar que este ensamble no arroja resultados que puedan ayudar a inferir conclusiones sobre la calidad de Microcuenca debido a los bajos valores de riqueza y abundancia.

Tabla 3.3.3-49 índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Aceite época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
ACEITE_CL_01	9.1	3	1.154	0.388	1.0
OCmn17	8	3	1.011	0.389	0.92

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

Para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos hubo ausencia de individuos en la Microcuenca del río Upía, siendo explicada por una combinación de factores ambientales, ecológicos y antrópicos que afectan negativamente la disponibilidad y calidad del hábitat para estos organismos.

En primer lugar, la época seca en la altillanura se caracteriza por una notable disminución en los niveles de caudal, lo cual reduce drásticamente la disponibilidad de microhábitats acuáticos esenciales para el establecimiento y permanencia de macroinvertebrados. Esta situación genera condiciones físicas extremas, como aumento de la temperatura del agua, reducción en la concentración de oxígeno disuelto y mayor sedimentación, factores que dificultan la supervivencia

de muchas especies sensibles, especialmente las que requieren flujos constantes y sustratos estables (Allan & Castillo, 2007).

Además, durante el estiaje, se acentúan las condiciones de estrés hidrológico, lo que puede conducir a la desecación parcial de tramos del cauce, particularmente en sistemas con conectividad longitudinal limitada o donde existe fragmentación por obras hidráulicas, canales, o extracción de agua para uso agropecuario. La falta de refugios acuáticos permanentes, como pozas o sustratos consolidados, puede impedir el establecimiento de comunidades bentónicas.

Otro factor crítico es la calidad del agua. El río Upía atraviesa zonas con creciente presión antrópica, incluyendo actividades agrícolas, ganaderas y urbanas, que pueden estar generando descargas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, elevando la carga de nutrientes y generando eutrofización o condiciones anóxicas en determinados tramos (IDEAM, Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente, 2019). Bajo estas condiciones, muchas especies de macroinvertebrados no logran sobrevivir, y el sistema tiende a ser colonizado por comunidades reducidas o incluso puede quedar biológicamente inactivo.

Finalmente, se debe considerar que la ausencia de organismos detectados no implica necesariamente su inexistencia total, sino que también puede deberse a limitaciones metodológicas como la baja representatividad del muestreo, la elección de microhábitats poco favorables, o errores en la aplicación de protocolos estandarizados, como lo señala Roldán (1999).

En síntesis, la falta de macroinvertebrados bentónicos en la Microcuenca del caño El Aceite durante la época seca refleja una combinación de condiciones naturales extremas de la temporada, posiblemente agravadas por presiones antrópicas locales, que juntas limitan severamente la biodiversidad acuática.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y estructura de la comunidad

La caracterización de la comunidad de macrófitas acuáticas en el caño el Aceite en temporada seca no fue exitosa pues en los dos puntos de muestreo proyectados (ACEITE_CL_01 y el punto de ocupación de cauce OCmn17) no se registraron ejemplares.

- ➢ *Época lluvias*

  - ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia

distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Caño El Aceite monitoreado durante la época de lluvias en la estación OCmn17, presenta una comunidad acuática extremadamente limitada. El estudio registró una abundancia total de apenas 2 ind/m², distribuida en dos (2) morfoespecies pertenecientes a dos (2) phyllum diferentes (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases, dos (2) órdenes, y dos (2) familias (Naididae y Tipulidae), con un único género identificado (*Tipula*). Esta composición taxonómica mínima (Naididae Mf. y *Tipula* sp., ambas con 1.1 ind/m²) representa una de las comunidades bentónicas más empobrecidas reportadas en sistemas lóticos de la región (Roldán & Ramírez, 2008) (**Tabla 3.3.3-50**).

Tabla 3.3.3-50 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Aceite época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Aceite OCmn17	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae* Mf.	1,1	1,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	Tipula	*Tipula* sp.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**2**	**2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La simplicidad de este ensamble (solo 2 organismos en total) imposibilita el cálculo significativo de índices de diversidad alfa (Shannon, Simpson, Pielou) y del BMWP/Col, ya que estos indicadores requieren un mínimo de 3 especies y abundancias mayores para proporcionar resultados ecológicamente interpretables (Domínguez & Fernández, 2009). La presencia aislada de Naididae (oligoquetos tubificidos), organismos generalmente asociados a sedimentos orgánicos, combinada con *Tipula* sp. (díptero tipúlido), sugiere condiciones ambientales particularmente adversas que limitan drásticamente el establecimiento de comunidades acuáticas diversas. Esta combinación inusual de taxones podría indicar: 1) alteraciones severas del hábitat físico, 2) contaminación específica, o 3) condiciones hidrológicas extremas durante las lluvias (Buss et al., 2015).

Desde la perspectiva de la bioindicación, la ausencia total de grupos sensibles (como tricópteros, efemerópteros o coleópteros elmidos) y la mínima abundancia registrada (2 ind/m²) señalan un ambiente acuático críticamente deteriorado. La coexistencia de Naididae (organismos tolerantes)

con *Tipula* sp. (cuya sensibilidad varía según especies) no permite establecer conclusiones definitivas sobre la calidad del agua, pero sí evidencia una ruptura en la estructura comunitaria típica de sistemas lóticos bien conservados (Merritt et al., 2008). Las interacciones ecológicas en este ensamble son virtualmente inexistentes debido a la escasez de organismos, aunque Tipula sp., con sus formas adultas voladoras, podría representar un tenue vínculo trófico con sistemas terrestres adyacentes.

En conclusión, el ensamble del Caño El Aceite en OCmn17 representa un caso extremo de comunidad bentónica empobrecida, donde la riqueza y abundancia son insuficientes para aplicar los índices biológicos convencionales. Esta situación podría deberse a la contaminación aguda reciente, condiciones naturales extremas.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

La caracterización se realizó en dos puntos de muestreo con características lóticas (ACEITE_CL_01 y OCmn17 "ocupación de cauce"), permitiendo evaluar la variabilidad estructural en función de las condiciones hidrológicas locales.

El análisis de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño El Aceite durante la temporada de lluvias revela una composición florística moderadamente diversa, conformada por seis morfoespecies distribuidas en seis familias y seis órdenes botánicos diferentes, todas pertenecientes a la división Tracheophyta y clase Magnoliidae. La estructura de la comunidad varía significativamente entre los dos puntos de muestreo (ACEITE_CL_01 y OCmn17), con una mayor cobertura total (15,66%) y diversidad en el primer punto, en comparación con una cobertura de apenas 4% en el segundo. En ACEITE_CL_01, la especie dominante es *Asplundia* sp. (Cyclanthaceae), con una cobertura del 14,33% y una abundancia relativa del 91,51%, lo que indica un patrón de dominancia típico de ambientes húmedos tropicales donde una o pocas especies estructuran la comunidad (Cronk & Fennessy, 2001[2]). En contraste, el punto OCmn17 está dominado por Rinorea sp. (Violaceae), que representa el 75% de la abundancia relativa, sugiriendo una comunidad menos diversa y más homogénea en condiciones posiblemente más sombreadas o alteradas, donde algunas especies tolerantes predominan (Chambers et al., 2008[10]) (**Tabla 3.3.3-51**).

Tabla 3.3.3-51 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Aceite, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Aceite			
				Punto De Meustreo	Aceite_Cl_01		Ocmn17	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Myrtales	Myrtaceae	Syzygium sp.	0,33	2,11		
		Alismatales	Araceae	Philodendron sp.	1	6,39		
		Poales	Poaceae	Eriochloa sp.			0,67	16,75
		Fabales	Fabaceae	Fabaceae Mf.			0,33	8,25

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Aceite			
				Punto De Meustreo	Aceite_Cl_01		Ocmn17	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Malpighiales	Violaceae	Rinorea sp.			3	75,00
		Pandanales	Cyclanthaceae	Asplundia sp.	14,33	91,51		
				Cobertura Total general	**15,66**	**100**	**4**	**100**
				Morfoespecies por Punto	**3**		**3**	
				Morfoespecies por Microcuenca	**6**			

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de familias como Araceae, Poaceae y Fabaceae indica una mezcla de formas de vida típicas de hábitats ribereños y húmedos, que incluyen especies emergentes, flotantes y helófitas, reflejando una heterogeneidad estructural importante en ciertos sectores de la Microcuenca. Además, la baja cantidad de morfoespecies por punto (3 en cada uno) sugiere que, aunque la riqueza total en la Microcuenca es de seis especies, estas se distribuyen de manera localizada, probablemente en respuesta a microhábitats específicos, condiciones fisicoquímicas del agua o grados de intervención antrópica. Este patrón espacial y estructural coincide con lo reportado en estudios similares en regiones tropicales, donde la distribución y dominancia de las macrófitas está fuertemente influenciada por gradientes hidrológicos y calidad del agua (Junk et al., 2013[18]).

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño El Aceite, se observaron diferencias marcadas en los índices de diversidad de la comunidad de macrófitas acuáticas entre los puntos de muestreo ACEITE_CL_01 y OCmn17 (ocupación de cauce). Aunque ambos sitios presentaron la misma riqueza de especies (S = 3), el punto ACEITE_CL_01 mostró una mayor abundancia total (15.66 individuos) pero una diversidad específica más baja según el índice de Shannon (H' = 0.339) y equidad de Pielou (J' = 0.309), en comparación con OCmn17, que presentó un valor de Shannon de 0.721 y equidad de 0.656. Esto indica que, a pesar de la menor abundancia en OCmn17, las especies estuvieron distribuidas de forma más equitativa, lo que sugiere una estructura comunitaria más balanceada (Magurran A. E., 2004). Además, el índice de Simpson fue mayor en ACEITE_CL_01 (0.842), lo que implica un mayor dominio de una o pocas especies en ese sitio (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001). Estos resultados pueden estar relacionados con factores ambientales como el flujo de agua, disponibilidad de nutrientes o presión antrópica, que influyen en la composición y estructura de las comunidades de macrófitas (Esteves F. A., 2011).

3.3.3.2.5 Microcuenca caño El Boral

La Microcuenca del caño El Boral, localizada en el municipio de Cabuyaro, se encuentra dentro de la región de la Orinoquía colombiana, caracterizada por extensas llanuras de inundación, ecosistemas de sabana y una alta biodiversidad acuática. Esta zona se distingue fisiográficamente por presentar una topografía plana, con suelos aluviales y una red de drenaje que favorece la formación de caños, esteros y morichales, fundamentales para la regulación hídrica y la conservación de hábitats acuáticos (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). En este contexto,

se desarrolló el monitoreo de comunidades hidrobiológicas en la Microcuenca del caño El Boral con el fin de evaluar la calidad ecológica del sistema acuático y detectar posibles alteraciones derivadas de actividades antrópicas, como las asociadas al Área de Producción Gangotri. El monitoreo se llevó a cabo en doce puntos de muestreo, destacando seis correspondientes a ocupaciones de cauce PMASup_DS_11, PMASup_DS_13, PMASup_DS_14, PMASup_DS_15, PMASup_DS_17 y PMASup_DS_19 los cuales para efectos de análisis se nombran como OC11, OC13, OC14, OC15, OC17 y OC19, de los cuales se retoma la información de la campaña de monitoreo hidrobiológico realizada para la modificación de licencia ambiental del Área de Producción Gangotri en la temporada de lluvias del año 2024 (**Figura 3.3.3-24**).

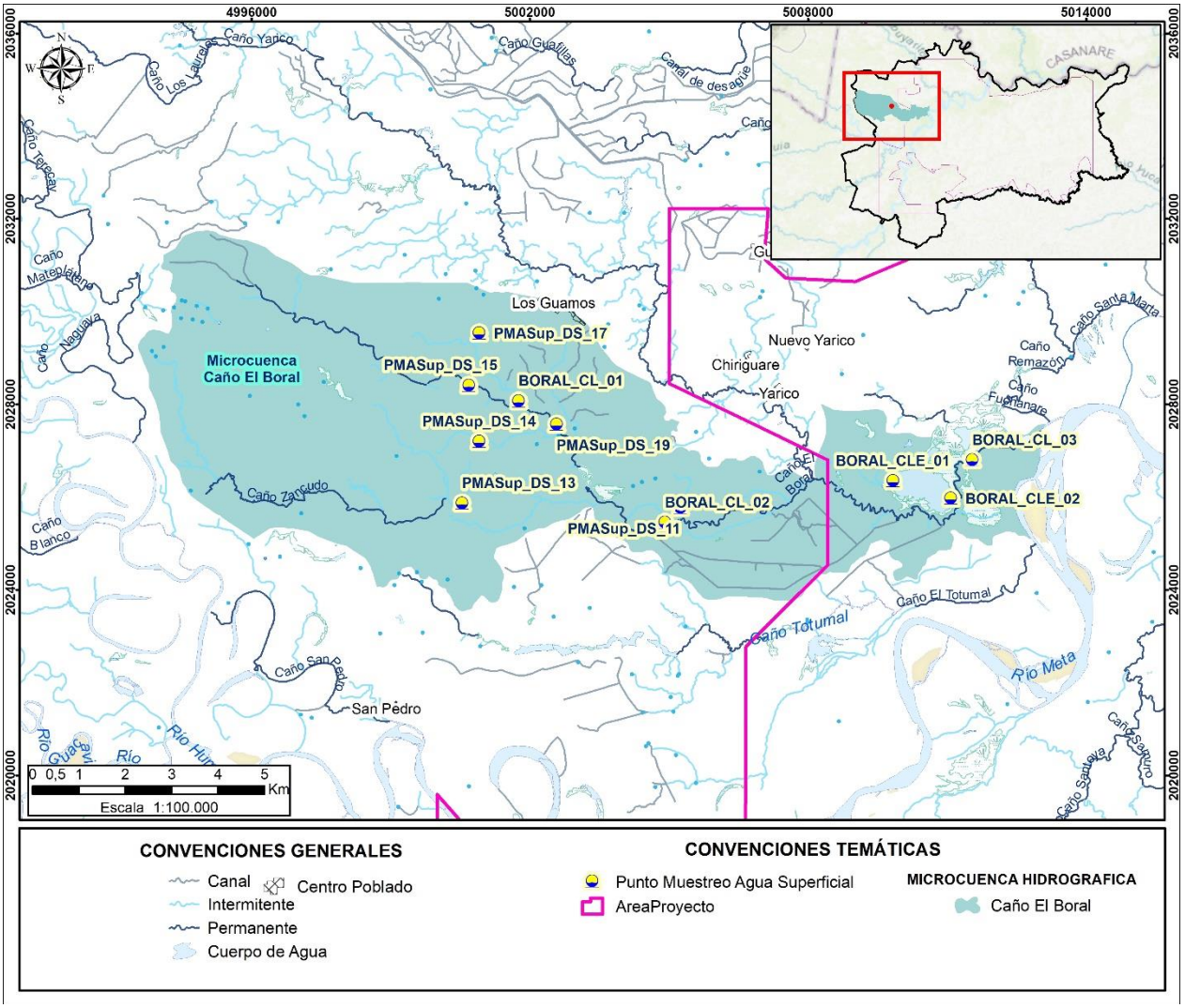


Figura 3.3.3-24 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño El Boral

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño El Boral, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y estructura de la comunidad

El estudio del fitoplancton en la Microcuenca del Caño El Boral, analizando las estaciones BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02 (llanura inundable) en época seca, revela una comunidad con baja abundancia total (0.232 ind/mL) con una riqueza total de seis géneros (**Tabla 3.3.3-52**). La estación (BORAL_CLE_01) presentó mayor abundancia (0.145 ind/mL) con una riqueza de cinco géneros (**Tabla 3.3.3-52**)y el punto BORAL_CLE_02 reporto una abundancia total de (0.087 ind/mL) y una riqueza de tres géneros (**Tabla 3.3.3-52**), destacándose en ambas la presencia de diatomeas (Heterokontophyta) como grupo dominante.

El punto BORAL_CLE_01, *Pinnularia* (0.038 ind/mL) y *Oscillatoria* (0.042 ind/mL) con porcentajes de abundancia relativas respectivas de (26,6% y 29,0%) (**Tabla 3.3.3-52**) (**Figura 3.3.3-25**) fueron los géneros más abundantes, mientras que en el punto BORAL_CLE_02 sobresalieron los géneros *Pinnularia* (0.046 ind/mL) y *Eunotia* (0.033 ind/mL) con porcentajes de abundancia relativos respectivos del (52,9% y 37,9%) (**Tabla 3.3.3-52**) (**Figura 3.3.3-25**). Esta distribución refleja adaptaciones específicas las diatomeas pennadas (*Pinnularia*, *Eunotia*) indican aguas bien oxigenadas con bajo contenido de nutrientes, características típicas de sistemas no eutrofizados (Round et al., 1990), mientras que la presencia de *Oscillatoria* sugiere condiciones de mayor acumulación de materia orgánica, probablemente por aportes terrestres durante las inundaciones o de actividades antrópicas (Paerl & Huisman, 2008). La interacción entre géneros muestra un patrón de exclusión espacial: *Ulnaria* (0.015 ind/mL) y *Cosmarium* (0.031 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-52**) solo aparecieron en el punto BORAL_CLE_01, mientras que *Cymbella* (0.008 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-52**) fue exclusiva para el punto BORAL_CLE_02, lo que sugiere una partición de nichos relacionada con la conectividad hidrológica. La baja abundancia general y la ausencia de especies típicamente planctónicas (como *Microcystis* o *Ceratium*) confirman que son características de ecosistemas lénticos temporales del sistema, con limitada influencia de ambientes lóticos durante la época seca. La conexión con sistemas terrestres se evidencia por la presencia de *Cosmarium* en BORAL_CLE_01, género asociado a zonas de transición agua tierra (Coesel & Meesters, 2007), mientras que la diferencia en abundancia de *Pinnularia* entre estaciones es del 38% más abundante en el punto BORAL_CLE_01, lo que indica su preferencia por aguas más estables y menos turbias.

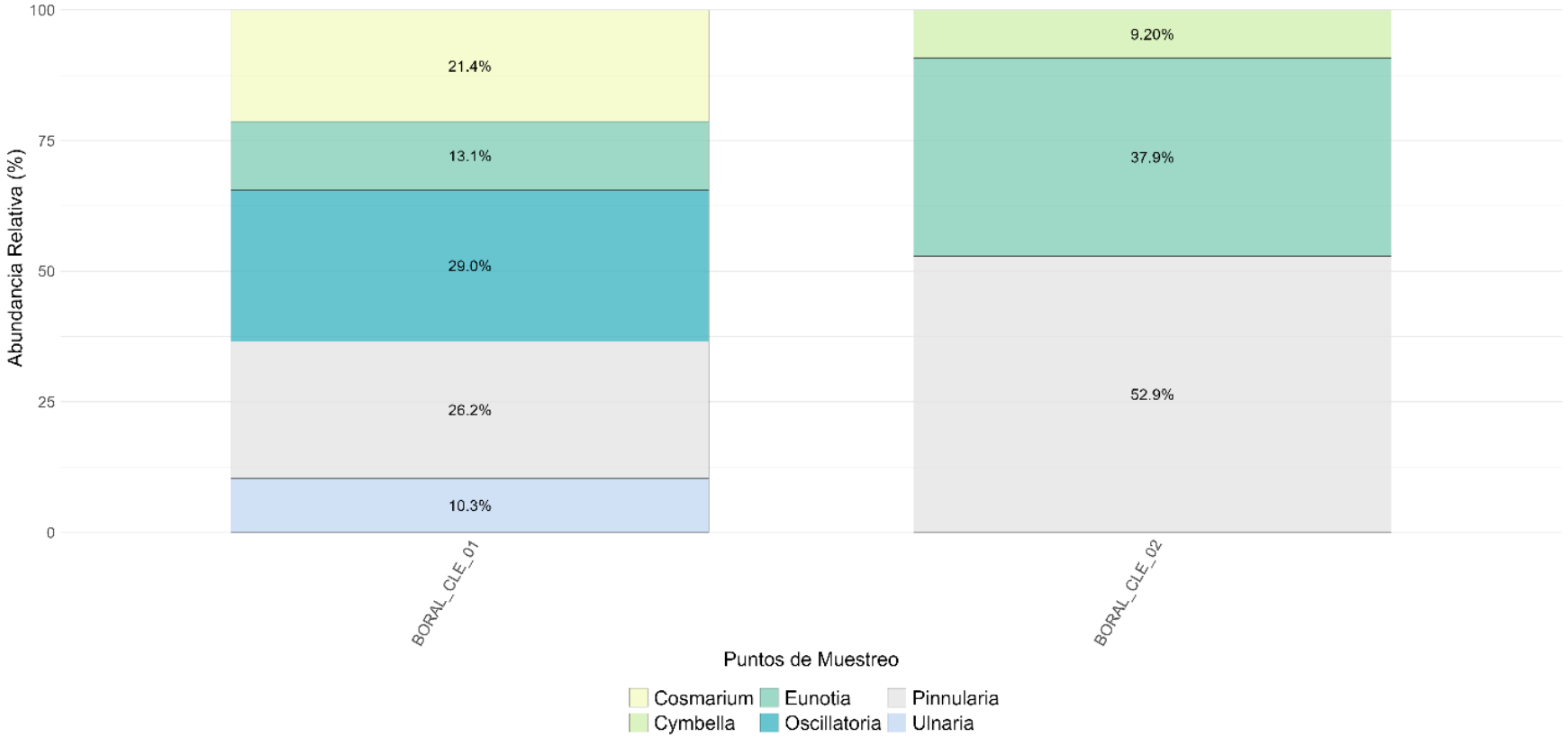


Figura 3.3.3-25 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamblaje fitoplanctónico del Caño El Boral caracteriza un sistema léntico con marcadas diferencias entre ambas estaciones en época seca. La dominancia de diatomeas pennadas y la escasa representación de cianobacterias indican condiciones oligotróficas generales, con variaciones locales vinculadas al régimen hidrológico. La estructura comunitaria sugiere que la estación BORAL_CLE_01 actúa como ecotono entre sistemas acuáticos y terrestres, mientras que la estación BORAL_CLE_02 representa un ambiente más aislado durante la sequía. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la heterogeneidad espacial y temporal en el estudio de fitoplancton en sistemas lénticos tropicales, donde pequeños cambios en la conectividad pueden generar patrones ecológicos significativos.

Tabla 3.3.3-52 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Boral		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Boral_CLE_01	Boral_CLE_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,038	0,046	0,084
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,019	0,033	0,052
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	0,015		0,015
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella*		0,008	0,008
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	0,042		0,042
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,031		0,031
Gran Total					**0,145**	**0,087**	**0,232**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad de los puntos BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02 revelan diferencias significativas en la estructura de la comunidad fitoplanctónica que permiten evaluar el estado ecológico de la Microcuenca. En BORAL_CLE_01 se observa una abundancia moderada (0.145 Ind/mL) con una riqueza de cinco géneros, valores que sugieren condiciones ambientales favorables para el desarrollo del fitoplancton. El índice de Shannon (1.505) indica una diversidad moderada, mientras que el bajo valor de Simpson (0.24) muestra una dominancia reducida de especies particulares. Este patrón se complementa con un alto índice de Pielou (0.935) (**Tabla 3.3.3-53**), que demuestra una distribución notablemente equitativa entre los taxones presentes, característica de comunidades bien estructuradas y estables. Por el contrario, BORAL_CLE_02 presenta valores inferiores en todos los parámetros evaluados. La abundancia es más baja (0.087 Ind/mL) y la riqueza se reduce a solo tres géneros, lo que podría indicar condiciones más restrictivas. El índice de Shannon (0.916) confirma una diversidad limitada, mientras que el valor de Simpson (0.438) sugiere una mayor dominancia de ciertas especies en comparación con el primer punto. Aunque el índice de Pielou (0.834) (**Tabla 3.3.3-53**) es relativamente alto, refleja una menor equitatividad que en BORAL_CLE_01.

La evaluación conjunta de ambos puntos sugiere que la Microcuenca BORAL presenta una calidad ecológica heterogénea. Mientras BORAL_CLE_01 muestra características de un ambiente equilibrado y favorable para el fitoplancton, BORAL_CLE_02 evidencia condiciones menos óptimas,

con menor diversidad y mayor dominancia de especies. Esta diferencia podría deberse a diferencias locales en la disponibilidad de nutrientes, exposición solar, profundidad o posibles fuentes de perturbación antropogénica. Considerando ambos puntos, la calificación ecológica global de la Microcuenca sería de regular a buena, destacando la necesidad de investigar los factores que están limitando el desarrollo del fitoplancton en BORAL_CLE_02.

Tabla 3.3.3-53 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Boral época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BORAL_CLE_01	0.145	5	1.505	0.24	0.935
BORAL_CLE_02	0.087	3	0.916	0.438	0.834

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y estructura de la comunidad

El estudio del zooplancton en la Microcuenca del Caño El Boral, analizando las estaciones BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02 que se encuentran en una llanura inundable en época seca, revela una comunidad de baja abundancia total (0.0147 ind/mL) y baja riqueza con tres morfoespecies (**Tabla 3.3.3-54**). Un punto se encontró compuesta por protozoos (Amoebozoa, Cercozoa) y la otra con microcrustáceos (Arthropoda). La estación BORAL_CLE_01 presentó mayor diversidad y abundancia (0.0104 ind/mL) que la estación BORAL_CLE_02 (0.0043 ind/mL), con presencia exclusiva de amebas testadas (*Arcella* 0.0035 ind/mL) y una abundancia relativa del (10%) y protistas (*Euglypha* 0.0069 ind/mL) y una abundancia relativa de (66,3%), mientras que en la estación BORAL_CLE_02 solo se registraron copépodos ciclopoides (0.0043 ind/mL) con una abundancia relativa del 100%) (**Tabla 3.3.3-54**) (**Figura 3.3.3-26**).

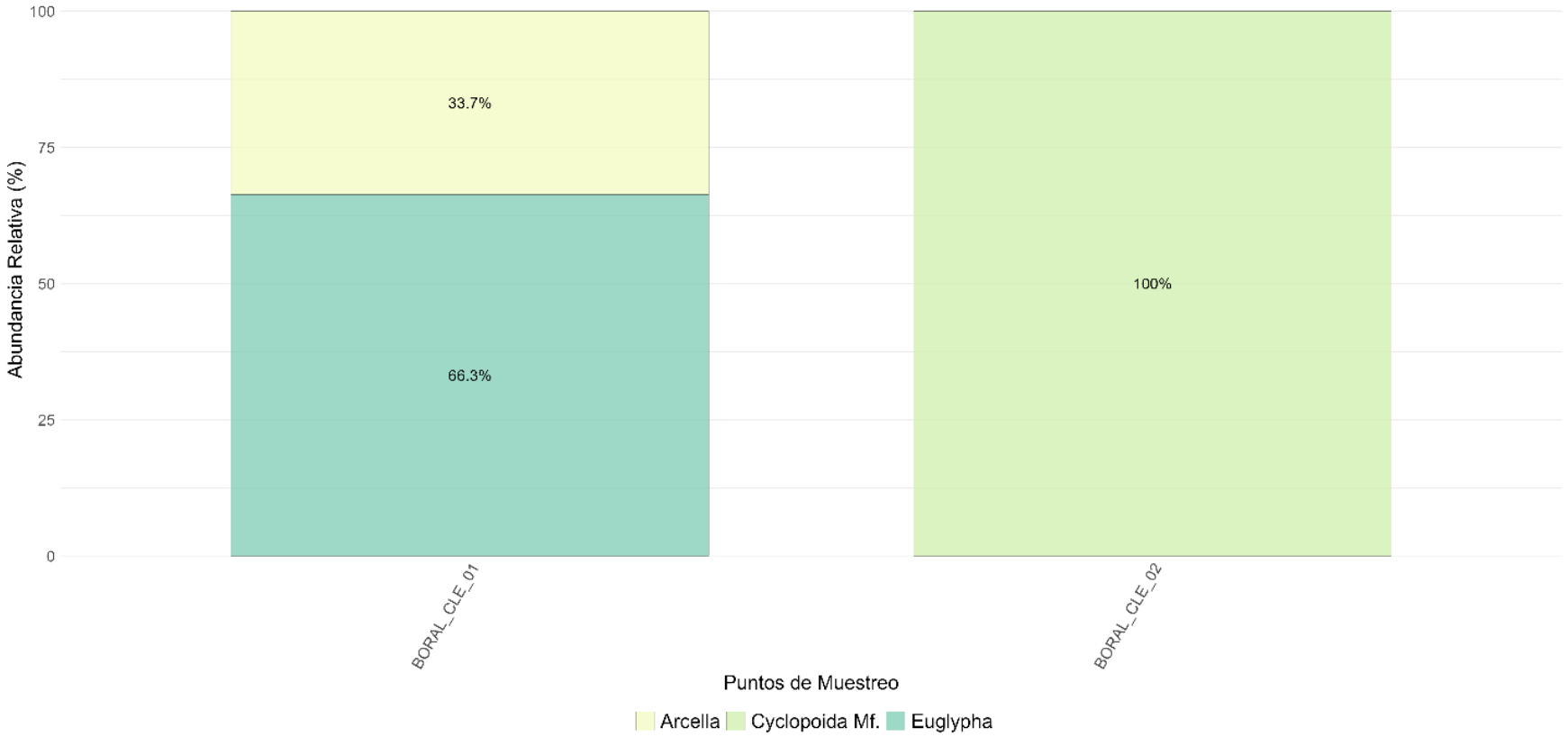


Figura 3.3.3-26 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Está marcada diferencia en la composición refleja condiciones ambientales contrastantes, las amebas testadas (*Arcella*, *Euglypha*) en la BORAL_CLE_01 indican aguas con acumulación de materia orgánica fina y sustratos bentónicos estables, típicos de zonas con conexión hidrológica intermitente con sistemas terrestres (Charman et al., 2008). Por otro lado, la presencia exclusiva de copépodos ciclopoides en la estación BORAL_CLE_02 sugiere condiciones más pelágicas, con menor disponibilidad de sustratos bentónicos adecuados para protozoos durante la época seca (Dussart & Defaye, 2001). La ausencia de rotíferos usualmente abundantes en sistemas lénticos y la baja densidad zooplanctónica con abundancias menores a (0.01 ind/mL en ambas estaciones) indican una red trófica muy elemental con limitada disponibilidad de recursos fitoplanctónicos, coherente con los bajos valores de fitoplancton reportados anteriormente. La interacción entre sistemas se evidencia por la presencia de *Euglypha* (organismos propios del suelo) en la estación BORAL_CLE_01, lo que sugiere transporte desde suelos adyacentes durante eventos de inundación, mientras que los copépodos ciclopoides en la BORAL_CLE_02 podrían representar formas resistentes adaptadas a la desecación temporal.

En conclusión, la comunidad zooplanctónica del Caño El Boral muestra un ensamblaje empobrecido característico de sistemas lénticos temporales, con diferencias marcadas entre la BORAL_CLE_01 (dominada por protozoos bentónicos) y la BORAL_CLE_02 (con microcrustáceos pelágicos). Estos patrones reflejan la fuerte influencia del régimen hidrológico y la conectividad con matrices terrestres en la estructuración de estas comunidades. La baja abundancia sugiere limitaciones energéticas en el sistema, posiblemente relacionadas con factores estacionales o características intrínsecas del cuerpo de agua. Estos hallazgos resaltan la vulnerabilidad de estos ensamblajes a cambios en los patrones de inundación.

Tabla 3.3.3-54 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño El Boral		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Boral_CLE_01	Boral_CLE_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0035		0,0035
Arthropoda	Maxillopoda	Cyclopoida	-	Cyclopoida Mf.		0,0043	0,0043
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0069		0,0069
Gran Total					**0,0104**	**0,0043**	**0,0147**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores

ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y estructura de la comunidad

El estudio del perifiton en la Microcuenca del Caño El Boral, analizando las estaciones PMASup_DS_15 y PMASup_DS_19 (ocupaciones de cauce en llanura inundable) y BORAL_CL_02 también llanura inundable en época seca revela una comunidad altamente diversa con marcadas diferencias espaciales en abundancia y composición. La estación PMASup_DS_19 mostró una abundancia alta (6,774.4 ind/cm^2), dominada por diatomeas como *Encyonema* (1,742.3 ind/cm^2)y una representatividad (25.72%), *Nitzschia* (1,278.8 ind/cm^2) con una representatividad (18.88%) y *Ulnaria* (527.5 ind/cm^2) con un porcentaje del(7.79%) (**Tabla 3.3.3-55**) (**Figura 3.3.3-27**), mientras que PMASup_DS_15 presentó valores moderados (895.1 ind/cm^2) con predominio de *Achnanthes* (190.4 ind/cm^2) y un porcentaje de (21.27%) y *Rhopalodia* (289.7 ind/cm^2) y un porcentaje (32.36%) (**Tabla 3.3.3-55**) (**Figura 3.3.3-27**). En contraste, el punto (BORAL_CL_02) registró una abundancia mínima (15.7 ind/cm^2), con solo cuatro géneros, destacando *Eunotia* (7.3 ind/cm^2) con porcentaje de representatividad del (46.50%) y *Pinnularia* (6 ind/cm^2) con un porcentaje del (38.22%) (**Tabla 3.3.3-55**) (**Figura 3.3.3-27**). Esta distribución refleja condiciones ambientales contrastantes las altas densidades en PMASup_DS_19 sugieren un ambiente eutrófico con disponibilidad de nutrientes y luz, favoreciendo diatomeas céntricas y pennadas de rápido crecimiento (Reynolds, 2006), mientras que la composición en PMASup_DS_15 (*Achnanthes* y *Rhopalodia*) indica aguas mejor oxigenadas con posible influencia de sustratos rocosos (Round et al., 1990). La baja abundancia en BORAL_CL_02 confirma condiciones limitantes durante la sequía, con predominio de diatomeas tolerantes a la desecación (*Pinnularia* y *Surirella*). La presencia de cianobacterias como *Anabaena* 229.5 ind/cm^2 en PMASup_DS_15 (**Tabla 3.3.3-55**) y clorofitas como *Cladophora* 9.6 ind/cm^2 en PMASup_DS_19 (**Tabla 3.3.3-55**) señala microambientes con acumulación de nutrientes, probablemente por aportes orgánicos desde zonas terrestres inundables. La interacción entre sistemas se evidencia por taxones como *Cosmarium* con abundancia total (62.4 ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-55**), típico de sistemas lénticos, que aparece en ambas ocupaciones de cauce, pero está ausente en el punto BORAL_CL_02, reflejando su dependencia de la conectividad hidrológica.

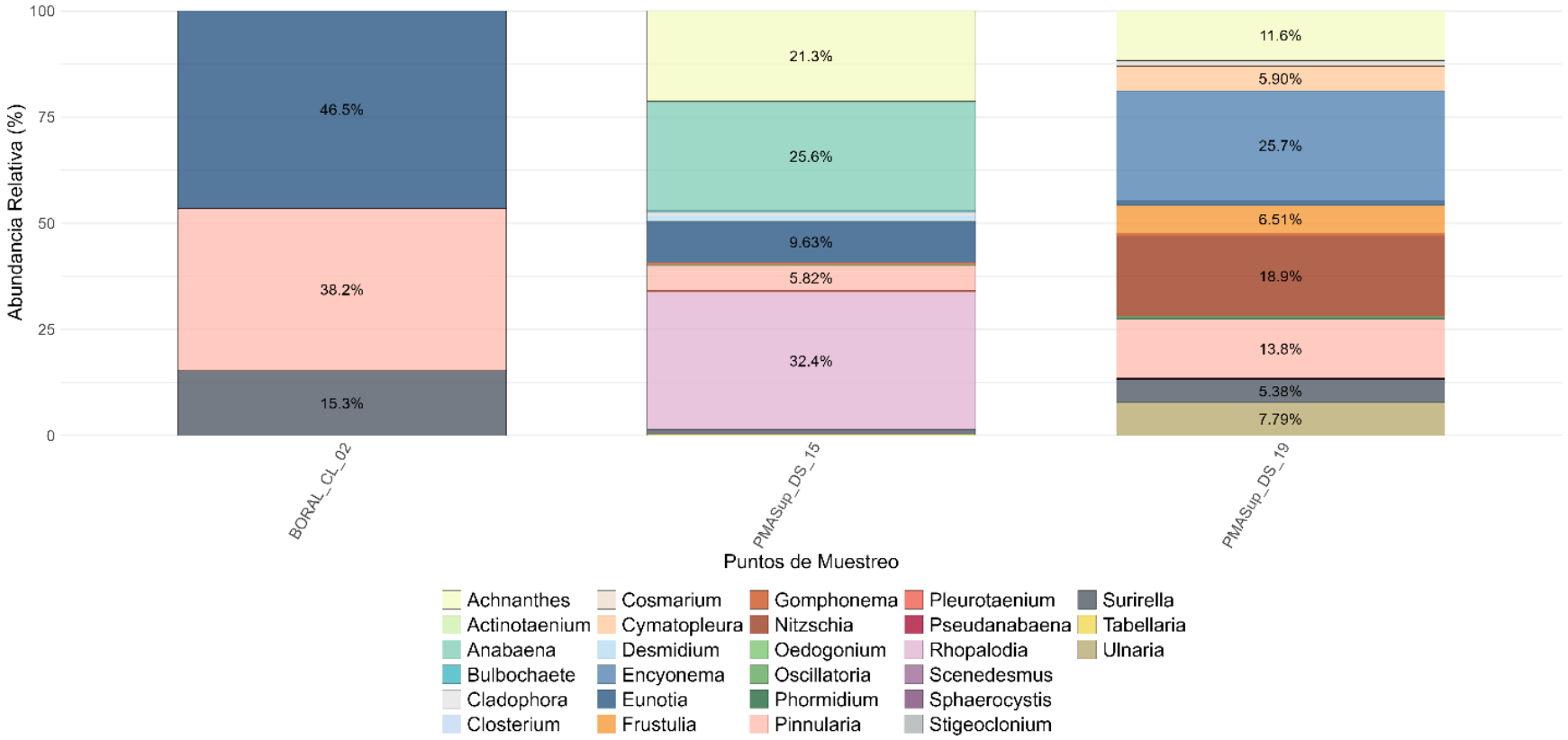


Figura 3.3.3-27 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamblaje perifitico de la Microcuenca Caño El Boral muestra una fuerte segregación espacial impulsada por el gradiente de inundación. Las ocupaciones de cauce albergan comunidades diversas y densas, con especies indicadoras de eutrofización incipiente (*Nitzschia*, *Anabaena*), mientras que en el punto BORAL_CL_02 la sequía sustenta apenas un ensamblaje rudimentario de taxones resistentes. Estos patrones resaltan la importancia del pulso de inundación como regulador de la productividad fitoplanctónica en sistemas lóticos tropicales y la vulnerabilidad de estos ecosistemas a cambios en el régimen hidrológico. La coexistencia de especies con requerimientos ecológicos contrastantes con los géneros (*Ulnaria* y *Achnanthes*) sugiere una alta heterogeneidad microambiental que debería considerarse en estrategias de conservación.

Tabla 3.3.3-55 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Boral			Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					PMASup_DS_15	BORAL_CL_02	PMASup_DS_19	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*			1742,3	1742,3
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	4,9		48	52,9
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	11,4	2,4	364,5	378,3
				Cymatopleura			399,6	399,6
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	52,1	6	936,7	994,8
			Amphipleuraceae	*Frustulia*			441,2	441,2
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	86,2	7,3	83,1	176,6
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	1,6			1,6
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*			527,5	527,5
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	289,7			289,7
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	190,4		783,2	973,6
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*			1278,8	1278,8
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	1,6			1,6
				Bulbochaete	3,3			3,3
		Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium*			3,2	3,2
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*			3,2	3,2
		Volvocales	Sphaerocystidaceae	*Sphaerocystis*			3,2	3,2
	Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	*Cladophora*			9,6	9,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	4,9		57,5	62,4
				Pleurotaenium	3,3			3,3
				Desmidium	13			13
				Actinotaenium	1,6		9,6	11,2
			Closteriaceae	*Closterium*	1,6		19,2	20,8
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena*	229,5			229,5
		Pseudanabaenales	Pseudanabaenaceae	*Pseudanabaena*			16	16
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*			12,8	12,8
				Phormidium			35,2	35,2
Gran Total					**895,1**	**15,7**	**6774,4**	**7685,2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad en los tres puntos muestreados revela una marcada heterogeneidad en las características ecológicas de las comunidades de perifiton. En BORAL_CL_02 se observa una

abundancia moderada (15.7 Ind/cm^2) con baja riqueza tres géneros, donde el índice de Shannon (1.011) indica diversidad limitada y el valor de Simpson (0.389) sugiere una dominancia intermedia de ciertas especies, aunque el alto índice de Pielou (0.92) (**Tabla 3.3.3-56**) muestra una distribución equitativa entre las pocas especies presentes. Este patrón podría corresponder a un ambiente con condiciones restrictivas o alteradas. En contraste, PMASup_DS_15 presenta una abundancia muy elevada (895.1 Ind/cm^2) y riqueza considerable de 15 géneros, pero con un índice de Shannon relativamente bajo (1.71) para el número de especies registrado, combinado con un Simpson (0.228) que indica baja dominancia y un Pielou (0.631) (**Tabla 3.3.3-56**) que revela cierta desigualdad en la distribución de especies, característico de ambientes en proceso de eutrofización. El punto PMASup_DS_19 muestra valores extremos en abundancia (6774.4 Ind/cm^2) y riqueza de 20 géneros, con un Shannon (2.16) que indica buena diversidad, Simpson (0.148) que muestra mínima dominancia, y Pielou (0.721) (**Tabla 3.3.3-56**) que sugiere una equitatividad aceptable pero no óptima, patrón típico de sistemas altamente productivos pero potencialmente afectados por exceso de nutrientes.

La evaluación conjunta de estos puntos sugiere que la Microcuenca presenta una calidad ecológica variable, que oscila entre regular en zonas como BORAL_CL_02 posiblemente afectadas por estrés ambiental y buena, pero con signos de posible eutrofización en áreas como PMASup_DS_15 y PMASup_DS_19. Las diferencias extremas en abundancia entre los puntos (de 15.7 Ind/cm^2 a 6774.4 Ind/cm^2) indican fuertes gradientes de productividad que podrían responder a variaciones en aportes de nutrientes, características del sustrato o condiciones hidrodinámicas. Sin embargo, es fundamental reconocer que este análisis, basado en solo tres puntos de muestreo, tiene limitaciones importantes para representar el estado ecológico de toda la Microcuenca. Las comunidades de perifiton presentan una distribución espacial altamente heterogénea influenciada por factores microambientales locales, por lo que tres estaciones no son suficientes para capturar esta complejidad ecológica. Los datos actuales deben interpretarse como indicios preliminares que justifican una investigación más profunda, particularmente sobre las causas de las diferencias extremas observadas, pero no como un diagnóstico concluyente del estado general de la Microcuenca. La calificación ecológica tentativa sería de regular a buena, con áreas problemáticas y otras altamente productivas.

Tabla 3.3.3-56 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Boral época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BORAL_CL_02	15.7	3	1.011	0.389	0.92
PMASup_DS_15	895.1	15	1.71	0.228	0.631
PMASup_DS_19	6774.4	20	2.16	0.148	0.721

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

En los sistemas lóticos de la Microcuenca Caño El Boral, perteneciente a la altillanura y monitoreado en época seca, se analizaron tres estaciones: PMASup_DS_15, BORAL_CL_02 y

PMASup_DS_19, registrando un total de 87 ind/m² distribuidos en ocho (8) morfoespecies, pertenecientes a tres (3) phylum (Arthropoda, Annelida y Mollusca), cuatro (4) clases (Insecta, Clitellata, Gastropoda y Nematoda), cinco (5) órdenes (Diptera, Coleóptera, Hemiptera, Rhynchobdellida y Basommatophora), seis (6) familias y cinco (5) géneros identificados. La mayor abundancia se concentró en PMASup_DS_15 (70 ind/m²), seguida de PMASup_DS_19 (16 ind/m²) y BORAL_CL_02 (1 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-57**). Los grupos dominantes fueron Chironomidae (45.5 ind/m²), Planorbidae (*Biomphalaria* sp., 18.9 ind/m²) y Ceratopogonidae (13.3 ind/m²), mientras que otros taxones como Glossiphoniidae (3.3 ind/m²) y Corixidae (4.4 ind/m²) presentaron abundancias menores.

Tabla 3.3.3-57 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Boral			Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						PMASup_DS_15	Boral_CL_02	PMASup_DS_19	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*	3,3			3,3
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*	31,1	1,1	13,3	45,5
			Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia sp.*			2,2	2,2
				Probezzia	*Probezzia* sp.	3,3			3,3
				Stilobezzia	*Stilobezzia* sp.	7,8			7,8
		Coleóptera	Hydrophilidae	*Berosus*	*Berosus* sp.	1,1			1,1
		Hemiptera	Corixidae	-	*Corixidae* Mf.	4,4			4,4
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	*Biomphalaria*	*Biomphalaria* sp.	18,9			18,9
Total general						**70**	**1**	**16**	**87**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estructura de la comunidad refleja una clara influencia de las condiciones de época seca, donde la vegetación ribereña actúan como microhábitats críticos para la supervivencia de los macroinvertebrados. La dominancia de Chironomidae (45.5 ind/m²), particularmente en PMASup_DS_15, sugiere un ambiente con aporte de materia orgánica fina y posiblemente condiciones de bajo flujo en zonas de remanso, típicas de sistemas lóticos en períodos de estiaje (Roldan & Ramirez, 2008). La presencia de *Biomphalaria sp.* (18.9 ind/m²), un gasterópodo asociado a aguas quietas y vegetación sumergida, refuerza la idea de una interacción con sistemas lénticos adyacentes, ya que este género es común en charcas y zonas palustres (Dudgeon, 2020).

Por otro lado, la baja representación de oligoquetos (*Glossiphoniidae* Mf.*)* indican un ambiente con cierta tolerancia a perturbaciones, posiblemente relacionadas con fluctuaciones naturales del caudal o influencia antropogénica (Domínguez & Fernández, 2009).

La coexistencia de Ceratopogonidae (*Alluaudomyia* sp., *Probezzia* sp., *Stilobezzia* sp.) e Hydrophilidae (*Berosus* sp.) sugiere una conexión ecológica con humedales y zonas inundables, donde estos insectos encuentran hábitats alternativos durante la sequía (Merritt & Cummins, 2008). Además, la presencia de Corixidae (4.4 ind/m²), común en aguas someras con vegetación

emergente, evidencia un vínculo con la interfaz terrestre-acuática, donde estos hemípteros actúan como depredadores de pequeños invertebrados (Wantzen K. M. et al., 2008). Esta dinámica es característica de la altillanura, donde la reducción del caudal en época seca favorece la formación de microambientes heterogéneos (**Tabla 3.3.3-57**).

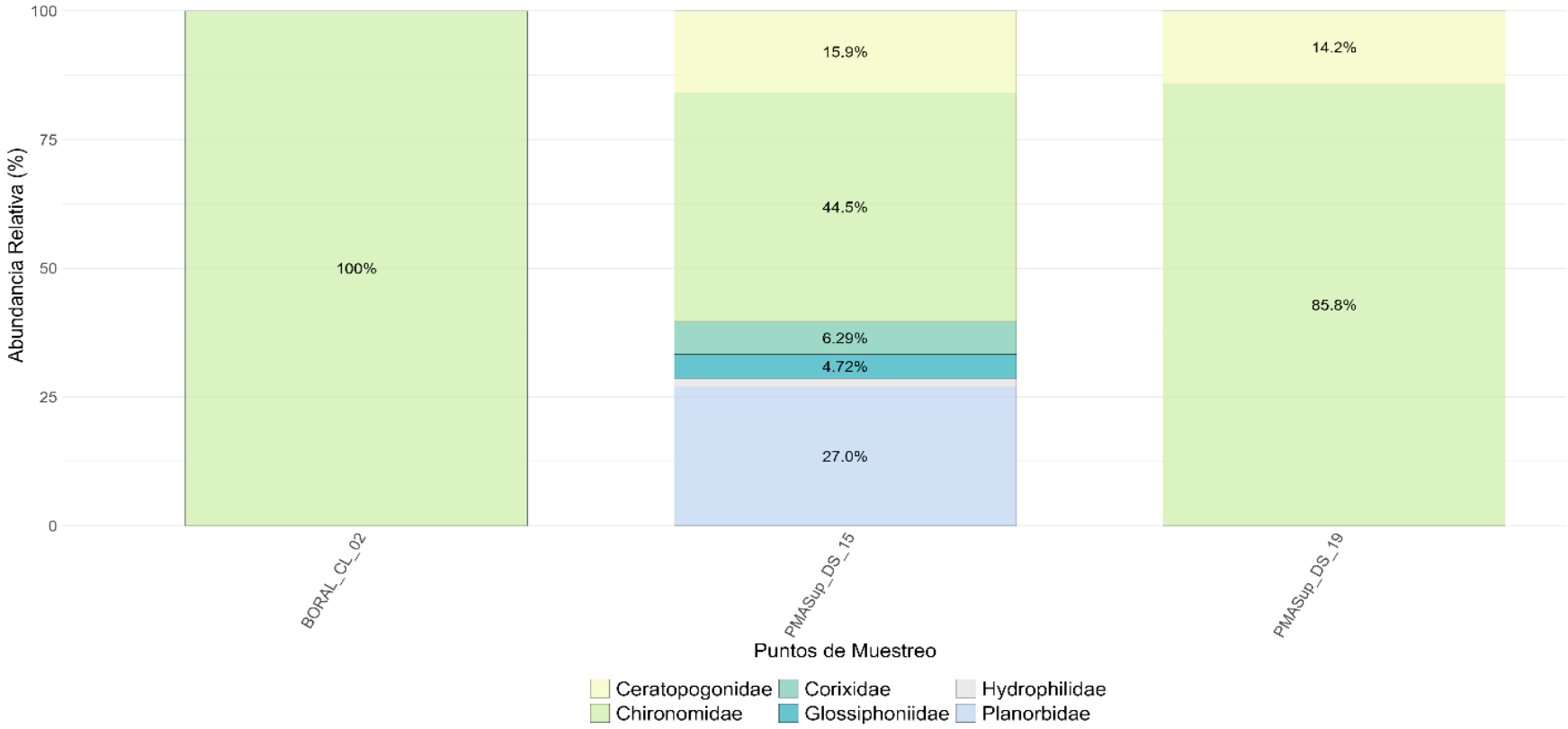


Figura 3.3.3-28 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los macroinvertebrados bentónicos en esta Microcuenca presentan una tolerancia moderada a alta a la contaminación, con predominio de taxones adaptables como Chironomidae y *Biomphalaria*, lo que podría indicar condiciones de eutrofización incipiente o alteración del sustrato (Buss et al., 2015). Sin embargo, la presencia de Ceratopogonidae (*Stilobezzia* sp.), un grupo menos tolerante a la contaminación orgánica, en PMASup_DS_15 (7.8 ind/m²), sugiere que algunas zonas mantienen características aceptables para macroinvertebrados especializados. La ausencia de organismos bioindicadores de aguas prístinas (Plecóptera) refuerza la necesidad de evaluaciones complementarias que incluyan parámetros fisicoquímicos para una interpretación más precisa.

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos en Caño El Boral evidencia una comunidad estructurada por las condiciones de estiaje, con dominancia de grupos tolerantes y una clara influencia de hábitats ribereños. La heterogeneidad espacial se refleja en las diferencias de abundancia entre estaciones, siendo PMASup_DS_15 la más diversa, posiblemente por su proximidad a zonas de remanso con mayor cobertura vegetal. Aunque el sistema muestra resiliencia ante fluctuaciones naturales, la baja riqueza de morfoespecies y la ausencia de taxones sensibles deja en duda el estado ecológico. Registrando valores para BMWP/Col asociados a calidad de agua critica con un significado de Aguas muy contaminadas. Por el contrario, PMASup_DS_19 y BORAL_CL_02, presentan los valores más bajos para este índice con una calidad Muy Crítica, asociada a aguas fuertemente contaminadas (**Tabla 3.3.3-58**).

Tabla 3.3.3-58 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Boral época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL BORAL	PMASup_DS_15	IV	Critica	24	Aguas muy contaminadas
	PMASup_DS_19	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	BORAL_CL_02	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad alfa

Ahora bien, el análisis de diversidad alfa en las tres estaciones monitoreadas (BORAL_CL_02, PMASup_DS_15 y PMASup_DS_19) revela patrones contrastantes en la estructura comunitaria, influenciados por las condiciones locales y la heterogeneidad del hábitat durante la época seca.

Donde BORAL_CL_02 no presenta valores de diversidad, debido a la presencia de una sola morfoespecie (*Chironomidae* Mf., 1.1 ind/m²).

En contraste, PMASup_DS_15 mostró una diversidad media-alta (Shannon = 1.489) y baja dominancia (Simpson = 0.292), con una riqueza de siete (7) morfoespecies y una abundancia total de 69.9 ind/m² (**Tabla 3.3.3-59**). La equitatividad (Pielou = 0.765) cercana a 1 indica una distribución equilibrada de las abundancias entre taxones, típica de hábitats heterogéneos con

disponibilidad de nichos ecológicos, como zonas de macrófitas densas y sustratos orgánicos. La presencia de Chironomidae (31.1 ind/m²), *Biomphalaria* sp. (18.9 ind/m²) y Ceratopogonidae (11.1 ind/m² en total) sugiere una comunidad estructurada por interacciones tróficas y condiciones estables, a pesar de la época seca.

Tabla 3.3.3-59 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EL BORAL	BORAL_CL_02	1.1	1	0	1	
	PMASup_DS_15	69.9	7	1.489	0.292	0.765
	PMASup_DS_19	15.5	2	0.41	0.755	0.592

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

PMASup_DS_19 presentó una diversidad baja (Shannon = 0.41) y alta dominancia (Simpson = 0.755), con solo dos (2) morfoespecies (*Chironomidae* Mf. y *Alluaudomyia* sp.*)* y 15.5 ind/m². La equitatividad intermedia (Pielou = 0.592) refleja una distribución desigual, donde Chironomidae (13.3 ind/m²) domina sobre *Alluaudomyia* sp. (2.2 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-59**). Este patrón podría asociarse a microhábitats menos diversos, como zonas con menor cobertura de macrófitas o mayor influencia de corrientes, limitando la colonización de taxones adicionales (Dudgeon, 2020).

La variabilidad en la diversidad alfa entre estaciones refleja la influencia de factores locales (disponibilidad de hábitat, recursos) y la resiliencia diferencial de los taxones ante la época seca. Mientras PMASup_DS_15 funciona como un "hotspot" de biodiversidad dentro del sistema lótico, BORAL_CL_02 y PMASup_DS_19 evidencian limitaciones ecológicas que podrían agravarse con presiones adicionales. Se recomienda investigar parámetros fisicoquímicos (oxígeno, nutrientes) para discriminar entre causas naturales y antrópicas de estos patrones.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

En los sistemas lénticos de Caño El Boral, monitoreado en época seca, se analizaron dos estaciones (BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02), registrando un total de 42 ind/m² distribuidos en nueve (9) morfoespecies, pertenecientes a dos (2) Phyllum (Arthropoda y Malacostraca), tres (3) clases (Insecta, Malacostraca y Decapoda), cinco (5) órdenes (Diptera, Coleóptera, Hemiptera, Decapoda y Basommatophora), ocho (8) familias y ocho (8) géneros identificados. La estación BORAL_CLE_02 presentó la mayor abundancia (33 ind/m²) y riqueza (8 morfoespecies), mientras que BORAL_CLE_01 registró solo 9 ind/m² y dos (2) morfoespecies. Los taxa dominantes fueron Chironomidae (9.9 ind/m²), *Macrobrachium* sp. (14.3 ind/m²) y *Tropisternus* sp. (6.7 ind/m²), seguidos por Ceratopogonidae (*Probezzia* sp., 4.4 ind/m²) y Culicidae (*Aedeomyia* sp., 2.2 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-60**).

Tabla 3.3.3-60 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Boral		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						Boral_CLE_01	Boral_CLE_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	1,1	8,8	9,9
			Culicidae	*Aedeomyia*	*Aedeomyia* sp.		2,2	2,2
			Ceratopogonidae	*Probezzia*	*Probezzia* sp.		4,4	4,4
			Stratiomyidae	*Odontomyia*	*Odontomyia* sp.		1,1	1,1
		Coleóptera	Noteridae	*Hydrocanthus*	*Hydrocanthus* sp.		1,1	1,1
			Hydrophilidae	*Helochares*	*Helochares* sp.		1,1	1,1
				Tropisternus	*Tropisternus* sp.		6,7	6,7
		Hemiptera	Notonectidae	*Buenoa*	*Buenoa* sp.		1,1	1,1
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.	7,7	6,6	14,3
Total general						**9**	**33**	**42**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad estudiada muestra una estructura típica de sistemas lénticos en época seca, donde las macrófitas proporcionan refugio y recursos tróficos para los macroinvertebrados. La dominancia de Chironomidae (9.9 ind/m²) y *Macrobrachium* sp. (14.3 ind/m²) sugiere un ambiente con abundante materia orgánica y condiciones de aguas quietas, características de humedales y lagunas temporales (Roldan & Ramirez, 2008). La presencia de *Tropisternus* sp. (6.7 ind/m²), un coleóptero hydrophílido, refuerza esta interpretación, ya que este género es común en zonas con vegetación acuática densa y sustratos limosos (Merritt & Cummins, 2008). La baja abundancia de BORAL_CLE_01 (9 ind/m²) podría deberse a factores locales como menor cobertura de macrófitas o mayor exposición a depredadores, limitando la colonización de especies más sensibles.

La coexistencia de *Aedeomyia* sp. (Culicidae) y *Buenoa sp.* (Notonectidae) evidencia una conexión ecológica con hábitats temporales y zonas inundables, donde estos insectos encuentran condiciones óptimas para su desarrollo durante la sequía (Dudgeon, 2020). Además, la presencia de *Macrobrachium sp.* (14.3 ind/m²), un decápodo con capacidad para desplazarse entre ambientes acuáticos y terrestres sugiere un flujo de energía entre sistemas, aprovechando los recursos disponibles en las macrófitas y la vegetación ribereña (Wantzen K. M. et al., 2008). Esta dinámica es crucial en la altillanura, donde los cuerpos de agua lénticos actúan como refugios biodiversos en períodos de baja precipitación.

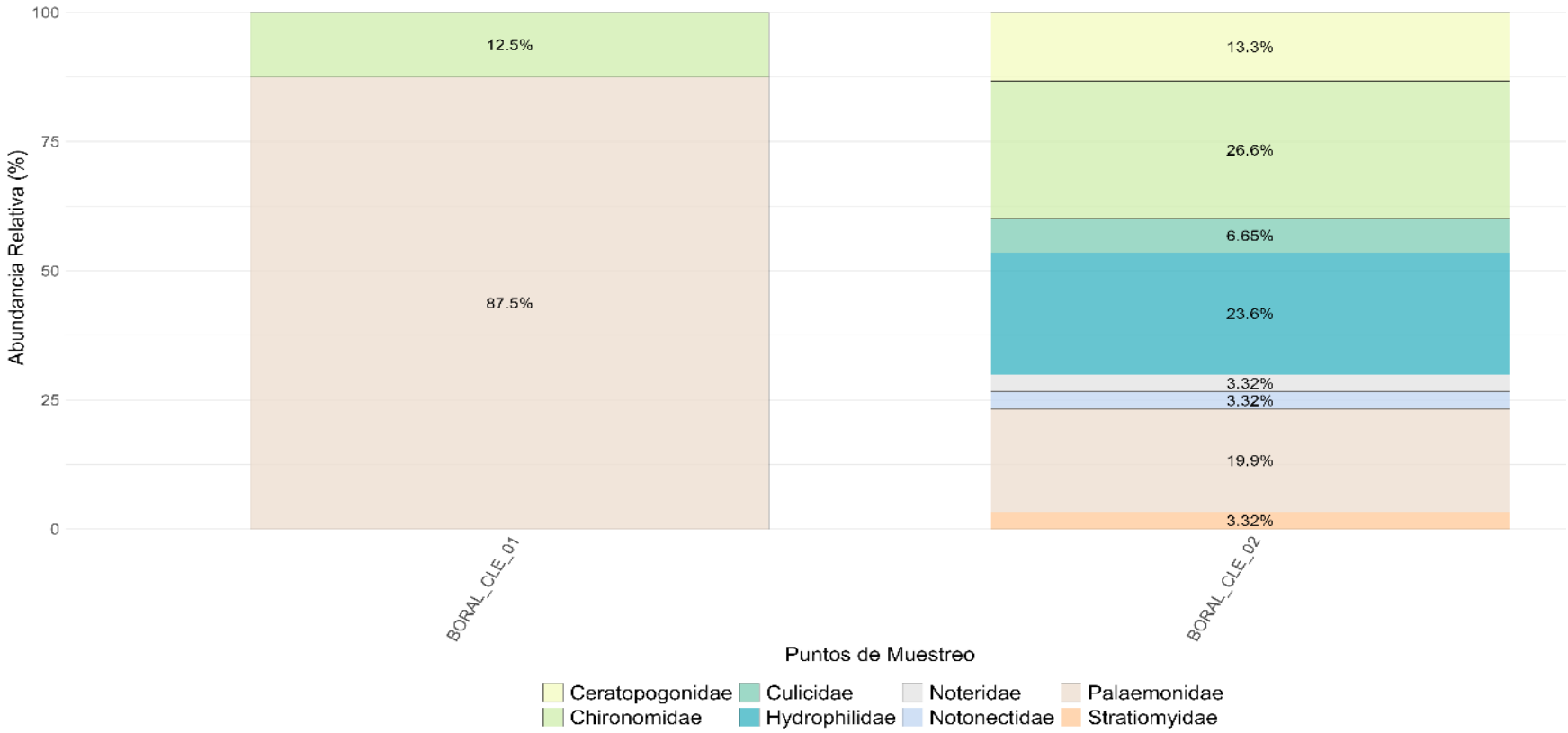


Figura 3.3.3-29 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad presenta una bioindicación entre Crítica y Muy Crítica (**Tabla 3.3.3-61**), con predominio de taxones adaptables como Chironomidae y *Macrobrachium*, que pueden sobrevivir en condiciones de bajo oxígeno y alta carga orgánica (Domínguez & Fernández, 2009). Sin embargo, la presencia de *Odontomyia* sp. (Stratiomyidae, 1.1 ind/m²), un díptero asociado a aguas bien oxigenadas, indica que algunas zonas mantienen características adecuadas para especies más especializadas. La ausencia de grupos altamente sensibles (Ephemeroptera) sugiere que el sistema podría estar sujeto a presiones naturales o antrópicas, aunque la diversidad relativamente alta en BORAL_CLE_02 (8 morfoespecies) señala una capacidad de resiliencia importante.

Tabla 3.3.3-61 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Boral época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL BORAL	BORAL_CLE_02	IV	Critica	32	Aguas muy contaminadas
	BORAL_CLE_01	V	Muy crítica	10	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en Caño El Boral refleja una comunidad adaptada a condiciones lénticas en época seca, con dominancia de grupos tolerantes y una clara influencia de interacciones tróficas y espaciales. La heterogeneidad entre estaciones (BORAL_CLE_01 vs. BORAL_CLE_02) subraya la importancia de las macrófitas como estructuradoras de la biodiversidad en ambientes acuáticos temporales.

- Diversidad alfa

El análisis de diversidad alfa, tal como se evidencia en la **Tabla 3.3.3-62**, para las dos estaciones monitoreadas (BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02) revela diferencias significativas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas en este sistema léntico durante la época seca. La estación BORAL_CLE_02 presenta valores notablemente más altos de diversidad (Shannon = 2.188) y equitatividad (Pielou = 0.996), junto con una baja dominancia (Simpson = 0.131), lo que indica una comunidad equilibrada con distribución uniforme de las abundancias entre las 9 morfoespecies registradas. Este patrón es característico de hábitats lénticos bien conservados con disponibilidad de nichos ecológicos diversos (Magurran A. E., 2004). Por el contrario, BORAL_CLE_01 muestra una diversidad baja (Shannon = 0.377) con alta dominancia (Simpson = 0.781) y equitatividad moderada (Pielou = 0.544), reflejando una comunidad dominada por pocas especies (solo 2 morfoespecies registradas), situación típica de ambientes con condiciones restrictivas o en etapas tempranas de sucesión ecológica (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad. M & T–Manuales y Tesis SEA, 2001).

Tabla 3.3.3-62 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EL BORAL	BORAL_CLE_01	8.8	2	0.377	0.781	0.544
	BORAL_CLE_02	33.1	9	2.188	0.131	0.996

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Es así como los resultados del análisis de diversidad alfa coinciden con los patrones observados en el estudio de bioindicación. La estación con mayor diversidad (BORAL_CLE_02) presenta una mezcla de taxones tolerantes (Chironomidae) y grupos más sensibles (*Odontomyia* sp.), lo que sugiere condiciones ambientales intermedias. La casi perfecta equitatividad (Pielou ≈ 1) en esta estación indica que ninguna especie domina excesivamente la comunidad, situación esperada en sistemas con baja perturbación (Buss et al., 2004). Por otro lado, la baja diversidad en BORAL_CLE_01 concuerda con la presencia de solo dos morfoespecies, un patrón que podría indicar condiciones más extremas o perturbadas.

Este análisis revela una marcada variabilidad espacial en la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas en Caño El Boral durante la época seca. Mientras BORAL_CLE_02 está representado por una alta diversidad y equitatividad, característico de hábitats lénticos bien estructurados, BORAL_CLE_01 muestra una comunidad empobrecida, probablemente debido a condiciones locales más restrictivas. Estas diferencias destacan la importancia de las macrófitas como estructuradoras de la biodiversidad en sistemas lénticos y la necesidad de considerar la variabilidad espacial. Los valores de los índices sugieren que el sistema mantiene capacidad de albergar comunidades diversas, aunque la presencia de áreas con baja diversidad (como BORAL_CLE_01) señala la existencia de microambientes que podrían ser vulnerables a perturbaciones adicionales.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada seca en la Microcuenca del caño El Boral, en el área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, se registraron 12 morfoespecies de macrófitas acuáticas, distribuidas diferencialmente entre cuerpos de agua lóticos y lénticos, lo que evidencia una relación directa entre el régimen hidrológico y la estructura comunitaria de estas plantas. Los puntos de muestreo PMASup_DS_15, PMASup_DS_19 y BORAL_CL_02 corresponden a ecosistemas lóticos siendo las dos primeras, ocupaciones de cauce, mientras que BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02 representan sistemas lénticos, es decir, cuerpos de agua de bajo flujo o estancados, asociados lateralmente al cauce principal.

Desde un enfoque taxonómico, en los ecosistemas lóticos, la diversidad fue más baja (3, 4 y 1 morfoespecies por punto respectivamente) y dominada totalmente por especies de la división Tracheophyta, clases Magnoliidae y Polypodiidae, en los órdenes Polypodiales, Commelinales, Alismatales, Poales y Piperales. Específicamente, en la ocupación de cauce PMASup_DS_15, se identificaron especies como *Eleocharis* sp. (Cyperaceae) con una cobertura de 17,67% y una abundancia relativa de (81,54), *Montrichardia arborescens* (Araceae) con cobertura de 3% y abundancia relativa de 13,84 y *Pontederia* sp. (Pontederiaceae) con tan solo 1% de cobertura, mientras que en PMASup_DS_19 destacó la presencia de *Montrichardia* sp. (Araceae) con casi la mitad de la cobertura (46,67%) y el 63,64 % de abundancia relativa seguida de *Eichhornia* sp. (Pontederiaceae) (11,67 % de cobertura), *Eleocharis interstincta* (Poaceae) y *Thelypteris* sp. (Thelypteridaceae) con coberturas menores de 10%. En BORAL_CL_02, solo se reportó *Piper* sp. (Piperaceae) pero con una cobertura muy baja, lo cual refleja la limitada colonización vegetal bajo

condiciones de corriente, posiblemente debido a la escasa estabilidad del sustrato y la menor acumulación de materia orgánica (Esteves, 2011[4]) (**Tabla 3.3.3-63**).

En contraste, los ecosistemas lénticos presentaron mayor cobertura vegetal (56,66% y 93,33%) y diversidad (3 morfoespecies por punto), siendo dominados también por Tracheophyta-Magnoliidae, aunque con una mayor representatividad de familias como Pontederiaceae, Poaceae y Salviniaceae. En BORAL_CLE_01, las especies con mayor cobertura fueron *Eichhornia* sp. (40%) y *Salvinia sprucei* y *Cyperus luzulae* (8,33% respectivamente), mientras que en BORAL_CLE_02, *Eichhornia crassipes* alcanzó un 38,33% de cobertura y *Salvinia sprucei* un 21,67%, lo que evidencia la predominancia de formas flotantes y emergentes, adaptadas a cuerpos de agua poco dinámicos, con mayor acumulación de nutrientes y estratificación térmica (Piedade et al., 2010[23]). Adicionalmente, se registraron especies graminoides como *Paspalum* sp. (Poaceae) (33,33% de cobertura) en BORAL_CLE_02, contribuyendo a la heterogeneidad estructural del hábitat léntico (**Tabla 3.3.3-63**).

La familia Pontederiaceae fue la de mayor representación general, con tres morfoespecies: *Eichhornia* sp., *Eichhornia crassipes* y *Pontederia* sp., las cuales mostraron alta cobertura en ambientes lénticos y, en menor grado, en algunos puntos lóticos. Esta familia es característica de ambientes tropicales y suele dominar en zonas eutróficas con poco movimiento de agua, debido a su rápido crecimiento y alta eficiencia fotosintética (Barreto et al., 2000[24]). Asimismo, Cyperaceae, representada por *Eleocharis interstincta* y *Eleocharis* sp., mostró afinidad por condiciones lóticas, especialmente en PMASup_DS_15 y PMASup_DS_19, donde la presencia de rizomas y raíces robustas permite a estas especies anclarse al sustrato en condiciones de flujo moderado (**Tabla 3.3.3-63**).

Tabla 3.3.3-63 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Boral									
				Punto De Meustreo	PMASup_DS_15		BORAL_CL_02		PMASup_DS_19		Boral_CLE_01		Boral_CLE_02	
				Especie/Morfo especie	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Thelypteridaceae	*Thelypteris* sp.					6,67	9,09				
		Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia sprucei*							8,33	14,70	21,67	23,22
	Magnoliidae	Commelinales	Pontederiaceae	*Eichhornia* sp.					11,67	15,91	40	70,60		
				Eichhornia crassipes									38,33	41,07
				Pontederia sp.	1	4,61								
		Alismatales	Araceae	*Montrichardia arborescens*	3	13,84								
				Montrichardia sp.					46,67	63,64				

[23] Piedade, M. T. F., Junk, W. J., & Parolin, P. (2010). Physiology and ecology of Amazonian floodplain trees and aquatic macrophytes. In Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Wittmann, F., Schöngart, J., & Parolin, P. (Eds.), Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management (pp. 241–256). Dordrecht: Springer.
[24] Barreto, C., Fortney, R. H., & Rentch, J. S. (2000). Environmental factors associated with the distribution of aquatic macrophytes in a West Virginia lake. Journal of Freshwater Ecology, 15(1), 21–30.

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Boral									
				Punto De Meustreo	PMASup_DS_15		BORAL_CL_02		PMASup_DS_19		Boral_CLE_01		Boral_CLE_02	
				Especie/Morfo especie	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.	% Cobertura	abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Cyperaceae	*Cyperus luzulae*							8,33	14,70		
				Eleocharis interstincta					8,33	11,36				
				Eleocharis sp.	17,67	81,54								
			Poaceae	*Paspalum* sp.									33,33	35,71
		Piperales	Piperaceae	*Piper* sp.			8,33	100,00						
Cobertura Total general					**21,67**	**100**	**8,33**	**100**	**73,34**	**100**	**56,66**	**100**	**93,33**	**100**
Morfoespecies por Punto					**3**		**1**		**4**		**3**		**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**12**									

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el análisis taxonómico indica que las comunidades de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño El Boral en temporada seca están influenciadas significativamente por el tipo de cuerpo de agua. Los hábitats lénticos favorecen una mayor riqueza y cobertura, dominada por familias como Pontederiaceae, Poaceae y Salviniaceae, mientras que los hábitats lóticos restringen la diversidad y favorecen especies adaptadas al arrastre, con estructuras morfológicas especializadas para condiciones de mayor energía hídrica. Esta dinámica refleja patrones ampliamente documentados en ecosistemas de agua dulce tropicales, donde las características físicas y químicas del ambiente son claves en la estructuración de la vegetación acuática (Padial et al., 2008[25]; Thomaz & Cunha, 2010[19]).

- Diversidad Alfa

Durante la temporada seca en la Microcuenca del caño El Boral, se observaron variaciones en los índices de diversidad de macrófitas acuáticas entre los diferentes puntos de muestreo. El punto BORAL_CLE_02 presentó la mayor abundancia (93.33) y uno de los valores más altos en el índice de Shannon (1.055) y de equidad de Pielou (0.96), lo que sugiere una comunidad relativamente diversa y equitativamente distribuida. En contraste, el punto PMASup_DS_15 (ocupación de cauce) mostró la menor abundancia (21.67) y los valores más bajos de Shannon (0.576) y Pielou (0.524), lo que indica una menor diversidad y dominancia de pocas especies. Aunque los tres primeros puntos tienen una riqueza específica constante (3 especies), el punto PMASup_DS_19 (ocupación de cauce) mostró una mayor riqueza (4 especies), lo que se reflejó también en un valor alto de Shannon (1.034). Los índices de Simpson también revelaron diferencias importantes, siendo menor en BORAL_CLE_02 (0.36), lo cual indica una baja probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, reforzando la idea de una comunidad más diversa (Krebs, 1999). Estos resultados reflejan cómo las condiciones locales pueden influir en la estructura de las comunidades de macrófitas, con implicaciones importantes para la conservación y manejo de ecosistemas acuáticos tropicales (**Tabla 3.3.3-64**).

[25] Padial, A. A., Thomaz, S. M., & Agostinho, A. A. (2008). The role of the flood pulse in determining limnological conditions in floodplain lakes of the Upper Paraná River. Brazilian Journal of Biology, 68(4 Suppl), 631–638.

Tabla 3.3.3-64 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BORAL_CLE_01	56.66	3	0.796	0.551	0.725
BORAL_CLE_02	93.33	3	1.055	0.36	0.96
PMASup_DS_15	21.67	3	0.576	0.69	0.524
PMASup_DS_19	73.34	4	1.034	0.455	0.746

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Época lluvias*
  - ✓ *Fitoplancton*
    - Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024. El ensamble ecológico del fitoplancton en el sistema lótico estudiado, monitoreado durante la época de lluvias, refleja una comunidad diversa dominada por grupos característicos de ambientes acuáticos con influencia de la llanura inundable. En la estación BORAL_CLE_01, reporto una abundancia total de (0,098 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-65**) y los géneros con mayor abundancia y porcentaje de abundancia fueron *Eunotia* y *Desmidium* ambas con (0.037 Ind/mL y 37.8%) (**Tabla 3.3.3-65**)(**Figura 3.3.3-30**), mientras que en BORAL_CLE_02 se reportó una abundancia total de (0.049 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-65**), donde se destacaron *Ulnaria* (0.014 Ind/mL y 28.8%) y *Desmidium* y *Actinotaenium* ambas con (0.007 Ind/mL y 14.3%) (**Tabla 3.3.3-65**) (**Figura 3.3.3-30**).

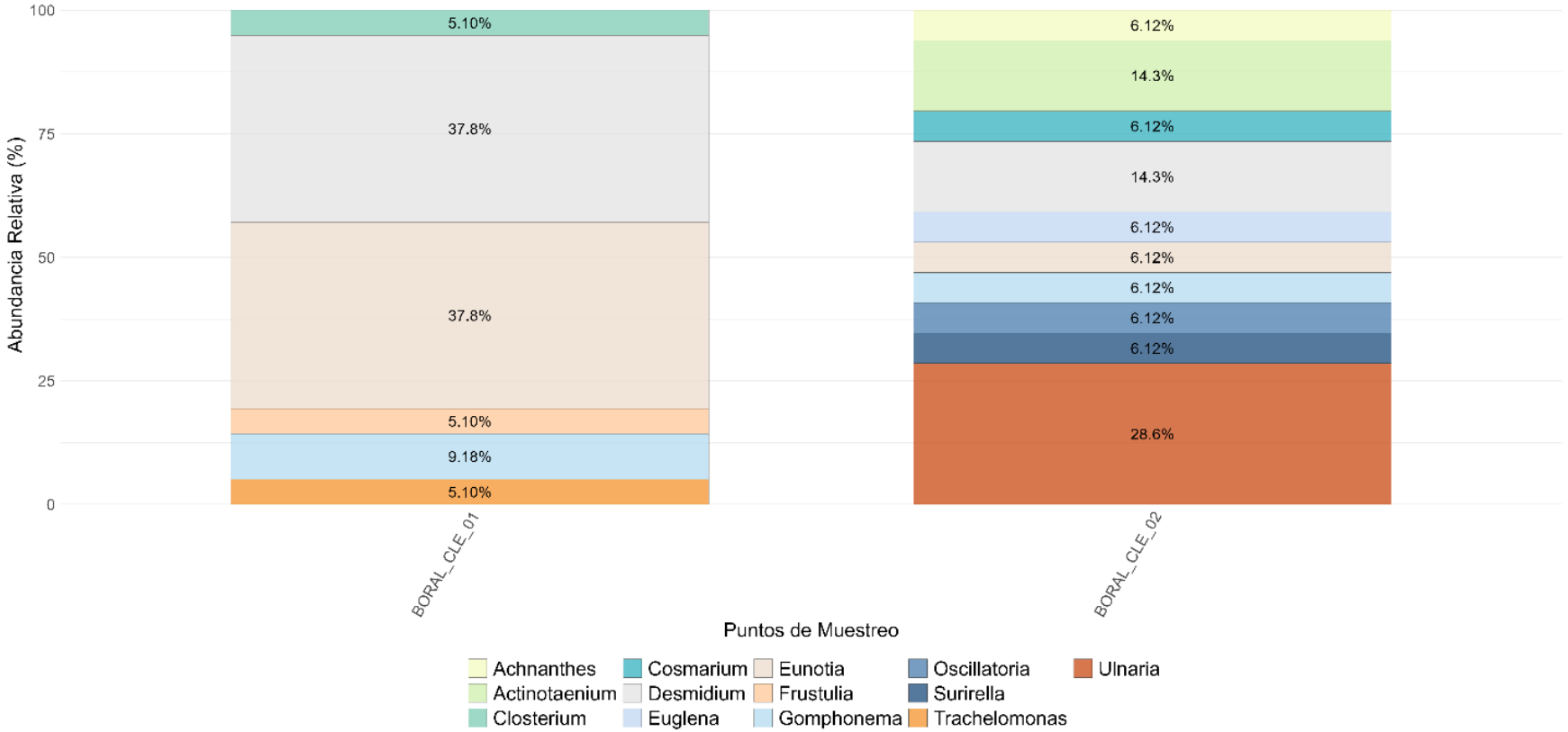


Figura 3.3.3-30 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos géneros son bioindicadores de aguas con baja conductividad y moderado contenido de nutrientes, típicas de humedales y sistemas lénticos influenciados por aportes terrestres (Round et al., 1990). La presencia de *Eunotia* y *Ulnaria* sugiere condiciones ácido-neutrales y oligotróficas, mientras que *Desmidium* y *Cosmarium* (0.003 Ind/mL) indican ambientes con baja turbidez y alta transparencia, comunes en sistemas poco perturbados (Reynolds, 2006). En conjunto, la Microcuenca presenta una abundancia total de 0.147 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-65**), con una riqueza de 11 géneros distribuidos en cinco divisiones, destacando Heterokontophyta (diatomeas) y Charophyta (desmidiáceas) como las más diversas.

La interacción entre sistemas lénticos y terrestres se evidencia en la presencia de *Trachelomonas* (0.005 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-65**) y *Oscillatoria* (0.003 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-65**), géneros asociados a zonas inundables con aportes orgánicos y fluctuaciones en el nivel del agua (Wetzel R. G., 2001). La baja abundancia de cianobacterias (*Oscillatoria*) sugiere una limitada eutrofización, mientras que la dominancia de diatomeas y desmidiáceas refleja un sistema con buena integridad ecológica.

La calificación ecológica de la Microcuenca es buena, basada en la composición del fitoplancton y sus bioindicadores. La comunidad muestra adaptación a condiciones naturales de inundación, con predominio de especies sensibles a la contaminación y una estructura trófica equilibrada. Sin embargo, la presencia minoritaria de *Oscillatoria* podría indicar incipientes cambios en la calidad del agua, por posibles aportes de materia orgánica, que pueden estar asociadas a descomposición de materia orgánica en el sistema o a posibles alteraciones antrópicas (Padisák et al., 2009).

Tabla 3.3.3-65 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Boral		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					BORAL_CLE_01	BORAL_CLE_02	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,005		0,005
				Euglena		0,003	0,003
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia*	0,005		0,005
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,037	0,003	0,04
		Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,009	0,003	0,012
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		0,003	0,003
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*		0,003	0,003
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		0,014	0,014
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*		0,003	0,003
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,005		0,005
			Desmidiaceae	*Cosmarium*		0,003	0,003
				Desmidium	0,037	0,007	0,044
				Actinotaenium		0,007	0,007
Gran Total					**0,098**	**0,049**	**0,147**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los resultados del análisis de diversidad para la comunidad del fitoplancton en los puntos monitoreados BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02 durante julio de 2024 en época de lluvia, revelan características ecológicas diferenciadas entre ambas estaciones. En BORAL_CLE_01 se registró una abundancia mayor (0.098) pero con menor riqueza (6 géneros) (**Tabla 3.3.3-66**), mientras que BORAL_CLE_02 mostró menor abundancia (0.049) pero mayor riqueza (10 géneros) (**Tabla 3.3.3-66**). Los índices de diversidad Shannon (1.639 vs 2.096) (**Tabla 3.3.3-66**) y Simpson (0.24 vs 0.156) (**Tabla 3.3.3-66**) indican que la estación BORAL_CLE_02 presenta una comunidad más diversa y equitativa, con menor dominancia de especies específicas. Los valores altos del índice de Pielou (0.915 y 0.91 respectivamente) (**Tabla 3.3.3-66**) confirman que en ambos puntos existe una buena distribución de la abundancia entre los géneros presentes, sin dominancia extrema de ninguna especie en particular.

La comparación entre ambas estaciones sugiere diferencias en las condiciones microambientales. La mayor riqueza en BORAL_CLE_02 podría estar asociada a una mayor heterogeneidad de hábitat o a condiciones más estables, mientras que la mayor abundancia en BORAL_CLE_01 podría reflejar condiciones más favorables para el crecimiento de determinadas especies.

Considerando conjuntamente ambos puntos de muestreo, la Microcuenca presenta características ecológicas satisfactorias, con valores de diversidad que indican un sistema en buen estado de conservación. La combinación de riqueza aceptable, alta equitatividad y ausencia de dominancia marcada sugiere una calificación ecológica buena para el conjunto de la Microcuenca. La presencia simultánea de puntos con distintas características de diversidad es normal en sistemas naturales y puede reflejar la variabilidad espacial propia de los ecosistemas acuáticos.

Tabla 3.3.3-66 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Boral, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BORAL_CLE_01	0.098	6	1639	0.24	0.915
BORAL_CLE_02	0.049	10	2096	0.156	0.91

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024. El ensamble de la comunidad zooplanctónica en el sistema léntico de la llanura inundable, realizado durante la época de lluvias, revela un ensamble ecológico característico de humedales con influencia fluvial. En la estación BORAL_CLE_01 se registraron las mayores abundancias, destacando los géneros *Difflugia* y *Centropyxis* (0.0091 Ind/mL cada uno) y un porcentaje de abundancia del (40.1%) (**Tabla 3.3.3-67**) (**Figura 3.3.3-31**), protozoos testados que funcionan como bioindicadores de ambientes con moderado contenido orgánico y estabilidad de sustratos (Ogden & Hedley, 1980). La presencia exclusiva de *Arcella* (0.0039 Ind/mL y 100%) de representatividad (**Tabla 3.3.3-67**) (**Figura 3.3.3-31**) en BORAL_CLE_02 sugiere condiciones

más oxigenadas y menor turbulencia, típicas de zonas marginales con vegetación acuática (Golemansky, 2007). Los ostrácodos (0.0045 Ind/mL y 19.8%) (**Tabla 3.3.3-67**) (**Figura 3.3.3-31**), exclusivos de BORAL_CLE_01, indican conexiones temporales con sistemas lóticos durante los pulsos de inundación (Mezquita et al., 1999).

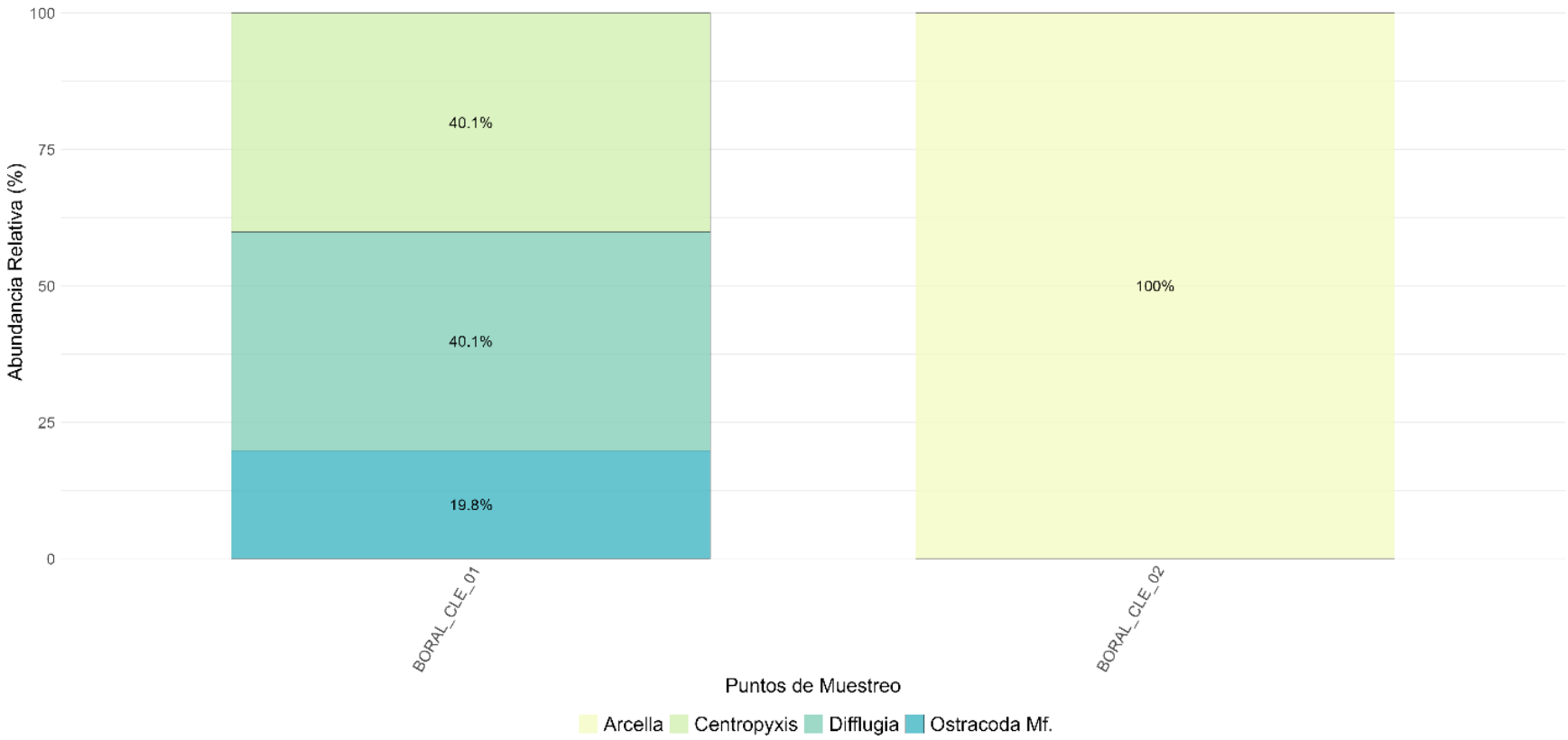


Figura 3.3.3-31 Porcentajes de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 202

A escala de Microcuenca, la abundancia total alcanzó 0.0266 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-67)**, distribuida en cuatro morfoespecies, mostrando una riqueza moderada pero representativa de sistemas lénticos tropicales. La estructura comunitaria refleja claras interacciones tierra-agua con los protozoos testados (*Arcella*, *Difflugia*, *Centropyxis*) evidencian aportes alóctonos de materia orgánica desde la llanura inundable (Schönborn, 2003), y los ostrácodos señalan la influencia de flujos laterales durante las crecidas. Esta dinámica concuerda con el modelo de inundación (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013), donde la conectividad entre sistemas acuáticos y terrestres estructura las comunidades bióticas.

En conclusión, la calificación ecológica del sistema es buena, y esto esta atribuido a tres evidencias clave primero, la presencia de taxones sensibles (*Arcella*) que requieren condiciones bien oxigenadas; segundo, la ausencia de especies indicadoras de contaminación orgánica severa; y tercero, la proporción equilibrada entre grupos con diferentes estrategias ecológicas (detritívoros, filtradores). No obstante, la baja abundancia total se relaciona con limitaciones en la productividad primaria del sistema, posiblemente asociada a la dilución por lluvias o a la escasez de nutrientes.

Tabla 3.3.3-67 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño El Boral		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Boral_CLE_01	Boral_CLE_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*		0,0039	0,0039
			Difflugiidae	*Difflugia*	0,0091		0,0091
			Centropyxidae	*Centropyxis*	0,0091		0,0091
Arthropoda	Ostracoda	-	-	Ostracoda Mf.	0,0045		0,0045
Gran Total					0,0227	0,0039	0,0266

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

En cuanto a los análisis de diversidad, si bien autores como (Magurran A. E., 2004) y (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001) señalan que es posible aplicar análisis estadísticos básicos con un mínimo de tres morfoespecies, en este caso no se calcularon índices ecológicos debido a la baja abundancia registrada. Bajo estas condiciones, los resultados carecerían de solidez estadística, lo que impide obtener conclusiones confiables o precisas a partir de los datos disponibles

✓ *Ictioplancton*

El estudio del ictioplancton en el sistema léntico de la llanura inundable, realizado durante la época de lluvias, revela una comunidad compuesta exclusivamente por huevos de peces de la clase Actinopteri, con marcadas diferencias entre estaciones. En BORAL_CL_03 se registró una abundancia significativamente mayor (0.0125 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-68**) en comparación con BORAL_CL_02 (0.0045 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-68**), lo que sugiere que esta zona funciona como área de desove preferencial durante el periodo de inundación. La presencia exclusiva de huevos

de peces, sin estadios larvales registrados, indica que el muestreo coincidió con la fase inicial del ciclo reproductivo de las especies presentes (Humphries et al., 1999). La mayor abundancia en BORAL_CL_03 podría estar asociada a características microambientales favorables como mayor cobertura vegetal o profundidad adecuada, factores clave para la selección de sitios de desove en peces de llanura (Welcomme, 1979).

A escala de Microcuenca, la abundancia total de ictioplancton fue de 0.017 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-68**), valor relativamente bajo pero característico de sistemas lénticos tropicales en fase inicial de inundación (Agostinho et al., 2004). La limitada riqueza específica de una sola morfoespecie registrada puede estar asociada a dos factores, la estacionalidad del muestreo que capturó solo especies con desove temprano en la estación lluviosa, o la dominancia de una especie con alta fecundidad en el ensamble íctico. La distribución espacial desigual sugiere que los peces están seleccionando microhábitats específicos para el desove, posiblemente asociados a características como vegetación sumergida o sustratos particulares (Petrere Jr et al., 2002).

La calificación ecológica del sistema es moderadamente buena, y puede estar asociada a dos aspectos principales, el primero, la presencia de huevos confirma la función reproductiva del humedal y el segundo, la variación espacial en abundancia refleja el uso diferencial del hábitat típico de sistemas naturales (Araújo-Lima & Oliveira, 1998). Sin embargo, la baja diversidad registrada requiere precaución en la interpretación, recomendándose muestreos adicionales que cubran todo el periodo reproductivo para obtener una visión más completa del ensamble ictioplanctónico. La conectividad con sistemas lóticos adyacentes debería evaluarse mediante estudios de marcaje, ya que es fundamental para el reclutamiento y mantenimiento de las poblaciones ícticas en estos ecosistemas (Junk et al., 1989).

Tabla 3.3.3-68 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño El Boral		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					Boral_CL_02	Boral_CL_03	
Chordata	Actinopteri	-	-	Huevo de pez morfoespecie 1	0,0045	0,0125	0,017
Gran Total					0,0045	0,0125	0,017

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Perifíton*

El ensamble perifítico analizado en la Microcuenca de estudio, monitoreado durante la época lluviosa, presenta una comunidad diversa y estructurada, característica de sistemas lóticos de llanura inundable. La riqueza total incluye 43 morfoespecies (**Tabla 3.3.3-69**) distribuidas en

cinco divisiones principales Heterokontophyta (específicamente diatomeas), Chlorophyta, Charophyta, Cyanobacteria y Euglenophyta. La abundancia total es de 8016.9 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-69**), dominada claramente por las diatomeas (Heterokontophyta), que contribuyen con 3180.6 ind/cm², seguida por Charophyta (2683.8 ind/cm²) y Chlorophyta (663.8 ind/cm²). Esta dominancia de diatomeas es típica de perifiton en ríos, ya que su adaptación morfológica que les permite prosperar en sustratos bajo flujo de agua (Round et al., 1990).

Las estaciones de muestreo (OC11, BORAL_CL_02, OC19, OC14, OC13, BORAL_CL_03, BORAL_CL_01, OC15, OC17) representan microhabitats dentro del sistema lótico, con variaciones en abundancia que reflejan gradientes ambientales. Por ejemplo, OC19 registra la mayor abundancia (4716.1 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-69**), asociada a géneros como *Surirella* (417.4 ind/cm²) y un porcentaje de abundancia de (8.85%), *Achnanthes* (442.8 ind/cm² y 9.39%) y *Eunotia* (393.1 ind/cm² y 8.34%) (**Tabla 3.3.3-69**) indicando posiblemente una zona con mayor estabilidad del sustrato y disponibilidad de nutrientes. En contraste, OC11 y BORAL_CL_02 muestran abundancias bajas (8 y 31.7 ind/cm² respectivamente) (**Tabla 3.3.3-69**), sugiriendo condiciones más disturbadas o limitantes.

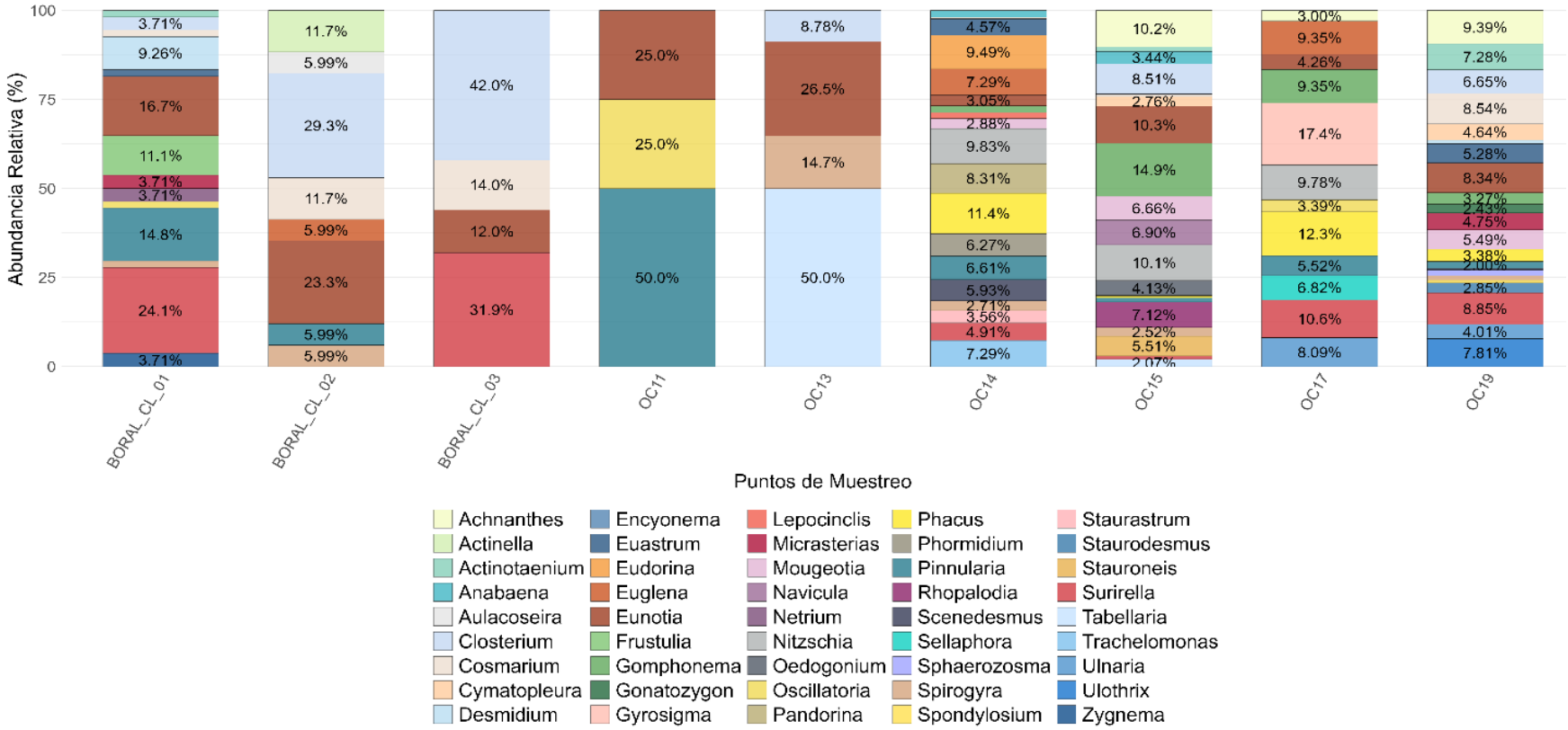


Figura 3.3.3-32 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La bioindicación revela información clave sobre la calidad del agua. Géneros como *Eunotia* y *Frústulia* (610.4 y 32.1 ind/cm²) son indicadores de aguas ácidas y bajos nutrientes (Van Dam et al., 1994), mientras que *Nitzschia* (276.1 ind/cm²) y *Scenedesmus* (135.5 ind/cm²) sugieren eutrofización (Lowe & Pan, 1996). La presencia de Cyanobacterias como *Oscillatoria* y *Phormidium* con abundancias respectivas de (18.8 y 122.2 ind/cm²) puede indicar aportes orgánicos y condiciones de bajo flujo temporal y Euglenoides como *Euglena* y *Phacus* con abundancias respectivas de (172 y 420 ind/cm²) confirman influencia orgánica y posible contaminación (Palmer, 1969).

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres es evidente. La alta diversidad de Charophyta con géneros como *Cosmarium* y *Closterium* sugiere conexiones con humedales adyacentes (sistemas lénticos), donde estas especies prosperan en aguas quietas. La época lluviosa facilita este intercambio mediante inundaciones, transportando especies y nutrientes desde áreas terrestres e inundadas hacia el canal principal (Wetzel R. G., 2001). Esto explica la coexistencia de especies lóticas como *Surirella* y con lénticas como *Eudorina*.

En conclusión, la Microcuenca presenta una condición ecológica moderada a moderadamente impactada. La predominancia de diatomeas tolerantes e indicadoras de eutrofización, junto con la presencia de cianobacterias y euglenoides, refleja presiones antrópicas como aportes de nutrientes y materia orgánica. Sin embargo, la alta riqueza y la presencia de indicadores de aguas limpias como con el género *Eunotia*, sugieren que el sistema aún mantiene resiliencia.

Tabla 3.3.3-69 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Boral, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Boral									Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm2)
					OC11	BORAL_CL_02	OC19	OC14	OC13	BORAL_CL_03	BORAL_CL_01	OC15	OC17	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*			5							5
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*			154,2	36,3				81,6	28,1	300,2
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*			417,4	95,7		35,3	69,5	5	32	654,9
				Cymatopleura			218,9					15,1		234
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	4	1,9	94,5	128,8			42,8	6,3	16,6	294,9
			Amphipleuraceae	*Frustulia*							32,1			32,1
			Naviculaceae	*Gyrosigma*									52,4	52,4
				Navicula								37,7		37,7
			Sellaphoraceae	*Sellaphora*									20,5	20,5
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*								30,1		30,1
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	2	7,4	393,1	59,4	17,8	13,3	48,1	56,5	12,8	610,4
				Actinella		3,7								3,7
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*					33,6			11,3		44,9
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*			189,1						24,3	213,4
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*								38,9		38,9
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*			442,8					55,6	9	507,4
			Cocconeidaceae	*Cocconeis*										
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia*										
				Nitzschia				191,5				55,2	29,4	276,1
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*		1,9								1,9
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*								22,6		22,6
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*			19,9	115,6						135,5
		Volvocales	Volvocaceae	*Eudorina*				184,9						184,9
				Pandorina				161,8						161,8
	Ulvophyceae	Ulotrichales	Ulotrichaceae	*Ulothrix*			368,2							368,2
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		3,7	403	9,9		15,5	5,3	3,8		441,2
				Actinotaenium			343,3				5,3	7,5		356,1
				Staurastrum				69,3						69,3
				Euastrum			248,8	89,1			5,3			343,2
				Staurodesmus			134,3							134,3
				Desmidium			44,8				26,7			71,5
				Sphaerozosma			74,6							74,6
				Micrasterias			223,9				10,7			234,6
				Spondylosium			34,8							34,8

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Boral									Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm2)
					OC11	BORAL_CL_02	OC19	OC14	OC13	BORAL_CL_03	BORAL_CL_01	OC15	OC17	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		9,3	313,5		5,9	46,4	10,7	46,5		432,3
			Gonatozygaceae	*Gonatozygon*			114,4							114,4
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*							10,7			10,7
			Zygnemataceae	*Mougeotia*			258,7	56,1				36,4		351,2
				Zygnema							10,7			10,7
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*		1,9	59,7	52,8	9,9		5,3	13,8		143,4
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena*				36,3				18,8		55,1
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	2						5,3	1,3	10,2	18,8
				Phormidium				122,2						122,2
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Phacus*			159,2	221,2				2,5	37,1	420
				Lepocinclis				33						33
			Euglenaceae	*Trachelomonas*				142						142
				Euglena		1,9		142					28,1	172
Gran Total					8	31,7	4716,1	1947,9	67,2	110,5	288,5	546,5	300,5	8016,9

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad para la comunidad perifítica en los diferentes puntos de monitoreo revela una marcada variabilidad espacial en la estructura comunitaria, reflejando las condiciones ecológicas particulares de cada estación. Los valores del índice de Shannon oscilaron entre 1.04 (OC11) y 2.948 (OC19) (**Tabla 3.3.3-70**), mostrando que las estaciones OC19, OC14 y OC15 presentan la mayor diversidad, con valores superiores a 2.7 (**Tabla 3.3.3-70**), lo que indica comunidades complejas y equilibradas. Estos puntos destacan no solo por su alta diversidad (riqueza de 19 a 23 géneros) (**Tabla 3.3.3-70**), sino también por su elevada equitatividad, como lo demuestran los valores de Pielou cercanos a 0.95 (**Tabla 3.3.3-70**), lo que sugiere una distribución uniforme de la abundancia entre los taxones presentes. Por el contrario, las estaciones BORAL_CL_03, OC11 y OC13 mostraron los valores más bajos de diversidad Shannon menores a (1.255) (**Tabla 3.3.3-70**), acompañados de una menor riqueza (3 a 4 géneros) **Tabla 3.3.3-70**), lo que podría estar asociado a condiciones ambientales más restrictivas o a una mayor influencia de factores hidrológicos locales. Los índices de Simpson, que varían entre 0.06 (OC19) y 0.375 (OC11) (**Tabla 3.3.3-70**), confirman esta tendencia, con una menor dominancia de especies en las estaciones de mayor diversidad.

La heterogeneidad observada entre los puntos de monitoreo sugiere que la Microcuenca alberga una amplia variabilidad de microhábitats, desde áreas con alta productividad y estabilidad como (OC19 y OC14) hasta zonas con condiciones más variables o limitantes como (OC11 y BORAL_CL_03).

La presencia de valores altos de equitatividad de Pielou mayor a 0.9 en la mayoría de las estaciones (**Tabla 3.3.3-70**) indica que, incluso en puntos con menor riqueza, la comunidad perifítica mantiene una estructura equilibrada, sin dominancia extrema de ningún taxón en particular. Esto es especialmente relevante en sistemas lóticos influenciados por pulsos de inundación, donde la conectividad entre hábitats acuáticos y terrestres puede promover una alta diversidad beta.

En conjunto, la Microcuenca puede calificarse como en buen estado ecológico, sustentado por la alta diversidad y equitatividad observadas en la mayoría de los puntos, particularmente en OC19, OC14 y OC15, que actúan como núcleos de biodiversidad. No obstante, la presencia de estaciones con baja diversidad (OC11, BORAL_CL_03) sugiere la existencia de áreas con condiciones subóptimas, posiblemente relacionadas con factores como la turbulencia, la disponibilidad de sustratos o la calidad del agua.

Tabla 3.3.3-70 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Boral, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BORAL_CL_01	288.5	14	2.246	0.136	0.851
BORAL_CL_02	31.7	8	1.871	0.183	0.9
BORAL_CL_03	110.5	4	1.255	0.312	0.905
OC11	8	3	1.04	0.375	0.947

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OC13	67.2	4	1.199	0.347	0.865
OC14	1947.9	19	2.797	0.07	0.95
OC15	546.5	20	2.717	0.079	0.907
OC17	300.5	12	2.451	0.099	0.986
OC19	4716.1	23	2.948	0.06	0.94

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el caño El Boral, revela una comunidad compuesta por site (7) morfoespecies distribuidas en un phyllum (Arthropoda) y representadas por una clase (Insecta). Esta diversidad taxonómica se organiza en cuatro (4) órdenes: Diptera, Coleóptera, Hemiptera y Lepidóptera; con siete (7) familias y seis (6) géneros. La abundancia total de individuos para toda la Microcuenca fue de 80 ind/m², con una clara dominancia de *Chironomidae Mf.* (54 ind/m²), particularmente en el punto BORAL_CL_01, donde se alcanzó el mayor número de individuos (46 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-71**).

Tabla 3.3.3-71 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Boral					Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						Boral_Cl_02	OC19	OC13	Boral_CL_01	OC15	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	3,3	8,9	8,9	27,3	5,6	54
Arthropoda	Insecta		Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia* sp.		1,1				1,1
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Dytiscidae	*Laccophilus*	*Laccophilus* sp.				9,1		9,1
Arthropoda	Insecta		Hydrophilidae	*Berosus*	*Berosus* sp.	1,1				2,2	3,3
Arthropoda	Insecta		Elmidae	*Stegoelmis*	*Stegoelmis* sp.			1,1			1,1
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Corixidae	*Centrocorisa*	*Centrocorisa* sp.			2,2			2,2
Arthropoda	Insecta	Lepidóptera	Crambidae	*Parapoynx*	*Parapoynx* sp.				9,1		9,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**4**	**10**	**12**	**46**	**8**	**80**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista de la bioindicación, el dominio de Chironomidae, junto con la presencia de Ceratopogonidae y Hydrophilidae, indica un sistema tolerante a cargas orgánicas o a fluctuaciones en la calidad del agua, ya que estos grupos suelen encontrarse en ambientes con bajos niveles de oxigenación, sustrato fino y altos contenidos de materia orgánica (Rosenberg & Resh, 1993; Roldán, 2003). La presencia de Elmidae (*Stegoelmis*), reconocida por su preferencia por aguas bien oxigenadas y corrientes permanentes, junto con la detección de géneros como Laccophilus (Dytiscidae) y Centrocorisa (Corixidae), que pueden desplazarse entre ambientes lóticos y lénticos, sugiere la existencia de microhábitats conservados, aunque de forma aislada.

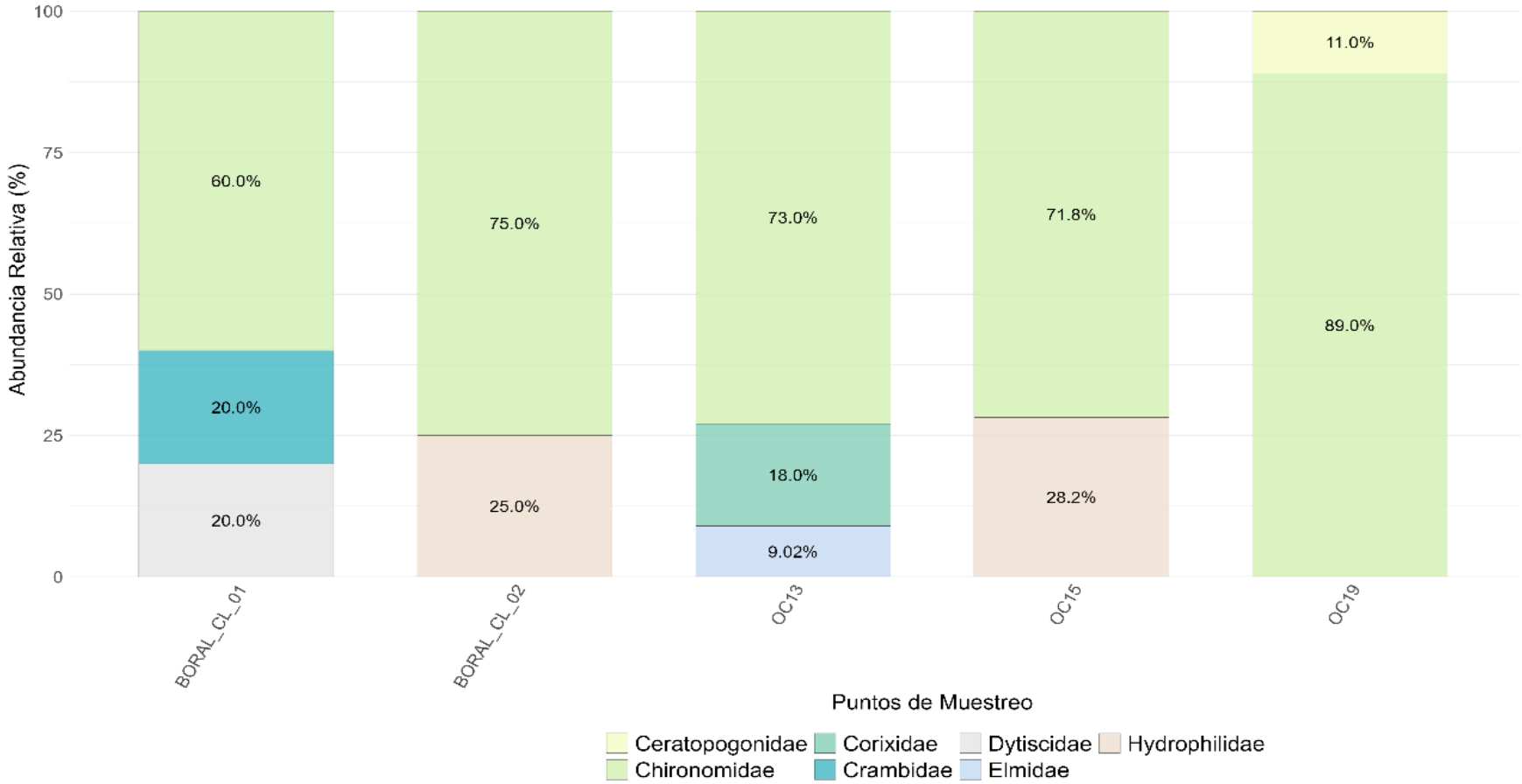


Figura 3.3.3-33 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Cabe resaltar que géneros como *Parapoynx* (Lepidóptera: Crambidae), cuyas larvas son acuáticas pero tienen hábitos alimenticios herbívoros, y *Berosus* (Coleoptera: Hydrophilidae), típicos de aguas con abundante vegetación sumergida y poco corriente, refuerzan la interpretación de una interacción entre zonas lóticas, lenticas y márgenes riparias. La coexistencia de taxa propios de aguas corrientes, quietas y ribereñas indica un gradiente ecológico heterogéneo que favorece la conectividad entre sistemas acuáticos y terrestres, clave para sostener la biodiversidad en ecosistemas tropicales inundables (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014).

En síntesis, el ensamble del caño El Boral evidencia una estructura dominada por especies tolerantes, pero con la presencia puntual de taxones de mayor sensibilidad, lo que sugiere condiciones ambientales heterogéneas y posibles gradientes de perturbación moderada en la Microcuenca. Este patrón puede estar influenciado por la estacionalidad de lluvias, que incrementa la conectividad hidrológica entre cuerpos de agua y favorece el desplazamiento de organismos entre hábitats (Junk et al., 1989).

La presencia limitada de indicadores altamente sensibles impide una valoración precisa del estado ecológico a través del índice BMWP/Col, ya que este requiere un número representativo de familias bioindicadoras con valores asignados. Teniendo como resultado una calidad "Muy Crítica" para todos los puntos de monitoreo con un significado de Aguas fuertemente contaminadas (**Tabla 3.3.3-72**). Sin embargo, la riqueza relativa y la composición taxonómica permiten suponer un sistema en transición ecológica, con una combinación de áreas degradadas y zonas con microhábitats conservados.

Tabla 3.3.3-72 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL BORAL	OC13	V	Muy crítica	14	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	BORAL_CL_01	V	Muy crítica	9	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OC19	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	BORAL_CL_02	V	Muy crítica	5	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OC15	V	Muy crítica	5	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos en el caño El Boral durante la época de lluvias evidencia una comunidad dominada por grupos tolerantes, aunque con indicios de diversidad funcional gracias a la presencia de familias adaptadas a condiciones más oxigenadas. Este patrón sugiere que el sistema mantiene ciertas condiciones de resiliencia ecológica, apoyadas por la interacción entre hábitats acuáticos y terrestres.

- Diversidad Alfa

Los valores de diversidad alfa calculados para los seis puntos del caño El Boral evidencian un ensamblaje dominado por pocas morfoespecies con distribuciones de abundancia moderadamente equitativas, rasgo típico de sistemas lóticos de la altillanura sometidos a pulsos de inundación. El mayor grado de organización biológica se observó en BORAL_CL_01 (45,5 ind/m²; riqueza = 3), cuyo índice de Shannon (H′ = 1,332) y de Simpson (D = 0,28) indican diversidad intermedia y dominancia moderada; sin embargo, la equitatividad de Pielou (J′ = 1,212) supera el límite teórico de 1, lo que sugiere que las abundancias relativas se redondearon con demasiada precisión o que la fórmula se aplicó con una base logarítmica diferente a la natural —una advertencia metodológica frecuente cuando se manejan pequeños conjuntos de datos (Magurran 2004). Situaciones análogas aparecen en OC13 (H′ = 1,241; J′ = 1,13) y OC19 (H′ = 0,937; J′ = 1,352), donde las Pielou > 1 confirman la necesidad de revisar los cálculos de equidad (**Tabla 3.3.3-73**).

Tabla 3.3.3-73 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Boral, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BORAL_CL_01	45.5	3	1.332	0.28	1.212
BORAL_CL_02	4.4	2	0.562	0.625	0.811
OC13	12.2	3	1.241	0.322	1.13
OC15	7.8	2	0.562	0.625	0.811
OC19	10	2	0.937	0.432	1.352

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En contraste, BORAL_CL_02 y OC15 presentan abundancias bajas (4,4 y 7,8 ind/m², respectivamente) y riqueza de solo dos morfoespecies; sus índices de Shannon (0,562) y Simpson (0,625) reflejan comunidades muy empobrecidas con dominancia marcada de un taxón tolerante, compatibles con los altos aportes de Chironomidae ya descritos para la Microcuenca (Roldán 2003). El caso extremo es OCmn4, con una sola morfoespecie (1,1 ind/m²) y, por definición, H′ = 0 y D = 1; aquí hablar de diversidad es irrelevante porque no existe comunidad en sentido estricto (Moreno 2001) (**Tabla 3.3.3-73**).

De manera general, el patrón muestra un gradiente de heterogeneidad en los microhábitats, los sitios con mayor caudal estable y vegetación marginal (p. ej., BORAL_CL_01, OC13) retienen algo de diversidad, mientras que los remansos mal oxigenados o con sustratos finos (BORAL_CL_02, OC15) se ven dominados casi en exclusiva por larvas de Chironomidae. Esta dicotomía confirma la coexistencia de sectores con condiciones ambientalmente restringidas y otros con microambientes más estables, resultado de la dinámica de inundación y de la interacción continua entre sistemas lóticos, lénticos y franja riparia en época de lluvias (Allan & Castillo 2007; Junk et al. 1989).

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

La estación BORAL_CLE_01, ubicada en una madrevieja del caño El Boral y muestreada durante la época de lluvias, reveló un ensamblaje de macroinvertebrados asociados a macrófitas constituido exclusivamente por la morfoespecie *Helobata* sp. (phyllum Arthropoda, clase Insecta, orden Coleóptera, familia Hydrophilidae), con una abundancia de 9,1 ind/m² (**Tabla 3.3.3-74**).

Tabla 3.3.3-74 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Boral, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Boral	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						Boral_CLE_01	
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Hydrophilidae	Helobata	*Helobata* sp.	9,1	9,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**9**	**9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia exclusiva de *Helobata* —género de hidrófilos que suele colonizar raíces y tallos de macrófitas flotantes o sumergidas— sugiere un hábitat con lámina de agua somera, sustrato blando y abundante materia orgánica en descomposición, condiciones frecuentes en los cuerpos lentos derivados de la crecida lluviosa (Short & Hebauer, 2006). Estos coleópteros del neuston respiran aire atrapado bajo los élitros, lo que les permite tolerar ambientes con bajo oxígeno disuelto y alta carga trófica, actuando como indicadores de meso- a eutrofia moderada (Archangelsky, 1997). Su monopolio faunístico revela, no obstante, una comunidad funcionalmente empobrecida: la escasez de depredadores (p. ej., odonatos), raspadores o filtradores sugiere que los pulsos de inundación aún no han favorecido la recolonización completa desde los sistemas lóticos cercanos, o que las condiciones fisicoquímicas (pH, conductividad, turbidez) limitan la instalación de organismos sensibles (Domínguez & Fernández, 2009).

La interacción con los sistemas loticos adyacentes parece restringida a la dispersión ocasional de adultos voladores de *Helobata*, mientras que los aportes terrestres —hojarasca, polen, escorrentía agrícola— probablemente alimenten la cadena detritívora dominada por este taxón. Sin la diversidad estructural que brindan otros órdenes (Ephemeroptera, Trichoptera), la madrevieja podría mostrar una resiliencia baja ante perturbaciones adicionales (Allan & Castillo 2007).

Dado que solo se registró una familia y que Hydrophilidae no está contemplada en la matriz de puntuación del BMWP/Col, no es posible calcular el índice de calidad biótica (Roldán 2003). Igualmente, con una única morfoespecie no procede estimar la diversidad alfa (Shannon, Simpson, Pielou), ya que tales índices requieren al menos dos categorías taxonómicas para producir valores interpretables (Magurran 2004).

En resumen, el ensamblaje registrado en BORAL_CLE_01 refleja un ecosistema léntico dominado por condiciones mesoeutróficas, donde la elevada biomasa vegetal favorece a hidrófilos tolerantes pero no a una comunidad diversa.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca caño El Boral, ubicada en el área de influencia Fisicobiótica del Bloque CPO-5, se registró una comunidad diversa de macrófitas acuáticas, compuesta por 17 morfoespecies, distribuidas en la división Tracheophyta. La riqueza florística se organiza en las clases Magnoliidae (angiospermas dicotiledóneas y monocotiledóneas) y Polypodiidae (helechos), y abarca los órdenes Poales, Commelinales, Alismatales, Myrtales y Polypodiales.

La división Tracheophyta fue la dominante, agrupando a la totalidad de especies vasculares superiores, tanto monocotiledóneas como dicotiledóneas.

La Clase Magnoliidae sobresalió por su alta representación de monocotiledóneas acuáticas, particularmente de las familias Poaceae, Cyperaceae y Pontederiaceae. Esta clase mostró mayor riqueza en cuerpos lénticos. Polypodiidae estuvo representada solo por *Ceratopteris* sp., presente únicamente en la ocupación de cauce OC11 con baja cobertura (0,33%).

El Orden Poales fue el orden más diverso y frecuente, con miembros en casi todos los puntos, lo que evidencia su adaptación a diversos regímenes hidrológicos.

Las familias Poaceae (6 morfoespecies) y Cyperaceae (4 morfoespecies) fueron las familias mejor representadas. Poaceae, por su amplia plasticidad ecológica, predominó en hábitats lénticos. Cyperaceae, más resistente a suelos anegados y márgenes de caños, dominó en cuerpos lóticos.

Las especies *Panicum maximum* (Poaceae) e *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) mostraron las mayores coberturas individuales, especialmente en sitios lenticos con bajo disturbio.

En las ocupaciones de cauce OC11, OC14, OC15, OC17 y OC19, se observa una diversidad más baja, pero con dominancia de especies tolerantes a condiciones dinámicas de corriente, como *Ludwigia* spp. y *Cyperus luzulae*, adaptadas a márgenes de caños y áreas con flujo intermitente.

En las ocupaciones de cauce dominaron especies pertenecientes a las familias Pontederiaceae (especialmente *Heteranthera reniformis* en el punto OC11), Cyperaceae (*Eleocharis interstincta* en el punto OC15) y Poaceae (*Brachiaria* sp. y Poaceae sp. en los puntos OC17 y OC19). Todas especies que prosperan en ambientes enriquecidos y que tienden a la eutroficación.

Los puntos BORAL_CL_01, BORAL_CL_03 presentaron muy baja diversidad y coberturas con 1 especie (*Eichhornia* sp.) y 3 morfoespecies, respectivamente.

En contraste, en los cuerpos de agua lénticos BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02 se presentó mayor cobertura vegetal por macrófitas flotantes y emergentes, reflejo de la estabilidad hídrica y mayor acumulación de nutrientes. En estos puntos se reportaron las mayores coberturas, con valores de 79% y 125% de cobertura, respectivamente. Destacan *Eichhornia crassipes*, con abundancias

relativas de hasta 50,63%, y *Paspalum* sp., con 64% en BORAL_CLE_02. Estas especies, pertenecientes también a Magnoliidae, poseen estrategias de propagación vegetativa rápida y alta tolerancia a condiciones anóxicas (Sculthorpe, The Biology of Aquatic Vascular Plants, 1985) **Tabla 3.3.3-75**.

Estos resultados reflejan la influencia del régimen hidrológico sobre la distribución de las macrófitas acuáticas, donde los ambientes estables y con mayor retención hídrica favorecen el establecimiento de especies flotantes y colonizadoras de rápido crecimiento, mientras que las corrientes seleccionan especies más resistentes a la perturbación y con mayor capacidad de anclaje.

Tabla 3.3.3-75 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Boral																	
				Punto De Meustreo	OC11		OC14		OC15		OC17		OC19		BORAL_CL_03		BORAL_CL_01		BORAL_CLE_01		BORAL_CLE_02	
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Ceratopteris* sp.	0,33	0,84																
	Magnoliidae	Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia octovalvis*													4	3,47				
		Commelinales	Pontederiaceae	*Heteranthera reniformis*	30,67	77,98																
				Eichhornia sp.											4	100,00						
				Eichhornia crassipes					1,33	1,61									40	50,63	45	36,00
		Alismatales	Araceae	*Xanthosoma* sp.					0,67	0,81							8,33	7,22				
		Poales	Cyperaceae	*Cyperus* sp.					13,33	16,13												
				Cyperus luzulae	8,33	21,18																
				Eleocharis sp.									3	3,48								
				Eleocharis interstincta					33,33	40,32												
			Poaceae	*Urochloa* sp.					23,33	28,22												
				Hymenachne sp.			14	100,00														
				Brachiaria sp.							6,67	32,27										
				Poaceae sp.							14	67,73	83,33	96,52					39	49,37		
				Paspalum sp.																	80	64,00
				Panicum maximum													103	89,31				
			Eriocaulaceae	Eriocaulaceae sp.					10,67	12,91												
Cobertura Total general					**39,33**	**100**	**14**	**100**	**82,66**	**100**	**20,67**	**100**	**86,33**	**100**	**4**	**100**	**115,33**	**100**	**79**	**100**	**125**	**100**
Morfoespecies por Punto					**3**		**1**		**6**		**2**		**2**		**1**		**3**		**2**		**2**	
Morfoespecies por microcuenca					**17**																	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias, los índices de diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño El Boral mostraron una variabilidad importante entre los sitios evaluados. El punto OC15 también alcanzó una riqueza de seis especies y un valor elevado de Shannon (1.387), con una equidad de 0.774, lo que indica una distribución relativamente homogénea de las especies presentes. En contraste, los sitios BORAL_CL_01 y OC11 presentaron únicamente tres especies cada uno, reflejando índices de diversidad más bajos: BORAL_CL_01 mostró un valor de Shannon de 0.398 y una equidad de 0.362, mientras que OC11 alcanzó un Shannon de 0.561 y una equidad de 0.511. Estas cifras indican comunidades con menor diversidad y dominancia de algunas especies sobre otras. Cabe destacar que en los puntos BORAL_CL_03, OC14, OC17, OC19, BORAL_CLE_01 y BORAL_CLE_02 no fue posible calcular los índices de diversidad, debido a que presentaron menos de tres especies, lo que limita la aplicación de métricas ecológicas como Shannon-Wiener o Simpson, que requieren una riqueza mínima para producir resultados estadísticamente significativos (Magurran A. E., 2004) (**Tabla 3.3.3-76**). Estas diferencias entre sitios pueden atribuirse a condiciones ambientales locales, como la heterogeneidad del hábitat, la calidad del agua, la presión antrópica o las características hidrológicas específicas, factores ampliamente reconocidos por su influencia sobre la estructura y composición de comunidades de macrófitas acuáticas (Chambers et al., 2008[10]; Wetzel, 2001[15]).

Tabla 3.3.3-76 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Boral, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
BORAL_CL_01	115.33	3	0.398	0.81	0.362
OC11	39.33	3	0.561	0.655	0.511
OC15	82.66	6	1.387	0.285	0.774

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

Durante el análisis comparativo de la composición y cobertura de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del Caño El Boral entre la época seca y la época de lluvias, se evidencia una mayor riqueza específica y diversidad durante el periodo de lluvias, con un total de 22 morfoespecies registradas, frente a 12 en la época seca. Esta variación se asocia a las condiciones hidrológicas favorables en la temporada húmeda, que incrementan la disponibilidad de nutrientes y el área de hábitat, favoreciendo así el establecimiento de especies emergentes, flotantes y sumergidas (Esteves F. A., 2011). Entre las especies que destacan por su cobertura en época de lluvias se encuentran *Heteranthera reniformis* (77,98%) y Poaceae sp. (hasta 96,52%), mientras que en época seca predominan *Eleocharis* sp. (81,54%) y *Eichhornia crassipes* con cobertura relevante en varios puntos, especialmente en BORAL_CLE_02 (41,07%). Además, se observa que ciertas especies como *Ludwigia* sp., *Panicum maximum* y *Maranta* sp. fueron exclusivas de la temporada lluviosa, lo que sugiere su dependencia de ambientes temporalmente inundados (Junk, Bayley, & Sparks, The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989). En contraste, *Eleocharis interstincta* y *Salvinia sprucei* muestran presencia destacada en la época seca, lo que puede

relacionarse con su tolerancia a condiciones de menor profundidad y mayor concentración de nutrientes. Estas variaciones en la estructura y composición de las comunidades de macrófitas no solo reflejan la estacionalidad del régimen hidrológico, sino que también indican la dinámica ecológica del ecosistema fluvial, como lo han señalado estudios en otros sistemas lóticos tropicales (Henry-Silva, 2008). En conjunto, la mayor cobertura total y riqueza específica registrada en la época lluviosa evidencian la sensibilidad y respuesta rápida de las macrófitas acuáticas frente a los pulsos de inundación, lo cual tiene implicaciones importantes para la conservación de estos ecosistemas y el monitoreo ecológico en Microcuencas tropicales.

3.3.3.2.6 Microcuenca caño El Paso

La Microcuenca del caño El Paso, localizada en el municipio de Puerto López, forma parte de la región fisiográfica de la altillanura oriental colombiana. Esta zona presenta un ecosistema típico de sabana, con coberturas vegetales que varían entre pastizales naturales y áreas intervenidas por actividades agropecuarias. En este contexto, se realizó el monitoreo de comunidades hidrobiológicas en un único punto de muestreo (EL_PASO_CL_01), como herramienta para evaluar la calidad ecológica del caño El Paso, a partir del análisis de organismos sensibles a cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua. En la **Figura 3.3.3-34** se puede ver la ubicación de la Microcuenca en el contexto del área de influencia del Bloque CPO-5 y la localización del punto de muestreo.

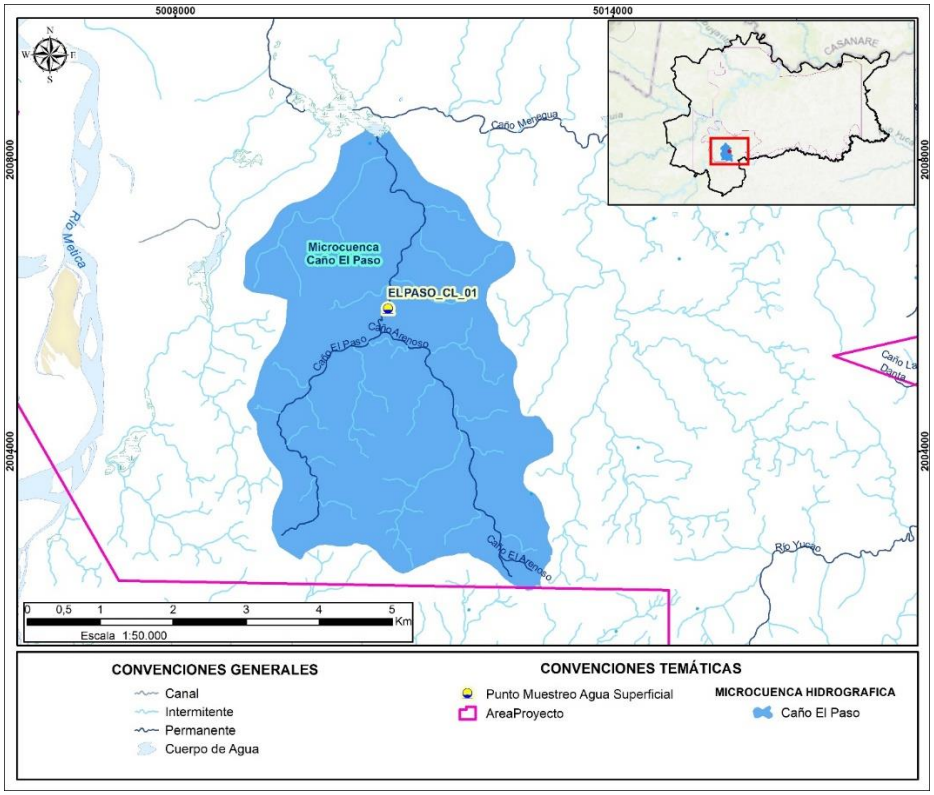


Figura 3.3.3-34 Localización de los puntos de muestreo en la Microcuenca caño El Paso

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño El Paso, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004) . Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

  - ✓ *Perifiton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en el punto EL_PASO_CL_01 del Caño El Paso revela una estructura ecológica dominada por el género *Tabellaria* (76.7 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia del (83.3%) (**Tabla 3.3.3-77**). Está marcada dominancia se complementa con la presencia de tres géneros más *Oedogonium* (12.6 Ind/cm²) y una representatividad del (13.7%), *Closterium* (1.4 Ind/cm²) y *Netrium* (1.4 Ind/cm²) con una representatividad del (1.52%).(**Tabla 3.3.3-77**) (**Figura 3.3.3-35**). La comunidad muestra una riqueza extremadamente baja de cuatro géneros y una distribución altamente desequilibrada, evidenciando condiciones ambientales particulares en este sistema lótico durante la época seca.

Desde la perspectiva de bioindicación, la dominancia de *Tabellaria*, una diatomea típica de aguas ácidas y con cierta tolerancia a condiciones eutróficas, sugiere un ambiente con características químicas muy definidas, posiblemente relacionadas con aportes orgánicos de origen terrestre o procesos de descomposición en la Microcuenca. La presencia secundaria de *Oedogonium*, alga filamentosa que frecuenta aguas enriquecidas con materia orgánica, refuerza esta interpretación. Los géneros *Closterium* y *Netrium*, aunque escasos, aportan información valiosa al indicar cierta influencia de humedales adyacentes o zonas de transición agua-tierra, característicos de sistemas de altillanura.

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la posible conexión con áreas pantanosas que explicaría la presencia de *Tabellaria* en altas densidades, la escasa diversidad que sugiere limitado intercambio con otros hábitats acuáticos y la casi ausencia de géneros típicamente lóticos, indicando reducción del flujo durante el período seco. Estos patrones coinciden con lo reportado por (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010) en sistemas neotropicales con marcada estacionalidad.

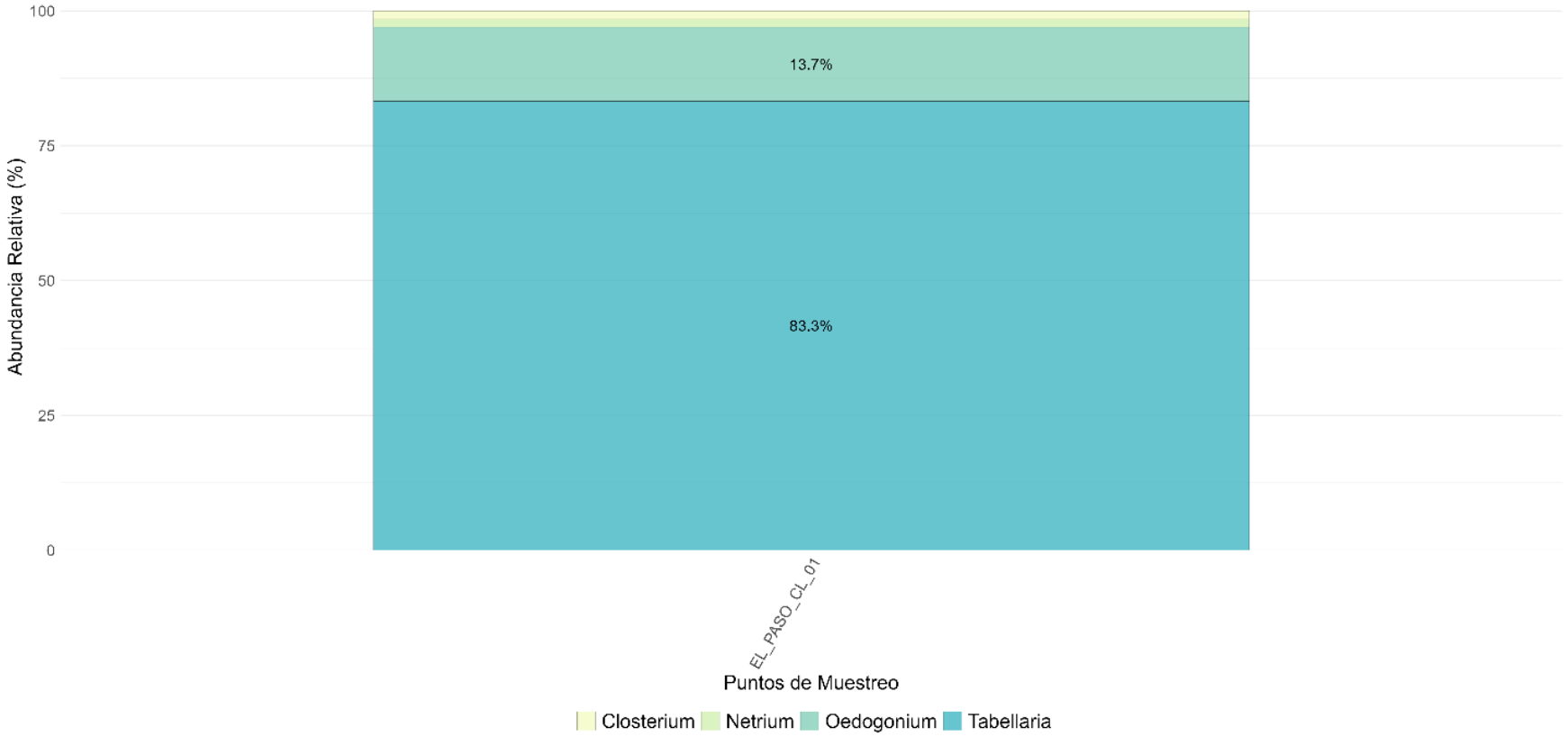


Figura 3.3.3-35 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble perifítico de la Microcuenca del Caño El Paso muestra características de un ambiente fuertemente influenciado por condiciones locales durante la época seca, con una comunidad dominada por especies tolerantes a aguas ácidas y enriquecidas orgánicamente. La evaluación ecológica sugiere un sistema bajo presión, con calidad entre regular y pobre.

Tabla 3.3.3-77 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Paso	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ cm²)
					EL_PASO_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	76,7	76,7
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	12,6	12,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	1,4	1,4
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*	1,4	1,4
Gran Total					**92,1**	**92,1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en la estación EL_PASO_CL_01 revela una comunidad de perifiton con características preocupantes que sugieren un ambiente acuático significativamente alterado. La estación presenta una elevada abundancia (92.1 individuos/cm^2) (**Tabla 3.3.3-78**) combinada con una baja riqueza de apenas 4 géneros (**Tabla 3.3.3-78**), lo que inmediatamente indica un desequilibrio en la estructura comunitaria. El índice de Shannon bajo (0.551) (**Tabla 3.3.3-78**) confirma una diversidad muy reducida, mientras que el alto valor de Simpson (0.713) (**Tabla 3.3.3-78**) evidencia una marcada dominancia de una o pocas especies. La baja equitatividad (Pielou = 0.397) (**Tabla 3.3.3-78**) completa el panorama, mostrando una distribución extremadamente desigual de individuos entre las especies presentes.

Este perfil ecológico es característico de sistemas bajo, con fuerte estrés ambiental, donde las condiciones adversas han eliminado a las especies más sensibles, permitiendo que solo unas pocas especies tolerantes proliferen masivamente. Las posibles causas incluyen contaminación por nutrientes (eutrofización), presencia de sustancias tóxicas, alteraciones físicas del hábitat o condiciones hidrológicas extremas propias de la época seca. La combinación de alta abundancia con baja diversidad es particularmente indicativa de contaminación orgánica, donde los nutrientes en exceso permiten el crecimiento explosivo de especies oportunistas.

Considerando estos resultados, la calificación ecológica para esta área de la Microcuenca debe considerarse como pobre o críticamente alterada. La comunidad de perifiton muestra claros signos de perturbación severa, con pérdida de biodiversidad y dominancia de especies generalistas.

Tabla 3.3.3-78 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Paso, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
EL_PASO_CL_01	92.1	4	0.551	0.713	0.397

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del caño El Paso, indicó la presencia de cinco (5) morfoespecies, distribuidas en dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), tres (3) clases (Clitellata, Insecta y Decapoda), tres (3) órdenes (Rhynchobdellida, Diptera, Decapoda), cuatro (4) familias (Glossiphoniidae, Chironomidae, Ceratopogonidae, Palaemonidae) y tres (3) géneros identificados: *Alluaudomyia*, *Probezzia*, *Macrobrachium* y un morfotipo genérico de Chironomidae. La abundancia total registrada en la estación EL_PASO_CL_01 fue de 14 individuos/m² (**Tabla 3.3.3-79**).

Tabla 3.3.3-79 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Paso EL_PASO_CL_01	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae* Mf.	1,1	1,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.	4,4	4,4
			Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia* sp.	2,2	2,2
				Probezzia	*Probezzia* sp.	2,2	2,2
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.	4,4	4,4
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**14**	**14**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En términos de composición, destaca el predominio del orden Diptera, representado por tres (3) morfoespecies que en conjunto constituyen más del 60% del total de individuos registrados. El grupo más abundante corresponde a *Chironomidae* Mf. con 4.4 ind/m², seguido por los géneros *Alluaudomyia* y *Probezzia*, ambos pertenecientes a la familia Ceratopogonidae, con 2.2 ind/m² cada uno. Estas familias son indicadoras de condiciones mesotróficas a eutróficas y muestran tolerancia a bajos niveles de oxígeno disuelto, lo cual puede estar relacionado con el impacto de la estacionalidad sobre los parámetros fisicoquímicos del agua, propios de los cuerpos lénticos y lóticos interconectados durante la época seca (Rosenberg & Resh, 1993).

El hallazgo de *Macrobrachium* sp. (Decapoda: Palaemonidae), con una abundancia de 4.4 ind/m², sugiere un aporte desde zonas ribereñas o sistemas lénticos temporales adyacentes, dada su afinidad por hábitats con cobertura vegetal y materia orgánica acumulada, indicando también cierto grado de conectividad con cuerpos de agua más estables (Rocha de Campos, 2014). Por su parte, la presencia de *Glossiphoniidae* Mf. (sanguijuelas) aunque con baja abundancia (1.1 ind/m²), puede estar asociada a fondos blandos con disponibilidad de presas como otros invertebrados o anfibios, lo cual refuerza la importancia de la estructura del microhábitat en este sistema fluvial.

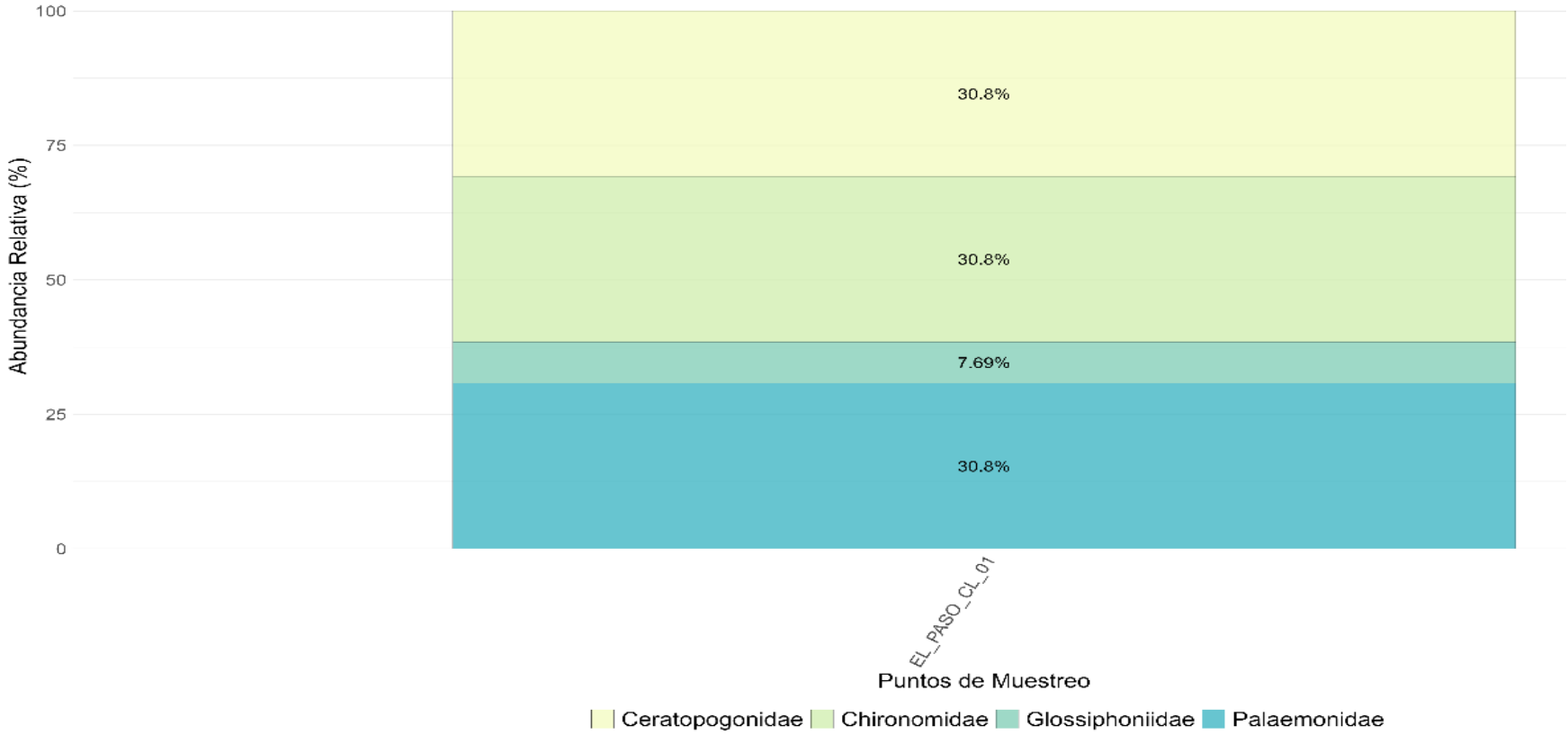


Figura 3.3.3-36 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres también se refleja en este ensamble. La coexistencia de decápodos con insectos voladores sugiere un intercambio biológico activo entre ambientes acuáticos permanentes y temporales. Estas conexiones son esenciales para mantener la resiliencia de las comunidades acuáticas, facilitando procesos de recolonización y dispersión (Junk et al., 1989).

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos de la Microcuenca del caño El Paso refleja una comunidad dominada por taxones tolerantes, con baja riqueza específica y moderada abundancia, lo cual es indicativo de un sistema en transición entre condiciones naturales y perturbadas. La época seca y la configuración del paisaje influyen notablemente sobre la estructura de estas comunidades, resaltando la importancia de conservar los corredores acuáticos y su conexión con ecosistemas terrestres y lénticos adyacentes.

Ahora bien, en términos de bioindicación el análisis del índice BMWP/Col, arrojó un valor de 19 puntos, el cual, de acuerdo con los rangos establecidos por la metodología nacional adaptada para Colombia, corresponde a una clase IV de calidad o estado crítico (**Tabla 3.3.3-80**), lo que indica la presencia de aguas muy contaminadas (Roldan G. , 2003).

Este valor refleja una comunidad dominada por morfoespecies con alta tolerancia a la contaminación orgánica, como los dípteros de la familia Chironomidae y Ceratopogonidae, que fueron los grupos con mayor representación y abundancia. La presencia de otras especies como *Macrobrachium* sp. (Decapoda: Palaemonidae) o las sanguijuelas de la familia Glossiphoniidae no logra compensar la baja ponderación bioindicadora de los taxones dominantes en términos de sensibilidad a la degradación de la calidad del agua.

Tabla 3.3.3-80 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Paso, época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01	IV	Critica	19	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En este contexto, el índice BMWP/Col proporciona una señal de alerta sobre el estado ecológico de este cuerpo de agua, sugiriendo una posible acumulación de materia orgánica, condiciones de anoxia en el sedimento o pérdida de heterogeneidad estructural del hábitat bentónico, factores que suelen estar asociados a perturbaciones antrópicas o efectos estacionales agudos en sistemas de la altillanura (Ramírez & Pringle, 1998). El valor reportado también puede estar marcado por la baja riqueza de morfoespecies detectada (n=5), lo cual limita la sensibilidad del índice ante cambios sutiles en la calidad ecológica del sistema.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para el punto de monitoreo EL_PASO_CL_01, ubicado en el caño El Paso, revela una estructura comunitaria moderadamente diversa dentro del contexto de ecosistemas lóticos en la altillanura, muestreados en época seca. En este sitio se registró una abundancia total de 14.3 individuos/m², con una riqueza de 5 morfoespecies. El índice de

Shannon-Wiener (H') alcanzó un valor de 1.499, lo que indica una diversidad intermedia a alta, sugiriendo una comunidad con cierta heterogeneidad en la distribución de los individuos entre las morfoespecies presentes. Este valor se ve reforzado por un índice de equidad de Pielou (J') de 0.931, el cual indica una distribución relativamente equitativa de los individuos entre las especies registradas, sin dominancia marcada. De igual forma, el índice de Simpson (D) fue de 0.243, valor que denota una probabilidad moderadamente baja de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, lo que complementa la percepción de diversidad y equilibrio ecológico moderado en el ensamble (**Tabla 3.3.3-81**).

Tabla 3.3.3-81 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época seca

Microcuenca	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01	14.3	5	1.499	0.243	0.931

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos resultados permiten inferir que, a pesar de encontrarse en un sistema con señales de deterioro ecológico según el índice BMWP/Col (19 puntos, calidad crítica), el ensamble de macroinvertebrados presenta una organización estructural aceptable, lo cual podría deberse a la presencia de hábitats microestructuralmente variados o zonas refugio (como vegetación sumergida o lechos de detritos) que permiten cierto grado de estabilidad biológica (Rosenberg & Resh, 1993; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014).

Finalmente, estos valores deben interpretarse con precaución, dado que los ecosistemas lóticos de la altillanura presentan una alta variabilidad espacial y estacional en la estructura biótica, y factores como el caudal base, la conectividad con sistemas lénticos y el aporte de materia orgánica desde el entorno terrestre pueden influir sustancialmente en la composición y diversidad de macroinvertebrados (Merritt & Cummins, 2008).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada seca, el análisis de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño El Paso, dentro del área de influencia Fisicobiótica del Bloque CPO-5, reveló una composición representada exclusivamente por organismos de la división Tracheophyta, lo que indica una comunidad dominada por plantas vasculares con adaptaciones a ambientes acuáticos. Dentro de esta división, todas las especies registradas pertenecen a la clase Magnoliidae, que agrupa diversas angiospermas, particularmente adaptadas a condiciones lénticas o de corriente lenta. La estructura taxonómica a nivel de orden incluye tres representantes: Commelinales, Poales y Caryophyllales. El orden Commelinales, representado por la familia Pontederiaceae, dominó ampliamente en cobertura con la especie *Pontederia* sp., alcanzando un 92,33% de cobertura absoluta y una abundancia relativa del 77,59%, reflejando una marcada dominancia estructural en la comunidad, probablemente debido a su capacidad de propagación vegetativa y rápida colonización (Cook, 1996[26]; Junk et al., 2000[27]) (**Tabla 3.3.3-82**).

[26] Cook, C. D. K. (1996). Aquatic plant book (2nd ed.). SPB Academic Publishing.
[27] Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (2000). The flood pulse concept in river-floodplain systems. In P. J. Boon, B. R. Davies, & G. E. Petts (Eds.), Global water: issues and insights (pp. 110–127). Blackwell Scientific.

El orden Poales, representado por la familia Eriocaulaceae y la especie *Tonina* sp., presentó una cobertura del 10%, con una abundancia relativa de 8,40%. Aunque en menor proporción, su presencia indica una adaptación a microambientes más específicos, áreas con mayor oxigenación o menor profundidad. Finalmente, el orden Caryophyllales, con la familia Polygonaceae, estuvo representado por una morfoespecie no determinada (Polygonaceae Mf.), con una cobertura del 16,67% y una abundancia relativa del 14,01%, lo cual sugiere un rol ecológico secundario pero constante dentro del ensamblaje (**Tabla 3.3.3-82**). En conjunto, se registraron tres morfoespecies en este punto y en toda la Microcuenca evaluada, lo que señala una baja riqueza específica, característica común en algunos ecosistemas acuáticos sujetos a dinámicas hidrológicas intensas durante la temporada seca (Bini et al., 1999[28]).

Tabla 3.3.3-82 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Paso	
				Punto De Meustreo	El_Paso_Cl_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Commelinales	Pontederiaceae	*Pontederia* sp.	92,33	77,59
		Poales	Eriocaulaceae	*Tonina* sp.	10	8,40
		Caryophyllales	Polygonaceae	Polygonaceae Mf.	16,67	14,01
Cobertura Total general					**119**	**100**
Morfoespecies por Punto					**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**3**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estructura observada, con una alta dominancia de *Pontederia* sp. y la presencia limitada de otras especies, se relaciona con factores ambientales como la profundidad del agua, la carga de nutrientes, y la velocidad del flujo, que influyen fuertemente en la composición de comunidades de macrófitas (Chambers et al., 2008[10]). Este patrón sugiere una comunidad en estado relativamente estable o en etapa temprana de sucesión, dominada por especies pioneras y con alta tolerancia a fluctuaciones ambientales.

- Diversidad Alfa

En la Microcuenca del caño El Paso, durante la temporada seca, se registró una comunidad de macrófitas acuáticas con una abundancia total de 119 individuos, una riqueza específica de 3 especies y un índice de diversidad de Shannon de 0.721. Este valor sugiere una diversidad baja, ya que según (Magurran 2004), valores cercanos a 1 indican comunidades dominadas por pocas especies con desigual distribución. El índice de Simpson fue de 0.597, lo cual también respalda la existencia de dominancia por parte de una o pocas especies, dado que este índice disminuye cuando aumenta la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (Moreno, 2001). La equitatividad de Pielou fue de 0.656, lo que indica una distribución moderadamente equitativa de los individuos entre las especies presentes, aunque no

[28] Bini, L. M., Thomaz, S. M., & Murphy, K. J. (1999). Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu Reservoir, Brazil. Hydrobiologia, 415, 147–154. https://doi.org/10.1023/A:1003838109986

óptima (Pielou, 1966[8]) (**Tabla 3.3.3-83**). Estos resultados reflejan un ecosistema donde una especie podría estar ejerciendo presión dominante sobre las demás, situación común en ambientes alterados o sometidos a estrés ambiental, como puede ocurrir en temporadas secas (Esteves, 2011[4]).

Tabla 3.3.3-83 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
EL_PASO_CL_01	119	3	0.721	0.597	0.656

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

➢ *Época lluvias*

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en el sistema lótico de la Microcuenca Caño El Paso, monitoreado durante la época lluviosa en la altillanura en la estación EL_PASO_CL_01, presenta una comunidad con una abundancia total de 19.8 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-84**), distribuida en cuatro géneros *Gomphonema* (2.8 ind/cm² y una representatividad del 14.14%), *Ulnaria* (11.3 ind/cm² y 57.07%), *Nitzschia* (4.3 ind/cm² y 21.71%) y *Desmodesmus* (1.4 ind/cm² y 7.07%) (**Tabla 3.3.3-84**)(**Figura 3.3.3-37**). La estructura está dominada por diatomeas (Heterokontophyta), que representan el 92.4% de la abundancia total, con *Ulnaria* como género más abundante, seguido de *Nitzschia* (**Tabla 3.3.3-84**). La presencia de *Desmodesmus* (Chlorophyta) en bajas densidades sugiere un aporte limitado de nutrientes desde sistemas terrestres o lénticos adyacentes.

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad refleja condiciones particulares, *Ulnaria* es característica de aguas bien oxigenadas con moderado flujo, mientras que *Nitzschia* puede indicar cierto grado de eutrofización o contaminación orgánica (Bellinger & Sigee, 2015). La baja abundancia de *Gomphonema*, típico de aguas limpias, y la presencia residual de *Desmodesmus*, que está asociado a enriquecimiento nutritivo, lo que sugiere un ambiente con presiones puntuales, posiblemente por escorrentía durante las lluvias. La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la dinámica de nutrientes que favorecen a *Nitzschia*, mientras que la dominancia de diatomeas indica que el sistema mantiene características lóticas bien definidas, con baja influencia léntica (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

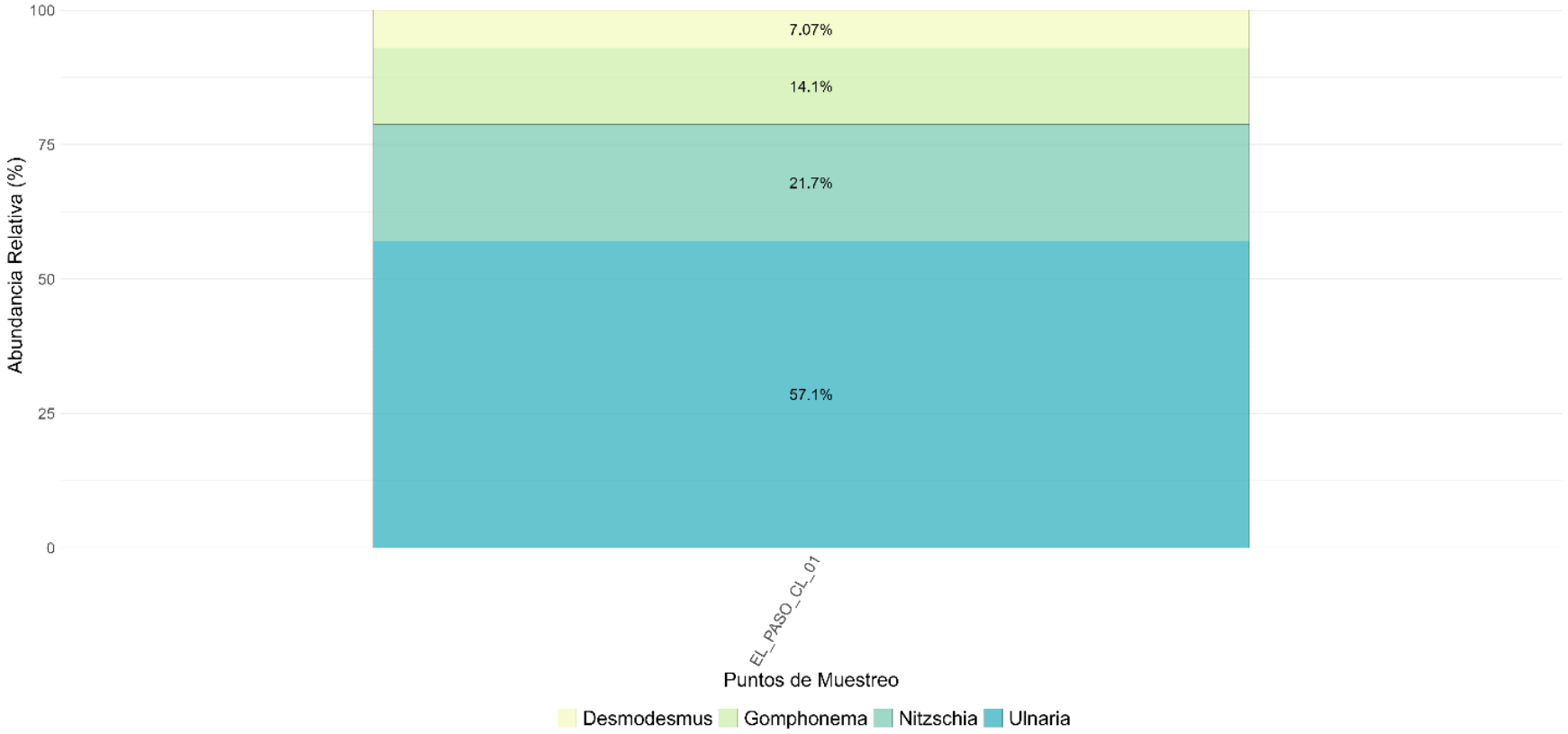


Figura 3.3.3-37 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La riqueza de morfoespecies con 4 géneros es menor y comparada con otras Microcuencas de la altillanura, lo que podría reflejar condiciones ambientales más restrictivas o menor conectividad ecológica. La calificación ecológica de la Microcuenca Caño El Paso es moderada, con un equilibrio frágil, aunque predominan bioindicadores de calidad aceptable como con el género *Ulnaria*, la presencia de *Nitzschia* y *Desmodesmus* señala perturbaciones potenciales.

Tabla 3.3.3-84 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Paso, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Paso	Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					EL_PASO_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	2,8	2,8
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	11,3	11,3
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	4,3	4,3
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*	1,4	1,4
Gran Total					19,8	19,8

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad para la comunidad de perifiton en la estación EL_PASO_CL_01 de la Microcuenca Caño El Paso revelan características ecológicas significativas. Con una abundancia total de 19.8 ind/cm² y una riqueza de 4 morfoespecies (**Tabla 3.3.3-85**), la comunidad muestra una diversidad relativamente baja en comparación con otros sistemas acuáticos. Sin embargo, los índices de diversidad proporcionan información valiosa sobre la estructura de la comunidad. El valor del índice de Shannon (H' = 1.116) indica una diversidad moderada-baja (**Tabla 3.3.3-85**), lo que sugiere que, aunque existen varias especies presentes, su distribución no es completamente equilibrada. Este resultado se complementa con el índice de Simpson (D = 0.398) (**Tabla 3.3.3-85**), que refleja una dominancia intermedia, donde algunas especies como *Ulnaria*, que representa el 57% de la abundancia total, tienen una presencia más marcada que otras. Por otro lado, el índice de Pielou (J' = 0.805) (**Tabla 3.3.3-85**) señala una uniformidad aceptable, indicando que, a pesar de la dominancia de *Ulnaria*, las demás especies (*Gomphonema*, *Nitzschia* y *Desmodesmus*) mantienen una presencia significativa en el ensamble.

En conjunto, estos resultados sugieren que la Microcuenca Caño El Paso presenta una calificación ecológica moderada. La presencia de diatomeas como *Ulnaria* y *Gomphonema* apunta a condiciones de agua relativamente limpias y bien oxigenadas, mientras que la aparición de *Nitzschia* y *Desmodesmus* podría indicar cierta influencia de nutrientes, posiblemente derivados de escorrentías durante la época lluviosa. La diversidad moderada-baja y la estructura de la comunidad reflejan un sistema con cierta resiliencia, pero vulnerable a cambios ambientales, especialmente ante incrementos en la carga de nutrientes. Es importante mencionar que este resultado no caracteriza una Microcuenca ya que se esta es dando la característica de ese punto.

Tabla 3.3.3-85 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Paso, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
EL_PASO_CL_01	19.8	4	1.116	0.398	0.805

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Caño El Paso, ubicado en la altillanura colombiana y monitoreado durante la época de lluvias, fue evaluado en la estación EL_PASO_CL_01. La comunidad registrada presentó una abundancia total de 17 ind/m², distribuida en tres (3) morfoespecies pertenecientes exclusivamente al phylum Arthropoda, clase Insecta, con representantes de los órdenes Diptera (familias Chironomidae y Ceratopogonidae) y Hemiptera (familia Corixidae). Los géneros identificados fueron *Probezzia* (Ceratopogonidae) y *Centrocorisa* (Corixidae), además de los quironómidos no identificados a nivel de género (**Tabla 3.3.3-86**).

Tabla 3.3.3-86 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Paso	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						EL_PASO_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	11,1	11,1
			Ceratopogonidae	Probezzia	*Probezzia* sp.	3,3	3,3
		Hemiptera	Corixidae	Centrocorisa	*Centrocorisa* sp.	2,2	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**17**	**17**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad estuvo dominada por *Chironomidae Mf.* (11.1 ind/m²), que representó el 65.3% de la abundancia total, seguido por *Probezzia sp*. (3.3 ind/m², 19.4%) y *Centrocorisa sp.* (2.2 ind/m², 12.9%). Esta composición taxonómica relativamente simple sugiere condiciones ambientales subóptimas para el desarrollo de una comunidad bentónica diversificada (Roldán & Ramírez, 2008).

Desde la perspectiva de la bioindicación, la marcada dominancia de quironómidos (organismos generalmente tolerantes a condiciones adversas) combinada con la presencia de corídidos (*Centrocorisa sp.)* - considerados moderadamente sensibles - y ceratopogónidos (*Probezzia sp*.) - de tolerancia intermedia -, sugiere un ambiente con cierto grado de perturbación pero que aún mantiene condiciones para el desarrollo de organismos con diferentes requerimientos ecológicos (Domínguez & Fernández, 2009). La ausencia de grupos más sensibles como efemerópteros, tricópteros o plecópteros es particularmente notable y podría indicar una contaminación orgánica moderada, la alteración física del hábitat, y/o condiciones naturales extremas del sistema.

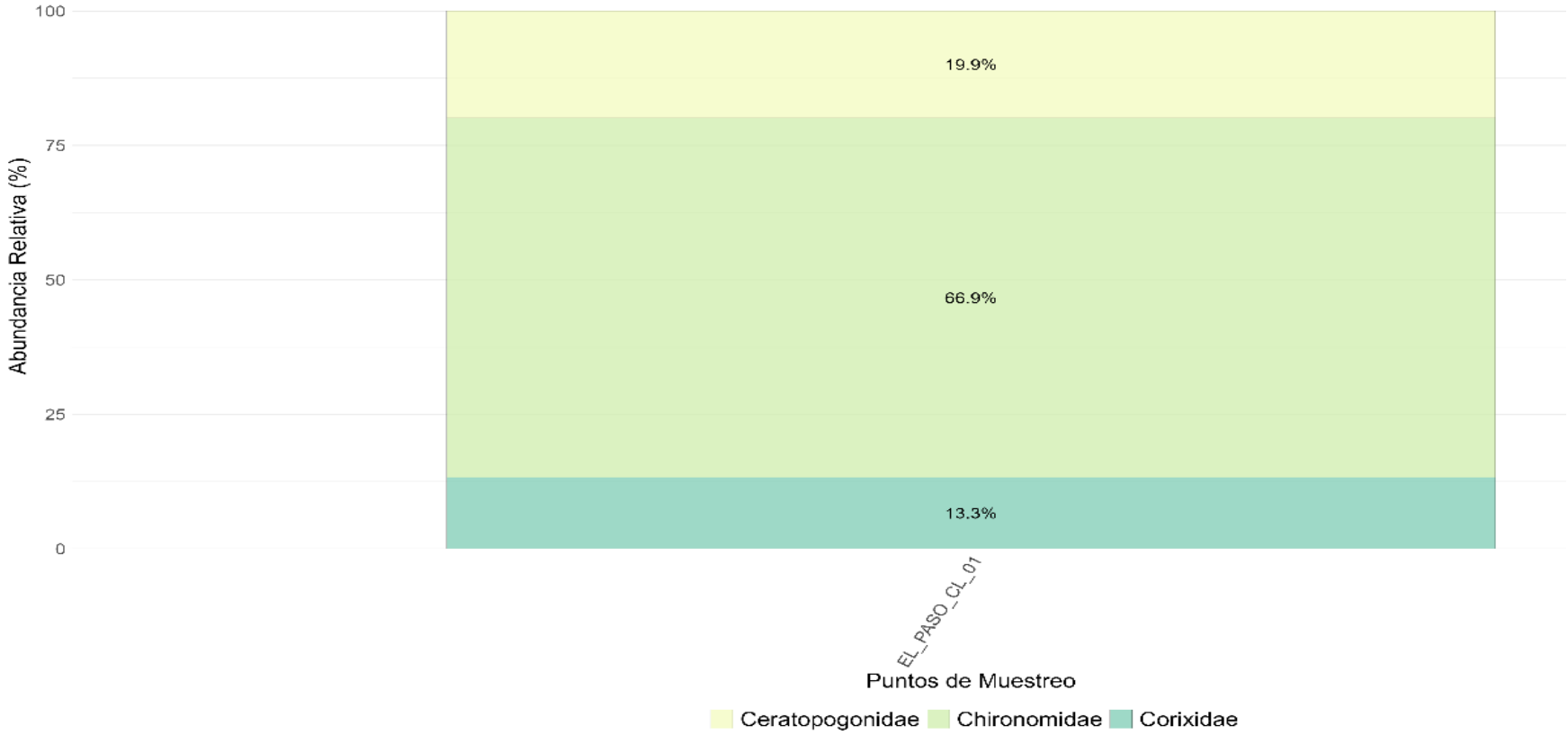


Figura 3.3.3-38 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de las interacciones ecológicas en este sistema revela conexiones interesantes entre los componentes lóticos, lénticos y terrestres. Los hemípteros coríxidos (*Centrocorisa sp.*) representan un importante vínculo entre la columna de agua y la superficie, siendo depredadores activos que contribuyen al control de poblaciones de otros invertebrados (Merritt & Cummins, 2008). Los ceratopogónidos (*Probezzia sp.*), cuyos adultos son voladores, constituyen un puente ecológico entre los sistemas acuáticos y terrestres. La ausencia de organismos típicamente asociados a sedimentos (como oligoquetos) o a vegetación acuática sumergida sugiere limitada complejidad estructural del hábitat.

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del Caño El Paso en la estación EL_PASO_CL_01 muestra una comunidad acuática con diversidad reducida pero con presencia de organismos de diferente sensibilidad ambiental. La dominancia de quironómidos indica cierto grado de perturbación, mientras que la presencia de coríxidos y ceratopogónidos sugiere que el sistema mantiene condiciones suficientes para sostener una red trófica básica.

El índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) aplicado a la estación EL_PASO_CL_01 del Caño El Paso arrojó un valor de 12 puntos, lo que clasifica este cuerpo de agua en la Clase V (Muy crítica) (**Tabla 3.3.3-87**). Este resultado confirma condiciones ambientales severamente alteradas en este sistema lótico de la altillanura colombiana (Roldán & Ramírez, 2008).

La puntuación obtenida (12) se deriva principalmente de la presencia de *Centrocorisa* sp. (Hemiptera: Corixidae), que como hemíptero acuático aporta una puntuación intermedia al índice. Sin embargo, la dominancia de *Chironomidae* Mf. (65.3% de la comunidad) y la presencia de *Probezzia* sp. (Diptera: Ceratopogonidae), ambos grupos con baja puntuación en el BMWP/Col, limitan significativamente el valor final del índice (Domínguez & Fernández, 2009). Esta combinación de taxones refleja un ambiente acuático con fuertes presiones ambientales, donde solo organismos con diferente grado de tolerancia logran persistir.

Tabla 3.3.3-87 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Paso, época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01	V	Muy crítica	12	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La ausencia total de grupos sensibles como tricópteros, efemerópteros o plecópteros - que normalmente aportarían puntajes altos al BMWP/Col - explica la clasificación en la categoría más crítica. El valor de 12 puntos se sitúa en el extremo inferior del rango para la Clase V (6-20 puntos según la adaptación colombiana del índice), indicando que, aunque existen algunos organismos relativamente sensibles (como los coríxidos), su presencia no es suficiente para compensar la dominancia de grupos tolerantes (Buss et al., 2015). Igualmente debido a la baja riqueza obtenida, este resultado no es del todo concluyente debido a que este valora teniendo en cuenta las familias encontradas.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la comunidad bentónica del Caño El Paso en la estación EL_PASO_CL_01 presentan valores aparentemente contradictorios que requieren una interpretación cuidadosa. La comunidad, compuesta por tres (3) morfoespecies con una abundancia total de 16.6 ind/m², muestra un índice de Shannon (H'=1.49) que indica una diversidad moderadamente baja, típica de sistemas alterados pero no críticamente empobrecidos (Magurran, 2004). Este valor relativamente favorable contrasta con los resultados del BMWP/Col que clasificaron el sitio como "Muy crítico".

El índice de Simpson (D=0.244) revela una dominancia baja, lo que sugiere una distribución relativamente equilibrada entre las tres especies presentes. Este valor inesperadamente bajo de dominancia (donde 0 representa máxima diversidad y 1 máxima dominancia) podría explicarse por la proporción específica de abundancias: 11.1 (66.9%), 3.3 (19.9%) y 2.2 (13.2%) ind/m² respectivamente, que aunque desigual, no llega a ser extrema (Domínguez & Fernández, 2009).

Tabla 3.3.3-88 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Paso, época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01	16.6	3	1.49	0.244	1.356

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El índice de Pielou (J'=1.356) presenta un valor teóricamente imposible (superior a 1), este artefacto matemático surge porque el índice de Shannon observado (1.49) supera al Shannon máximo teórico para tres (3) morfoespecies (ln(3)≈1.099), situación ecológicamente imposible que revela limitaciones en la aplicación de estos índices a comunidades extremadamente pobres (Roldán & Ramírez, 2008).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

La composición y estructura de la comunidad de macrófitas acuáticas en el punto de muestreo EL_PASO_CL_01 del caño El Paso, durante la temporada de lluvia, refleja una comunidad simplificada pero con un claro patrón de dominancia. Se identificaron tres morfoespecies pertenecientes a la división Tracheophyta, todas clasificadas dentro de la clase Magnoliidae, lo que indica un dominio de angiospermas, grupo ampliamente adaptado a diversos hábitats acuáticos por su diversidad morfológica y fisiológica (Mitsch & Gosselink, 2015[29]). A nivel de orden, se observó representación de Myrtales y Commelinales, destacándose este último por una morfoespecie de crecimiento rápido y estrategias colonizadoras efectivas en ambientes de aguas lóticas y someras (**Tabla 3.3.3-89**).

Dentro del orden Myrtales, se registraron dos especies de diferentes familias: *Ludwigia* sp. (Onagraceae), con un 24,33 % de cobertura, y *Cuphea* sp. (Lythraceae), con 8,33 %. Ambas

[29] Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). Wetlands (5th ed.). John Wiley & Sons.

familias comprenden géneros con especies helófitas, anfibias o palustres, capaces de persistir en márgenes inundables y de responder eficientemente a la variabilidad hídrica de la temporada seca (Esteves, 2011[4]). Sin embargo, la estructura de la comunidad está claramente dominada por *Pontederia* sp. (Pontederiaceae), perteneciente al orden Commelinales, que alcanzó un 71,66 % de cobertura y una abundancia relativa del 68,69 % (**Tabla 3.3.3-89**). Esta especie, comúnmente flotante o emergente, es característica de ambientes con nutrientes moderados a altos y destaca por su rápida propagación vegetativa, lo cual le otorga una ventaja competitiva frente a otras macrófitas menos agresivas (Villamagna & Murphy, 2010[30]).

Tabla 3.3.3-89 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Paso	
				Punto De Meustreo	El_Paso_Cl_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia* sp.	24,33	23,32
			Lythraceae	*Cuphea* sp.	8,33	7,99
		Commelinales	Pontederiaceae	*Pontederia* sp.	71,66	68,69
Cobertura Total general					**104,32**	**100**
Morfoespecies por Punto					**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**3**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis por categorías taxonómicas revela que, aunque el número de morfoespecies es reducido (tres por punto y por Microcuenca), existe un claro dominio funcional y estructural por parte de especies flotantes o emergentes, particularmente *Pontederia* sp., que condiciona aspectos clave del ecosistema como la disponibilidad de luz, oxígeno disuelto y hábitats para otras especies acuáticas. A nivel de familia, Pontederiaceae representa más de dos tercios de la cobertura total, reflejando una baja equitatividad pero una alta dominancia estructural. Este patrón podría estar influenciado por las condiciones propias de la estación de lluvia, que favorecen especies con mayor capacidad de resistencia al estrés hídrico y competitividad por el espacio (Junk et al., 2013[18]).

En suma, la comunidad de macrófitas del caño El Paso se caracteriza por una baja diversidad específica pero una alta dominancia, con una estructura marcada por especies oportunistas y de rápido crecimiento, lo que es indicativo de condiciones ambientales eutróficas o perturbadas.

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvia, la comunidad de macrófitas acuáticas en el punto EL_PASO_CL_01 del caño El Paso presentó una riqueza específica baja, con solo tres especies registradas, y una abundancia relativa de 104.32 individuos. El índice de diversidad de Shannon fue de 0.79, lo que indica una diversidad baja, común en sistemas acuáticos sujetos a estrés ambiental o alteraciones antrópicas (Magurran, 2004). El índice de Simpson (0.538) sugiere una dominancia intermedia de

[30] Villamagna, A. M., & Murphy, B. R. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (Eichhornia crassipes): a review. Freshwater Biology, 55(2), 282–298. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x

ciertas especies, mientras que el índice de equitatividad de Pielou (0.719) refleja una distribución relativamente equitativa entre las especies presentes, a pesar de la baja riqueza. Estos valores pueden estar relacionados con factores como la estacionalidad hidrológica, la calidad del agua y la presión antrópica, que influyen directamente en la estructura y composición de las comunidades de macrófitas (Esteves, 2011[4]; Thomaz & Cunha, 2010[19]) (**Tabla 3.3.3-90**). La baja diversidad observada puede ser indicativa de un ecosistema en proceso de deterioro o con condiciones ambientales limitantes para la proliferación de una comunidad más compleja.

Tabla 3.3.3-90 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Paso, época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
EL_PASO_CL_01	104.32	3	0.79	0.538	0.719

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

Durante el análisis comparativo de las macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño El Paso entre la época seca y la época de lluvia, se observa una variación significativa tanto en la composición florística como en la dominancia relativa de las especies. En ambas épocas se registraron tres morfoespecies por punto y por Microcuenca, sin embargo, la identidad taxonómica de estas especies difiere en gran parte. En la época seca, la especie dominante fue *Pontederia* sp. (Pontederiaceae), con una cobertura del 92,33% y una abundancia relativa del 77,59%, mientras que en la época de lluvia esta misma especie continúa siendo dominante, pero con una cobertura reducida al 71,66% y una abundancia relativa del 68,69%. Esto sugiere que, aunque *Pontederia* sp. mantiene su presencia como especie clave, su dominio disminuye en la temporada de mayor precipitación, posiblemente debido al aumento del caudal y cambios en la dinámica hidrológica (Cronk & Fennessy, 2001[2]; Junk et al., 2011[3]). Por otro lado, en época seca aparecen *Tonina* sp. (Eriocaulaceae) y una morfoespecie de Polygonaceae, mientras que en época de lluvia emergen *Ludwigia* sp. (Onagraceae) y *Cuphea* sp. (Lythraceae), reflejando un reemplazo de especies adaptadas a distintas condiciones hidrológicas y de nutrientes. Esta rotación estacional de macrófitas está bien documentada en sistemas lóticos tropicales, donde las fluctuaciones en el nivel del agua influyen directamente en la colonización y el desarrollo de estas comunidades (Esteves, 2011[4]; Henry-Silva & Camargo, 2006[31]). Además, la cobertura total general también disminuye de 119% en época seca a 104,32% en época de lluvia, lo que puede relacionarse con una dispersión de biomasa o con la submersión temporal de especies emergentes. En conjunto, los resultados indican una respuesta estructural y funcional de las macrófitas a las condiciones hidrológicas propias de cada estación, lo cual refuerza su valor como indicadores ecológicos en ecosistemas acuáticos tropicales.

[31] Henry-Silva, G. G., & Camargo, A. F. M. (2006). Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas em ambiente lótico tropical. Revista Brasileira de Biologia, 66(4), 883–894.

3.3.3.2.7 Microcuenca caño El Totumal

La Microcuenca del caño El Totumal, ubicada en el departamento del Meta, forma parte de la extensa llanura inundable de la Orinoquia, caracterizada por su alta biodiversidad y funciones ecológicas esenciales, como la regulación hídrica y el almacenamiento de carbono (Romero-Ruiz et al., 2004). Este ecosistema presenta una dinámica hidrológica influenciada por los ciclos de inundación estacional, los cuales determinan la composición vegetal y las prácticas productivas locales. En la Microcuenca del caño El Totumal, los suelos son predominantemente hidromórficos y su cobertura vegetal está conformada por sabanas naturales, morichales y bosques riparios, que cumplen un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y en la conectividad ecológica de la región (Lasso et al., 2010[32]). Sin embargo, este ecosistema enfrenta presiones por el avance de la frontera agropecuaria y los cambios en el uso del suelo, que amenazan su funcionalidad ecológica y la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que brinda.

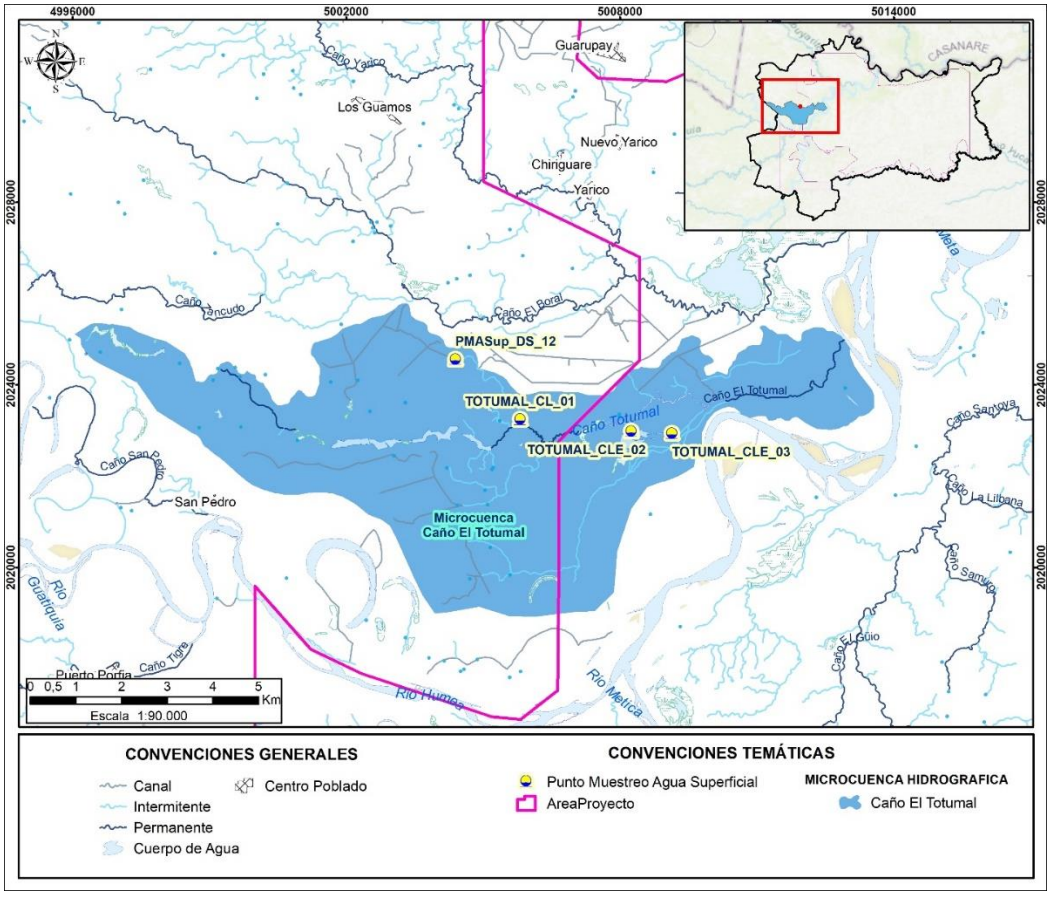


Figura 3.3.3-39 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca caño El Totumal

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

[32] Lasso, C. A., Usma, J. S., Trujillo, F., & Rial, A. (Eds.). (2010). Biodiversidad de la Microcuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño El Totumal, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad fitoplanctónica en las estaciones TOTUMAL_CLE_03 y TOTUMAL_CLE_02 de la Microcuenca del Caño El Totumal (ambas en llanura inundable durante época seca) revela diferencias significativas en abundancia y composición entre los puntos muestreados. La estación TOTUMAL_CLE_02 presentó una abundancia notablemente mayor (0.756 ind/mL) con 11 géneros por el contrario TOTUMAL_CLE_03 (0.024 ind/mL), con una riqueza de tres géneros (**Tabla 3.3.3-91**).

La composición en TOTUMAL_CLE_02 estuvo dominada por euglenofitas, particularmente *Trachelomonas* (0.56 ind/mL) y una abundancia relativa del (74.1%) y *Lepocinclis* (0.068 ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (8,99%) (**Tabla 3.3.3-91**) (**Figura 3.3.3-40**), acompañadas de diatomeas como *Pinnularia* (0.008 ind/mL) y el alga verde *Pandorina* (0.008 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-91**). En contraste, TOTUMAL_CLE_03 mostró una comunidad más simple, con presencia de *Euglena* (0.012 ind/mL) y una porcentaje de abundancia de (50,0%) y *Trachelomonas* (0.006 ind/mL) con un porcentaje de abundancia del (25%) como principales representantes, junto con la diatomea *Pinnularia* con un porcentaje de abundancia del (25%) y una abundancia de (0.006 ind/mL) (**Figura 3.3.3-40**) (**Tabla 3.3.3-91**). Está marcada diferencia sugiere condiciones microambientales contrastantes, la dominancia de *Trachelomonas* en TOTUMAL_CLE_02 indica aguas ricas en materia orgánica con posible estratificación, características de microhabitats eutróficos (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008), mientras que la baja diversidad en TOTUMAL_CLE_03 podría reflejar limitaciones por turbidez o disponibilidad de nutrientes. La presencia de *Pinnularia* en ambas estaciones de (0.006-0.008 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-91**) señala su adaptación a condiciones variables, siendo esta diatomea pennada un indicador de aguas oligo-mesotróficas (Round et al., 1990). La aparición exclusiva de *Cosmarium* (0.012 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-91**) en TOTUMAL_CLE_02 sugiere microambientes con mayor influencia terrestre, posiblemente por aportes locales de materia orgánica. La ausencia de conexión con sistemas lóticos se evidencia en la falta de diatomeas típicamente reófilas (*Aulacoseira*, *Navicula*), mientras que la limitada presencia de clorofitas (*Pandorina*) indica escasa influencia de aguas lénticas adyacentes.

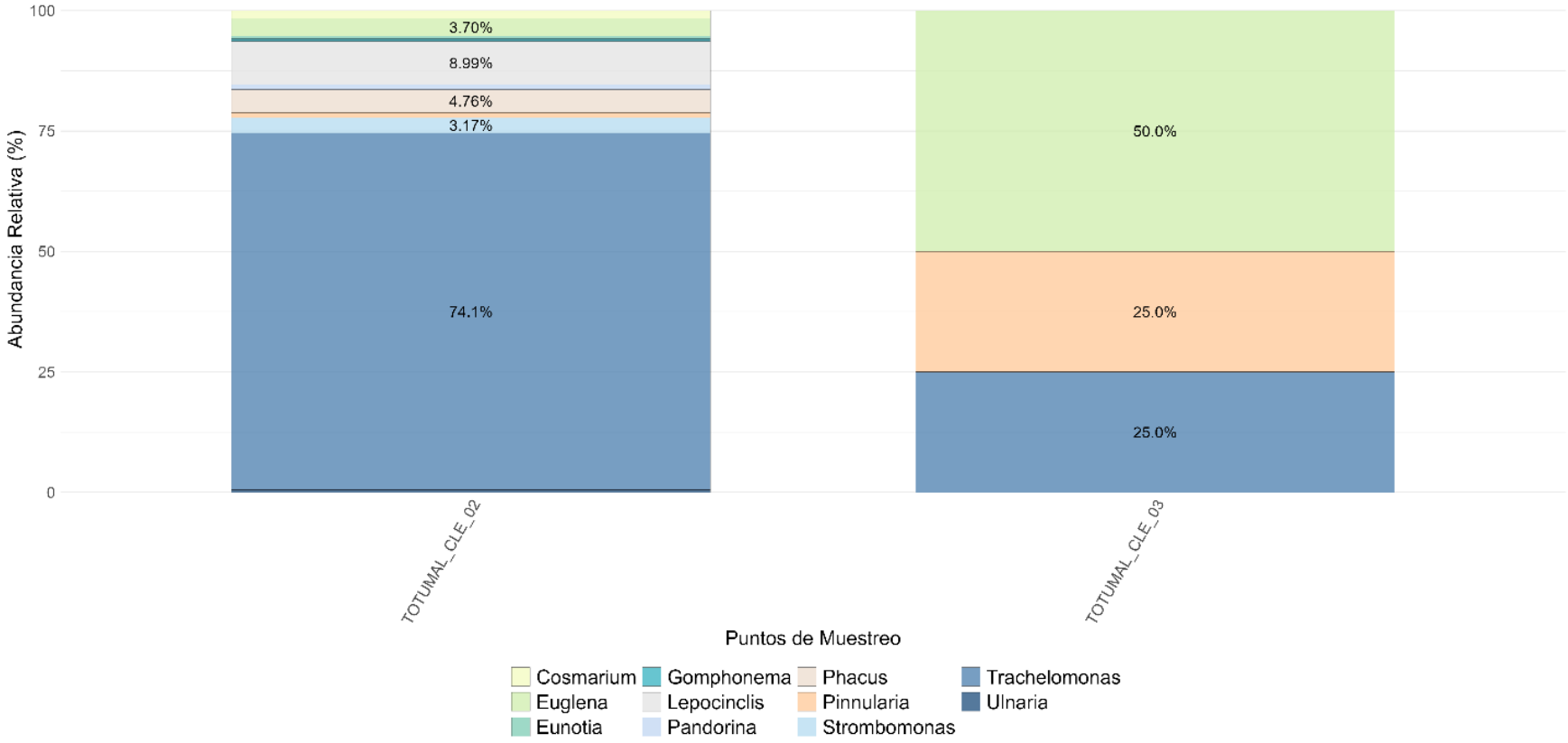


Figura 3.3.3-40 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamblaje fitoplanctónico de la Microcuenca Caño El Totumal durante la época seca muestra una heterogeneidad espacial pronunciada en la llanura inundable, con microhabitats que van desde condiciones eutróficas con la presencia del género *Trachelomonas* la que fue dominante hasta ambientes más restrictivos. Esta variabilidad podría explicarse por diferencias en profundidad, cobertura vegetal o aportes orgánicos locales. La interacción de taxones indicadores de condiciones tróficas contrastantes con géneros como *Trachelomonas* con *Pinnularia* resalta la complejidad de estos sistemas. Los análisis sugieren que, incluso en época seca, las llanuras inundables mantienen parches de productividad fitoplanctónica discontinua, con implicaciones para la gestión conservación de estos ecosistemas.

Tabla 3.3.3-91 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					TOTUMAL_CLE_03	TOTUMAL_CLE_02	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,006	0,56	0,566
				Euglena	0,012	0,028	0,04
				Strombomonas		0,024	0,024
			Phacaceae	*Lepocinclis*		0,068	0,068
				Phacus		0,036	0,036
Chlorophyta	Chlorophyceae	Volvocales	Volvocaceae	*Pandorina*		0,008	0,008
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,006	0,008	0,014
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*		0,004	0,004
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		0,004	0,004
		Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		0,004	0,004
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		0,012	0,012
Gran Total					**0,024**	**0,756**	**0,78**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de la diversidad de los puntos TOTUMAL_CLE_02 y TOTUMAL_CLE_03 muestran una marcada diferencia en las características ecológicas de la comunidad fitoplanctónica. En TOTUMAL_CLE_02 se registra una abundancia relativamente alta (0.756 Ind/mL)) acompañada de una riqueza considerable 11 géneros, lo que sugiere condiciones favorables para el desarrollo del fitoplancton. Sin embargo, el índice de Shannon (1.223) resulta moderadamente bajo para el número de especies presentes, situación que se ve reforzada por el valor de Simpson (0.503), indicando una dominancia significativa de ciertas especies. Este patrón se confirma con el índice de Pielou (0.51) (**Tabla 3.3.3-92**), que revela una distribución desigual entre los taxones, característica típica de ambientes con posibles perturbaciones o desequilibrios en los factores limitantes.

En contraste, TOTUMAL_CLE_03 presenta valores notablemente diferente una abundancia muy baja (0.024 Ind/mL) junto con una riqueza mínima de tres morfoespecies. A pesar de esto, el índice de Pielou (0.947) muestra una equitatividad casi perfecta entre las pocas especies presentes, mientras que el valor de Simpson (0.375) sugiere menor dominancia que en el punto anterior. El índice de Shannon (1.04) (**Tabla 3.3.3-92**), aunque bajo, resulta apropiado para la escasa riqueza observada.

La evaluación conjunta de ambos puntos revela una Microcuenca con dinámica ecológica contrastante. Mientras TOTUMAL_CLE_02 sugiere condiciones de posible eutrofización, TOTUMAL_CLE_03 podría representar un área oligotrófica o con limitaciones específicas. Esta heterogeneidad impide asignar una calificación ecológica uniforme a toda la Microcuenca, destacando más bien la coexistencia de microambientes con características opuestas. La situación podría considerarse de regular, dependiendo de la extensión relativa que ocupen cada uno de estos ambientes en el sistema acuático.

Tabla 3.3.3-92 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
TOTUMAL_CLE_02	0.756	11	1.223	0.503	0.51
TOTUMAL_CLE_03	0.024	3	1.04	0.375	0.947

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad zooplanctónica en las estaciones TOTUMAL_CLE_03 y TOTUMAL_CLE_02 de la Microcuenca del Caño El Totumal, ambas en llanura inundable durante época seca revelan una estructura comunitaria extremadamente limitada, caracterizada por una baja abundancia total (0.0046 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-93**) y mínima diversidad solo con dos taxones registrados. La estación TOTUMAL_CLE_03 presentó exclusivamente al rotífero bentónico *Monostyla* (0.0031 ind/mL)y un porcentaje de abundancia del (100%) (**Tabla 3.3.3-93**) (**Figura 3.3.3-41**), mientras que TOTUMAL_CLE_02 albergó únicamente al rotífero planctónico *Polyarthra* (0.0015 ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (100%)(**Tabla 3.3.3-93**) (**Figura 3.3.3-41**). Está marcada segregación espacial en la composición específica, a pesar de tratarse de ambientes similares (llanura inundable en sequía), sugiere la existencia de micro heterogeneidades ambientales que determinan la distribución de estos organismos. La presencia de *Monostyla*, género típicamente asociado a sustratos vegetales y ambientes someros (Segers, 2008), indica condiciones locales con mayor desarrollo de vegetación acuática o acumulación de detritos orgánicos en TOTUMAL_CLE_03. Por el contrario, la ocurrencia de *Polyarthra* en TOTUMAL_CLE_02, rotífero característico de la columna de agua (Wallace R. L. et al., 2016), podría reflejar una mayor profundidad o menor cobertura vegetal en este punto. La ausencia total de microcrustáceos (copépodos, cladóceros) y otros rotíferos comunes en ambos sitios evidencia condiciones restrictivas que limitan el desarrollo zooplanctónico, posiblemente relacionadas con la escasez de recursos alimenticios como el fitoplancton o bacterioplancton, el estrés hídrico pronunciado por la sequía y/o las condiciones químicas adversas como bajos niveles de oxígeno o alta conductividad. La interacción con sistemas terrestres parece mínima, evidenciada por la ausencia de taxones típicos de ecotonos agua tierra por ejemplo como los ostrácodos, mientras que la falta de especies adaptados a corrientes de agua confirma el aislamiento del sistema durante la época seca. La poca abundancia registrada menor a (0.005 ind/mL) en ambas estaciones otorga la caracteriza a este sistema entre los lénticos tropicales con menor densidad zooplanctónica reportada, comparable sólo con ambientes extremos como charcas temporales hipertróficas (Dumont, 1994).

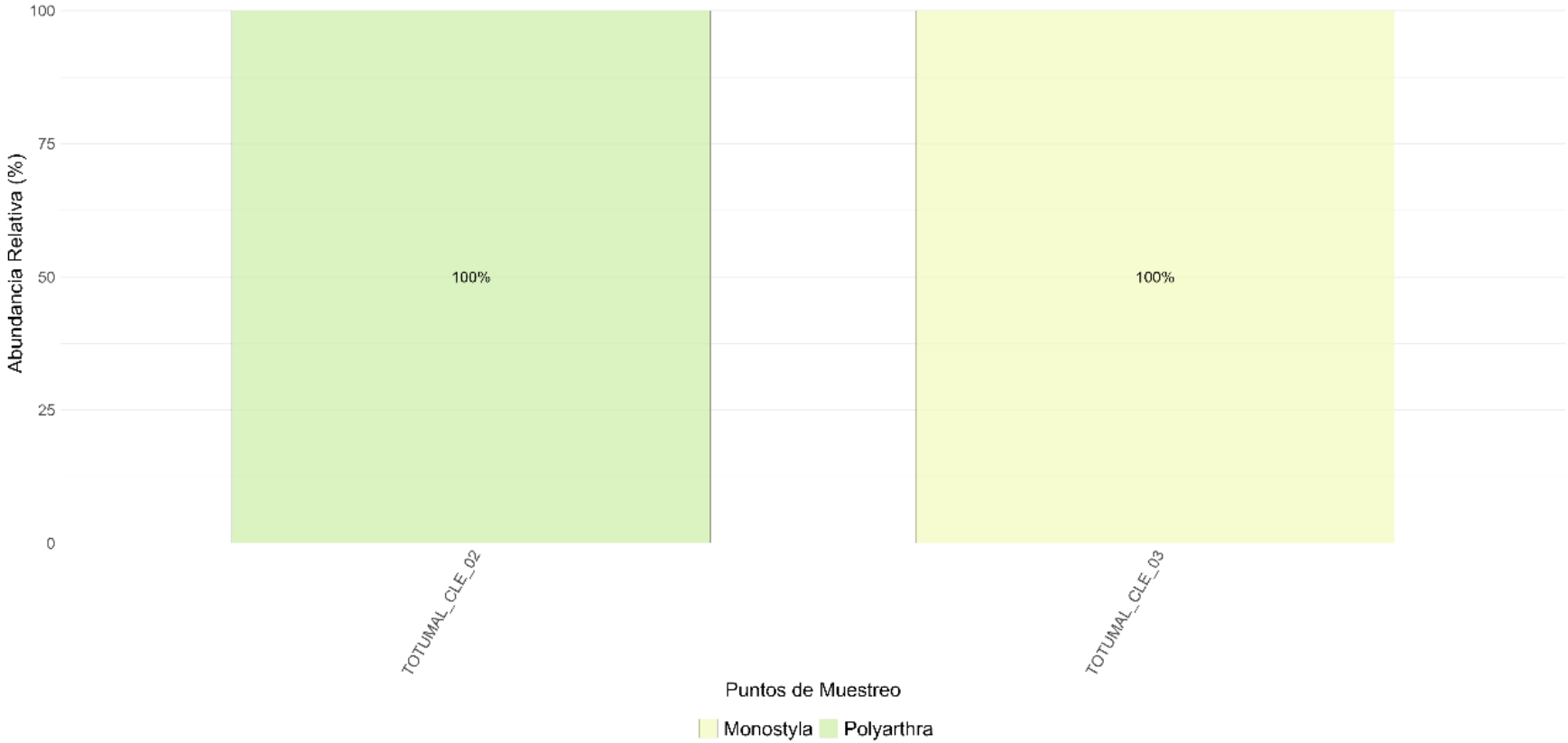


Figura 3.3.3-41 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, la comunidad zooplanctónica de la Microcuenca Caño El Totumal durante la época seca representa un ensamblaje muy pobre, donde factores locales como la disponibilidad de hábitat y recursos tróficos determinan la presencia de taxones específicos con requerimientos ecológicos contrastantes (*Monostyla* bentónico versus *Polyarthra* planctónico). La ausencia de conectividad biológica evidente entre ambas estaciones, a pesar de su proximidad geográfica, resalta la importancia de la heterogeneidad microambiental en estos sistemas. Estos hallazgos sugieren que el zooplancton en llanuras inundables durante sequía opera al límite de sus umbrales de tolerancia, siendo particularmente sensible a alteraciones en el régimen hidrológico o calidad del agua.

Tabla 3.3.3-93 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					TOTUMAL_CLE_03	TOTUMAL_CLE_02	
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Lecanidae	*Monostyla*	0,0031		0,0031
			Synchaetidae	*Polyarthra*		0,0015	0,0015
Gran Total					**0,0031**	**0,0015**	**0,0046**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en las estaciones PMASup_DS_12 y TOTUMAL_CL_01 de la Microcuenca del Caño El Totumal (ambas en llanura inundable durante época seca) revela una comunidad estructurada con diferencias significativas entre estaciones. La estación PMASup_DS_12 presentó mayor abundancia total (47.3 ind/cm^2) y una riqueza de nueve géneros (**Tabla 3.3.3-94**) comparada con TOTUMAL_CL_01 con una abundancia total de (27.3 ind/cm^2) y una riqueza de ocho géneros (**Tabla 3.3.3-94**), siendo las diatomeas (Heterokontophyta) el grupo dominante en ambas. En PMASup_DS_12 destacaron *Gomphonema* (15.3 ind/cm^2) y *Oedogonium* (15.3 ind/cm^2) y ambas con porcentaje de abundancia de (32.3%) (**Figura 3.3.3-42**), mientras que en TOTUMAL_CL_01 sobresalió *Eunotia* (10.5 ind/cm^2) y un porcentaje de abundancia (38.5%) (**Figura 3.3.3-42**), seguida de *Surirella* (4.2 ind/cm^2) y un porcentaje (15.4%) y *Pinnularia* (2.1 ind/cm^2) con un porcentaje (7.69%) (**Figura 3.3.3-42**). Esta composición sugiere condiciones ambientales contrastantes, la abundancia de *Gomphonema* (diatomea pedunculada) y *Oedogonium* (alga filamentosa) en PMASup_DS_12 indica sustratos estables con buena disponibilidad de nutrientes, características de zonas con flujo moderado y aporte orgánico constante (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). Por otro lado, la predominancia de *Eunotia* en TOTUMAL_CL_01, diatomea acidófila, podría reflejar microambientes con menor pH, posiblemente por acumulación de materia orgánica en descomposición (Round et al., 1990). La presencia de *Surirella* y *Pinnularia* en ambas estaciones con abundancias de 9.3 y 3.4 ind/cm^2 respectivas confirman su adaptación a condiciones variables en sistemas lóticos temporales. La interacción con sistemas terrestres se evidencia por la aparición exclusiva de desmidias (*Cosmarium* 2.6 ind/cm^2 y *Hyalotheca* 1.3 ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-94**) en PMASup_DS_12, organismos típicamente asociados a interfaces agua tierra, mientras que la ausencia de taxones típicamente adaptados a corrientes de agua (como *Aulacoseira* o *Navicula*) sugiere limitada conectividad con sistemas lóticos permanentes durante la época seca. La baja representación de euglenofitas (*Phacus* 2.1 ind/cm^2 solo en TOTUMAL_CL_01) y clorofitas (*Oedogonium* exclusivo en PMASup_DS_12) indica condiciones oligo mesotróficas generales en el sistema.

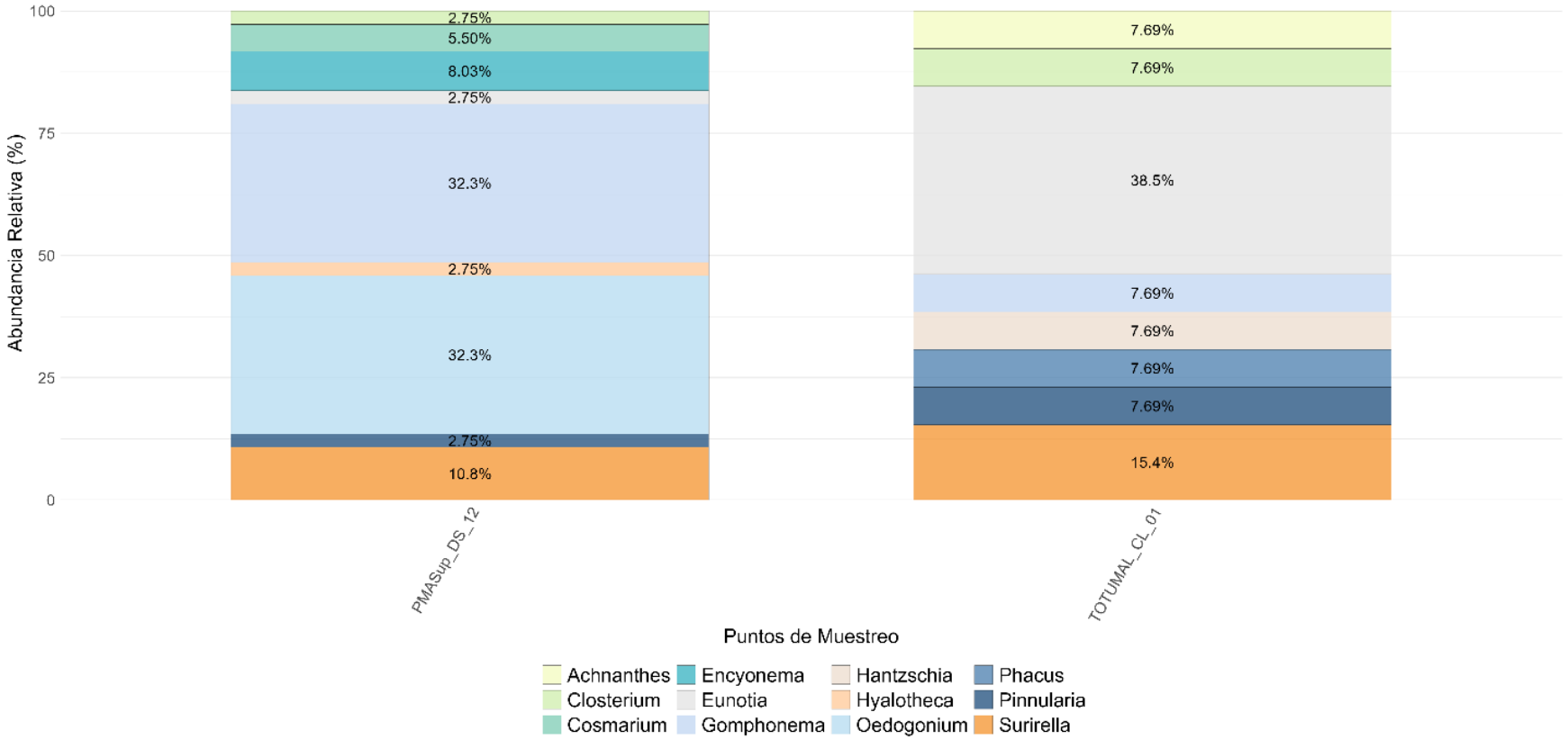


Figura 3.3.3-42 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamblaje perifítico del Caño El Totumal durante la época seca muestra una organización espacial heterogénea, donde diferencias microambientales (disponibilidad de sustrato, calidad del agua) determinan la distribución de taxones con requerimientos ecológicos específicos. La interacción de diatomeas indicadoras de condiciones contrastantes como los géneros *Eunotia* que son acidófila con el género *Gomphonema* neutrófila, resalta la complejidad de estos sistemas lóticos temporales. Estos hallazgos sugieren que las llanuras inundables en sequía mantienen parches de hábitat acuático con características únicas, que funcionan como refugios para comunidades perifíticas especializadas.

Tabla 3.3.3-94 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					PMASup_DS_12	TOTUMAL_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*	3,8		3,8
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	15,3	2,1	17,4
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	5,1	4,2	9,3
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	1,3	2,1	3,4
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	1,3	10,5	11,8
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*		2,1	2,1
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia*		2,1	2,1
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	15,3		15,3
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Hyalotheca*	1,3		1,3
				Cosmarium	2,6		2,6
			Closteriaceae	*Closterium*	1,3	2,1	3,4
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Phacus*		2,1	2,1
Gran Total					**47,3**	**27,3**	**74,6**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad para los puntos de monitoreo PMASup_DS_12 y TOTUMAL_CL_01 revelan características relevantes sobre la diversidad fitoplanctónica en la Microcuenca. En el punto PMASup_DS_12, registró una abundancia de 47.3 Ind/cm^2, con una riqueza de nueve géneros, un índice de Shannon de 1.905 y una equitatividad de Pielou de 0.867 (**Tabla 3.3.3-95**), lo que indica una diversidad moderada-alta y una distribución equilibrada de las especies. Por otro lado, en TOTUMAL_CL_01, la abundancia fue menor de 27.3 Ind/cm^2, con una riqueza de ocho géneros, un Shannon de 1.839 y una Pielou de 0.884 (**Tabla 3.3.3-95**), mostrando igualmente una diversidad aceptable y alta equitatividad, aunque con una riqueza ligeramente inferior. Ambos puntos presentan valores de Simpson bajos (0.195 y 0.207 (**Tabla 3.3.3-95**), lo que sugiere una baja dominancia de especies y una comunidad relativamente estable.

En conjunto, estos resultados apuntan a que los sectores evaluados mantienen una calificación ecológica buena, con condiciones ambientales favorables para el fitoplancton, sin evidencias claras de perturbaciones severas. Sin embargo, dado el limitado número de puntos analizados (solo

dos), este análisis no es estadísticamente significativo para extrapolar conclusiones definitivas sobre el estado ecológico de toda la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-95 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
PMASup_DS_12	47.3	9	1.905	0.195	0.867
TOTUMAL_CL_01	27.3	8	1.839	0.207	0.884

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

En el sistema lótico del caño El Totumal, se identificó un ensamblaje ecológico bentónico caracterizado por una baja diversidad taxonómica y una composición dominada por formas generalistas y tolerantes. En total, se registraron cuatro (4) morfoespecies correspondientes a dos phyllum (Annelida y Arthropoda), distribuidas en dos clases (Clitellata e Insecta), tres órdenes (Rhynchobdellida, Diptera y Hemiptera), cuatro familias (Glossiphoniidae, Chironomidae, Ceratopogonidae y Veliidae) y tres géneros reconocidos, con una abundancia total de 64 individuos/m² (**Tabla 3.3.3-96**). La riqueza específica y funcional es limitada, lo que sugiere un estado ecológico limitado, probablemente influenciado por las condiciones ambientales extremas propias de la época seca y del contexto edáfico y climático de la altillanura.

Tabla 3.3.3-96 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Totumal	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						PMASup_DS_12	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae* Mf.	1,1	1,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.	60	60
			Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia* sp.	2,2	2,2
		Hemiptera	Veliidae	-	*Veliidae* Mf.	1,1	1,1
Total general						**64**	**64**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista de la bioindicación, la familia Chironomidae fue la más representativa con 60 individuos/m², lo cual constituye el 93,75 % del total registrado. Este grupo, es considerado como tolerante a una amplia gama de condiciones físico-químicas, incluyendo altas concentraciones de materia orgánica, asociadas con hábitats alterados o eutrofizados (Roldan G. , 2003; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). Su dominancia sugiere un entorno con posibles cargas orgánicas elevadas, características de cuerpos de agua con limitada resiliencia y mayor concentración de sedimentos durante los periodos secos. La presencia de *Alluaudomyia* sp. (2,2

individuos/m²), un género perteneciente a la familia Ceratopogonidae, también indica ambientes con vegetación marginal abundante y posibles procesos de eutrofización leve, ya que este grupo se desarrolla frecuentemente en áreas con detritos vegetales y macrófitas acuáticas (Domínguez & Fernández, 2009).

Por otro lado, el registro de *Glossiphoniidae* Mf. (1,1 individuos/m²), una sanguijuela perteneciente a la clase Clitellata, es ecológicamente relevante. Este grupo se asocia con hábitats tranquilos, fondos fangosos y aguas con cierta carga orgánica, y su baja densidad podría indicar condiciones de escasez de hospedadores, ya que muchas especies de esta familia son hematófagas o depredadoras de otros invertebrados (Garzón-Ferreira & Cano, 2017; Wantzen K. M. et al., 2008). Finalmente, *Veliidae* Mf. (1,1 individuos/m²), representa a los hemípteros depredadores adaptados a la interfase agua-aire, lo cual puede indicar cierta conectividad con zonas riparias o la presencia de microhábitats superficiales, como márgenes con vegetación (Merritt & Cummins, 2008). Su escasa abundancia, sin embargo, impide ser definido como bioindicador.

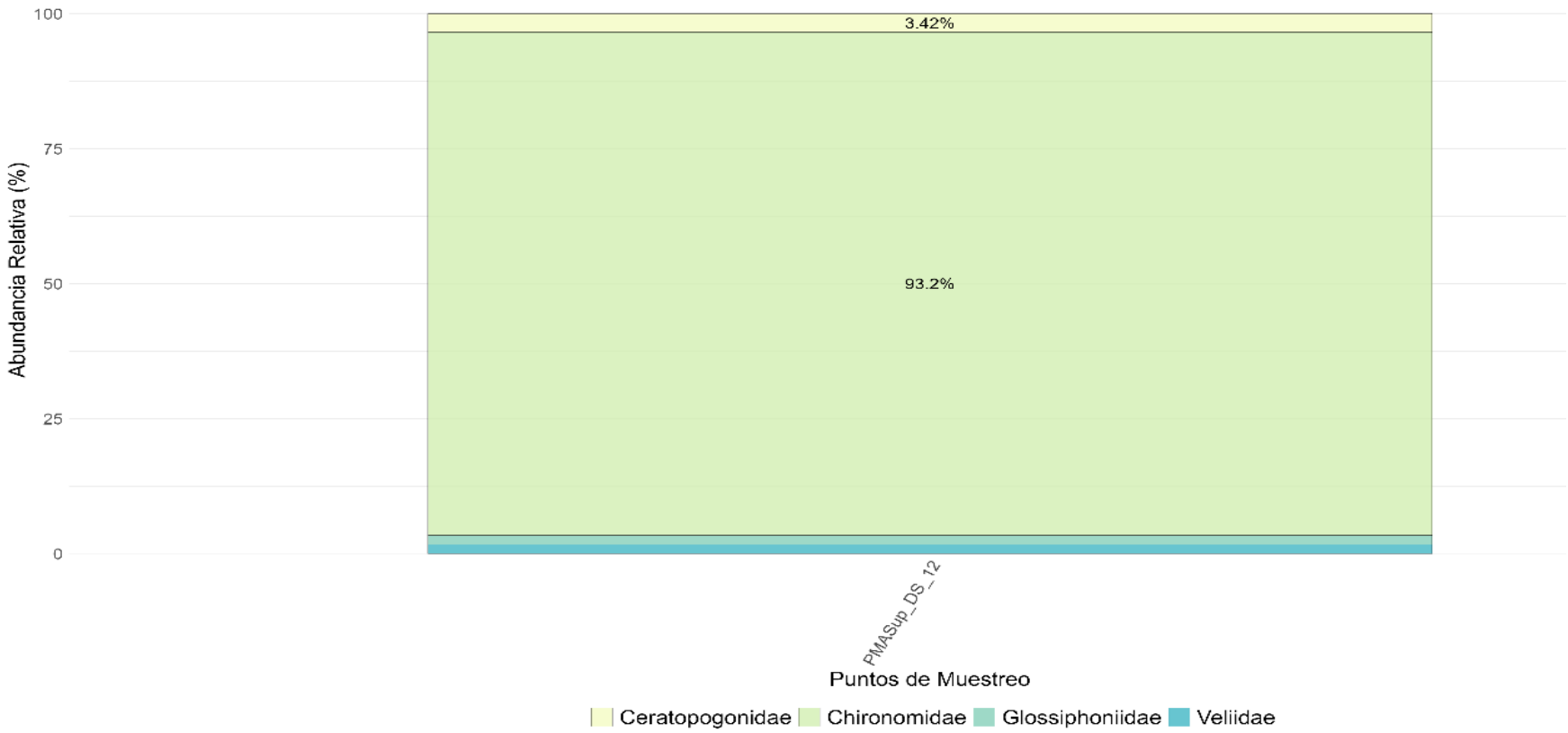


Figura 3.3.3-43 Familias de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Con respecto a la interacción entre los sistemas lóticos, lénticos y terrestres en este entorno sugiere una desconexión funcional importante. Durante la época seca, la reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático afectan la disponibilidad de nichos ecológicos para especies sensibles y restringen los flujos naturales de recolonización entre sistemas. Los ecosistemas lénticos, que usualmente funcionan como reservorios de biodiversidad durante la estación lluviosa, pierden su capacidad de conectividad en temporada seca, lo cual limita la dispersión de organismos hacia los cuerpos de agua lóticos (Allan & Castillo, 2007; Junk et al., 1989). La homogenización del paisaje ribereño, producto de la transformación de hábitats naturales en matrices agropecuarias, como sucede en el contexto de los llanos orientales, conlleva a la fragmentación de corredores biológicos y a la modificación de los patrones hidrológicos locales, exacerbando los efectos de la estacionalidad climática sobre los sistemas acuáticos.

En conclusión, el ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos del caño El Totumal refleja un estado ecológico empobrecido, dominado por taxones tolerantes y con baja diversidad funcional. Lo cual se refleja en el resultado del índice BMWP/Col, calificando al cuerpo de agua lotico como en calidad Muy Crítica, con significancia de aguas fuertemente contaminadas. Esto asociado con la dominancia de Chironomidae, junto a la escasa representación de otras familias, sugiere condiciones de hábitat degradadas, probablemente exacerbadas por la estacionalidad y la pérdida de conectividad entre sistemas acuáticos y terrestres.

- Diversidad Alfa

La estación PMASup_DS_12 presenta una comunidad de macroinvertebrados con características ecológicas particulares, evidenciadas a través de los índices de diversidad calculados. Con una abundancia total de 64.4 ind/m² y una riqueza de cuatro (4) morfoespecies, los valores obtenidos para los índices ecológicos revelan una estructura comunitaria simplificada y dominada por pocos taxones.

El índice de Shannon (H' = 0.548) indica una diversidad baja, típica de sistemas acuáticos sometidos a condiciones ambientales restrictivas o perturbaciones antrópicas (Magurran A. E., 2004). Este valor sugiere que la comunidad está dominada por una o pocas especies, con una distribución desigual de abundancias entre los taxones presentes.

El índice de Simpson (D = 0.78) confirma una alta dominancia ecológica, lo que implica que una o dos especies representan la mayor proporción de la abundancia total. Este patrón es característico de ambientes con estrés ambiental, donde solo los taxones más tolerantes persisten (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad. M & T–Manuales y Tesis SEA, 2001).

Finalmente, el índice de Pielou (J' = 0.395) refleja una baja equitatividad, señalando que las abundancias están desigualmente distribuidas entre las especies presentes. Este valor refuerza la idea de una comunidad fuertemente influenciada por factores selectivos que favorecen a ciertos grupos sobre otros (Domínguez & Fernández, 2009).

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de la Microcuenca del Caño El Totumal, estuvo representado por seis (6) morfoespecies distribuidas en dos (2) phyllum (Arthropoda y Malacostraca), tres (3) clases (Insecta, Malacostraca y Decapoda), cinco (5) órdenes (Diptera, Coleóptera, Ephemeroptera, Decapoda), cinco (5) familias y cinco (5) géneros, con una abundancia total de 14 ind/m². Las estaciones muestreadas (TOTUMAL_CLE_02 y TOTUMAL_CLE_03) mostraron diferencias en su composición, siendo TOTUMAL_CLE_03 la más diversa con cinco (5) morfoespecies y 13 ind/m², mientras que TOTUMAL_CLE_02 registró solo una morfoespecie (*Macrobrachium* sp.) con 1,1 ind/m² (**Tabla 3.3.3-97**).

Tabla 3.3.3-97 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						TOTUMAL_CLE_02	TOTUMAL_CLE_03	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.		7,7	7,7
			Ceratopogonidae	*Probezzia*	*Probezzia* sp.		1,1	1,1
		Coleóptera	Hydrophilidae	*Enochrus*	*Enochrus* sp.		2,2	2,2
			Hydrochidae	*Hydrochus*	*Hydrochus* sp.		1,1	1,1
		Ephemeroptera	Polymitarcyidae	*Asthenopus*	*Asthenopus* sp.		1,1	1,1
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.	1,1		1,1
Total general						**1**	**13**	**14**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad estuvo dominada por Chironomidae (7,7 ind/m²), seguido de *Enochrus* sp. (2,2 ind/m²), mientras que los demás taxones presentaron abundancias menores (1,1 ind/m² cada uno). La presencia de *Asthenopus* sp. (Ephemeroptera: Polymitarcyidae), considerado un grupo sensible a perturbaciones, sugiere condiciones ambientales favorables en algunos sectores del sistema, aunque su baja abundancia podría indicar presiones ambientales moderadas.

La dominancia de Chironomidae, grupo generalmente tolerante, junto con la presencia de coleópteros acuáticos (*Enochrus* sp. y *Hydrochus* sp.) y el decápodo *Macrobrachium* sp., refleja la importancia de las macrófitas como hábitat para estos organismos en sistemas lénticos.

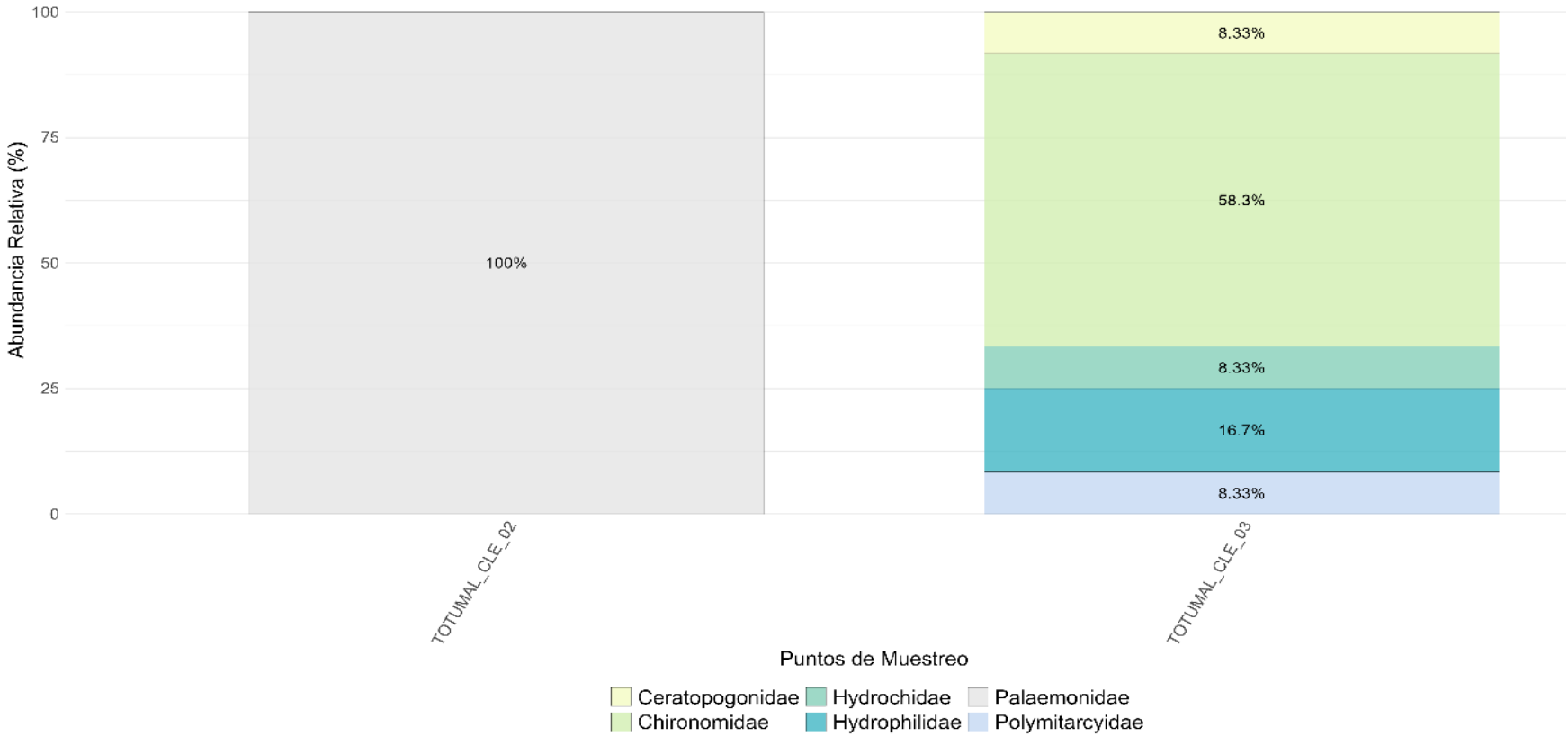


Figura 3.3.3-44 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La baja riqueza y abundancia general podrían estar relacionadas con las condiciones de época seca, que reducen la disponibilidad de hábitat y recursos. En conclusión, el ensamble estudiado muestra una comunidad adaptada a condiciones lénticas en época seca, con predominio de grupos tolerantes pero con presencia de taxones sensibles que indican zonas con buena calidad ambiental. La heterogeneidad entre estaciones sugiere microhábitats diferenciados dentro del sistema, destacando la importancia de las macrófitas como estructuradoras de la comunidad bentónica en estos ambientes.

Con respecto a la bioindicación, el índice BMWP/Col revela condiciones ambientales de Muy Críticas a Críticas en las estaciones monitoreadas durante la época seca. La estación TOTUMAL_CLE_03 presenta un valor de 26 (Clase IV - Calidad crítica), mientras que TOTUMAL_CLE_02 muestra un valor aún más bajo de 8 (Clase V - Calidad muy crítica). Estos valores extremadamente bajos deben interpretarse con precaución debido a la baja diversidad registrada en el sistema (solo 6 morfoespecies en total) (**Tabla 3.3.3-98**).

La ausencia de grupos sensibles (excepto por *Asthenopus* sp. en muy baja abundancia) sesga los resultados hacia categorías de peor calidad. Adicionalmente las condiciones naturales de época seca en sistemas lénticos de altillanura pueden generar bajas diversidades sin necesariamente indicar contaminación. Así como, La presencia de Polymitarcyidae (*Asthenopus sp.),* familia con puntuación alta en el BMWP, no fue suficiente para compensar la dominancia de grupos tolerantes.

Tabla 3.3.3-98 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Totumal, época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CLE_03	IV	Critica	26	Aguas muy contaminadas
	TOTUMAL_CLE_02	V	Muy crítica	8	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa en el sistema léntico de Caño El Totumal revela patrones ecológicos contrastantes entre las estaciones evaluadas. En TOTUMAL_CLE_02 se registró una diversidad nula, evidenciando que no existe un comportamiento de comunidad, puesto que los resultados están simplificados a la presencia exclusivamente de *Macrobrachium sp*. (1.1 ind/m²).

Por el contrario, TOTUMAL_CLE_03 presentó una diversidad media-baja (Shannon = 1.633) con dominancia moderada (Simpson = 0.222) y una aparente equitatividad (Pielou = 1.015), probable artefacto muestral, conformada por cinco morfoespecies (13.2 ind/m² totales). Esta estación muestra características de un sistema en recuperación, donde la presencia de *Asthenopus sp.* (Ephemeroptera) indica zonas refugio con calidad aceptable, mientras que la dominancia de Chironomidae (7.7 ind/m²) refleja condiciones de estrés moderado.

Tabla 3.3.3-99 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CLE_02	1.1	1	0	1	
	TOTUMAL_CLE_03	13.2	5	1.633	0.222	1.015

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La marcada diferencia entre estaciones sugiere la existencia de un gradiente ambiental pronunciado dentro del mismo cuerpo de agua, donde TOTUMAL_CLE_02 representa un punto crítico de perturbación y TOTUMAL_CLE_03 un área con mayor resiliencia ecológica. Cabe destacar que estos resultados deben interpretarse considerando las limitaciones metodológicas, particularmente el período de muestreo (época seca), que naturalmente presenta menores valores de diversidad.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada seca, el análisis de las macrófitas acuáticas registradas en la Microcuenca del Caño El Totumal reveló una comunidad compuesta por tres morfoespecies pertenecientes a la división Tracheophyta y a las Clases Magnoliidae y Polypodiidae. Las especies identificadas se distribuyen en tres órdenes: Alismatales, Poales y Salviniales, representando a tres familias: Araceae, Poaceae y Salviniaceae, respectivamente. Estas familias agrupan especies con diferentes estrategias ecológicas y adaptaciones a cuerpos de agua con dinámicas variadas, como los sistemas lóticos (corrientes) y lénticos (estancados) (**Tabla 3.3.3-100**).

A nivel de división, predominan las plantas vasculares (Tracheophyta), las cuales son típicamente dominantes en ecosistemas acuáticos por su capacidad de colonizar hábitats tanto flotantes como emergentes (Chambers et al., 2008[10]). La presencia de Polypodiidae, representada por *Salvinia sprucei*, indica una comunidad con cierto grado de complejidad estructural, dado que estas plantas flotantes libres pueden modificar la disponibilidad de luz y oxígeno (Barrett et al., 1993[33]) (**Tabla 3.3.3-100**).

En cuanto a la clase, Magnoliidae está presente con dos órdenes: Alismatales (*Pistia stratiotes*) y Poales (Poaceae Mf.), ambas de amplia distribución en ambientes tropicales, conocidas por formar mantos flotantes o emergentes que ofrecen refugio a macroinvertebrados y peces (Esteves, 2011[4]) (**Tabla 3.3.3-100**).

En ecosistemas con aguas estancadas o de flujo mínimo, se identificaron un total de tres morfoespecies, siendo Poaceae Mf. la única presente en TOTUMAL_CLE_02 (5,67% de cobertura). En TOTUMAL_CLE_03 se observó mayor diversidad, con la presencia de *Pistia stratiotes* (6,67%; 50% de abundancia relativa) y *Salvinia sprucei* (6,67%; 50%) (**Tabla 3.3.3-100**). Este patrón

[33] Barrett, S. C. H., Eckert, C. G., & Husband, B. C. (1993). Evolutionary processes in aquatic plant populations. Aquatic Botany, 44(2-3), 105–145. https://doi.org/10.1016/0304-3770(93)90065-L

es consistente con la literatura, que indica que los sistemas lénticos favorecen la proliferación de macrófitas flotantes debido a la baja turbulencia y mayor retención de nutrientes.

En ambientes de corriente, se observa menor diversidad en cada punto, aunque con coberturas más elevadas. TOTUMAL_CL_01 mostró un dominio claro de Poaceae Mf. con 78,33% de cobertura y 100% de abundancia relativa. En PMASup_DS_12, propuesto como ocupación de cauce, se registraron dos especies: Poaceae Mf. (16%; 80%) y *Pistia stratiotes* (4%; 20%) (**Tabla 3.3.3-100**). Este resultado sugiere una comunidad dominada por especies con alta tolerancia a la corriente o con capacidad de anclaje eficiente. En efecto, gramíneas acuáticas como las Poaceae pueden desarrollar adaptaciones morfológicas para resistir el arrastre (Sculthorpe, 1967).

Los resultados reflejan una comunidad de macrófitas acuáticas pobre en cuanto a riqueza de especies, con dominancia de especies oportunistas y flotantes. Este patrón puede estar influenciado por las condiciones de la temporada seca, que limita el hábitat disponible y concentra nutrientes. Además, la cobertura total fue mayor en ambientes lóticos, posiblemente debido a la mayor oxigenación y renovación del agua, lo que favorece a especies como las Poaceae. Por el contrario, los sistemas lénticos mostraron mayor equidad entre especies, aunque con menor cobertura general.

Tabla 3.3.3-100 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Totumal, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Totumal							
				Punto De Muestreo	TOTUMAL_CLE_02		TOTUMAL_CLE_03		PMASup_DS_12		TOTUMAL_CL_01	
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Pistia stratiotes*			6,67	50	4	20		
		Poales	Poaceae	Poaceae Mf.	5,67	100			16	80	78,33	100
	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia sprucei*			6,67	50				
Cobertura Total general					**5,67**	**100**	**13,34**	**100**	**20**	**100**	**78,33**	**100**
Morfoespecies por Punto					**1**		**2**		**2**		**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**3**							

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con una morfoespecie, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran, 2004[34]) por esta razón no se logró determinar los índices de diversidad.

[34] Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. Blackwell Publishing.

- *Época lluvias*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024. El ensamble fitoplanctónico registrado en el sistema léntico de la llanura inundable durante la época de lluvias refleja una comunidad diversa con marcadas diferencias entre las estaciones TOTUMAL_CLE_02 y TOTUMAL_CLE_03, pertenecientes a la Microcuenca del Caño El Totumal. La estación TOTUMAL_CLE_03 presentó la mayor abundancia total (0.39 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-101**), dominada por clorófitas como *Pandorina* (0.027 Ind/mL) y una representatividad del (6.92%) (**Tabla 3.3.3-101**) (**Figura 3.3.3-45**) y diatomeas como *Pinnularia* (0.065 Ind/mL y 16.67%) y *Eunotia* (0.061 Ind/mL y 15.64%) (**Tabla 3.3.3-101**) (**Figura 3.3.3-45**), estas últimas indicadoras de ambientes con bajo contenido orgánico y sustratos estables (Stevenson & Bahls, 1999). Por otro lado, TOTUMAL_CLE_02 mostró una menor abundancia (0.097 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-101**), con predominio de euglenófitas como *Trachelomonas* (0.024 Ind/mL y 24.74%) y *Euglena* (0.034 Ind/mL y 35.05%) (**Tabla 3.3.3-101**) (**Figura 3.3.3-45**), asociadas a aguas con mayor carga orgánica y fluctuaciones en la disponibilidad de luz (Wołowski et al., 2013). La riqueza de morfoespecies fue notable en ambas estaciones, con géneros como *Cosmarium* y *Micrasterias* (Charophyta) en TOTUMAL_CLE_03, sugiriendo influencia de aguas claras y conectividad con hábitats marginales vegetados (Coesel & Meesters, 2007).

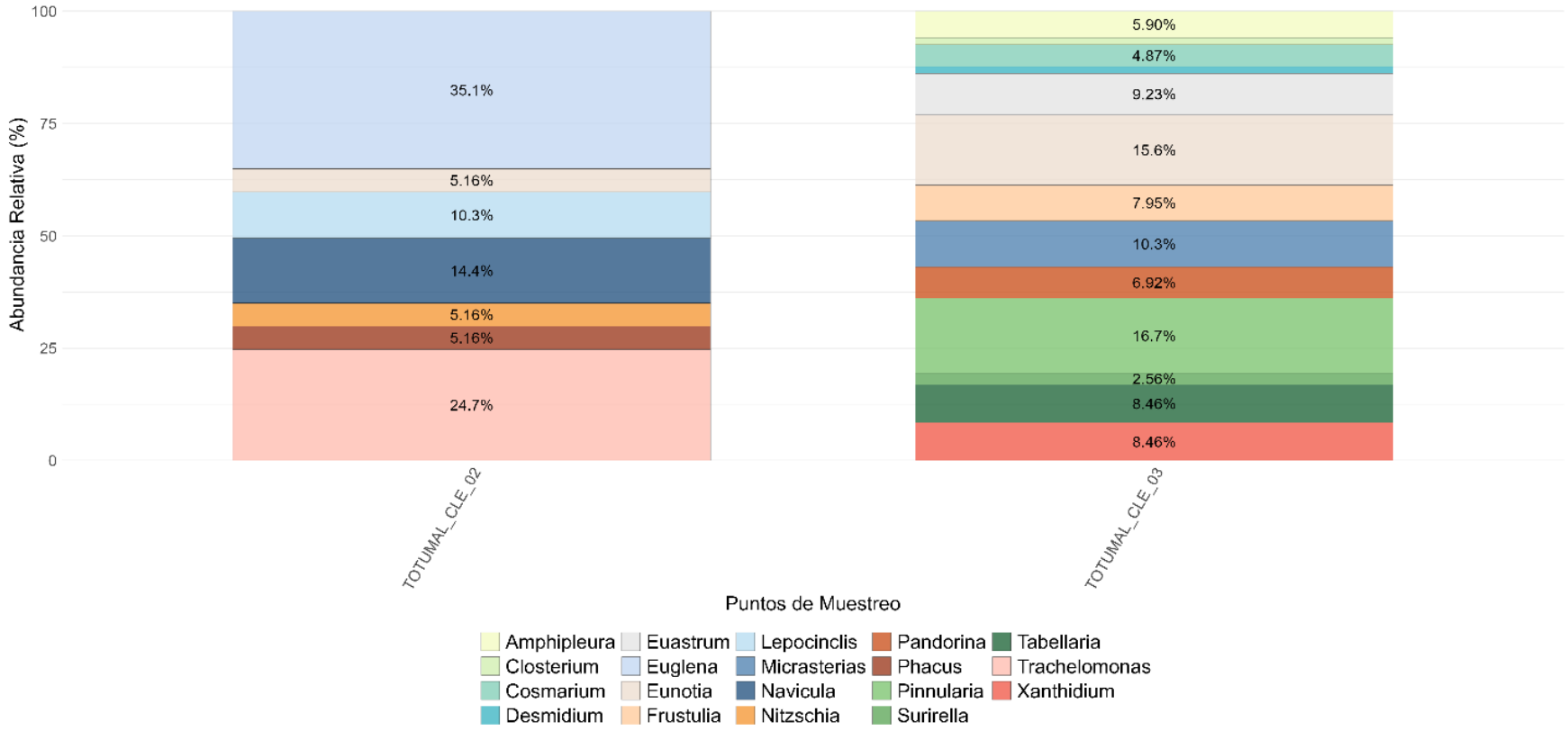


Figura 3.3.3-45 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de diatomeas móviles (*Navicula*, *Pinnularia*) en TOTUMAL_CLE_03 evidencia interacciones con sistemas lóticos durante pulsos de inundación, ya que estas especies colonizan sustratos inestables transportados por flujos de agua (Junk et al., 1989). Asimismo, la abundancia de euglenófitas en TOTUMAL_CLE_02 sugiere aportes alóctonos de materia orgánica desde la llanura terrestre adyacente, típico de zonas con descomposición de vegetación inundada (Schröder, 2003). La coexistencia de géneros como *Nitzschia* (tolerante a contaminación) y *Surirella* (sensible a cambios físico-químicos) indica un gradiente ecológico moderado dentro de la Microcuenca, con áreas de transición entre condiciones oligotróficas y eutróficas (Bahls, 2012).

En conclusión, la Microcuenca del Caño El Totumal presenta una calificación ecológica moderadamente buena, y esto puede estar justificado para la diversidad funcional del fitoplancton, con grupos indicadores de diferentes calidades de agua, la presencia de especies sensibles como *Cosmarium* y *Pinnularia* en TOTUMAL_CLE_03, que reflejan hábitats bien oxigenados y la interacción dinámica entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres, evidenciada por la distribución diferencial de géneros. Sin embargo, la dominancia de euglenófitas en TOTUMAL_CLE_02 sugiere impactos locales por materia orgánica.

Tabla 3.3.3-101 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					TOTUMAL_CLE_02	TOTUMAL_CLE_03	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,024		0,024
				Euglena	0,034		0,034
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,01		0,01
				Phacus	0,005		0,005
Chlorophyta	Chlorophyceae	Volvocales	Volvocaceae	*Pandorina*		0,027	0,027
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		0,033	0,033
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		0,065	0,065
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		0,031	0,031
				Amphipleura		0,023	0,023
			Naviculaceae	*Navicula*	0,014		0,014
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,005	0,061	0,066
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	0,005		0,005
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		0,01	0,01
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		0,006	0,006
			Desmidiaceae	*Cosmarium*		0,019	0,019
				Micrasterias		0,04	0,04
				Euastrum		0,036	0,036
				Desmidium		0,006	0,006
				Xanthidium		0,033	0,033
Gran Total					0,097	0,39	0,487

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad de los puntos de monitoreo OC12 y TOTUMAL_CL_01 revela patrones ecológicos contrastantes en la comunidad de perifiton. En TOTUMAL_CL_01 se registró una alta

abundancia (466.7 Ind/cm²) acompañada de una riqueza considerable (20 géneros) (**Tabla 3.3.3-102**), con valores de diversidad de Shannon (2.66) y equitatividad de Pielou (0.888) (**Tabla 3.3.3-102**) que indican una comunidad equilibrada y diversa, característica de ambientes lénticos con buena disponibilidad de recursos y condiciones estables. Este patrón sugiere un hábitat bien conservado con adecuada heterogeneidad de sustratos y calidad de agua favorable para el desarrollo del perifiton. Por otro lado, OC12 presentó una abundancia significativamente menor (13.4 Ind/cm²) y baja riqueza (4 géneros) (**Tabla 3.3.3-102**), aunque con valores de equitatividad altos (Pielou = 0.961) y un índice de Shannon moderado (1.332) (**Tabla 3.3.3-102**) que reflejan una distribución uniforme entre las pocas especies presentes. Esta configuración podría corresponder a un ambiente más restrictivo, posiblemente afectado por factores como corrientes fuertes, baja disponibilidad de nutrientes o condiciones físico-químicas particulares que limitan el establecimiento de una comunidad más diversa.

Considerando ambos puntos de muestreo, la Microcuenca presenta una calificación ecológica heterogénea. Mientras TOTUMAL_CL_01 evidencia condiciones ambientales óptimas que sustentan una comunidad de perifiton diversa y estructurada, indicador de un sistema en buen estado de conservación, por el contrario, OC12 sugiere un ambiente con limitaciones ecológicas significativas. Esta diferencia podría estar asociada a diferencias locales en la dinámica hidrológica, calidad del agua o disponibilidad de sustratos. En conjunto, la Microcuenca podría clasificarse como moderadamente conservada, con áreas de alta integridad ecológica (representadas por TOTUMAL_CL_01) y zonas que requieren atención particular (como OC12).

Tabla 3.3.3-102 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
TOTUMAL_CLE_02	0.097	7	1803	0.205	0.927
TOTUMAL_CLE_03	0.39	13	2385	0.103	0.93

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Zooplancton*

  - Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024. El estudio de la comunidad zooplanctónica en el sistema léntico de la Microcuenca Caño El Totumal durante la época de lluvias revela un ensamble ecológico caracterizado por diferencias marcadas entre las estaciones TOTUMAL_CLE_02 y TOTUMAL_CLE_03.

En TOTUMAL_CLE_02 se registró la mayor abundancia total (0.0757 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-103**), dominada por larvas nauplio (0.0284 Ind/mL) y con un porcentaje de representatividad del (35.5%) (**Tabla 3.3.3-103**)(**Figura 3.3.3-46**) y copépodos ciclopoides (0.0095 Ind/mL y 12.5%) (**Tabla 3.3.3-103**)(**Figura 3.3.3-46**), organismos típicos de ambientes con moderado contenido orgánico y alta productividad primaria (Dumont, 1994). La presencia de rotíferos como *Polyarthra* (0.0047 Ind/mL y 6.2%) y *Platyias* (0.0142 Ind/mL y 18.8%) (**Tabla 3.3.3-103**)(**Figura 3.3.3-46**) sugiere condiciones de mezcla de aguas y aportes

alóctonos de materia orgánica desde la llanura inundable (Segers, 2008). En contraste, TOTUMAL_CLE_03 mostró una abundancia significativamente menor (0.0048 Ind/mL) y una representatividad del (100%) (**Tabla 3.3.3-103**)(**Figura 3.3.3-46**), representada exclusivamente por el protozoo testado *Nebela*, indicador de ambientes con menor turbulencia y mayor estabilidad de sustratos (Ogden & Hedley, 1980).

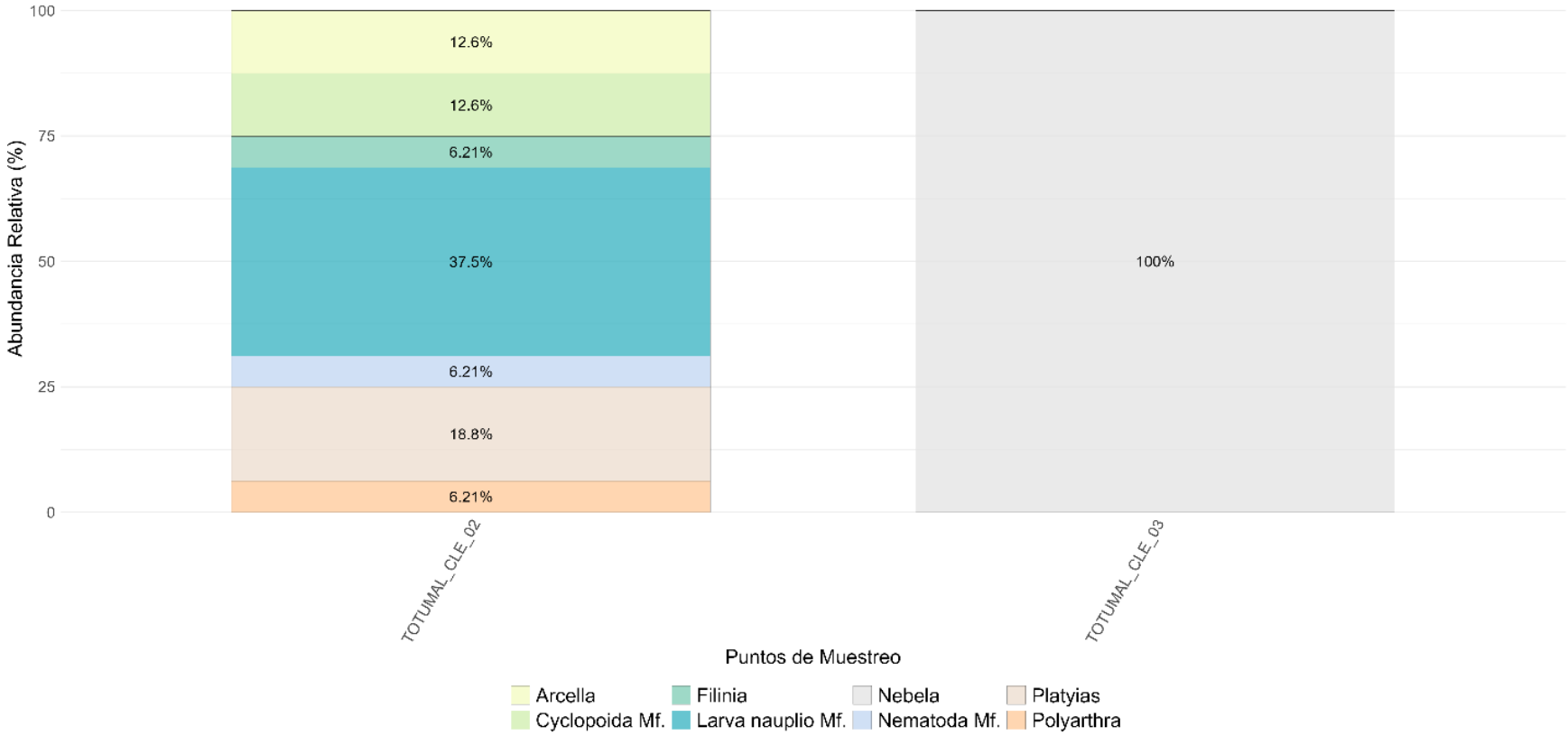


Figura 3.3.3-46 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La riqueza de morfoespecies fue mayor en TOTUMAL_CLE_02 (6 grupos taxonómicos), incluyendo nematodos y múltiples rotíferos, mientras que TOTUMAL_CLE_03 presentó solo un taxón, lo que refleja diferencias en la disponibilidad de hábitats entre estaciones.

La distribución de los organismos evidencia interacciones complejas entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres. La dominancia de larvas nauplio y ciclopoides en TOTUMAL_CLE_02 sugiere conexiones temporales con sistemas lóticos durante los pulsos de inundación, típicos de llanuras aluviales (Junk et al., 1989). Estos taxones son pioneros en colonizar ambientes con flujo variable, aprovechando los recursos transportados por las crecidas. Por otro lado, la presencia exclusiva de *Nebela* en TOTUMAL_CLE_03 apunta a un microambiente más aislado, posiblemente asociado a zonas marginales con vegetación acuática y menor influencia fluvial (Golemansky, 2007). La ausencia de cladóceros, comunes en sistemas lénticos estables, podría deberse a la fase inicial de inundación, donde predominan estrategias reproductivas rápidas (como las de rotíferos y protozoos) sobre las de crustáceos con ciclos de vida más largos (Allan J. D., 1976).

En conclusión, la Microcuenca del Caño El Totumal presenta una calificación ecológica moderadamente buena, lo cual puede estar justificada por la presencia de taxones indicadores de condiciones mesotróficas (*Polyarthra*, ciclopoides) y ambientes estables (*Nebela*), la estructura comunitaria diferenciada, que refleja la heterogeneidad espacial típica de sistemas inundables naturales y la interacción dinámica entre componentes lénticos y lóticos durante el pulso de inundación. Sin embargo, la baja diversidad en TOTUMAL_CLE_03 y la ausencia de grupos sensibles (como cladóceros) sugieren limitaciones en la conectividad ecológica o posibles presiones locales.

Tabla 3.3.3-103 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					TOTUMAL_CLE_02	TOTUMAL_CLE_03	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0095		0,0095
			Nebelidae	*Nebela*		0,0048	0,0048
Arthropoda	-	-	-	Larva nauplio Mf.	0,0284		0,0284
	Maxillopoda	Cyclopoida		Cyclopoida Mf.	0,0095		0,0095
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Synchaetidae	*Polyarthra*	0,0047		0,0047
			Brachionidae	*Platyias*	0,0142		0,0142
		Floscullariaceae	Filiniidae	*Filinia*	0,0047		0,0047
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.	0,0047		0,0047
Gran Total					0,0757	0,0048	0,0805

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en las estaciones TOTUMAL_CLE_02 y TOTUMAL_CLE_03 revelan patrones ecológicos contrastantes en la comunidad zooplanctónica de esta llanura inundable durante la época de lluvias. La estación TOTUMAL_CLE_02 presenta valores moderados de diversidad (Índice de Shannon = 1.721) y equitatividad (Pielou = 0.884) (**Tabla 3.3.3-104**), con

una riqueza de 7 morfoespecies (**Tabla 3.3.3-104**) y una abundancia total de 0.0757 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-104**). Estos valores sugieren una comunidad estructurada con moderada heterogeneidad de especies, característica de ambientes lénticos con influencia fluvial y aporte moderado de nutrientes, donde coexisten taxones indicadores como rotíferos (Polyarthra, *Platyias*) y microcrustáceos (ciclopoides) (Segers, 2008). La dominancia relativa de estos grupos, evidenciada por el índice de Simpson (0.219) (**Tabla 3.3.3-104**), refleja condiciones mesotróficas típicas de humedales en fase de inundación inicial (Junk et al., 1989). En contraste, TOTUMAL_CLE_03 muestra una diversidad nula (Shannon = 0) con solo una especie registrada (*Nebela*) y abundancia mínima (0.0048 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-104**), patrón que indica un ambiente altamente restrictivo, posiblemente asociado a zonas marginales con escasa conectividad hidrológica y condiciones más estables (Golemansky, 2007). Está marcada diferencia entre estaciones subraya la heterogeneidad espacial característica de los sistemas inundables, donde factores como el gradiente de profundidad, cobertura vegetal y flujo de agua generan microhábitats diferenciados (Allan J. D., 1976).

Considerando ambos puntos de muestreo, la Microcuenca del Caño El Totumal presenta una calificación ecológica moderadamente alterada, con áreas que mantienen una biodiversidad funcional (TOTUMAL_CLE_02) y otras con evidentes limitaciones ambientales (TOTUMAL_CLE_03). La presencia de taxones bioindicadores sensibles (como *Nebela*) sugiere que persisten sectores con buena integridad ecológica, pero la baja diversidad general y la marcada disparidad entre estaciones reflejan perturbaciones en la conectividad del sistema. Esta condición podría estar asociada a alteraciones naturales de inundación o a presiones locales que afectan la recolonización zooplanctónica.

Tabla 3.3.3-104 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa)

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
TOTUMAL_CLE_02	0.0757	7	1.721	0.219	0.884
TOTUMAL_CLE_03	0.0048	1	0	1	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Ictioplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio del ictioplancton en el sistema lótico de la Microcuenca Caño El Totumal durante la época de lluvias, específicamente en la estación TOTUMAL_CL_01, reveló la presencia exclusiva de huevos de peces de la clase Actinopteri, con una abundancia de 0.013 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-105**). Esta baja densidad ictioplanctónica es característica de sistemas lóticos tropicales en fase inicial de inundación, donde las especies ícticas recién comienzan sus ciclos reproductivos (Agostinho et al., 2004). La limitada riqueza específica (una sola morfoespecie) puede estar asociado a que el muestreo coincidió con los primeros estadios del pulso de inundación, cuando solo las especies con estrategias reproductivas tempranas han iniciado el desove (Humphries et al., 1999) y esto puede estar justificado por la ausencias de huevos, sin estadios larvales registrados, lo que indica que el evento reproductivo estaba en su fase inicial. Desde la perspectiva de bioindicación, la identificación taxonómica a nivel de clase (Actinopteri)

limita la precisión ecológica del análisis, ya que diferentes familias de peces presentan requerimientos ambientales específicos para el desove (Welcomme, 1979). Sin embargo, la detección de actividad reproductiva confirma que el sistema mantiene su función ecológica como área de reproducción, un aspecto importante para la conservación de la ictiofauna en llanuras inundables (Junk et al., 1989).

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la dinámica reproductiva detectada. La baja abundancia registrada podría estar asociada a la conectividad hidrológica incipiente entre el cauce principal (sistema lótico) y las áreas de inundación adyacentes (sistemas lénticos), donde típicamente se concentran las zonas de desove (Petrere Jr et al., 2002). La ausencia de larvas sugiere que los huevos detectados probablemente fueron depositados hace poco y aún no habían eclosionado, o que las condiciones microambientales en TOTUMAL_CL_01 no eran óptimas para la retención y desarrollo larval.

Considerando estos factores, la Microcuenca del Caño El Totumal presenta una calificación ecológica moderadamente buena en lo que respecta a su función como hábitat reproductivo para peces. La presencia de huevos confirma que el sistema mantiene características esenciales para el desove, como conectividad mínima y sustratos adecuados, pero la baja abundancia y diversidad ictioplanctónica indican que el nivel de inundación no había alcanzado su máxima nivel durante el muestreo.

Tabla 3.3.3-105 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton (Loticos) Microcuenca caño El Totumal, época lluvia

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño El Totumal	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					TOTUMAL_CL_01	
Chordata	Actinopteri	-	-	Huevo de pez morfoespecie 1	0,013	0,013
Gran Total					0,013	0,013

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En sistemas lenticos, la altillanura, específicamente en el Caño El Totumal (estación TOTUMAL_CLE_03), revela una comunidad extremadamente limitada durante la época de lluvias. Solo se registró una morfoespecie de huevo de pez (Actinopteri) con una abundancia mínima de 0.0145 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-106**), que representa el 100% de la abundancia total en la Microcuenca. Esta baja diversidad y abundancia concuerda con estudios previos en sistemas tropicales donde el reclutamiento larvario muestra patrones espaciales y temporales altamente restringidos (Rodríguez et al., 2007). La ausencia de larvas y la presencia exclusiva de huevos sugieren que el muestreo coincidió con las primeras etapas reproductivas, posiblemente durante eventos de desove reciente, pero antes de la eclosión masiva, un fenómeno documentado en peces tropicales que sincronizan su reproducción con pulsos hidrológicos iniciales (Lowe-McConnell, 1987). La limitada presencia en solo una de las estaciones monitoreadas (TOTUMAL_CLE_03) podría indicar que este cuerpo de agua actúa como un microhábitat crítico para el desove, probablemente debido a características específicas como vegetación sumergida,

profundidad adecuada o menor turbulencia, factores conocidos por influir en la selección de sitios de desove en peces tropicales (Petry et al., 2003). La ausencia total de ictioplancton en otras estaciones sugiere una preferencia de hábitat altamente selectiva, donde los peces adultos eligen áreas particulares para el desove, evitando zonas con flujo turbulento o condiciones físico-químicas subóptimas (Humphries et al., 1999).

Desde una perspectiva ecológica más amplia, la interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres parece jugar un papel crucial en esta dinámica. La altillanura, con su relieve característico, puede estar favoreciendo la formación de microambientes lénticos temporales durante las lluvias, que funcionan como "guarderías" para huevos y larvas, protegidos de depredadores y corrientes fuertes (Winemiller K. O., 1989). Sin embargo, la conectividad limitada entre estos cuerpos de agua y los sistemas lóticos principales podría estar restringiendo la dispersión del ictioplancton, explicando su distribución tan localizada. La baja abundancia registrada menor a 0.015 Ind/mL, es consistente con estudios en otras Microcuencas neotropicales donde las densidades de ictioplancton rara vez superan a 0.1 Ind/mL, incluso en hábitats favorables (Nakatani et al., 2001). Esta escasez podría reflejar limitaciones naturales (alta depredación, corta duración de estadios larvales).

En conclusión, los resultados evidencian que el ensamble ictioplanctónico en la altillanura opera en escalas espacio-temporales muy reducidas, con ventanas reproductivas estrechas y una fuerte dependencia de microhábitats específicos. La detección de huevos en TOTUMAL_CLE_03 señala que este cuerpo de agua podría ser un sitio clave para la reproducción de peces durante las lluvias, aunque su contribución al reclutamiento poblacional parece marginal dada la baja abundancia absoluta.

Tabla 3.3.3-106 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton (Lenticos) Microcuenca caño El Totumal, época lluvia

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño El Totumal	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					TOTUMAL_CLE_03	
Chordata	Actinopteri	-	-	Huevo de pez morfoespecie 1	0,0145	0,0145
Gran Total					0,0145	0,0145

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024. El estudio de la comunidad perifítica en el sistema lótico de la Microcuenca del Caño El Totumal durante la época de lluvias revela marcadas diferencias ecológicas entre las estaciones OC12 y TOTUMAL_CL_01, pertenecientes a esta Microcuenca inundable. La estación TOTUMAL_CL_01 presentó una abundancia total significativamente mayor (466.7 Ind/cm²) y una riqueza de 19 géneros (**Tabla 3.3.3-107**), dominada por diatomeas como *Pinnularia* (83.7 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia de (17.9%) y *Nitzschia* (61 Ind/cm² y 13.1%) (**Tabla 3.3.3-107**) (**Figura 3.3.3-47**), géneros característicos de aguas con moderado contenido de nutrientes y sustratos estables (Stevenson & Bahls, 1999). La presencia de *Ulnaria* (51.1 Ind/cm² y 10.9%) y *Cosmarium* (53.9 Ind/cm² y 11.5%) (**Tabla 3.3.3-107**) (**Figura 3.3.3-47**) sugiere influencia de aguas bien oxigenadas con conexiones a sistemas lénticos adyacentes, típico de pulsos de inundación iniciales (Biggs & Kilroy, 2000). En contraste, **OC12** mostró una abundancia notablemente menor (13.4 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-107**) y solo 4 géneros (**Tabla 3.3.3-107**), destacando *Gomphonema* (2.7 Ind/cm² y 20.1%) y *Frustulia* (5.3 Ind/cm² y 39.5%) (**Tabla 3.3.3-107**) (**Figura 3.3.3-47**), indicadoras de ambientes con mayor corriente y menor disponibilidad de nutrientes (Round et al., 1990). Esta condición refleja la diferencia microambiental generada por las inundaciones, donde áreas con menor flujo (TOTUMAL_CL_01) acumulan comunidades más diversas, mientras que zonas con mayor energía hidráulica (OC12) limitan el establecimiento del perifiton a especies altamente especializadas.

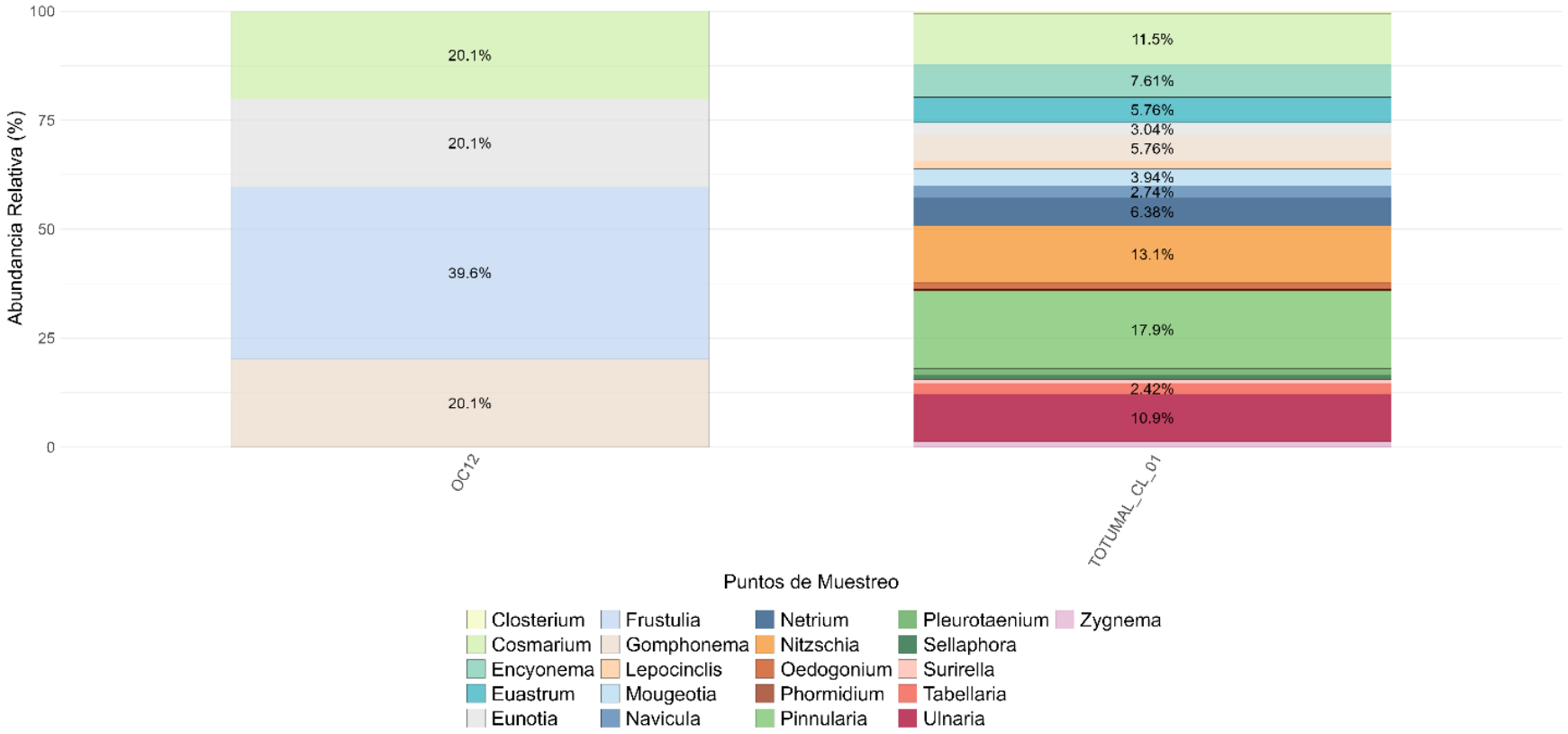


Figura 3.3.3-47 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La composición taxonómica evidencia interacciones complejas entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres. La alta abundancia de diatomeas pennadas (*Pinnularia*, *Nitzschia*) en TOTUMAL_CL_01 sugiere aportes de sílice desde áreas terrestres inundadas, mientras que la presencia de desmidios (*Cosmarium*, *Euastrum*) indica influencia de aguas ácidas provenientes de humedales marginales (Coesel & Meesters, 2007). La dominancia de *Pinnularia*, bioindicadora de aguas oligo-mesotróficas (Bahls, 2012), contrasta con *Nitzschia*, más tolerante a condiciones eutróficas, revelando gradientes ambientales dentro de la misma Microcuenca. En OC12, la presencia exclusiva de diatomeas adheridas a sustratos (*Gomphonema*, *Frustulia*) confirma su carácter de zona de flujo rápido, con limitada influencia de sistemas lénticos durante el periodo de muestreo. La baja abundancia de cianobacterias (solo 1.4 Ind/cm² de *Phormidium*) en ambas estaciones sugiere que la carga orgánica no alcanzaba niveles críticos, manteniéndose condiciones adecuadas para comunidades sensibles (Whitton, 2012).

En conclusión, la Microcuenca del Caño El Totumal presenta una calificación ecológica buena, y esta calificación puede estar atribuida a la alta diversidad y abundancia de especies sensibles como *Pinnularia* y desmidios reportados en TOTUMAL_CL_01, indicadoras de aguas con baja contaminación; la presencia de gradientes ecológicos naturales evidenciados por la distribución diferencial de bioindicadores y la interacción funcional entre sistemas lóticos y lénticos durante los periodos de inundación. Sin embargo, la baja diversidad en OC12 refleja limitaciones en la conectividad ecológica durante esta fase hidrológica.

Tabla 3.3.3-107 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño El Totumal, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OC12	TOTUMAL_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*		35,5	35,5
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	2,7	26,9	29,6
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		4,3	4,3
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		83,7	83,7
			Amphipleuraceae	*Frustulia*	5,3		5,3
			Naviculaceae	*Navicula*		12,8	12,8
			Sellaphoraceae	*Sellaphora*		4,3	4,3
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	2,7	14,2	16,9
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		11,3	11,3
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		51,1	51,1
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*		61	61
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*		7,1	7,1
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	2,7	53,9	56,6
				Pleurotaenium		7,1	7,1
				Euastrum		26,9	26,9
			Closteriaceae	*Closterium*		2,8	2,8
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*		29,8	29,8
			Zygnemataceae	*Mougeotia*		18,4	18,4
				Zygnema		5,7	5,7

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño El Totumal		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OC12	TOTUMAL_CL_01	
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*		1,4	1,4
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Lepocinclis*		8,5	8,5
Gran Total					13,4	466,7	480,1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de los índices ecológicos en las estaciones OC12 y TOTUMAL_CL_01 revela patrones contrastantes en la comunidad perifítica de este sistema lótico durante la época de lluvias. La estación TOTUMAL_CL_01 presenta valores destacados de abundancia (466.7 Ind/cm²) y riqueza (20 géneros) (**Tabla 3.3.3-108**), con un índice de Shannon de 2.66 (**Tabla 3.3.3-108**) que indica una diversidad moderada-alta, complementado por una equitatividad de Pielou de 0.888 (**Tabla 3.3.3-108**), lo que sugiere una distribución equilibrada de las especies. Estos valores son característicos de ambientes loticos con buena disponibilidad de recursos y condiciones estables para el desarrollo del perifiton, donde coexisten especies indicadoras como diatomeas pennadas y desmidios (Biggs & Kilroy, 2000). El bajo valor de Simpson (0.091) (**Tabla 3.3.3-108**) confirma la ausencia de dominancia por parte de alguna especie en particular. En contraste, la estación OC12 muestra una abundancia significativamente menor (13.4 Ind/cm²) y baja riqueza (4 géneros) (**Tabla 3.3.3-108**), aunque con una equitatividad casi perfecta (Pielou = 0.961) (**Tabla 3.3.3-108**) que refleja una distribución uniforme entre las pocas especies presentes. El índice de Shannon de 1.332 en OC12 (**Tabla 3.3.3-108**) sugiere una diversidad moderada-baja, típica de ambientes con mayores limitaciones ecológicas, posiblemente asociadas a corrientes más fuertes o menor disponibilidad de nutrientes (Stevenson & Bahls, 1999).

Considerando ambos puntos de muestreo, la Microcuenca del Caño El Totumal presenta una calificación ecológica heterogénea pero predominantemente buena. La estación TOTUMAL_CL_01, con su alta diversidad y abundancia, representa un ambiente en óptimas condiciones para el desarrollo de comunidades perifíticas complejas, indicando buena calidad de agua y disponibilidad de hábitats. Por otro lado, OC12 evidencia condiciones más restrictivas, aunque la alta equitatividad sugiere que se trata de un sistema naturalmente limitado más que alterado antropogénicamente. Esta diferencia puede explicarse por las diferencias naturales en la dinámica hidrológica durante la inundación, donde áreas con menor flujo (como TOTUMAL_CL_01) acumulan mayor diversidad biológica. En conjunto, el sistema mantiene características ecológicas valiosas. La presencia simultánea de estos patrones contrastantes es propia de sistemas inundables saludables, donde la heterogeneidad espacial crea diversos microhábitats que sustentan diferentes comunidades biológicas.

Tabla 3.3.3-108 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño El Totumal, época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OC12	13.4	4	1332	0.28	0.961
TOTUMAL_CL_01	466.7	20	2.66	0.091	0.888

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

La estación TOTUMAL_CL_01, situada en un sistema lótico del caño El Totumal, albergó una comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas compuesta por dos morfoespecies: larvas de *Chironomidae* Mf. (Diptera) y larvas de *Heterelmis* sp. (Coleoptera: Elmidae). Ello representa un phyllum (Arthropoda), una clase (Insecta), dos (2) órdenes, dos (2) familias y un género, con una abundancia total de 11 ind/m² (**Tabla 3.3.3-109**).

Tabla 3.3.3-109 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Totumal	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						TOTUMAL_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	10	10
		Coleóptera	Elmidae	Heterelmis	*Heterelmis sp.*	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**11**	**11**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La dominancia de Chironomidae —un grupo tolerante a hipoxia y altos niveles de materia orgánica— sugiere que la madrevieja experimenta condiciones mesotróficas a eutróficas, acentuadas por la descomposición de biomasa vegetal durante los pulsos de inundación (Roldán 2003; Rosenberg & Resh 1993). Sin embargo, la presencia simultánea de *Heterelmis sp.*, un elmídido reófilo que requiere microflujos de agua bien oxigenada sobre tallos y raíces, indica la existencia de microhábitats heterogéneos: pequeños chorros de agua generados por circulación local o por filtración desde sectores lóticos vecinos (Short & Hebauer, 2006). Esta coexistencia evidencia una conectividad funcional entre sistemas lénticos y loticos, favorecida por la matriz ribereña; los adultos alados de ambos grupos utilizan la vegetación emergente y el borde terrestre como corredores, reforzando el intercambio energético entre hábitats (Allan & Castillo 2007).

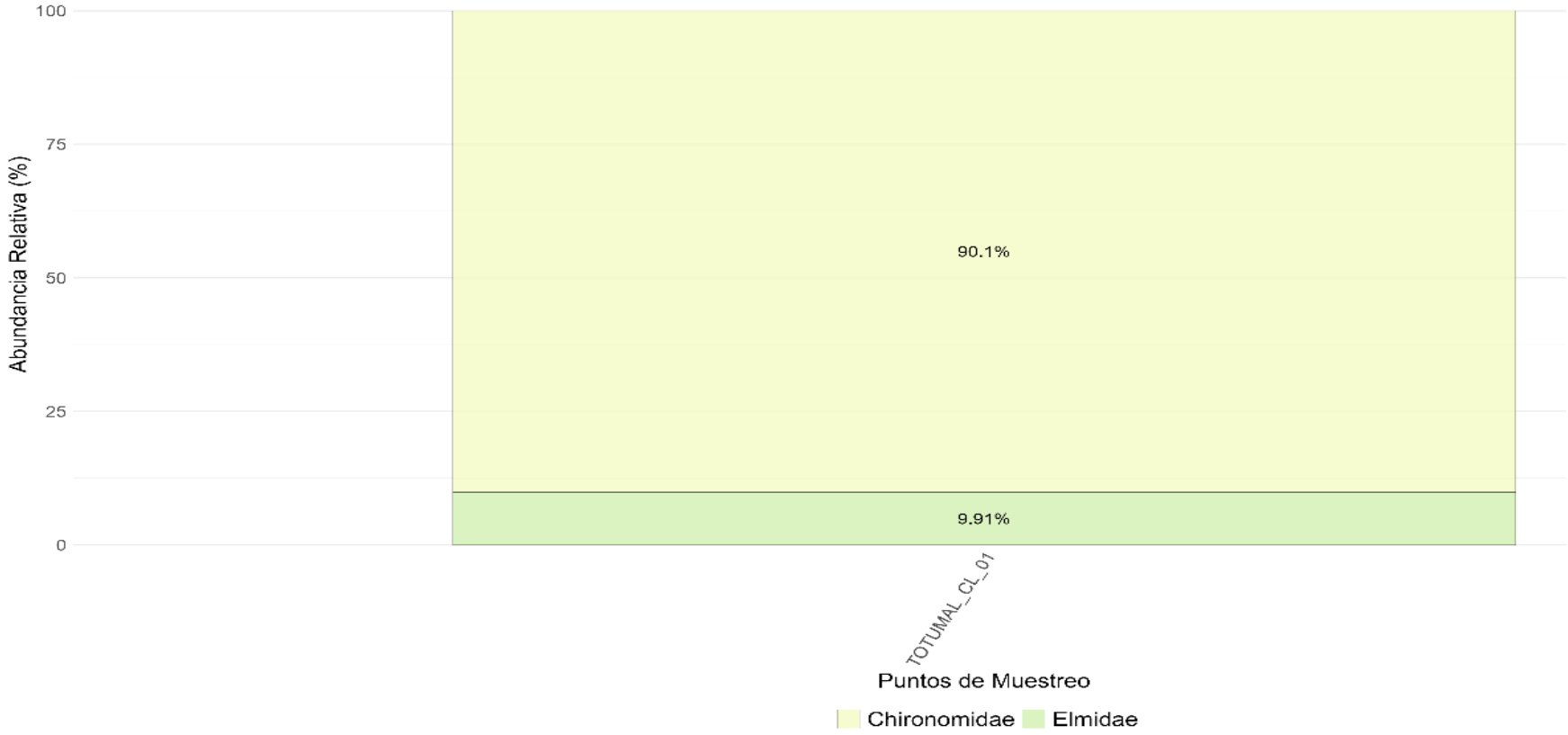


Figura 3.3.3-48 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Con solo dos morfoespecies, el cálculo del BMWP/Col apenas alcanza 9 puntos, ubicando el sitio en la categoría de aguas fuertemente contaminadas; sin embargo, la ausencia de otras familias en la matriz del índice limita la robustez de esta valoración (Roldán 2003) (**Tabla 3.3.3-110**).

Tabla 3.3.3-110 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CL_01	V	Muy crítica	9	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En síntesis, el caño El Totumal alberga un ensamble simplificado, dominado por quirónomidos tolerantes pero con indicios de microambientes más oxigenados que permiten a elmídidos persistir sobre la macrófita. Esta dualidad reafirma el papel de los hábitats ribereños como nodos de biodiversidad en sabanas inundables.

- Diversidad Alfa

En la estación TOTUMAL_CL_01 (caño El Totumal) se registraron 11,1 ind/m² distribuidos en dos morfoespecies—*Chironomidae Mf.* (≈ 90 % de los individuos) y *Heterelmis sp.* (≈ 10 %). El índice de Shannon (H′ = 0,898) confirma una diversidad baja-moderada, coherente con la presencia de solo dos taxones y la fuerte dominancia del quirónomido. El valor de Simpson (D = 0,46, expresado como $1 - \lambda$) respalda esta interpretación: existe una probabilidad de apenas 46 % de que dos organismos tomados al azar pertenezcan a especies diferentes, lo que indica dominancia intermedia-alta (**Tabla 3.3.3-111**).

Tabla 3.3.3-111 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CL_01	11.1	2	0.898	0.46	1.296

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En términos ecológicos, estos índices confirman que la comunidad está fuertemente condicionada por la dominancia de Chironomidae, grupo tolerante a hipoxia y altas cargas de materia orgánica, mientras que la baja representación de *Heterelmis sp.*—un elmídido algo más exigente en oxígeno—sugiere la existencia de microflujos mejor oxigenados en la trama de macrófitas. La baja diversidad refleja, por tanto, un hábitat léntico de inundación reciente donde la colonización aún es incipiente o las condiciones tróficas favorecen a pocos taxones pioneros (Roldán 2003; Allan & Castillo 2007).

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

La estación TOTUMAL_CLE_03, situada en la Microcuenca del caño El Totumal (Microcuenca alta del río Meta, altillanura colombiana) y muestreada durante la época de lluvias, albergó un

ensamblaje de macroinvertebrados asociados a macrófitas compuesto por tres morfoespecies, todas pertenecientes al phyllum Arthropoda y clase Insecta. Se distribuyeron en dos (2) órdenes, tres (3) familias y dos (2) géneros, alcanzando una abundancia total de 12 ind/m². La dominancia correspondió a *Chironomidae* Mf. (7,8 ind/m²; 65 %), seguido por la predadora *Stilobezzia* sp. (3,3 ind/m²; 27 %) y el hidrófilo detritívoro *Berosus* sp. (1,1 ind/m²; 8 %) (**Tabla 3.3.3-112**).

Tabla 3.3.3-112 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño El Totumal	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						TOTUMAL_CLE_03	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	7,8	7,8
			Ceratopogonidae	*Stilobezzia*	*Stilobezzia* sp.	3,3	3,3
		Coleóptera	Hydrophilidae	*Berosus*	*Berosus* sp.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**12**	**12**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la bioindicación, el fuerte aporte de quirónomidos señala condiciones meso- a eutróficas, con sustratos ricos en materia orgánica y episodios de hipoxia propios de las lagunas de inundación (Roldán 2003; Rosenberg & Resh 1993). La presencia simultánea de *Stilobezzia*, díptero predador moderadamente tolerante, y de *Berosus*, coleóptero asociado a hojarasca y raíces sumergidas, sugiere microhábitats heterogéneos: zonas de mayor oxigenación en el entramado de macrófitas y lechos de detrito fino donde los quirónomidos prosperan (Merritt & Cummins 2008). Tal mosaico refleja la interacción funcional entre el sistema léntico y los brazos lóticos adyacentes, que en época de lluvias aportan oxígeno y colonizadores desde corrientes cercanas, al tiempo que el entorno terrestre suministra detritos y refugio para las fases adultas (Allan & Castillo 2007).

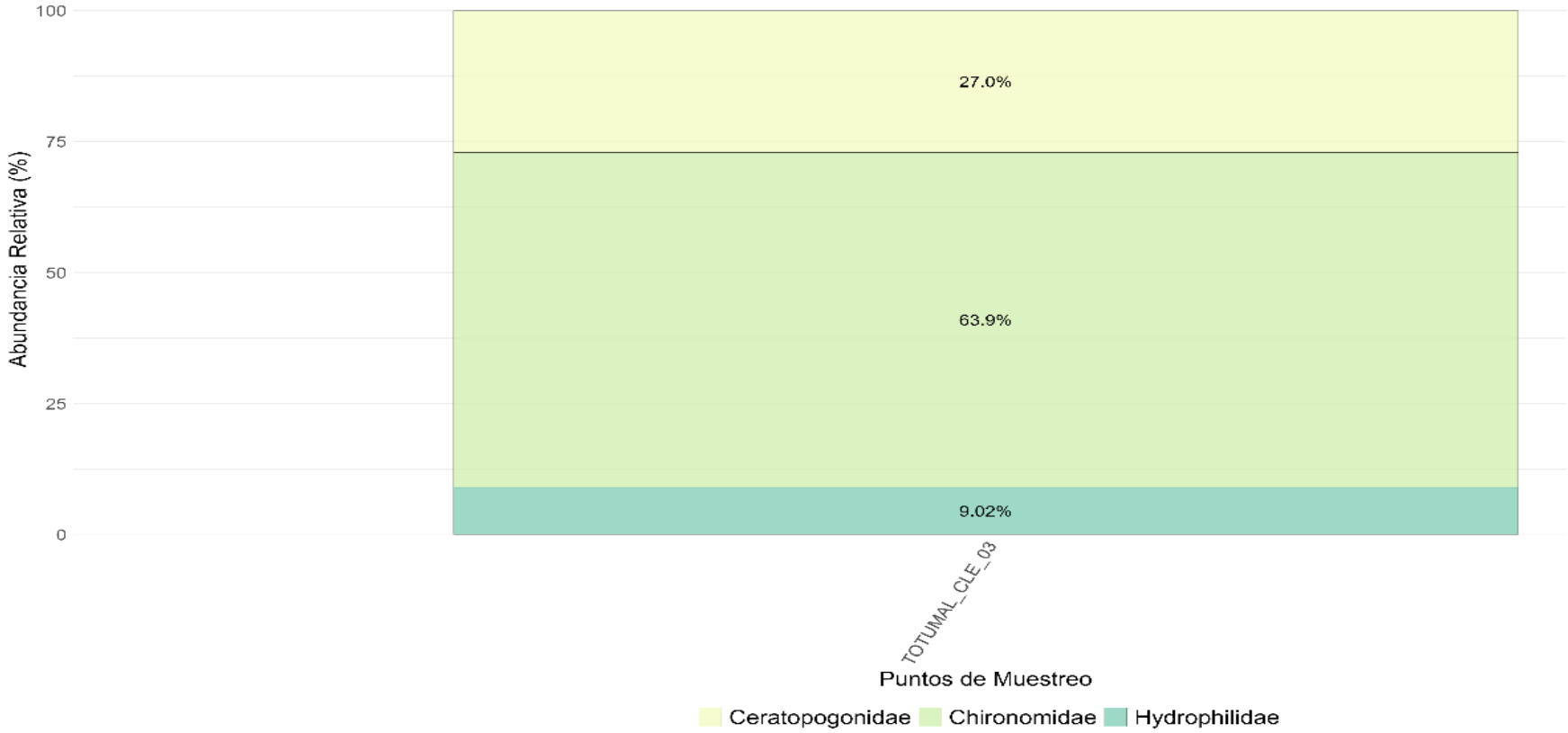


Figura 3.3.3-49 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En consecuencia con solo tres morfoespecies y una cobertura familiar muy restringida, el índice BMWP/Col refleja una calidad "Muy Crítica" asociada con aguas fuertemente contaminadas (**Tabla 3.3.3-113**), ello confirma que la comunidad se halla en un estado temprano de recolonización pos-inundación o en un equilibrio simplificado dominado por taxa tolerantes.

Tabla 3.3.3-113 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col).

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CLE_03	V	Muy crítica	10	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad alfa

En la estación TOTUMAL_CLE_03 (caño El Totumal) se censaron 12,2 ind/m² distribuidos en tres morfoespecies. El índice de Shannon–Wiener (H′ = 1,241) sitúa la diversidad en un rango bajo-medio para humedales de sabana inundable, acorde con la reducida riqueza taxonómica. El valor de Simpson (D = 0,322) —expresado como 1 − λ— confirma una dominancia intermedia: existe un 32 % de probabilidad de que dos individuos elegidos al azar pertenezcan a especies distintas, reflejando la prevalencia de quirónomidos tolerantes frente a los otros dos taxones (**Tabla 3.3.3-114**).

Tabla 3.3.3-114 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño El Totumal, época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CLE_03	12.2	3	1.241	0.322	1.13

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Ecológicamente, estos índices corroboran que la madrevieja se encuentra en un estado meso- a eutrófico: los quirónomidos prosperan en fondos orgánicos y aguas poco oxigenadas, mientras que la presencia de *Stilobezzia* sugiere microhábitats algo mejor oxigenados donde actúa como depredador. La diversidad limitada indica que la comunidad está aún en fase temprana de recolonización tras la crecida o que persisten restricciones tróficas/fisicoquímicas que impiden la instalación de grupos más exigentes.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño El Totumal se identificó una baja diversidad de macrófitas acuáticas con muestreo en tres puntos, registrándose únicamente una morfoespecie perteneciente a la familia Poaceae, identificada como *Paspalum* sp., en dos de los tres puntos de muestreo. Esta especie se encuentra dentro de la división Tracheophyta, clase Magnoliidae, y orden Poales, grupo que incluye muchas gramíneas adaptadas a ambientes húmedos. La cobertura total de macrófitas fue baja, con un 6,67% en el punto TOTUMAL_CLE_02 y 4% en TOTUMAL_CLE_03, reflejando una escasa dominancia estructural dentro de las

comunidades acuáticas evaluadas. En contraste, el punto TOTUMAL_CL_01, correspondiente a un cuerpo de agua lótico, no presentó registros de macrófitas acuáticas, lo que sugiere posibles limitaciones físicas (como velocidad del flujo o sustrato inestable) para el establecimiento de estas plantas, como lo han señalado estudios previos (Sculthorpe, 1967; Esteves, 2011[4]) (**Tabla 3.3.3-115**).

Se observa una baja representación de plantas vasculares acuáticas, con solo una especie reportada, lo cual indica una baja complejidad estructural y funcional de la comunidad vegetal en el área. La única especie presente pertenece a un grupo de angiospermas monocotiledóneas ampliamente distribuidas en ambientes húmedos. Las Poales, y especialmente Poaceae, son comunes en márgenes de cuerpos de agua y zonas de inundación periódica (Cronk & Fennessy, 2001[2]) (**Tabla 3.3.3-115**). La familia Poaceae muestra una importante capacidad de colonización en cuerpos de agua con condiciones moderadas de perturbación, como es el caso de las zonas lénticas del caño. Su presencia puede estar relacionada con bordes con poca profundidad, donde se facilita el enraizamiento y crecimiento de macrófitas emergentes (Chambers et al., 2008[10]).

En el punto TOTUMAL_CL_01 no se registraron macrófitas acuáticas (**Tabla 3.3.3-115**), lo que puede deberse a factores como corriente elevada, tipo de sustrato, o condiciones físico-químicas adversas. En sistemas lóticos, la alta velocidad del agua y la dinámica del sedimento pueden inhibir el establecimiento de macrófitas, especialmente aquellas que no están adaptadas a anclarse firmemente o que requieren aguas más tranquilas para el desarrollo de estructuras foliares flotantes o emergentes (Wetzel, 2001[15]).

Tabla 3.3.3-115 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño El Totumal, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño El Totumal				
				Punto De Muestreo	TOTUMAL_CLE_02		TOTUMAL_CLE_03		TOTUMAL_CL_01
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Poaceae	*Paspalum* sp.	6,67	100	4	100	
Cobertura Total general					**6,67**	**100**	**4**	**100**	**0**
Morfoespecies por Punto					**1**		**1**		**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**1**				

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los dos puntos de agua lénticos presentaron presencia de *Paspalum* sp., con coberturas relativamente bajas (6,67% y 4%, respectivamente), pero con una abundancia relativa del 100% en cada punto, indicando que fue la única especie registrada en estos sitios (**Tabla 3.3.3-115**). Estos resultados sugieren que las condiciones en los cuerpos lénticos son más favorables para el establecimiento de macrófitas, al ofrecer una mayor estabilidad hidrológica y sustratos más adecuados para el enraizamiento, como ha sido documentado en múltiples estudios sobre humedales tropicales (Mitch & Gosselink, 2015[29]).

La comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño El Totumal en temporada de lluvias presenta baja diversidad y cobertura, con un patrón de distribución claramente influenciado por el tipo de cuerpo de agua. La ausencia de especies en ambientes lóticos y la presencia exclusiva de una especie en ambientes lénticos resaltan la importancia de las condiciones hidrológicas y físicas para la estructura de estas comunidades. Este patrón concuerda con lo reportado en la literatura, donde las macrófitas acuáticas muestran mayor diversidad y biomasa en cuerpos de agua estables y poco dinámicos.

- Diversidad Alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con una morfoespecie, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran, 2004[35]) por esta razón no se logró determinar los índices de diversidad.

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación de las comunidades de macrófitas acuáticas entre la época de lluvias y la época seca en la Microcuenca del caño El Totumal revela una notable variación en la riqueza, cobertura y distribución de especies asociadas a los cuerpos de agua, influenciada por el régimen hidrológico estacional.

Durante la época de lluvias, se registró únicamente una morfoespecie (*Paspalum* sp.), perteneciente a la familia Poaceae (División Tracheophyta, Clase Magnoliidae, Orden Poales), en dos cuerpos de agua lénticos (TOTUMAL_CLE_02 y TOTUMAL_CLE_03), con coberturas relativamente bajas (6,67% y 4% respectivamente). No se reportaron macrófitas en el cuerpo de agua lótico TOTUMAL_CL_01. Esta baja diversidad podría estar relacionada con los altos niveles de agua y el aumento de la velocidad del flujo, que limitan el establecimiento de las macrófitas, como lo mencionan (Cronk y Fennessy, 2001[2]) y (Wetzel, 2001[15]), quienes afirman que las condiciones hidrodinámicas intensas durante la temporada de lluvias tienden a reducir la colonización vegetal, especialmente en sistemas lóticos.

Por el contrario, en la época seca se observó una mayor diversidad, con tres morfoespecies identificadas: Poaceae Mf., *Pistia stratiotes* (Araceae) y *Salvinia sprucei* (Salviniaceae), abarcando tanto monocotiledóneas emergentes como flotantes libres. Se registró un incremento significativo en la cobertura total en varios puntos, especialmente en TOTUMAL_CL_01 (78,33%), donde anteriormente no se había reportado presencia de macrófitas. Este patrón se explica porque en la época seca disminuye el caudal y la velocidad del agua, lo que genera condiciones más estables que favorecen el arraigo y desarrollo de macrófitas.

Adicionalmente, se destaca que en cuerpos de agua lénticos como TOTUMAL_CLE_03 se registraron dos morfoespecies en la época seca, comparado con solo una en época de lluvias,

[35] Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. Blackwell Publishing.

evidenciando un incremento en la complejidad estructural del hábitat. También se incorporaron nuevos puntos de muestreo (como PMASup_DS_12 que es una ocupación de cauce), donde se observaron coberturas considerables de macrófitas (20%), reflejando cómo en la temporada seca se amplía el rango de hábitats colonizados.

El patrón observado sugiere que la época seca proporciona condiciones más favorables para la proliferación de macrófitas, especialmente en cuerpos lóticos, debido a la reducción del estrés físico inducido por el flujo. Además, la presencia de especies flotantes como *Pistia stratiotes* y *Salvinia sprucei* es indicativa de aguas más estancadas o con menor velocidad, lo que concuerda con lo observado por (Sculthorpe 1967), quien destaca que estas especies prosperan en ambientes de baja turbulencia y alta disponibilidad de nutrientes

3.3.3.2.8 Microcuenca caño Emma

La Microcuenca del caño Emma, localizada en el municipio de Puerto López, se caracteriza por estar enclavada en la región de la altillanura, una subunidad fisiográfica de la Orinoquia colombiana dominada por formaciones vegetales de sabana, suelos altamente lixiviados y pendientes suaves que favorecen procesos de escorrentía superficial (IGAC, 2013[36]). En este contexto ecológico, el caño Emma representa un ecosistema lótico de importancia regional, cuyo régimen hidrológico está fuertemente influenciado por la estacionalidad climática propia de la zona, con marcadas épocas de lluvias y sequía que determinan la dinámica de sus comunidades acuáticas (IDEAM, 2018[37]). El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se realizó en seis puntos de muestreo: EMMA_CL_03, OCMY12, OCMY13, OCMY14, OCMY15 y OCMY17, todos ellos ubicados sobre el cauce principal y de los cuales los OCMY se refieren a ocupaciones de cauce propuestas. No se incluyen cuerpos lénticos en el análisis debido a que no se presentaron en la Microcuenca.

[36] IGAC (2013). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
[37] IDEAM (2018). Estudio Nacional del Agua 2018. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

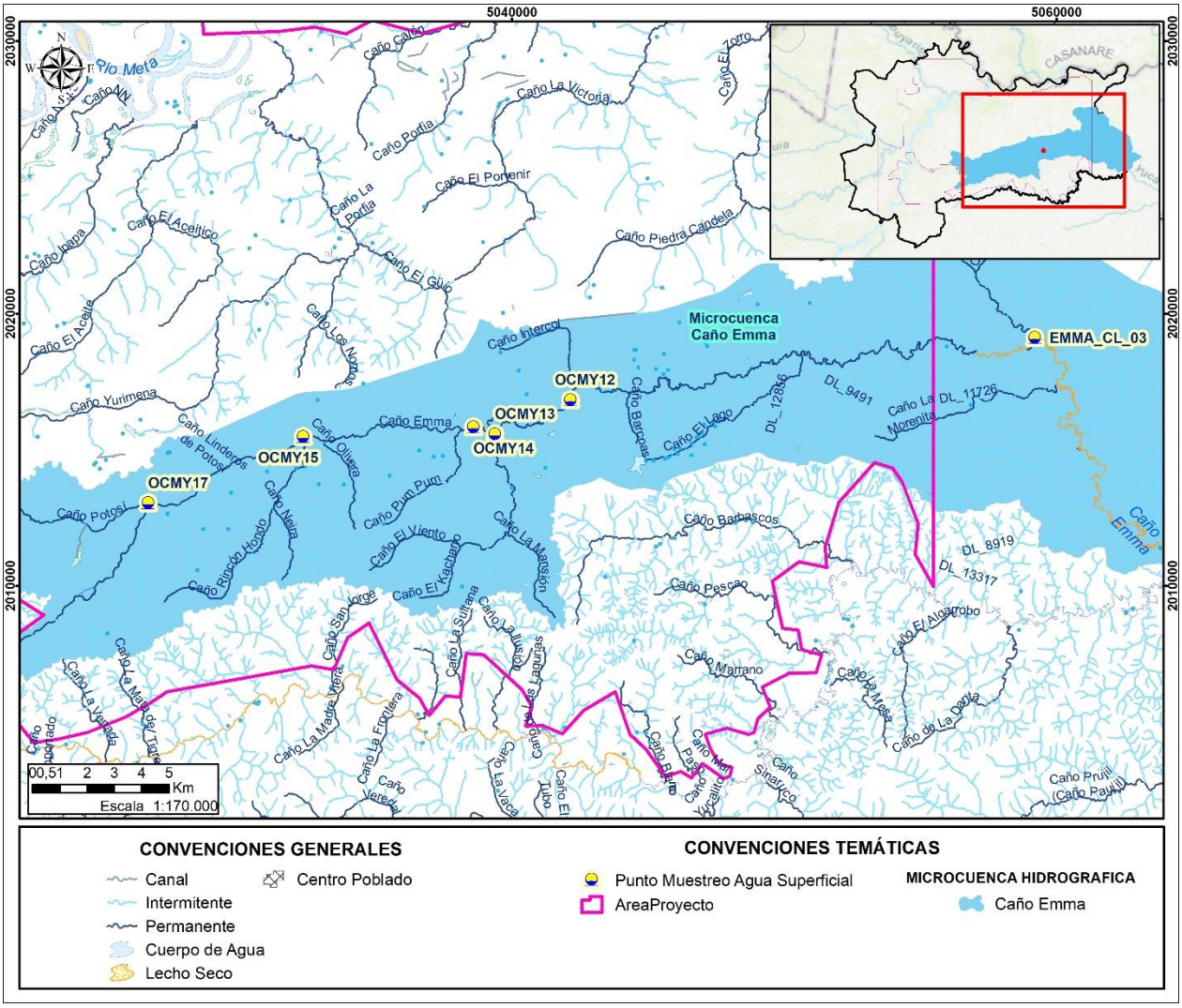


Figura 3.3.3-50 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Emma

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Emma, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores

ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en los seis puntos de muestreo del sistema lótico (OCMY15, OCMY12, OCMY14, EMMA_CL_03, OCMY13, OCMY17) revela una estructura ecológica compleja y diversa, con una abundancia total de 611.5 Ind/cm^2 (**Tabla 3.3.3-116**) distribuida heterogéneamente a lo largo de la Microcuenca. La estación EMMA_CL_03 destaca notablemente con 220.1 Ind/cm^2 (**Tabla 3.3.3-116**) representando el 36% del total, dominada por el género *Spirogyra* (161.5 Ind/cm^2) y un porcentaje de abundancia (73.37%) (**Figura 3.3.3-51**), cuya presencia masiva sugiere condiciones de flujo reducido y posible enriquecimiento orgánico, características de zonas con influencia lentica. Le siguen en importancia OCMY12 (113.7 Ind/cm^2) y OCMY13 (114.5 Ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-116**), donde se observa una comunidad más equilibrada con predominio de diatomeas como *Eunotia* (31.2 y 39.1 Ind/cm^2 respectivamente) (**Tabla 3.3.3-116**) y porcentajes de abundancia (27.44% y 34.15%) (**Figura 3.3.3-51**) respectivamente y *Pinnularia* (21.2 Ind/cm^2 y 10.4 Ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-116**) y un porcentaje de abundancia respectivo (18.65% y 9.08%) (**Figura 3.3.3-51**) respectivamente, indicadoras de aguas ácidas y bien oxigenadas. Los puntos OCMY15, OCMY14 y OCMY17 presentan abundancias menores (65.9, 18.3 y 79 Ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-116**) respectivamente, pero con taxones bioindicadores clave: *Ulnaria* en OCMY15 (27.8 Ind/cm^2 y un porcentaje de abundancia 42.18%) (**Tabla 3.3.3-116**) (**Figura 3.3.3-51**) señala corrientes moderadas, mientras que *Cymatopleura* en OCMY17 (39.8 Ind/cm^2) suele asociarse a aguas alcalinas con alta conductividad.

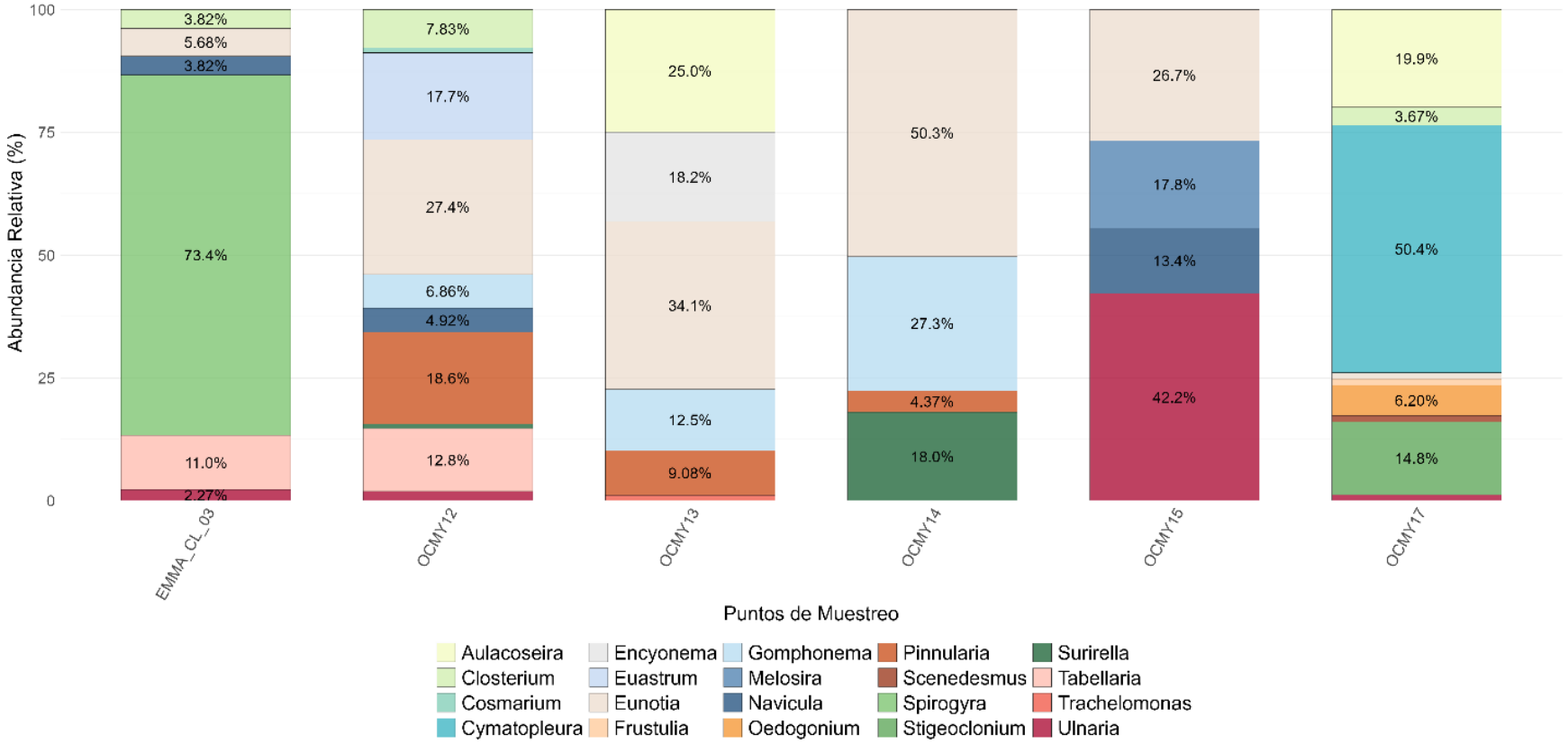


Figura 3.3.3-51 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La riqueza de morfoespecies muestra variaciones significativas entre estaciones, siendo OCMY12 y EMMA_CL_03 las que presentan mayor diversidad de géneros (14 y 10 respectivamente). La composición taxonómica refleja interacciones complejas entre sistemas lóticos, lenticos y terrestres, la abundancia de *Melosira* y *Aulacoseira* (11.7 y 44.3 Ind/ cm^2) en OCMY15 y OCMY13 indica conexión con sistemas fluviales principales de aguas turbulentas; la dominancia de *Spirogyra* en EMMA_CL_03 revela influencia lentica, probablemente por proximidad a humedales o zonas de inundación; la presencia de *Stigeoclonium* (11.7 Ind/ cm^2) y *Oedogonium* (4.9 Ind/ cm^2) en OCMY17 sugiere aportes terrestres de nutrientes. Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad en conjunto señala un sistema con gradientes de calidad del agua desde condiciones óptimas (OCMY12, OCMY13 con diatomeas sensibles como *Eunotia*) hasta zonas con posible impacto con aporte de materia orgánica (EMMA_CL_03 con *Spirogyra*). La notable abundancia de *Tabellaria* (38.8 Ind/ cm^2) y *Closterium* (20.2 Ind/ cm^2), organismos asociados a interfaces agua-tierra, refuerza la importancia de las interacciones ribereñas en la estructuración de estas comunidades.

En conclusión, el ensamble perifítico de la altillanura durante la época seca presenta un mosaico ecológico donde conviven especies indicadoras de diferentes calidades ambientales. La interacción de diatomeas sensibles (*Eunotia*, *Pinnularia*) con algas tolerantes (*Spirogyra*, *Stigeoclonium*) sugiere un sistema con heterogeneidad espacial marcada, donde los procesos de conectividad hidrológica y los aportes ribereños juegan roles determinantes. Estos patrones coinciden con lo reportado por (Biggs B. F., 1996) en sistemas neotropicales, donde la variabilidad microambiental genera nichos ecológicos diferenciados para el perifiton. La presencia simultánea de bioindicadores de aguas limpias y contaminadas podría reflejar tanto la natural variabilidad de las llanuras aluviales como impactos antropogénicos incipientes.

Tabla 3.3.3-116 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Emma						Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm^2)
					OCMY15	OCMY12	OCMY14	EMMA_CL_03	OCMY13	OCMY17	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*					20,8		20,8
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*		7,8	5		14,3		27,1
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		1,1	3,3				4,4
				Cymatopleura						39,8	39,8
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		21,2	0,8		10,4		32,4
			Amphipleuraceae	*Frustulia*						1	1
			Naviculaceae	*Navicula*	8,8	5,6		8,4			22,8
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	17,6	31,2	9,2	12,5	39,1	1	110,6
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		14,5		24,3			38,8
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	27,8	2,2		5		1	36
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*	11,7						11,7
		Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*					28,6	15,7	44,3
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*						4,9	4,9
		Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium*						11,7	11,7
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*						1	1

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Emma						Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY15	OCMY12	OCMY14	EMMA_CL_03	OCMY13	OCMY17	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		1,1					1,1
				Euastrum		20,1					20,1
			Closteriaceae	*Closterium*		8,9		8,4		2,9	20,2
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*				161,5			161,5
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*					1,3		1,3
Gran Total					**65,9**	**113,7**	**18,3**	**220,1**	**114,5**	**79**	**611,5**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices ecológicos en los seis puntos de muestreo revela una marcada heterogeneidad en la comunidad perifítica de la Microcuenca durante la época seca. La estación EMMA_CL_03 muestra una situación paradójica, con la mayor abundancia (220.1 Ind/mL) pero los valores más bajos de diversidad (Shannon=0.979) y equitatividad (Pielou=0.546) (**Tabla 3.3.3-117**), combinados con un alto índice de Simpson (0.564), lo que indica una comunidad dominada por pocas especies, probablemente adaptadas a condiciones particulares de estrés ambiental o alta disponibilidad de recursos específicos. En contraste, OCMY12 emerge como el punto de mayor calidad ecológica, presentando la mayor riqueza (10 géneros) junto con altos valores de diversidad (Shannon=1.936) y baja dominancia (Simpson=0.171) (**Tabla 3.3.3-117**), característicos de ambientes bien conservados y equilibrados. Los puntos OCMY13 y OCMY17 muestran condiciones intermedias, con abundancias similares pero diferente estructura comunitaria OCMY13 destaca por su mayor equitatividad (Pielou=0.913) (**Tabla 3.3.3-117**) mientras OCMY17 combina mayor riqueza con menor uniformidad en la distribución de especies. Los puntos OCMY14 y OCMY15, con las menores abundancias, presentan comunidades sencillas pero interesantes, especialmente OCMY15 que muestra un valor de Pielou de 1 (**Tabla 3.3.3-117**), lo que podría indicar condiciones microambientales únicas.

En conclusión, la Microcuenca presenta una calificación ecológica que varía desde regular hasta buena, dependiendo del sector evaluado. El sistema muestra capacidad para mantener comunidades diversas y equilibradas en algunos puntos (especialmente OCMY12), mientras que en otros (como EMMA_CL_03) se observan señales de posible perturbación o condiciones ambientales extremas. Esta variabilidad es característica de sistemas lóticos en regiones de altillanura, donde factores como la geomorfología local, los aportes de nutrientes y la conectividad hidrológica crean microambientes diferenciados. La presencia simultánea de puntos con alta diversidad y otros con dominancia de pocas especies sugiere que la Microcuenca mantiene importantes refugios de biodiversidad, pero también áreas potencialmente vulnerables. En términos generales, la Microcuenca muestra una condición ecológica aceptable.

Tabla 3.3.3-117 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Emma, época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
EMMA_CL_03	220,10	6	0,98	0,56	0,5
OCMY12	113,70	10	1,94	0,17	0,8
OCMY13	114,50	6	1,64	0,22	0,9
OCMY14	18,30	4	1,15	0,36	0,8
OCMY15	65,90	4	1,42	0,27	1,0
OCMY17	79,00	9	1,47	0,32	0,7

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico correspondiente al caño Emma, ubicado en la región de la altillanura y monitoreado durante la época seca, revela una estructura biológica muy simplificada, compuesta por una única morfoespecie perteneciente al phyllum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Chironomidae. Esta familia, comúnmente conocida como "mosquitos no picadores", es representada exclusivamente por la morfoespecie *Chironomidae Mf.*, cuya abundancia total en la Microcuenca fue de 9 individuos/m², distribuidos entre las estaciones de monitoreo OCMY15 (3,3 ind/m²), OCMY14 (1,1 ind/m²) y OCMY17 (4,4 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-118**).

Tabla 3.3.3-118 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Emma			Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY15	OCMY14	OCMY17	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	3,3	1,1	4,4	8,8
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**3**	**1**	**4**	**9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La baja riqueza taxonómica observada —una sola morfoespecie— limita la posibilidad de evaluar diversidad ecológica en sentido estricto, ya que no se cumple con el criterio mínimo de múltiples unidades biológicas para caracterizar una comunidad (Magurran A. E., 2004). Esta situación también impide aplicar índices como Shannon-Wiener o Simpson de forma significativa. Desde el punto de vista bioindicador, la presencia exclusiva de Chironomidae, una familia reconocida por su alta tolerancia a condiciones anóxicas, elevada carga orgánica y contaminación por nutrientes (Merritt & Cummins, 2008; Roldan G. , 2003), sugiere que los puntos evaluados presentan condiciones ambientales degradadas, posiblemente relacionadas con la sedimentación excesiva, escasa oxigenación del sustrato y acumulación de materia orgánica, características típicas de sistemas lóticos estacionales o de baja conectividad hidrológica en época seca.

Además, es importante considerar la posible interacción entre los sistemas lóticos monitoreados y ambientes lenticos adyacentes, como madreviejas o cuerpos de agua estacionales, así como el aporte de materia orgánica desde el entorno terrestre. Durante la época seca, la disminución del caudal y la fragmentación del sistema hídrico en la altillanura favorecen el aislamiento de hábitats acuáticos, lo que promueve el predominio de especies tolerantes y oportunistas como los Chironomidae. La ausencia de taxones más sensibles, como Trichoptera o Ephemeroptera, refuerza la hipótesis de una alteración estructural del ecosistema, probablemente exacerbada por presiones antrópicas como ganadería extensiva, erosión ribereña y deforestación en zonas cercanas (Allan & Castillo, 2007).

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados en el caño Emma evidencia un estado ecológico simplificado, dominado por una sola morfoespecie tolerante, lo que refleja condiciones ambientales críticas y un bajo potencial de resiliencia ecológica.

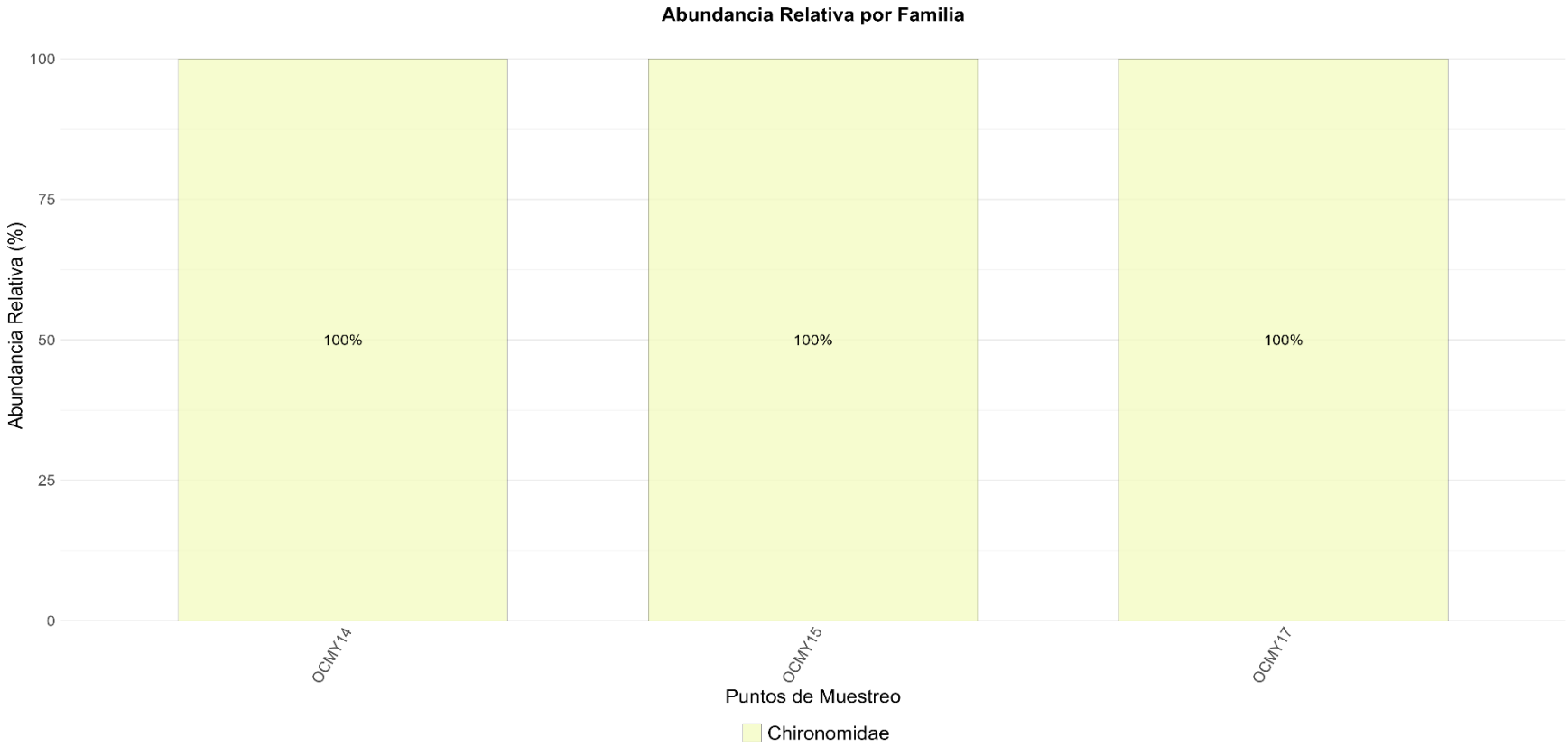


Figura 3.3.3-52 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante el monitoreo de temporada seca en cuerpos de agua lóticos de la Microcuenca del caño Emma, se identificaron cuatro morfoespecies de macrófitas acuáticas pertenecientes a la División Tracheophyta, Clase Magnoliidae, distribuidas en cuatro órdenes distintos: Commelinales, Poales, Solanales y Sapindales (**Tabla 3.3.3-119**). Esta diversidad taxonómica, aunque moderada, refleja la adaptación de distintas formas de vida vegetal a condiciones ambientales características de sistemas lóticos de altillanura, como alta radiación solar, fluctuaciones en el nivel del agua y suelos poco desarrollados (Rangel-Ch., 2006[38]).

Por punto de muestreo, OCMY15 (ocupación de cauce) presentó una única especie dominante: *Pontederia* sp. (Pontederiaceae), con una cobertura y abundancia relativa del 100%. Esta especie, típica de ambientes acuáticos de corriente lenta, actúa como estabilizadora de márgenes y proveedora de hábitat para fauna asociada (Esteves, 2011[4]). En el punto EMMA_CL_03, se registró también una sola especie: *Solanum* sp. (Solanaceae), con dominancia absoluta. La presencia de esta especie es relevante, dado que ciertos miembros del género *Solanum* pueden colonizar orillas temporalmente expuestas, lo cual sugiere su capacidad para resistir pulsos de sequía. El punto OCMY17 (ocupación de cauce) presentó la mayor riqueza local (2 morfoespecies), con una cobertura total del 45,33%. Se observaron Cyperaceae Mf. y *Trichillia* sp. (Meliaceae), con Cyperaceae Mf. dominando en abundancia relativa (97,79%). Las ciperáceas son comúnmente indicadoras de suelos hidromorfos y transiciones entre hábitats terrestres y acuáticos (Cronk & Fennessy, 2001[2]), mientras que la baja abundancia de *Trichillia* sp. sugiere un papel marginal o posiblemente transitorio en la comunidad. En los restantes tres puntos (OCMY12, OCMY13 y OCMY14) no se encontraron macrófitas acuáticas (**Tabla 3.3.3-119**).

En cuanto a la composición taxonómica general, se encontró que las macrófitas presentes pertenecen exclusivamente a angiospermas, evidenciando la dominancia de plantas vasculares superiores adaptadas a hábitats ribereños y humedales. La distribución de las especies sugiere patrones de zonación condicionados por el caudal, la luz y la estabilidad del sustrato (Wetzel, 2001[15]). En el contexto del sistema lótico evaluado, donde no se encontraron cuerpos lénticos, se evidencia que las especies dominantes tienden a estar relacionadas con condiciones de corriente baja o márgenes inundables estacionales. El bajo número de morfoespecies por punto sugiere condiciones ambientales selectivas o alteradas, que podrían limitar la diversidad de macrófitas en estos tramos del caño Emma.

[38] Rangel-Ch., J. O. (2006). La vegetación en el ambiente físico de la altillanura colombiana. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 3.3.3-119 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Emma, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Emma					
				Punto De Muestreo	OCMY15		EMMA_CL_03		OCMY17	
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Commelinales	Pontederiaceae	*Pontederia* sp.	100	100				
		Poales	Cyperaceae	Cyperaceae Mf.					44,33	97,79
		Solanales	Solanaceae	*Solanum* sp.			100	100		
		Sapindales	Meliaceae	*Trichillia* sp.					1	2,21
Cobertura Total general					**100**	**100**	**100**	**100**	**45,33**	**100**
Morfoespecies por Punto					**1**		**1**		**2**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con una o dos morfoespecies, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran, 2004[35]) por esta razón no se logró determinar los índices de diversidad.

➢ *Época lluvias*

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en la Microcuenca Caño Emma, monitoreado durante la época lluviosa en la altillanura a través de seis estaciones (OCMY15, OCMY12, OCMY14, EMMA_CL_03, OCMY13 y OCMY17), presenta una notable diversidad con una abundancia total de 494.1 ind/cm² distribuida en 22 géneros pertenecientes a cuatro divisiones diferentes (**Tabla 3.3.3-120**). La estructura comunitaria muestra marcadas variaciones espaciales, siendo las estaciones OCMY12 (172.9 ind/cm²) y EMMA_CL_03 (164.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-120**) las que concentran la mayor biomasa, mientras que OCMY14 (17.4 ind/cm²) y OCMY17 (30.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-120**) presentan las menores abundancias. La comunidad está dominada por diatomeas (Heterokontophyta), que representan el 68.4% de la abundancia total, destacándose *Eunotia* (87.2 ind/cm²), *Pinnularia* (71.9 ind/cm²) y *Achnanthes* (31 ind/cm²) como los géneros más abundantes. Las algas verdes (Charophyta) constituyen el 28.2% del total, con *Zygnema* (42.8 ind/cm²) y *Spirogyra* (55.8 ind/cm²) como representantes principales, mientras que Cyanobacteria y Euglenophyta aparecen en proporciones menores al 3%.

Los géneros con mayor representatividad en el punto EMMA_CL_03 son *Achnantes* y *Ulnaria* reportan un total de (31 Ind/cm^2) y un porcentaje de abundancia del (18.88%) (**Tabla 3.3.3-120**) (**Figura 3.3.3-53**); el punto OCMY12 reporto *Spirogyra* con 39.1 Ind/cm^2 y un porcentaje de representatividad del 22.61% y *Zygnema* con un 42.8 Ind/cm^2 y un porcentaje de abundancia es del 24.75%)(**Tabla 3.3.3-120**) (**Figura 3.3.3-53**); OCMY13 reporto *Pinnularia* y *Eunotia* con abundancias respectivas del (27.9 Ind/cm^2 y 11.2 Ind/cm^2) y porcentajes de representatividad del (53.96% y 21.66%)(**Tabla 3.3.3-120**) (**Figura 3.3.3-53**); OCMY15 reporto *Eunotia* y *Spirogyra* con abundancias respectivas del 24.2 Ind/cm2 y 16.7% Ind/cm2 y un porcentaje respectivo del (41.94% y 28.94%)(**Tabla 3.3.3-120**) (**Figura 3.3.3-53**); OCMY17 reporto *Eunotia* y *Frustulia* con porcentajes de abundancia respectivos del (12.1 Ind/cm^2 y 7.6 Ind/cm^2) y porcentajes de abundancia del (40.06% y 25.17%) (**Tabla 3.3.3-120**) (**Figura 3.3.3-53**) y finalmente la estación OCMY14 reporto un único género *Eunotia* con una abundancia del 17.4 Ind/cm2 y un porcentaje de abundancia total del 100%.

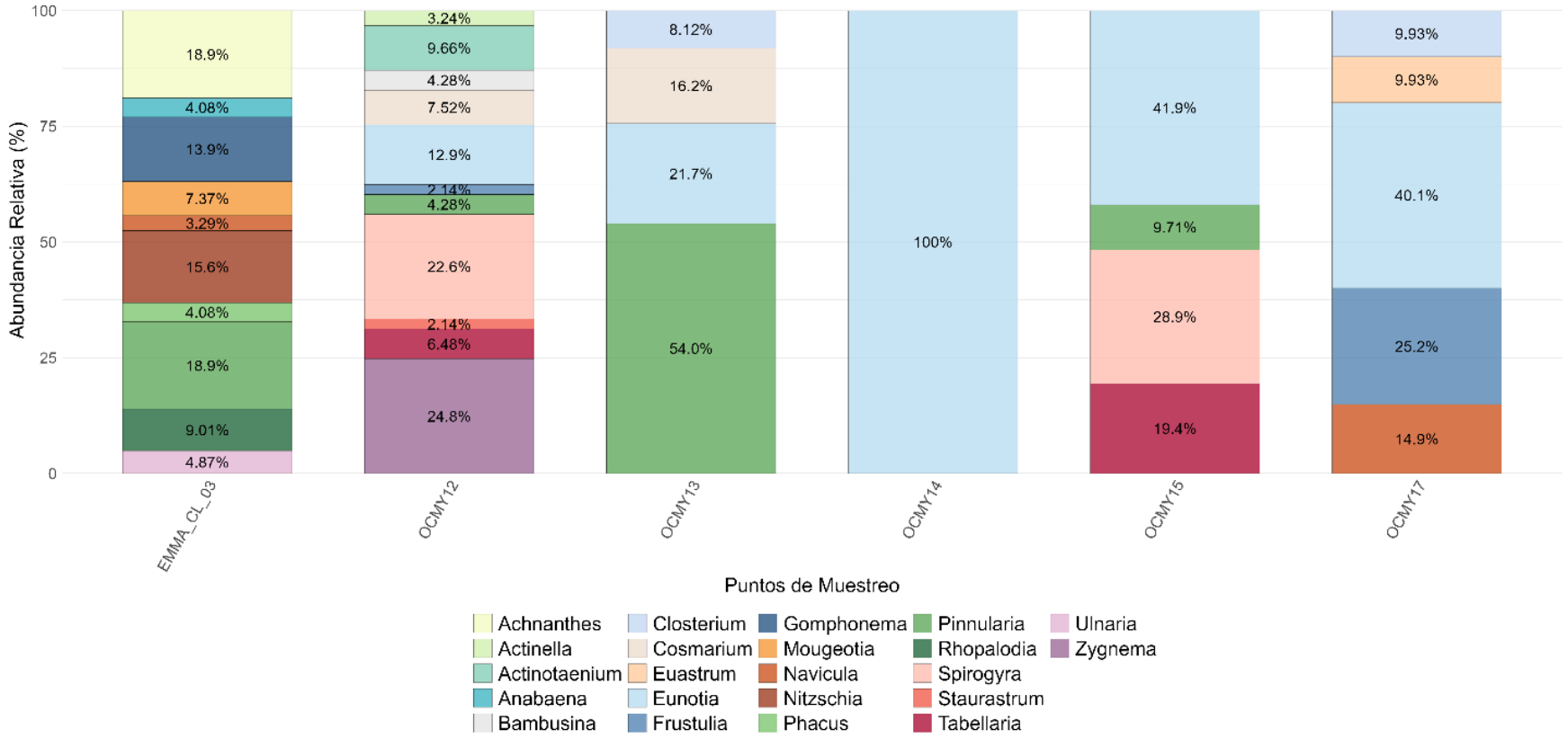


Figura 3.3.3-53 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad refleja un gradiente ecológico significativo. La presencia dominante de *Eunotia* y *Pinnularia*, diatomeas sensibles a perturbaciones y típicas de aguas limpias y bien oxigenadas (Round et al., 1990), sugiere que gran parte de la Microcuenca mantiene condiciones de buena calidad. Sin embargo, la notable presencia de *Spirogyra* y *Zygnema* (indicadores de enriquecimiento nutritivo) en OCMY12 y EMMA_CL_03 señala áreas con posible influencia de escorrentía agrícola o aportes orgánicos durante las lluvias (Wehr & Sheath, 2003). La aparición esporádica de *Anabaena* (Cyanobacteria) en EMMA_CL_03 y *Phacus* (Euglenophyta) podría indicar microhábitats con condiciones reducidas de oxígeno o materia orgánica en descomposición.

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres es evidente en la distribución espacial de los taxones. Mientras que las estaciones con mayor influencia lótica (OCMY15, OCMY13) presentan comunidades dominadas por diatomeas adaptadas a corrientes (*Tabellaria*, *Frustulia*), aquellas con características más lénticas (OCMY12, EMMA_CL_03) muestran proliferación de algas filamentosas (*Spirogyra*, *Zygnema*), sugiriendo zonas de remanso o menor flujo. Los aportes terrestres se manifiestan en la presencia de *Cosmarium* y *Closterium* (desmidios), típicos de aguas pobres en nutrientes pero sensibles a cambios en la química del agua por escorrentía (Coesel & Meesters, 2007).

En conclusión, la Microcuenca Caño Emma presenta una calificación ecológica buena-moderada, con áreas de excelente calidad (dominadas por diatomeas sensibles) y sectores que requieren atención (con proliferación de algas indicadoras de eutrofización). La alta diversidad (21 géneros) y la estructura del ensamble reflejan un sistema con buena resiliencia.

Tabla 3.3.3-120 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Emma, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Emma						Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY15	OCMY12	OCMY14	EMMA_CL_03	OCMY13	OCMY17	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*				22,9			22,9
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	5,6	7,4		31	27,9		71,9
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		3,7				7,6	11,3
			Naviculaceae	*Navicula*				5,4		4,5	9,9
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	24,2	22,3	17,4		11,2	12,1	87,2
				Actinella		5,6					5,6
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	11,2	11,2					22,4
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*				8			8
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*				14,8			14,8
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*				31			31
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*				25,6			25,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		13			8,4		21,4
				Actinotaenium		16,7					16,7
				Staurastrum		3,7					3,7
				Euastrum						3	3
				Bambusina		7,4					7,4
			Closteriaceae	*Closterium*					4,2	3	7,2

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Emma						Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY15	OCMY12	OCMY14	EMMA_CL_03	OCMY13	OCMY17	
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	*Mougeotia*				12,1			12,1
				Zygnema		42,8					42,8
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	16,7	39,1					55,8
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena*				6,7			6,7
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Phacus*				6,7			6,7
Gran Total					**57,7**	**172,9**	**17,4**	**164,2**	**51,7**	**30,2**	**494,1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad en las seis estaciones monitoreadas de la Microcuenca Caño Emma revelan un gradiente ecológico significativo que refleja las variaciones espaciales en la calidad del hábitat. La estación EMMA_CL_03 destaca como la más diversa y equilibrada, con valores altos del índice de Shannon (H'=2.229) (**Tabla 3.3.3-121**) y una excelente uniformidad (Pielou=0.968) (**Tabla 3.3.3-121**), combinados con una baja dominancia (Simpson=0.126) **(Tabla 3.3.3-121**). Estos resultados, sumados a su alta riqueza (10 géneros), sugieren un ambiente estable y bien conservado, donde ninguna especie domina excesivamente la comunidad. La estación OCMY12, aunque presenta la mayor abundancia (172.9 ind/cm²) y riqueza (11 géneros) (**Tabla 3.3.3-121**), muestra valores ligeramente inferiores en los índices de Shannon (2.096) y Pielou (0.874) (**Tabla 3.3.3-121**), lo que indica cierta dominancia de especies oportunistas, probablemente relacionada con aportes de nutrientes durante las lluvias. En contraste, las estaciones periféricas (OCMY13, OCMY15 y OCMY17) presentan diversidades más bajas (Shannon entre 1.28-1.525) (**Tabla 3.3.3-121**) y mayores valores de dominancia (Simpson 0.231-0.3) (**Tabla 3.3.3-121**), coherentes con su menor riqueza (4-5 géneros) (**Tabla 3.3.3-121**). El caso extremo es OCMY14, que con solo un género presente (*Eunotia*) y un índice de Shannon de 0 (**Tabla 3.3.3-121**), representa un ambiente posiblemente restrictivo o sometido a perturbaciones puntuales.

La integración de estos resultados permite concluir que la Microcuenca Caño Emma presenta una calificación ecológica buena, pero con heterogeneidad espacial marcada. Las áreas centrales (EMMA_CL_03 y OCMY12) mantienen comunidades diversas y equilibradas, indicadoras de buena calidad de agua, mientras que las zonas periféricas muestran señales de estrés ambiental.

Tabla 3.3.3-121 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Emma, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
EMMA_CL_03	164,20	10	2,23	0,13	0,97
OCMY12	172,90	11	2,10	0,15	0,87
OCMY13	51,70	4	1,53	0,23	1,10
OCMY14	17,40	1	0	1	
OCMY15	57,70	4	1,28	0,30	0,92
OCMY17	30,20	5	1,47	0,26	0,91

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Caño Emma, monitoreado durante la época de lluvias, presenta una estructura de la comunidad particular que refleja las condiciones ambientales de este ecosistema acuático. El estudio abarcó seis estaciones de muestreo (OCMY12, OCMY13, OCMY14, OCMY15, OCMY17 y EMMA_CL_03) que en conjunto registraron una abundancia total de 53 ind/m², distribuidos en ocho (8) morfoespecies pertenecientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases, seis (6) órdenes, seis (6) familias y cuatro (4) géneros identificados (Probezzia, Hexacylloepus, Rhagovelia y Oxyethira) (**Tabla 3.3.3-122**).

Tabla 3.3.3-122 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Emma						Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY15	OCMY14	OCMY17	EMMA_CL_03	OCMY12	OCMY13	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae Mf.*			2,2			3,3	5,5
	Polychaeta	Eunicida	Lumbrineridae		*Lumbrineridae Mf.*			1,1				1,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*	16,7	14,4		5,6	1,1	1,1	38,9
			Ceratopogonidae	Probezzia	Probezzia sp.						1,1	1,1
		Coleóptera	Elmidae	Hexacylloepus	Hexacylloepus sp.					1,1		1,1
		Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	Rhagovelia sp.		2,2					2,2
				Rhagovelia	*Rhagovelia sp.*				2,2			2,2
		Trichoptera	Hydroptilidae	Oxyethira	Oxyethira sp.	1,1						1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**18**	**17**	**3**	**8**	**2**	**6**	**53**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad estudiada muestra una marcada dominancia de los quironómidos (*Chironomidae* Mf.), que representaron el 73.4% de la abundancia total (38.9 ind/m²), siendo particularmente abundantes en las estaciones OCMY15 (16.7 ind/m²) y OCMY14 (14.4 ind/m²). Este patrón de dominancia es característico de sistemas acuáticos con algún grado de perturbación, ya que los quironómidos son conocidos por su tolerancia a condiciones ambientales adversas (Roldán & Ramírez, 2008). La presencia de otros grupos taxonómicos, aunque en bajas abundancias, proporciona información valiosa sobre la calidad del hábitat. Destacan especialmente los elmidos (*Hexacylloepus sp.*) y los tricópteros (*Oxyethira sp.*), considerados bioindicadores de buena calidad de agua, que aparecieron en muy bajas densidades (1.1 ind/m² cada uno) en las estaciones OCMY12 y OCMY15 respectivamente (Domínguez & Fernández, 2009).

Desde la perspectiva de la bioindicación, la composición de la comunidad sugiere un gradiente de calidad ambiental a lo largo del Caño Emma. Las estaciones OCMY15 y OCMY14, dominadas por quironómidos, presentarían las condiciones menos favorables, mientras que la presencia de

organismos más sensibles como *Hexacylloepus sp.* (en OCMY12) y *Oxyethira sp.* (en OCMY15) indicaría microhábitats mejor conservados. La aparición de poliquetos (Lumbrineridae Mf.) en OCMY17 (1.1 ind/m²) y oligoquetos (*Naididae Mf.*) en OCMY13 y OCMY17 (3.3 y 2.2 ind/m² respectivamente) sugiere zonas con acumulación de materia orgánica en el sedimento (Brusca & Brusca, 2003).

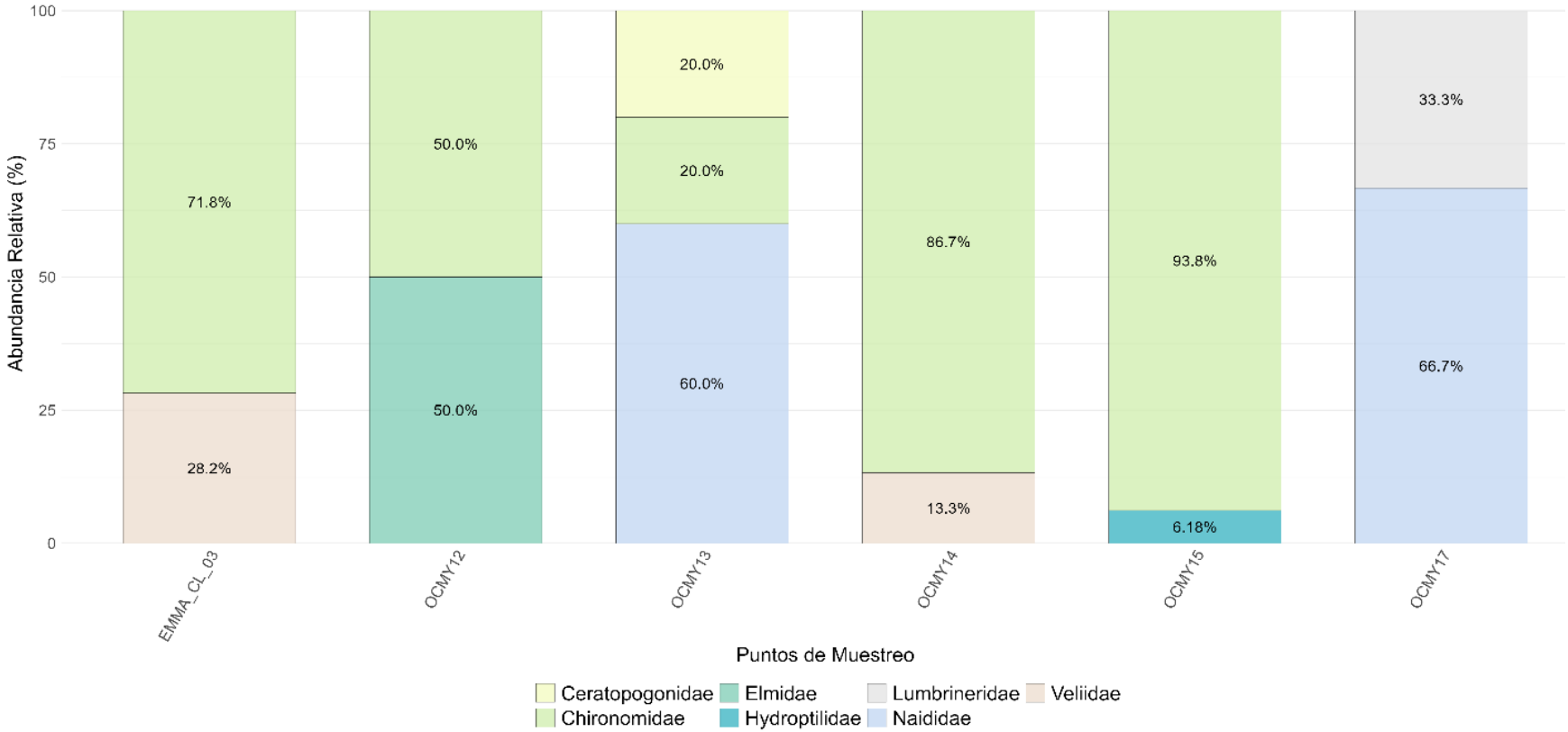


Figura 3.3.3-54 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de las interacciones ecológicas revela conexiones importantes entre los sistemas lóticos, lénticos y terrestres. Los hemípteros del género Rhagovelia (encontrados en OCMY14 y EMMA_CL_03 con 2.2 ind/m² cada uno) representan un vínculo con la superficie del agua y el ecotono terrestre-acuático, ya que son depredadores que se alimentan de organismos caídos al agua (Merritt & Cummins, 2008). Los tricópteros (*Oxyethira sp.*), con sus requerimientos específicos de hábitat, indican conexiones con sistemas bien conservados, mientras que la presencia de poliquetos sugiere cierta influencia marina o estuarina, posiblemente a través de conexiones subterráneas o eventos de crecida (Domínguez & Fernández, 2009).

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del Caño Emma presenta una comunidad con baja diversidad pero con distribución heterogénea a lo largo del sistema. La marcada dominancia de quironómidos en la mayoría de las estaciones sugiere condiciones ambientales subóptimas, aunque la presencia esporádica de taxones sensibles indica la existencia de microhábitats mejor conservados. La composición de la comunidad refleja la influencia combinada de factores lóticos (corriente principal), lénticos (zonas de remanso) y terrestres (interacciones ribereñas), mostrando la complejidad ecológica de estos sistemas de altillanura.

Los resultados del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) en el sistema lótico del Caño Emma revelan una situación ambiental crítica en todos los puntos de monitoreo evaluados, aunque con variaciones espaciales en la magnitud del impacto. Los valores del BMWP oscilaron entre 2 y 10, ubicando todas las estaciones en la Clase V (Muy crítica), lo que indica condiciones de contaminación severa en todo el sistema.

La estación OCMY15 presentó el valor más alto (BMWP=10), debido principalmente a la presencia de *Oxyethira sp.* (Trichoptera: Hydroptilidae), un taxón sensible que aporta una puntuación significativa al índice. Sin embargo, la dominancia de *Chironomidae* Mf. (16,7 ind/m²) en esta misma estación limita la calificación general, manteniéndola en la categoría más crítica (Roldán & Ramírez, 2008). OCMY12 (BMWP=9) mostró una situación similar, donde la presencia de *Hexacylloepus sp.* (Coleoptera: Elmidae) no fue suficiente para compensar la baja diversidad y la presencia mayoritaria de organismos tolerantes (**Tabla 3.3.3-123**).

Tabla 3.3.3-123 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Emma, época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO EMMA	OCMY15	V	Muy crítica	10	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCMY12	V	Muy crítica	9	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCMY13	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	EMMA_CL_03	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCMY14	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCMY17	-	-	-	-

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Las estaciones EMMA_CL_03 y OCMY14 presentaron los valores más bajos (BMWP=2), reflejando comunidades extremadamente empobrecidas dominadas por quironómidos y Rhagovelia sp., organismos con baja puntuación en el BMWP/Col. La ausencia de taxones sensibles en estos puntos sugiere condiciones particularmente adversas, posiblemente relacionadas con fuentes locales de contaminación o alteraciones físicas del hábitat (Domínguez & Fernández, 2009).

La estación OCMY17 no pudo ser evaluada debido a la presencia exclusiva de Naididae Mf. y *Lumbrineridae Mf.*, grupos que no están incluidos en el sistema de puntuación del BMWP/Col.

El gradiente observado (de 2 a 10 puntos) sugiere diferencias espaciales en la calidad del agua, siendo OCMY15 el sector relativamente menos impactado y EMMA_CL_03/OCMY14 los que tienen condiciones menos favorables. Esta variación podría explicarse por distinta proximidad a fuentes de contaminación, las variaciones en las características geomorfológicas del cauce, las diferencias en la conectividad con sistemas laterales y la presencia de microhábitats de refugio para taxones sensibles.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para las comunidades bentónicas del Caño Emma revelan patrones ecológicos significativos que complementan los resultados del BMWP/Col. El análisis de los seis puntos de muestreo muestra variaciones espaciales en la estructura de la comunidad, aunque todos presentan valores que indican ecosistemas acuáticos bajo estrés ambiental.

Los valores del índice de Shannon (H') oscilan entre 0.562 (EMMA_CL_03) y 1.212 (OCMY15), indicando una diversidad baja en todo el sistema. Estos resultados son consistentes con ambientes impactados donde pocas especies dominan la comunidad (Magurran, 2004). La estación OCMY15 muestra la diversidad relativamente más alta, coincidiendo con la presencia de *Oxyethira sp.* (Tricóptero) junto a los dominantes quironómidos (**Tabla 3.3.3-124**).

Los valores del índice de Simpson (D) varían entre 0.328 (OCMY15) y 0.625 (EMMA_CL_03), confirmando la dominancia de pocas especies en todas las estaciones. La menor dominancia en OCMY15 (0.328) sugiere una distribución más equilibrada entre las dos especies presentes, mientras que EMMA_CL_03 muestra la mayor dominancia (0.625), indicando condiciones más adversas (Domínguez & Fernández, 2009)

Los valores de Pielou oscilan entre 0.811 (EMMA_CL_03) y 1 (OCMY12), indicando distribuciones relativamente equitativas para comunidades tan pobres (**Tabla 3.3.3-124**).

Tabla 3.3.3-124 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Emma, época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EMMA	EMMA_CL_03	7.8	2	0.562	0.625	0.811
	OCMY12	2.2	2	0.693	0.5	1
	OCMY13	5.5	3	0.95	0.44	0.865
	OCMY14	16.6	2	0.9	0.469	1.298

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO EMMA	OCMY15	17.8	2	1.212	0.328	1.749
	OCMY17	3.3	2	0.637	0.556	0.919

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Se observa que las estaciones con mayor abundancia (OCMY14: 16.6 ind/m²; OCMY15: 17.8 ind/m²) mantienen una riqueza baja (2 morfoespecies), patrón típico de contaminación orgánica donde pocas especies tolerantes proliferan masivamente (Roldán & Ramírez, 2008). La estación OCMY13 destaca por tener la mayor riqueza (3 morfoespecies) con una abundancia intermedia (5.5 ind/m²).

Con respecto a la correlación con el índice BMWP/Col, existe cierta correspondencia con los índices de diversidad, en el caso de OCMY15 (mejor BMWP=10) muestra la mayor diversidad (H'=1.212), EMMA_CL_03 (BMWP=2) presenta la menor diversidad (H'=0.562) y OCMY13 (BMWP=7) tiene la mayor riqueza (3 morfoespecies).

Los índices de diversidad alfa confirman el estado crítico del Caño Emma detectado por el BMWP/Col, mostrando que las comunidades son pobres en morfoespecies en todas las estaciones, la dominancia generalizada de taxones tolerantes, la variación espacial en la estructura comunitaria y posibles microhábitats menos impactados (OCMY15, OCMY13).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvia en la Microcuenca del caño Emma, se registró una notable diversificación en la comunidad de macrófitas acuáticas, identificándose 21 morfoespecies distribuidas en tres divisiones: Tracheophyta, Cycadopsida y Lycopodiidae, predominando claramente las angiospermas (Tracheophyta). Esta riqueza florística se distribuyó exclusivamente en cuerpos de agua lóticos, ya que no se identificaron cuerpos lénticos en el área evaluada. Las macrófitas acuáticas mostraron una amplia diversidad taxonómica, representada por 17 familias de 11 órdenes órdenes, siendo Poales y Malpighiales los de mayor riqueza. Estos resultados evidencian la influencia positiva de la alta disponibilidad hídrica y heterogeneidad estructural durante la temporada lluviosa sobre la colonización vegetal acuática (Junk et al., 1989; Esteves, 2011[4]).

Desde un enfoque taxonómico, la División Tracheophyta, Clase Magnoliidae, fue la más representativa en términos de cobertura y riqueza. En particular, el orden Poales destacó por la presencia de especies como *Isachne* sp. (57,64% de abundancia relativa en OCMY15, ocupación de cauce), *Lasiacis* sp. y Cyperaceae Mf., ampliamente distribuidas en varios puntos (OCMY12, OCMY13 y OCMY14, ocupaciones de cauce), lo cual es consistente con su capacidad adaptativa a suelos húmedos y condiciones variables de caudal (Cronk & Fennessy, 2001[2]). Asimismo, otras especies como *Panicum* sp. y *Scleria* sp. reforzaron la dominancia de gramíneas y ciperáceas, funcionalmente importantes como fijadoras de sedimentos y proveedoras de hábitat.

El orden Lamiales, presente a través de *Thunbergia* sp. y Bignoniaceae Mf., tuvo representación exclusiva en OCMY15, aportando cobertura menor pero significativa, con funciones ecológicas como enraizamiento marginal y soporte para fauna bentónica. En cuerpos como OCMY12, OCMY13 y OCMY14, se registró la presencia de especies leñosas y subleñosas como *Clusia* sp., *Meliosma* sp., *Salix* sp. y *Malpighiaceae* Mf., lo cual indica una transición entre comunidades ribereñas emergentes y vegetación de ribera adaptada al anegamiento estacional.

En cuanto a otros grupos taxonómicos menos comunes, se identificó una morfoespecie de Zamiaceae (*Zamia* sp.) en OCMY13 y una de Selaginellaceae (*Selaginella* sp.), lo cual representa un aporte inusual en sistemas acuáticos, posiblemente asociado a zonas de borde húmedo o relictos de vegetación de sabana inundable. Estos registros indican una posible interacción entre la vegetación terrestre marginal y la dinámica hídrica durante los picos de lluvia (Rangel-Ch., 2006[38]).

En términos estructurales, los puntos OCMY13, OCMY15 y OCMY14 registraron la mayor riqueza específica (7 , 5 y 4 morfoespecies, respectivamente), lo cual refleja condiciones más complejas de microhábitats y conectividad hidráulica, en comparación con sitios como EMMA_CL_03 y OCMY17, que presentaron solo dos morfoespecies. La cobertura general por punto también mostró variabilidad significativa, destacándose OCMY15 y OCMY17 con coberturas superiores al 100%, lo cual puede ser atribuible a solapamiento de especies o alta biomasa vegetal en zonas de remanso.

Tabla 3.3.3-125 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Emma, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Emma											
				Punto De Muestreo	OCMY15		EMMA_CL_03		OCMY17		OCMY12		OCMY13		OCMY14	
				Especie / Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Myrtales	Melastomataceae	*Miconia* sp.	23,33	21,81										
			Myrtaceae	Myrtaceae Mf.									1,67	4,51		
		Alismatales	Araceae	Araceae Mf.					102,67	99,04						
			Alismataceae	*Alisma* sp.					1	0,96						
		Poales	Cyperaceae	Cyperaceae Mf.							6,33	24,67	21,33	57,66		
				Scleria sp.			29	59,18							2,67	6,02
			Poaceae	Poaceae Mf.									1	2,70		
				Panicum sp.	14,33	13,39										
				Lasiacis sp.			20	40,82								
				Isachne sp.	61,67	57,64										
		Fabales	Fabaceae	Fabaceae Mf.											3	6,77
		Rosales	Urticaceae	*Pilea* sp.									1,33	3,60		
		Gentianales	Rubiaceae	Rubiaceae Mf.							16,33	63,64				
		Lamiales	Bignoniaceae	Bignoniaceae Mf.	2,33	2,18										
			Acanthaceae	*Thunbergia* sp.	5,33	4,98										
		Malpighiales	Malpighiaceae	Malpighiaceae Mf.											20,33	45,86
			Salicaceae	*Salix* sp.							3	11,69				
			Clusiaceae	*Clusia* sp.									2,33	6,30		
		Proteales	Sabiaceae	*Meliosma* sp.											18,33	41,35
	Cycadopsida	Cycadales	Zamiaceae	*Zamia* sp.									2,33	6,30		
	Lycopodiidae	Selaginellales	Selaginellaceae	*Selaginella* sp.									7	18,92		
Cobertura Total general					**106,99**	**100**	**49**	**100**	**103,67**	**100**	**25,66**	**100**	**36,99**	**100**	**44,33**	**100**
Morfoespecies por Punto					**5**		**2**		**2**		**3**		**7**		**4**	
Morfoespecies por Microcuenca					**21**											

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad de macrófitas acuáticas durante la temporada lluviosa en la Microcuenca del caño Emma mostró una estructura diversa y dominada por fanerógamas adaptadas a condiciones lóticas, con presencia secundaria de especies de vegetación marginal. La ausencia de cuerpos de agua lénticos limitó la expresión de formas vegetales flotantes o sumergidas típicas de esos ambientes.

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias, los índices de diversidad obtenidos para la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Emma reflejan una estructura comunitaria moderadamente diversa, con variaciones marcadas entre los puntos de muestreo. Los valores del índice de Shannon-Wiener (H') oscilaron entre 0,900 en OCMY12 y 1,314 en OCMY13, indicando una diversidad baja a moderada en comparación con otros ecosistemas lóticos tropicales. Este índice, que combina riqueza y equidad en la abundancia de especies, es comúnmente utilizado para caracterizar la complejidad de comunidades biológicas (Magurran, 2004). El punto OCMY13, con la mayor riqueza (7 morfoespecies) y el valor más alto de H', representa el sitio con mayor heterogeneidad florística (**Tabla 3.3.3-126**).

El índice de Simpson, que pondera la dominancia de las especies, presentó valores entre 0,389 y 0,469, lo que indica un grado moderado de dominancia en la mayoría de los sitios, con mayor dominancia relativa en OCMY12 (**Tabla 3.3.3-126**). Estos resultados sugieren que, aunque existen varias especies en cada sitio, algunas presentan un claro predominio sobre otras, fenómeno frecuente en ambientes con condiciones físico-químicas variables o perturbaciones locales (Odum & Barrett, 2005; Esteves, 2011).

La equitatividad, medida mediante el índice de Pielou, mostró que el reparto de abundancias fue relativamente uniforme en la mayoría de los puntos, con valores entre 0,675 (OCMY13) y 0,819 (OCMY12). El mayor valor de equidad en OCMY12, a pesar de su baja riqueza, sugiere que las especies presentes tienen proporciones de abundancia similares, mientras que en OCMY13, aunque se registró mayor riqueza, algunas especies fueron claramente dominantes, lo que redujo la equidad (**Tabla 3.3.3-126**).

Cabe destacar que no fue posible calcular los índices de diversidad para los puntos EMMA_CL_03 y OCMY17 debido a que presentaron menos de tres morfoespecies, umbral mínimo necesario para que estas métricas tengan validez ecológica (Magurran, 2004) (**Tabla 3.3.3-126**). Esta baja diversidad puede estar relacionada con características ambientales restrictivas, alteraciones del hábitat o condiciones hidrológicas desfavorables que limitan el establecimiento de una comunidad macrófita diversa (Mitsch & Gosselink, 2015[29]).

En general, estos resultados sugieren que la estructura de la comunidad de macrófitas en la Microcuenca está influenciada por una combinación de factores abióticos, conectividad hidrológica y dinámica estacional. La diversidad observada, aunque no muy alta, es representativa de sistemas acuáticos de sabana en donde predominan condiciones de flujo intermitente y pulsos de inundación que modulan la distribución de la vegetación acuática (Henry-Silva et al., 2008).

Tabla 3.3.3-126 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Emma época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY12	25.66	3	0.9	0.469	0.819
OCMY13	36.99	7	1.314	0.389	0.675
OCMY14	44.33	4	1.053	0.398	0.76
OCMY15	106.99	5	1.143	0.403	0.71

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La dinámica ecológica de las comunidades de macrófitas acuáticas en sistemas fluviales tropicales como la Microcuenca del caño Emma está fuertemente influenciada por la estacionalidad climática, especialmente en regiones con marcados períodos de lluvia y sequía. Esta variación estacional modifica los patrones de disponibilidad de hábitat, profundidad del agua, velocidad del flujo, luz disponible y concentración de nutrientes, afectando directamente la estructura y diversidad de las macrófitas (Esteves, 2011[4]; Junk et al., 1989[11]; Mitsch & Gosselink, 2015[29]).

Durante la temporada seca, se observó una menor diversidad florística con apenas cuatro morfoespecies registradas y una marcada dominancia de *Pontederia* sp. (familia Pontederiaceae), presente exclusivamente en el punto OCMY15 con un 100% de cobertura. Esto indica un bajo recambio de especies, posiblemente asociado a la reducción del hábitat disponible, disminución del nivel del agua y condiciones más estables, pero menos favorables para el establecimiento de nuevas especies, lo cual favorece el desarrollo de especies dominantes y tolerantes a la desecación o a bajos niveles hídricos (Henry-Silva et al., 2008).

En contraste, durante la temporada de lluvias, la comunidad presentó una mayor riqueza florística, con un total de 21 morfoespecies, distribuidas en diversas familias como Poaceae, Cyperaceae, Rubiaceae, Sabiaceae y Zamiaceae. El aumento del caudal, la inundación temporal de áreas ribereñas y la conectividad entre diferentes hábitats acuáticos permiten una expansión de nichos ecológicos, facilitando el establecimiento de especies helófitas y flotantes, y promoviendo la coexistencia de múltiples taxones (Maltchik et al., 2007[20]).

Esta diferencia también se refleja en los índices de diversidad. En época lluviosa, los valores de Shannon variaron entre 0.900 y 1.314, y los de Simpson entre 0.389 y 0.469, indicando una diversidad baja a moderada pero considerablemente superior a la observada en la época seca, donde algunos puntos tuvieron solo una o dos especies, impidiendo incluso el cálculo de estos índices. La equitatividad de Pielou, en la temporada de lluvias, también mostró valores moderados (0.675 a 0.819), lo que indica que, aunque algunas especies fueron dominantes, en general hubo una distribución más balanceada en la abundancia relativa.

Desde el punto de vista funcional, este comportamiento concuerda con el modelo de pulso de inundación propuesto por (Junk et al., 1989[11]), el cual explica que la diversidad vegetal en planicies de inundación aumenta significativamente en períodos de crecida debido a la expansión del hábitat y a la heterogeneidad ambiental. Además, según (Mitsch y Gosselink, 2015[29]), la mayor

disponibilidad de nutrientes y el transporte de propágulos vegetales durante la lluvia favorecen el establecimiento de nuevas especies y la expansión de las ya presentes.

Por lo tanto, ecológicamente se puede afirmar que la temporada de lluvias genera un entorno más favorable para la diversidad y complejidad estructural de la comunidad de macrófitas acuáticas, mientras que la temporada seca limita la riqueza y promueve comunidades dominadas por pocas especies resistentes.

3.3.3.2.9 Microcuenca caño Güio

La Microcuenca del caño Güio, ubicada en el municipio de Cabuyaro, forma parte de la región de la Orinoquía, caracterizada por una red hidrográfica de gran importancia ecológica debido a su biodiversidad y función reguladora dentro del ecosistema. Esta Microcuenca recorre llanura de inundación, típica de los sistemas fluviales de las sabanas orientales, donde las dinámicas hidrológicas estacionales generan pulsos de inundación que regulan los procesos ecológicos y determinan la estructura de los hábitats acuáticos y ribereños (IDEAM, 2014[39]). El monitoreo de las comunidades hidrobiológicas se realizó en cuatro puntos de muestreo: dos en sistemas lóticos (GÜIO_CL_01 y OCMY4 ocupación de cauce, este último identificado también como GÜIO_CL_02 para el análisis de lluvias en el monitoreo de modificación de licencia para el Área de Producción Gangotri en temporada de lluvias de donde se retoma la información para los dos) y dos en ambientes lénticos (GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02). Estos sitios representan una variedad de condiciones ecológicas, permitiendo una evaluación integral del estado del ecosistema acuático de la Microcuenca (**Figura 3.3.3-55**).

[39] IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua 2014. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

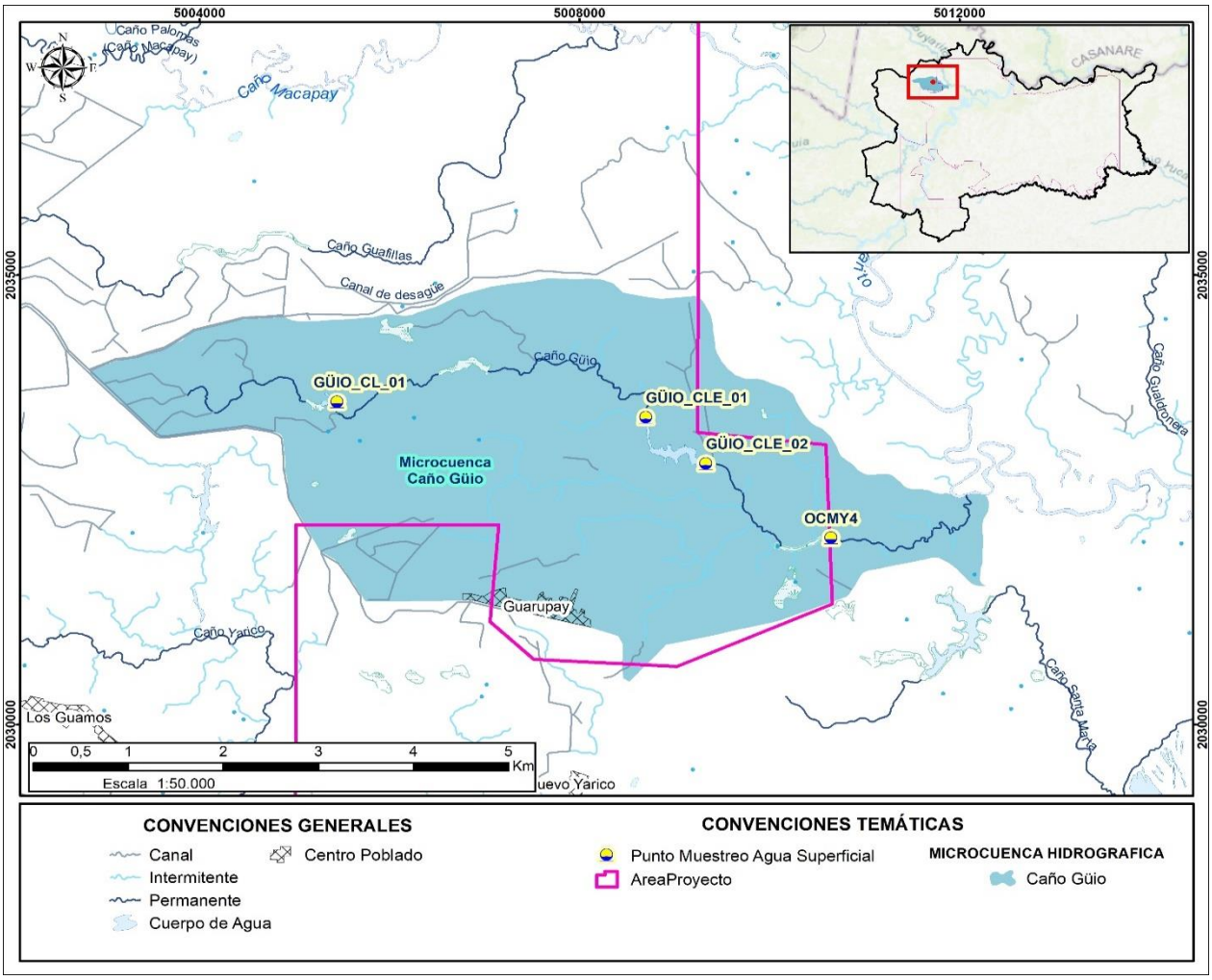


Figura 3.3.3-55 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Güio

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Güio, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad fitoplanctónica en las estaciones GÜIO_CLE_02 y GÜIO_CLE_01 de la Microcuenca del Caño Güio (ambas en llanura inundable durante época seca) revela una

estructura comunitaria diferenciada entre los puntos de muestreo, con una abundancia total de (0.277 ind/mL) y una riqueza total de 17 géneros (**Tabla 3.3.3-127**). La estación GÜIO_CLE_02 presentó mayor abundancia (0.191 ind/mL) y diversidad (15 géneros) (**Tabla 3.3.3-127**) en comparación con GÜIO_CLE_01 reporto una abundancia de (0.086 ind/mL) y una riqueza de seis géneros (**Tabla 3.3.3-127**). La composición estuvo dominada por diatomeas en ambas estaciones, siendo *Pinnularia* (0.068 ind/mL) y *Eunotia* (0.048 ind/mL) los porcentajes de abundancia por estación se pueden ver en la (**Figura 3.3.3-56**)(**Tabla 3.3.3-127**) las especies más abundantes a nivel de Microcuenca.

En GÜIO_CLE_02 destacaron además *Surirella* (0.029 ind/mL), Euglena (0,026 ind/mL) y *Gonatozygon* (0.022 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-127**) con un porcentaje de abundancia relativa respectivos de (15,2%, 13,6% y 11,5%) (**Figura 3.3.3-56**), mientras que en GÜIO_CLE_01 sobresalió *Pinnularia* (0.046 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-127**) con una abundancia relativa (53,5%) (**Figura 3.3.3-56**) como género dominante. Esta distribución refleja condiciones microambientales contrastantes, la mayor diversidad en GÜIO_CLE_02, con presencia de diatomeas pennadas de géneros como *Pinnularia* y *Stauroneis* (**Tabla 3.3.3-127**) y céntricas como *Aulacoseira* (**Tabla 3.3.3-127**), junto con desmidias *Cosmarium* y *Gonatozygon* (**Tabla 3.3.3-127**), lo que sugiere un ambiente con heterogeneidad de sustratos y posible influencia de aportes terrestres. Por el contrario, la comunidad más simple en GÜIO_CLE_01, dominada por *Pinnularia* y *Eunotia* (**Tabla 3.3.3-127**), indica condiciones más homogéneas, probablemente con menor disponibilidad de nutrientes. La presencia de *Aulacoseira* (**Tabla 3.3.3-127**) exclusivamente en GÜIO_CLE_02, diatomea típicamente lótica, podría sugerir una conexión reciente con sistemas fluviales, mientras que la aparición de euglenofitas con el género *Euglena* (**Tabla 3.3.3-127**) y clorofitas con el género *Pectinodesmus* (**Tabla 3.3.3-127**) en bajas abundancias señala una limitada influencia de sistemas lénticos eutróficos. La interacción con sistemas terrestres se evidencia por la presencia de desmidias con los géneros *Cosmarium* y *Euastrum* (**Tabla 3.3.3-127**), organismos asociados a zonas de transición agua-tierra, particularmente en GÜIO_CLE_02.

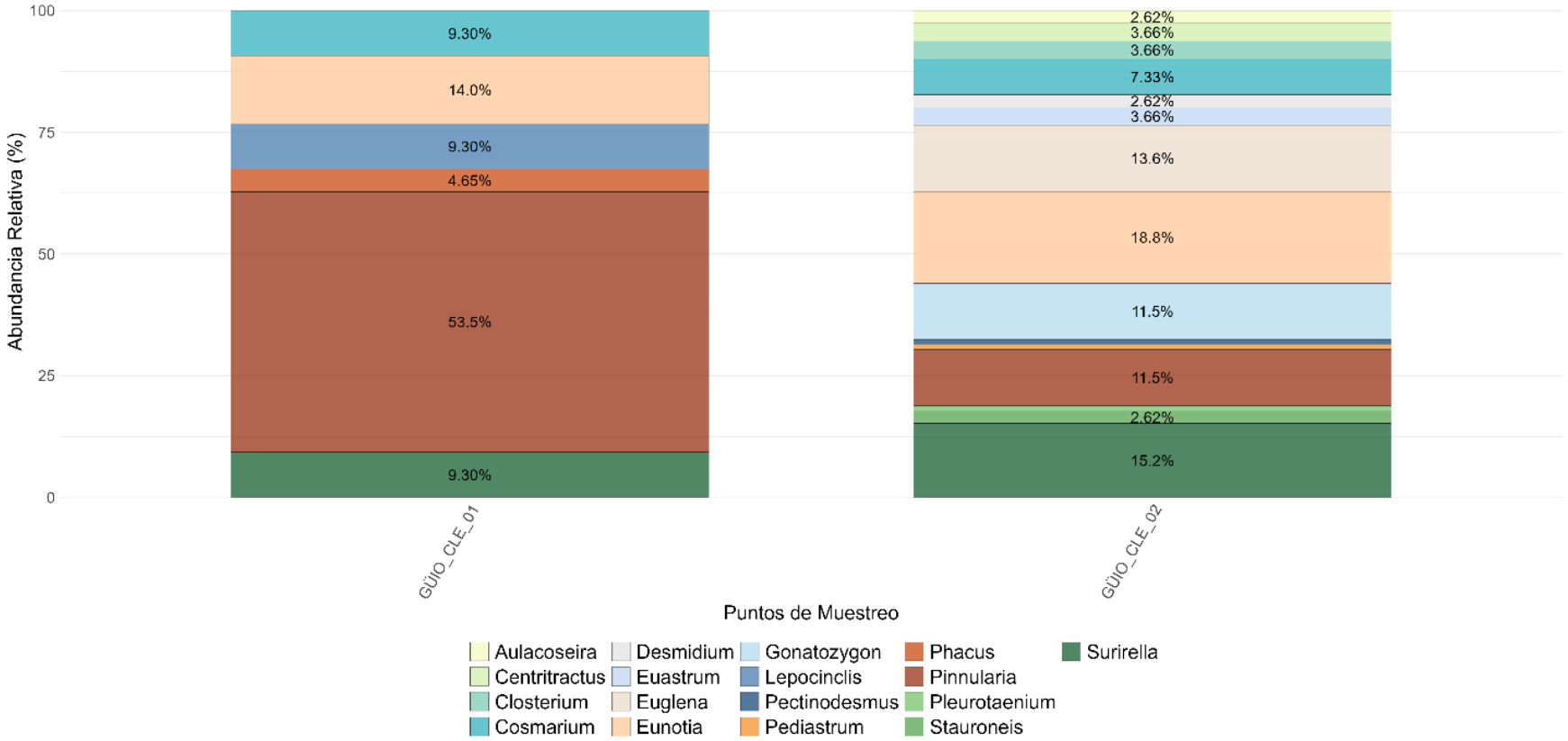


Figura 3.3.3-56 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Güio época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamblaje fitoplanctónico del Caño Güio durante la época seca muestra una organización espacial heterogénea dentro de la llanura inundable, donde factores locales como la disponibilidad de sustratos, nutrientes y conexiones hidrológicas determinan la distribución de los taxones. La coexistencia de especies con requerimientos ecológicos contrastantes como *Aulacoseira* que es un género que es adaptada a las corrientes de aguas en contraste con el género *Eunotia* que es un género acidófilo, sugiere la presencia de microhábitats diferenciados que funcionan como refugios para la biodiversidad fitoplanctónica en condiciones de sequía.

Tabla 3.3.3-127 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Güio época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					GÜIO_CLE_02	GÜIO_CLE_01	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Euglena*	0,026		0,026
			Phacaceae	*Lepocinclis*		0,008	0,008
				Phacus		0,004	0,004
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Pectinodesmus*	0,002		0,002
			Hydrodictyaceae	*Pediastrum*	0,002		0,002
Heterokontophyta	Xanthophyceae	Mischococcales	Sciadiaceae	*Centritractus*	0,007		0,007
	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,022	0,046	0,068
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	0,005		0,005
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,036	0,012	0,048
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	0,029	0,008	0,037
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,005		0,005
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,007		0,007
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,014	0,008	0,022
				Euastrum	0,007		0,007
				Pleurotaenium	0,002		0,002
				Desmidium	0,005		0,005
			Gonatozygaceae	*Gonatozygon*	0,022		0,022
Gran Total					**0,191**	**0,086**	**0,277**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de diversidad fitoplanctónica en los puntos GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02 revela un gradiente ecológico significativo dentro de la Microcuenca estudiada. En GÜIO_CLE_01 se observa una abundancia moderada (0.086) acompañada de una riqueza media con seis géneros, con un índice de Shannon (1.547) que indica diversidad moderada-baja. El valor de Simpson (0.331) sugiere una dominancia intermedia de especies, mientras que el alto índice de Pielou (0.863) (**Tabla 3.3.3-128**) refleja una distribución notablemente equitativa entre los taxones presentes, característica de ambientes con condiciones estables, aunque no óptimas. En contraste, GÜIO_CLE_02 presenta una abundancia significativamente mayor (0.191) junto con una riqueza elevada con 15 géneros, un índice de Shannon más alto (2.349) que denota una diversidad considerable. El bajo valor de Simpson (0.116) en este punto indica mínima dominancia de especies particulares, patrón que se complementa con el alto índice de Pielou (0.867) (**Tabla 3.3.3-128**), mostrando una comunidad fitoplanctónica diversa y bien equilibrada.

Esta notable diferencia entre ambos puntos sugiere que la Microcuenca presenta una heterogeneidad ecológica pronunciada, donde coexisten zonas con condiciones moderadamente favorables (GÜIO_CLE_01) junto con áreas de alta productividad y diversidad (GÜIO_CLE_02). La diferencia podría atribuirse a variaciones en la disponibilidad de nutrientes, condiciones lumínicas, gradientes de profundidad o diferentes niveles de influencia antrópica. Considerando ambos puntos en conjunto, la Microcuenca mostraría una calificación ecológica de buena a muy buena, particularmente por la presencia de GÜIO_CLE_02 que demuestra características de un ambiente altamente propicio para el desarrollo del fitoplancton. Sin embargo, la diferencia observada no permite dar respuestas sobre el estado ecológico de la Microcuenca o si hay patrones de perturbaciones localizadas ni mucho menos permite responder si hay un patrón espacial definido (como gradientes naturales).

Tabla 3.3.3-128 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca del caño Güio época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
GÜIO_CLE_01	0.086	6	1.547	0.331	0.863
GÜIO_CLE_02	0.191	15	2.349	0.116	0.867

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad zooplanctónica en las estaciones GÜIO_CLE_02 y GÜIO_CLE_01 de la Microcuenca del Caño Güio (ambas en llanura inundable durante época seca) revela un ensamblaje de baja abundancia total (0.0369 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-129**) pero con diversidad representativa de grupos funcionales clave. La estación GÜIO_CLE_02 presentó mayor abundancia (0.0233 ind/mL) y riqueza de siete taxones (**Tabla 3.3.3-129**) comparada con GÜIO_CLE_01 que reporto una abundancia de (0.0136 ind/mL) y una riqueza de cuatro taxones (**Tabla 3.3.3-129**), siendo las amebas testadas (Amoebozoa) los organismos más abundantes en conjunto (0.0102 ind/mL).

En GÜIO_CLE_02 destacaron *Arcella* (0.0054 ind/mL) con una abundancia relativa de (23,2%) y nauplios de copépodos (0.0071 ind/mL) con un porcentaje de abundancia relativa de (30,5%) (**Figura 3.3.3-57**) (**Tabla 3.3.3-129**), mientras que GÜIO_CLE_01 no mostró predominio ya que todas las morfoespecies reportadas reportaron valores de abundancia de (0.0034 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-129**) y un porcentaje de abundancia del (25,0%) (**Figura 3.3.3-57**). Esta composición refleja condiciones típicas de humedales temporales en sequía la presencia de protozoos testados (*Arcella*, *Difflugia*, *Centropyxis*) lo que sugiere sustratos bentónicos ricos en detritos orgánicos y aguas someras, característicos de ambientes con descomposición vegetal (Foissner et al., 2007). Los rotíferos (*Platyias, Lecane*), aunque escasos con abundancias totales respectivas de (0.0018-0.0052 ind/mL), indican disponibilidad limitada de fitoplancton como recurso trófico. La aparición exclusiva de nauplios en GÜIO_CLE_02 (0.0071 ind/mL) sugiere reclutamiento reciente desde bancos de huevos resistentes, adaptación clave para sobrevivir en ambientes temporales (Dussart & Defaye, 2001). La interacción con sistemas terrestres se

evidencia por la presencia de *Trinema* (0.0018 ind/mL), protista común en suelos húmedos, mientras que la ausencia de especies lóticas (como ciclópodos adultos) confirma el aislamiento del sistema durante la sequía. La diferencia interestacional podría relacionarse con variaciones mínimas que mantienen hábitats acuáticos y que según el ensamble ecológico sen más notorios en el punto de monitoreo GÜIO_CLE_02.

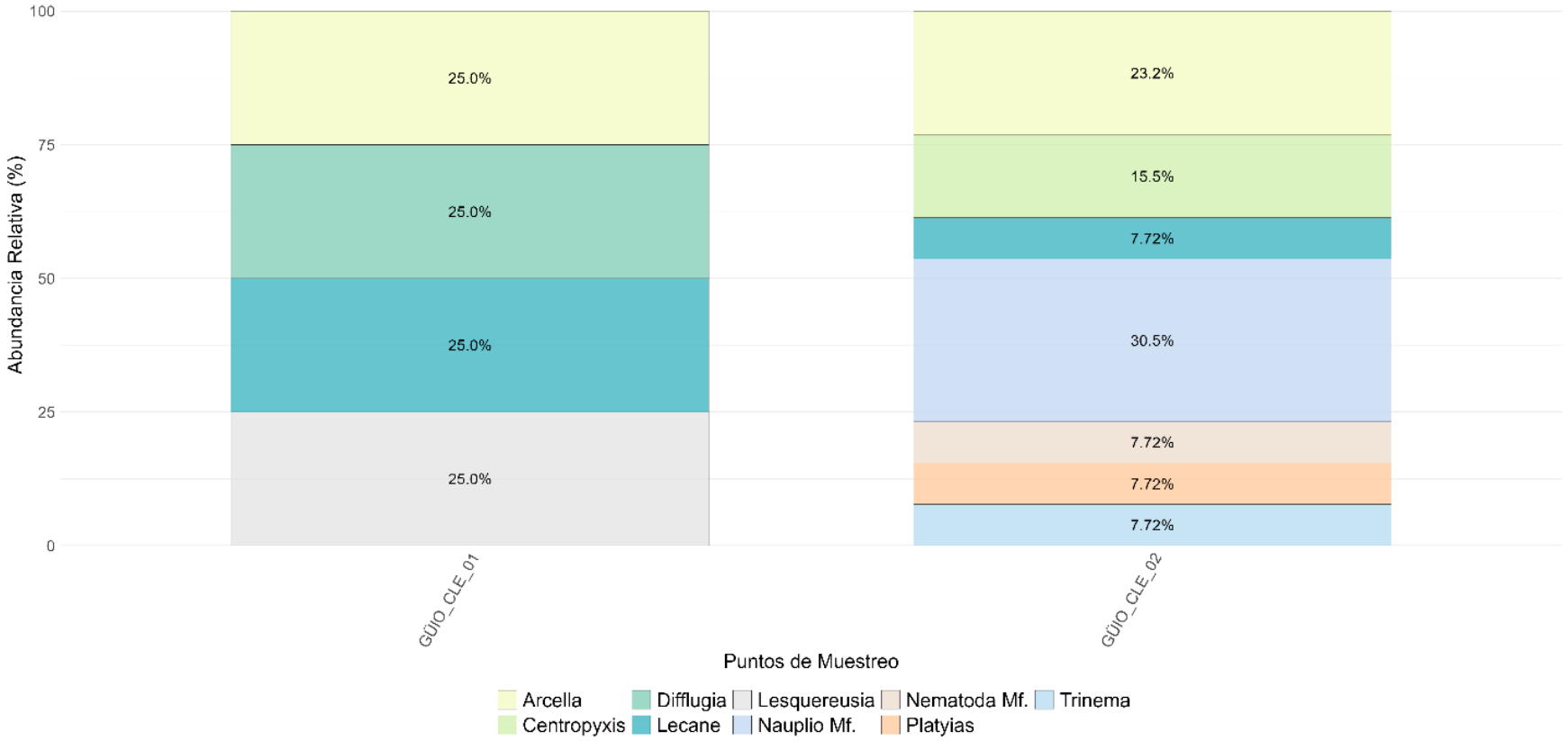


Figura 3.3.3-57 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Güio época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, la comunidad zooplanctónica del Caño Güio representa un sistema léntico temporal con una red trófica incipiente, donde protozoos y rotíferos resistentes dominan el ensamblaje. La estructura observada, con predominio de organismos bentónicos y ausencia de microcrustáceos adultos, es característica de sistemas lénticos en fase de retracción hídrica. Estos hallazgos resaltan la importancia de los mecanismos de resistencia (huevos latentes, quistes) para la persistencia de la biodiversidad acuática en llanuras inundables durante períodos secos.

Tabla 3.3.3-129 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Güio época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					GÜIO_CLE_02	GÜIO_CLE_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0054	0,0034	0,0088
			Difflugiidae	*Difflugia*		0,0034	0,0034
			Centropyxidae	*Centropyxis*	0,0036		0,0036
			Lesquereusiidae	*Lesquereusia*		0,0034	0,0034
Arthropoda	-	-	-	Nauplio Mf.	0,0071		0,0071
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Brachionidae	*Platyias*	0,0018		0,0018
			Lecanidae	*Lecane*	0,0018	0,0034	0,0052
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Trinematidae	*Trinema*	0,0018		0,0018
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.	0,0018		0,0018
Gran Total					**0,0233**	**0,0136**	**0,0369**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad zooplanctónica en los puntos GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02 revela un escenario ecológico consistente, pero con variaciones significativas en la estructura comunitaria. Ambos puntos muestran valores de abundancia relativamente bajos (0.0136 Ind/mL y 0.0233 Ind/mL) respectivamente, lo que sugiere condiciones generales de productividad limitada en la Microcuenca. Sin embargo, se observa un gradiente positivo en todos los parámetros para los puntos de monitoreo de GÜIO_CLE_01 hacia GÜIO_CLE_02 la riqueza aumenta de cuatro a siete morfoespecies, el índice de Shannon pasa de 1.386 a 1.925, y el índice de Simpson disminuye de 0.25 a 0.172, indicando una reducción en la dominancia de especies. Particularmente el comportamiento del índice de Pielou, alcanza valores casi perfectos (1.0 y 0.989) (**Tabla 3.3.3-130**), demostrando una distribución excepcionalmente equitativa de las especies presentes en ambos sitios.

Esta configuración sugiere que la Microcuenca en su conjunto presenta condiciones adecuadas para el desarrollo de comunidades zooplanctónicas equilibradas, aunque con limitaciones en la abundancia total. La diferencia entre los puntos probablemente refleja variaciones naturales en microhábitats, donde GÜIO_CLE_02 ofrece condiciones ligeramente más favorables para el establecimiento de mayor diversidad. La calificación ecológica global de la Microcuenca podría considerarse de buena a muy buena en términos de estructura comunitaria, particularmente por

los altos valores de equitatividad, aunque la baja abundancia general sugiere posibles limitaciones en la base trófica (disponibilidad de fitoplancton) o factores ambientales restrictivos. La consistencia en los altos valores de Pielou en ambos puntos indica que, a pesar de las diferencias cuantitativas, las comunidades mantienen una organización interna saludable.

Tabla 3.3.3-130 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca del caño Güio época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
GÜIO_CLE_01	0.0136	4	1.386	0.25	1
GÜIO_CLE_02	0.0233	7	1.925	0.172	0.989

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble perifítico en los puntos de muestreo GÜIO_CL_01 (llanura inundable) y OCMY4 (altillanura) en época seca, presenta una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta) y algas verdes (Chlorophyta y Charophyta), con marcadas diferencias en composición y abundancia entre estaciones. En GÜIO_CL_01 destacan *Pinnularia* (4.1 Ind/cm^2) con un porcentaje de abundancia (25.2%) y *Frustulia* (8.1 Ind/cm^2) con porcentaje de abundancia de (49.7%) (**Tabla 3.3.3-131**) (**Figura 3.3.3-58**), ambas diatomeas bentónicas indicadoras de aguas bien oxigenadas con moderado contenido de materia orgánica (Round et al., 1990). En contraste, OCMY4 muestra predominio de *Surirella* (2.8 Ind/cm^2) y un porcentajes de abundancia (40.0%) (**Tabla 3.3.3-131**) (**Figura 3.3.3-58**), género asociado a condiciones de menor flujo y posible estrés hídrico (Potapova & Charles, 2007), mientras que *Closterium* (1.4 Ind/cm^2) con porcentaje (20.0%) (**Tabla 3.3.3-131**) (**Figura 3.3.3-58**) sugiere aportes de agua blanda típicos de altillanuras (Coesel & Meesters, 2007). La riqueza total es de cinco géneros y una

abundancia (23.3 Ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-131**) reflejan un sistema con heterogeneidad espacial, donde la conectividad entre llanura inundable y altillanura parece limitada durante la época seca.

Desde la perspectiva de bioindicación, la coexistencia de *Frustulia* (sensible a contaminación orgánica) y *Desmodesmus* (tolerante a eutrofización) en GÜIO_CL_01 sugiere un ambiente con microhábitats variables, posiblemente influenciado por pulsos de inundación que redistribuyen nutrientes (Biggs B. F., 1996). En OCMY4, la baja diversidad tres géneros y presencia exclusiva de *Surirella* y *Closterium* confirman condiciones más extremas, caracterizadas por baja disponibilidad hídrica y alta radiación solar, factores que limitan el establecimiento de comunidades complejas (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La interacción con sistemas terrestres es evidente en la altillanura, donde el aporte de materia orgánica alóctona podría sustentar a *Closterium*, mientras que, en la llanura inundable, la conexión con sistemas lénticos adyacentes explicaría la mayor diversidad.

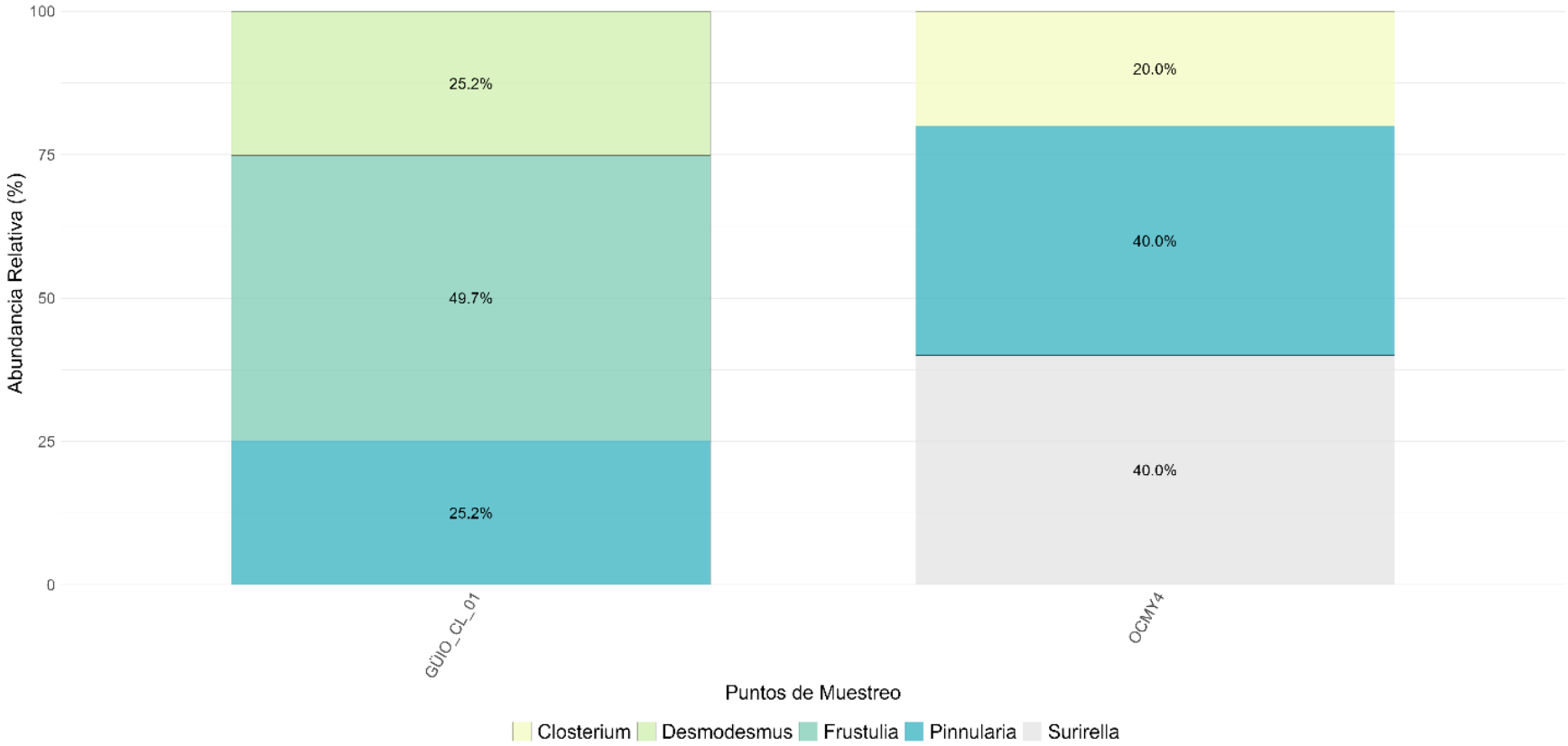


Figura 3.3.3-58 Porcentajes de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Güio época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estructura trófica del perifiton en esta Microcuenca evidencia un gradiente ecológico en GÜIO_CL_01, las diatomeas epilíticas (*Pinnularia*, *Frustulia*) indican sustratos estables y flujo constante, mientras que en OCMY4, las especies móviles (*Surirella*) y filamentosas (*Closterium*) reflejan adaptaciones a hábitats que solo se dan en esta temporada. Esta divergencia resalta el papel de la geomorfología y estacionalidad en la configuración de comunidades perifíticas (Whitton, 2012). Cabe destacar que la ausencia de cianobacterias en ambos puntos sugiere limitación por fósforo, patrón documentado en llanuras tropicales con suelos ácidos (Dodds et al., 2009).

En conclusión, el ensamble perifítico analizado demuestra una clara segregación espacial mediada por factores físicos (flujo, disponibilidad hídrica) y químicos (nutrientes). La llanura inundable (GÜIO_CL_01) alberga una comunidad más diversa y estable, mientras que la altillanura (OCMY4) presenta un sistema restringido por condiciones climáticas estacionales.

Tabla 3.3.3-131 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Güio época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Güio		Abundancia total microcuenca (ind/cm²)
					GÜIO_CL_01	OCMY4	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		2,8	2,8
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	4,1	2,8	6,9
			Amphipleuraceae	*Frustulia*	8,1		8,1
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*	4,1		4,1
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		1,4	1,4
Gran Total					**16,3**	**7**	**23,3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad los tres puntos monitoreados (GÜIO_CL_01, GÜIO_CL_02 y OCMY4) revela condiciones de alteraciones en la comunidad fitoplanctónica. En GÜIO_CL_01 se observa una baja riqueza de especies (tres géneros) y diversidad moderadamente reducida (Shannon=1.04) (**Tabla 3.3.3-132**), a pesar de mostrar una alta equitatividad (Pielou=0.947). Esta aparente contradicción se explica porque la equitatividad pierde relevancia ecológica cuando el número de especies es muy bajo. Los valores de Simpson (0.375) sugieren cierta dominancia de especies, lo que refuerza la idea de una comunidad empobrecida.

Los puntos GÜIO_CL_02 y OCMY4 presentan características similares, con abundancias muy bajas (7 Ind/cm^2), solo tres géneros registrados, y valores idénticos de los índices ecológicos (Shannon=1.055, Simpson=0.36, Pielou=0.96) (**Tabla 3.3.3-132**). Esta igualdad en los resultados podría indicar condiciones ambientales homogéneas en el área muestreada.

Considerando estos resultados, la Microcuenca presentaría una calificación ecológica entre moderada y deficiente. Los patrones observados (baja riqueza específica y diversidad reducida) son compatibles con posibles perturbaciones ambientales como contaminación, eutrofización o

alteraciones hidrológicas. Sin embargo, es importante destacar que este análisis tiene limitaciones importantes: el número reducido de puntos de muestreo (solo tres) y valores de riqueza y abundancia que impiden inferir en las conclusiones definitivas sobre el estado ecológico general de la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-132 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Güio época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
GÜIO_CL_01	16.3	3	1.04	0.375	0.947
GÜIO_CL_02	7	3	1.055	0.36	0.96
OCMY4	7	3	1.055	0.36	0.96

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El análisis del ensamblaje ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del caño Güio, revela una estructura biológica sencilla pero representativa de sistemas lóticos con condiciones ambientales relativamente conservadas. En total, se identificaron tres (3) morfoespecies, pertenecientes a un solo phyllum (Arthropoda), una clase (Insecta), tres (3) órdenes (Diptera y Coleóptera), tres (3) familias (Chironomidae, Ceratopogonidae y Elmidae) y dos (2) géneros registrados (*Stilobezzia* y *Heterelmis*), con una abundancia total de 11 individuos/m² en los dos puntos de muestreo (GÜIO_CL_01 y OCMY4) (**Tabla 3.3.3-133**).

Tabla 3.3.3-133 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Güio época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY4	GÜIO_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	5,5	2,2	7,7
			Ceratopogonidae	*Stilobezzia*	*Stilobezzia* sp.	2,2		2,2
		Coleóptera	Elmidae	*Heterelmis*	*Heterelmis* sp.	1,1		1,1
Total general						**9**	**2**	**11**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista funcional y de bioindicación, el grupo más representativo fue la familia Chironomidae, con una abundancia acumulada de 7,7 individuos/m², lo que equivale al 66 % del total registrado. Estos insectos inmaduros son conocidos por su alta tolerancia a condiciones variables de oxígeno disuelto y elevada carga orgánica, por lo que su presencia, aunque dominante, puede reflejar ambientes con procesos incipientes de eutrofización o cierta estabilidad trófica en fondos sedimentarios blandos (Roldan G. , 1992; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). En sistemas como el caño Güio, esta familia puede actuar como pionera o colonizadora, facilitando la sucesión ecológica de otras especies más exigentes.

El hallazgo de *Stilobezzia* sp. (Ceratopogonidae), con una densidad de 2,2 individuos/m², complementa la estructura del ensamble. Este género está compuesto por larvas depredadoras o microfiltradoras que habitan márgenes encharcadas y vegetación sumergida, lo que sugiere la existencia de microhábitats con buena oxigenación y presencia de detritos vegetales (Domínguez & Fernández, 2009). Por su parte, *Heterelmis* sp. (Elmidae), registrado con 1,1 individuos/m², representa un bioindicador positivo en ecosistemas lóticos. Los elmíidos son escarabajos acuáticos de respiración plastrónica y preferencia por sustratos con corriente moderada a fuerte, limpios y bien oxigenados (Merritt & Cummins, 2008; Springer, 2010). Su presencia, aunque baja, es significativa, ya que indica zonas con calidad de agua relativamente alta, especialmente en un contexto de altillanura donde predominan cuerpos de agua con variabilidad hídrica y fuerte influencia estacional.

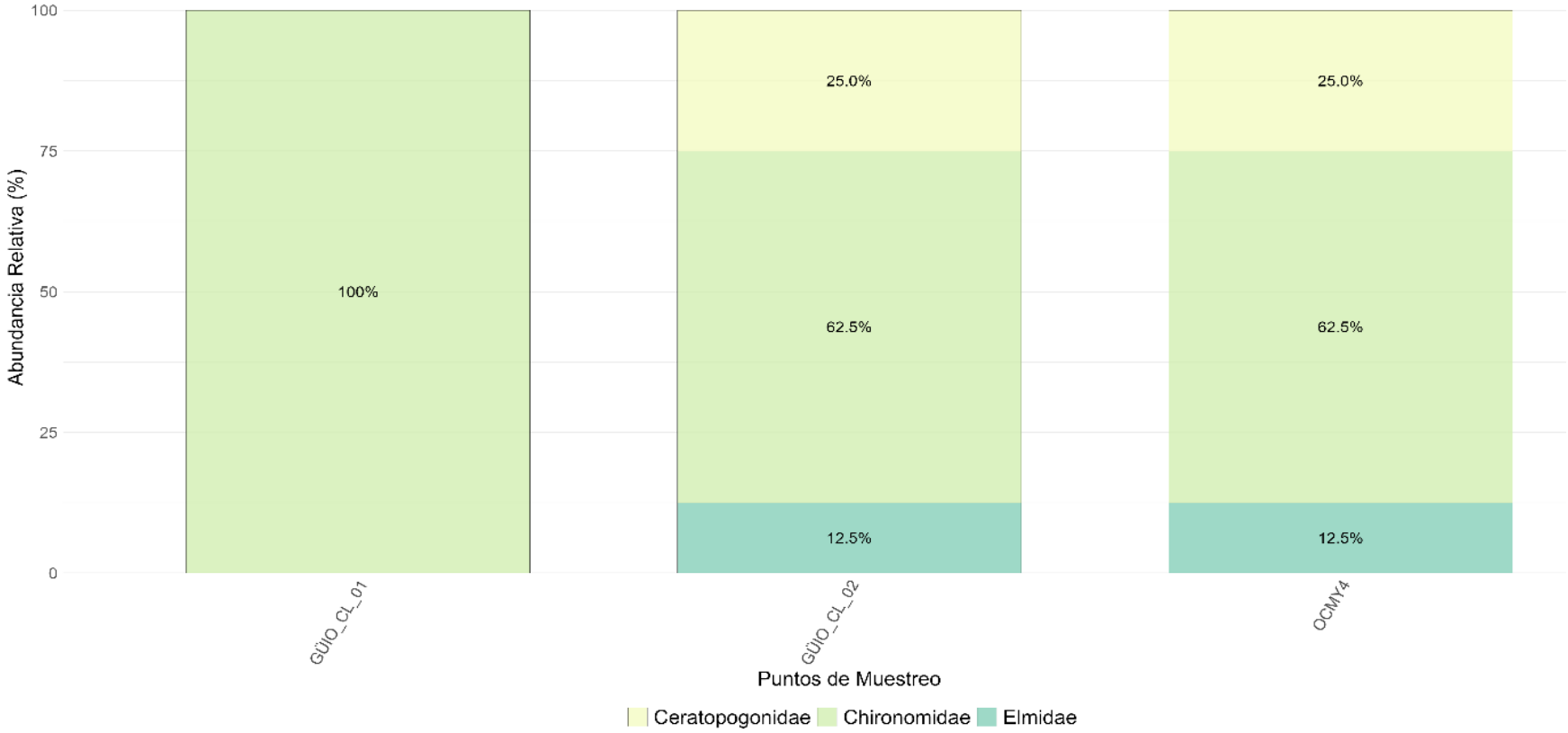


Figura 3.3.3-59 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Güio época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde una perspectiva ecológica más amplia, el ensamble identificado sugiere la existencia de una comunidad bentónica adaptada a condiciones semiestables, con organismos que reflejan tanto tolerancia como indicios de buena calidad ambiental. En términos de interacción entre sistemas, es importante considerar que el caño Güio podría beneficiarse funcionalmente de la conectividad con cuerpos lénticos adyacentes, especialmente durante épocas de lluvias, donde el intercambio de individuos entre hábitats promueve la resiliencia de las comunidades (Junk et al., 1989). Además, las interacciones con el entorno terrestre, a través de corredores ribereños y la cobertura vegetal, pueden aportar materia orgánica, refugio y zonas de oviposición, reforzando el valor ecológico del sistema lótico (Allan & Castillo, 2007).

En conclusión, la estructura taxonómica y funcional de los macroinvertebrados bentónicos en el caño Güio durante época seca revela un ecosistema lótico con características de transición, donde coexisten organismos bioindicadores de buena calidad (como *Heterelmis*) junto a taxones más tolerantes (Chironomidae), reflejando la influencia tanto de las condiciones hidrológicas locales como de los procesos de conectividad entre sistemas acuáticos y terrestres. Este tipo de análisis es clave para orientar estrategias de conservación en la altillanura, donde la variabilidad estacional y las presiones antrópicas imponen retos importantes a la integridad ecológica de los cuerpos de agua superficiales.

En complemento, el análisis del índice BMWP/Col, indica una calidad ecológica muy crítica en todo el sistema. En detalle, el punto OCMY4 obtuvo un puntaje de 14, mientras que GÜIO_CL_01 alcanzó apenas 2 puntos, ubicando a este grupo en la categoría V, correspondiente a "aguas fuertemente contaminadas" o "situación crítica" (Roldan G. , 2003).

Estos resultados reflejan una comunidad de macroinvertebrados dominada por taxones altamente tolerantes a la contaminación y con baja sensibilidad a cambios en las condiciones del hábitat acuático. El valor extremadamente bajo en GÜIO_CL_01 sugiere un deterioro más severo que en los otros puntos, posiblemente asociado a condiciones locales como estancamiento del flujo, carga orgánica elevada o entradas difusas de contaminantes provenientes de actividades antrópicas cercanas. La baja puntuación del BMWP también indica una pérdida significativa de taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera o Trichoptera, que suelen habitar aguas bien oxigenadas y de mejor calidad.

Tabla 3.3.3-134 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Güio época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO GÜIO	OCMY4	V	Muy crítica	14	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	GÜIO_CL_01	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde una perspectiva de bioindicación, este patrón evidencia un ensamble funcional simplificado, donde prevalecen morfoespecies como *Chironomidae* Mf., las cuales toleran bajos niveles de

oxígeno disuelto, acumulación de sedimentos finos y materia orgánica en descomposición (Merritt & Cummins, 2008; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). La ausencia de familias indicadoras de buena calidad del agua refuerza la hipótesis de que el caño Güio se encuentra bajo una presión ambiental considerable, afectando negativamente su integridad ecológica.

Es así como este índice confirma que, los tres sitios evaluados del caño Güio presentan condiciones ecológicas degradadas, con un estado de conservación muy bajo, lo que implica acciones prioritarias de restauración y manejo, especialmente orientadas a mejorar la calidad del agua, controlar fuentes de contaminación difusa y restablecer la heterogeneidad de hábitat necesaria para el retorno de taxones más sensibles.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para los puntos de monitoreo del caño Güio, permite inferir la estructura ecológica de la comunidad bentónica de macroinvertebrados, en tanto existan más de dos morfoespecies registradas por punto. En este caso, solo el punto OCMY4 cumplen con esta condición, al presentar una riqueza de tres morfoespecies, mientras que GÜIO_CL_01 solo reporta una, por lo que no se considera como una comunidad según los criterios ecológicos estándar (Magurran A. E., 2004), y por tanto no es susceptible de análisis de diversidad propiamente dicho.

Para el punto OCMY4, el índice de Shannon (H'), que mide la entropía o incertidumbre en la predicción de la identidad de una morfoespecie extraída al azar, fue de 1.213, lo cual indica una diversidad baja a moderada. Esta cifra puede ser considerada relativamente baja si se tiene en cuenta que, teóricamente, este índice puede superar los 3 bits cuando se presentan comunidades muy diversas (Whittaker, 1972). El índice de Simpson (D) fue de 0.344, lo que refleja una dominancia moderada y una probabilidad intermedia de que dos individuos seleccionados aleatoriamente correspondan a especies diferentes, lo que también indica una comunidad pobremente estructurada y potencialmente dominada por una o dos especies tolerantes, como *Chironomidae* Mf. (**Tabla 3.3.3-135**).

Tabla 3.3.3-135 Índices alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Güio época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO GÜIO	OCMY4	8.8	3	1.213	0.344	1.104

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El índice de equitatividad de Pielou (J'), que evalúa la uniformidad de la distribución de los individuos entre las morfoespecies presentes, presentó un valor de 1.104, el cual, pese a estar levemente por encima del rango teórico normal (0 a 1), puede estar reflejando un efecto numérico por la baja riqueza y abundancia en la base de datos (**Tabla 3.3.3-135**). Sin embargo, si se asume una corrección en los decimales, el valor puede ser interpretado como cercano a 1, lo que sugiere que, aunque hay pocas morfoespecies, los individuos están distribuidos de manera relativamente equitativa entre ellas, sin que haya una dominancia excesiva.

Desde la perspectiva ecológica, esta baja diversidad y riqueza reflejan un ensamble altamente simplificado, condicionado por la calidad ecológica crítica observada en el índice BMWP (14 puntos), con una comunidad estructurada en torno a unos pocos taxones tolerantes, con funcionalidad ecológica limitada. Esta situación puede deberse a múltiples factores, como baja calidad del hábitat, escasa heterogeneidad de sustrato, eutrofización o entrada de contaminantes, lo cual reduce la capacidad del sistema para sostener comunidades más complejas.

Finalmente, la estructura comunitaria observada en estos puntos sugiere una pérdida importante de integridad ecológica del sistema lótico del caño Güio, y revela la necesidad de intervenciones orientadas a la restauración de la calidad del agua y del hábitat físico, así como al fortalecimiento de la conectividad ecológica entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres que podrían actuar como fuentes de recolonización si las condiciones se tornan más favorables (Merritt & Cummins, 2008; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014).

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas en el sistema léntico de Caño Güio, estuvo compuesto por 15 morfoespecies distribuidas en dos (2) phyllum (Arthropoda y Arachnida), tres (3) clases (Insecta, Arachnida y Acari), cinco (5) órdenes (Diptera, Coleóptera, Hemiptera, Acari), 10 familias y 12 géneros, con una abundancia total de 126 ind/m². Las estaciones monitoreadas (GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02) mostraron diferencias marcadas en su composición, siendo GÜIO_CLE_02 la más diversa con 14 morfoespecies y 125 ind/m², mientras que GÜIO_CLE_01 registró solo 1 morfoespecie (Chironomidae Mf.) con 1,1 ind/m² (**Tabla 3.3.3-136**).

Tabla 3.3.3-136 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Güio época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						GÜIO_CLE_02	GÜIO_CLE_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	32,2	1,1	33,3
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia sp.*	12,2		12,2
				Probezzia	*Probezzia sp.*	23,3		23,3
		Coleóptera	Dytiscidae	Laccophilus	*Laccophilus sp.*	1,1		1,1
				Liodessus	*Liodessus sp.*	21,1		21,1
				Pachydrus	*Pachydrus sp.*	3,3		3,3
				Thermonectus	*Thermonectus sp.*	1,1		1,1
			Hydrophilidae	Berosus	*Berosus sp.*	2,2		2,2
				Enochrus	*Enochrus sp.*	3,3		3,3
				Tropisternus	*Tropisternus sp.*	7,8		7,8
			Hydrochidae	-	*Hydrochidae Mf.*	8,9		8,9
			Curculionidae		*Curculionidae Mf.*	1,1		1,1

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						GÜIO_CLE_02	GÜIO_CLE_01	
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Corixidae	Centrocorisa	*Centrocorisa sp.*	3,3		3,3
			Hebridae	-	*Hebridae Mf.*	1,1		1,1
			Notonectidae	Notonecta	*Notonecta sp.*	1,1		1,1
	Arachnida	Acari	-	-	*Acari Mf.*	2,2		2,2
Total general						**125**	**1**	**126**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad estuvo dominada por Chironomidae (33,3 ind/m²), seguido de *Probezzia* sp. (23,3 ind/m²) y *Liodessus* sp. (21,1 ind/m²), mientras que otros taxones como *Alluaudomyia* sp. (12,2 ind/m²) e *Hydrochidae* Mf. (8,9 ind/m²) presentaron abundancias intermedias, el resto de morfoespecies mostraron abundancias menores (<5 ind/m²).

La marcada diferencia entre estaciones sugiere un gradiente ambiental pronunciado dentro del mismo sistema léntico, donde GÜIO_CLE_02 alberga una comunidad más diversa y estructurada, posiblemente asociada a una mayor complejidad de hábitat proporcionada por las macrófitas, mientras que GÜIO_CLE_01 presenta condiciones restrictivas que limitan la colonización a solo taxones altamente tolerantes como Chironomidae (Roldan G. , 1992).

La presencia de coleópteros diversos (Dytiscidae, Hydrophilidae) y hemípteros (Corixidae, Notonectidae) en GÜIO_CLE_02 indica interacciones ecológicas complejas y una posible conexión con sistemas lóticos y terrestres adyacentes, particularmente a través de taxones con capacidad de dispersión aérea como los coleópteros acuáticos (Wantzen K. M. et al., 2008). La dominancia de Chironomidae y Ceratopogonidae, grupos generalmente tolerantes a condiciones de estrés, junto con la ausencia de taxones altamente sensibles como Ephemeroptera o Trichoptera, sugiere un ambiente con cierto grado de perturbación, aunque la presencia de coleópteros depredadores (Dytiscidae) y hemípteros (Notonectidae) indica que algunas zonas mantienen características adecuadas para redes tróficas complejas (Merritt & Cummins, 2008).

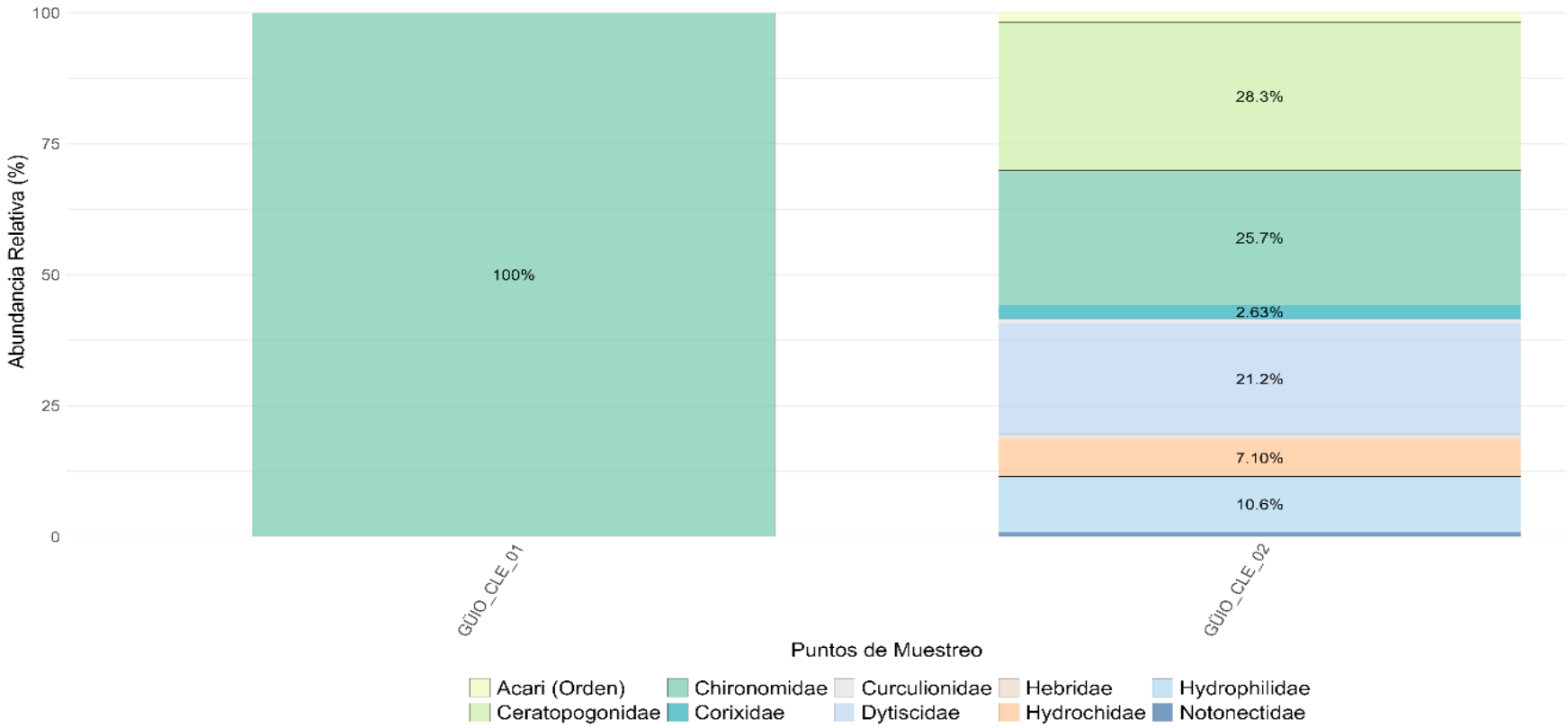


Figura 3.3.3-60 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Güio época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La época seca probablemente contribuye en gran medida a las condiciones de estrés en el sistema, reduciendo la disponibilidad de hábitat y aumentando la competencia por recursos, lo que podría explicar la marcada diferencia entre estaciones. En conclusión, el ensamble estudiado en Caño Güio muestra una comunidad con estructura heterogénea influenciada por las condiciones de época seca, donde las macrófitas juegan un papel clave como proveedoras de hábitat y refugio, particularmente en la estación GÜIO_CLE_02 que presenta mayor diversidad. La presencia simultánea de taxones tolerantes y grupos depredadores sugiere un sistema con capacidad de mantener cierta complejidad ecológica a pesar de las condiciones ambientales restrictivas, aunque la marcada diferencia con GÜIO_CLE_01 indica la existencia de microambientes con condiciones críticas.

Ahora bien, en concordancia y reflejando los resultados anteriores, el análisis del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) revela condiciones ambientales contrastantes entre las dos estaciones evaluadas durante la época seca. La estación GÜIO_CLE_02 presenta un valor de 38 (Clase III - Calidad dudosa), mientras que GÜIO_CLE_01 muestra un valor extremadamente bajo de 2 (Clase V - Calidad muy crítica).

Tabla 3.3.3-137 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Güio época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO GÜIO	GÜIO_CLE_02	III	Dudosa	38	Aguas moderadamente contaminadas
	GÜIO_CLE_01	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos resultados deben interpretarse en el contexto ecológico previamente analizado, donde se observó una marcada diferencia en la composición de la comunidad entre ambas estaciones.

La puntuación moderadamente baja obtenida en GÜIO_CLE_02 (38) refleja la dominancia observada de familias tolerantes como Chironomidae y Ceratopogonidae, que tienen puntuaciones bajas en el BMWP. Sin embargo, la presencia de familias como Dytiscidae y Hydrophilidae (coleópteros acuáticos), que reciben puntuaciones más altas en el índice, contribuyó a elevar el valor final. Esta mezcla de taxones con diferente sensibilidad explica la clasificación como "aguas moderadamente contaminadas", coincidiendo con la interpretación ecológica previa que sugería cierto grado de perturbación pero con mantenimiento de cierta complejidad trófica.

El valor crítico de GÜIO_CLE_01 (2) se explica por la presencia exclusiva de Chironomidae, familia que recibe la puntuación más baja (1) en el BMWP/Col. Este resultado extremo confirma las condiciones ambientales restrictivas identificadas en el análisis de diversidad, donde esta estación mostró una comunidad biótica extremadamente simplificada. La ausencia total de familias con mayor puntuación en este punto justifica plenamente su clasificación como "aguas fuertemente contaminadas, situación crítica".

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa en los sistemas lénticos de Caño Güio revela patrones ecológicos contrastantes. En la estación GÜIO_CLE_01 no se registran valores para este análisis debido a que la presencia de una sola morfoespecie no permite calcular los índices debido a que no existe un comportamiento de comunidad biológica para este punto (**Tabla 3.3.3-138**) (Magurran A. E., 2004).

En contraste, la estación GÜIO_CLE_02 presentó una comunidad biológica más estructurada y diversa, con valores de Shannon (2.427) que indican diversidad media-alta y un índice de Simpson (0.114) que señala baja dominancia, característica de sistemas con distribución equilibrada de abundancias entre especies (**Tabla 3.3.3-138**). La riqueza de 16 morfoespecies y abundancia total de 125.3 ind/m² sugieren condiciones ambientales que permiten el establecimiento de una red trófica más compleja, donde las interacciones interespecíficas (competencia, depredación, partición de nicho) juegan un papel importante en la estructuración de una comunidad. El valor de equitatividad de Pielou (0.875), cercano a 1, indica una distribución relativamente homogénea de las abundancias entre los taxones presentes, aunque con ligera dominancia de algunos grupos como Chironomidae, *Probezzia* sp. y *Liodessus* sp., (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad. M & T–Manuales y Tesis SEA, 2001)

Tabla 3.3.3-138 Índices alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Güio época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO GÜIO	GÜIO_CLE_02	125.3	16	2.427	0.114	0.875

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la teoría de comunidades, estos resultados sugieren que GÜIO_CLE_02 representa un sistema con mayor madurez ecológica, donde procesos de sucesión han permitido el establecimiento de especies con diferentes requerimientos ecológicos y estrategias de vida. La presencia simultánea de grupos con distintas funciones (depredadores como Dytiscidae, recolectores como Chironomidae, y otros) indica una organización comunitaria más compleja. Por el contrario, GÜIO_CLE_01 muestra características de una comunidad en estado temprano de sucesión o fuertemente perturbada, donde solo las especies más tolerantes o con mayor capacidad de colonización han podido establecerse.

La marcada heterogeneidad espacial observada, dentro del mismo cuerpo de agua sugiere la existencia de microambientes con condiciones ecológicas radicalmente diferentes, posiblemente relacionadas con gradientes de calidad del agua (oxígeno disuelto, contaminantes), estructura del hábitat (densidad y tipo de macrófitas), conectividad con otros sistemas acuáticos y presión antropogénica localizada (Krebs, 2014).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante el monitoreo de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Güio, en el área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, se registraron un total de 14 morfoespecies pertenecientes a la división Tracheophyta, distribuidas en dos clases principales: Magnoliidae y Polypodiidae. La diversidad de macrófitas fue notoriamente mayor en los cuerpos lénticos (GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02), donde se encontraron 6 y 8 morfoespecies respectivamente, en contraste con los cuerpos lóticos (GÜIO_CL_01 y OCMY4), en los que se identificó únicamente una morfoespecie por punto (**Tabla 3.3.3-139**). Esta diferencia es coherente con lo reportado por (Martínez et al. 2011[40]), quienes indican que los ambientes lénticos, al presentar menor velocidad de flujo y mayor estabilidad física, permiten una mayor colonización y permanencia de macrófitas.

En términos taxonómicos, en los cuerpos lóticos, GÜIO_CL_01 presentó presencia exclusiva de la familia Fabaceae (Fabaceae Mf.), mientras que en OCMY4 se identificó únicamente *Cyperus luzulae* (Cyperaceae) (**Tabla 3.3.3-139**). Estas especies, adaptadas a condiciones de corriente, reflejan una baja diversidad, pero alta dominancia, con coberturas del 100 % en cada caso, lo que indica comunidades simplificadas, posiblemente por condiciones hidrodinámicas restrictivas para el establecimiento de especies flotantes o de crecimiento más lento (Rangel-Ch et al., 2010[41]).

Por otro lado, en los cuerpos lénticos, la diversidad estructural fue mucho mayor. En GÜIO_CLE_01 se registraron especies como *Adiantum* sp. (Pteridaceae), con una cobertura del 31,99 %, y *Montrichardia* sp. (Araceae), con 18 %, mientras que en GÜIO_CLE_02 se destacó *Carex* sp. (Cyperaceae) con un 26,92 % de abundancia relativa, junto a especies flotantes como *Ludwigia sedioides* (Onagraceae) y *Salvinia auriculata* (Salviniaceae) (**Tabla 3.3.3-139**). La coexistencia de especies de diferentes hábitos ecológicos (emergentes, flotantes y sumergidas) en estos cuerpos de agua sugiere una mayor heterogeneidad de hábitat y una mejor calidad ecológica, lo cual es característico de ecosistemas con menor perturbación antrópica y mayor complejidad estructural (Esteves, 2011[4]; Junk et al., 1989).

La familia Cyperaceae fue la más representativa en número de morfoespecies (*Carex* sp., *Cyperus luzulae*, Cyperaceae Mf., *Eleocharis interstincta*), destacando su capacidad para colonizar tanto sistemas lénticos como lóticos, dada su adaptabilidad a diferentes niveles de anegamiento y flujo. Asimismo, se evidenció la presencia de especies indicadoras de ambientes con buena disponibilidad de nutrientes y luz, como *Eichhornia heterosperma* y *Salvinia auriculata*, asociadas frecuentemente a cuerpos de agua tranquilos con abundante materia orgánica (Tiner, 1999[5]) (**Tabla 3.3.3-139**).

[40] Martínez, A., Rangel-Ch, J. O., & Lozano, G. (2011). Diversidad de macrófitas acuáticas en ecosistemas lóticos y lénticos del piedemonte llanero colombiano. Revista Colombiana de Biología, 26(2), 249–266.
[41] Rangel-Ch, J. O., Lowy, P. D., & Álvarez, C. A. (2010). Vegetación de Colombia: biodiversidad y ecología. Universidad Nacional de Colombia.

La composición y estructura de las comunidades de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Güio en época seca reflejan un gradiente ecológico claro entre cuerpos lénticos y lóticos, con alta diversidad y complejidad en los primeros, y dominancia de especies resistentes en los segundos.

Tabla 3.3.3-139 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Güio, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Güio							
				Punto De Muestreo	GÜIO_CLE_01		GÜIO_CLE_02		GÜIO_CL_01		OCMY4	
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Montrichardia* sp.	15	18,00	15	8,65				
				Philodendron sp.	5	6,00	18,35	10,58				
		Commelinales	Pontederiaceae	*Eichhornia heterosperma*			15	8,65				
		Dilleniales	Dilleniaceae	*Doliocarpus* sp.	10	12,00						
		Fabales	Fabaceae	Fabaceae Mf.					16,67	100		
		Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia sedioides*			26,66	15,38				
		Poales	Cyperaceae	*Carex* sp.			46,67	26,92				
				Cyperus luzulae							20	100
				Cyperaceae Mf.	15	18,00						
				Eleocharis interstincta			23,34	13,46				
		Zingiberales	Marantaceae	*Calathea* sp.	11,67	14,00						
	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Adiantum* sp.	26,66	31,99						
				Ceratopteris sp.			15	8,65				
		Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia auriculata*			13,34	7,69				
Cobertura Total general					**83,33**	**100**	**173,36**	**100**	**16,67**	**100**	**20**	**100**
Morfoespecies por Punto					**6**		**8**		**1**		**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**14**							

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad de macrófitas acuáticas en los cuerpos lénticos de la Microcuenca del caño Güio (representados por los puntos GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02) evidencia una comunidad relativamente diversa y estructurada. En GÜIO_CLE_02 se registró una riqueza de 8 morfoespecies, con un índice de Shannon-Wiener de 1.979 y un índice de equidad de Pielou de 0.952, lo que indica una comunidad con alta diversidad y una distribución bastante equitativa entre las especies. Por su parte, GÜIO_CLE_01 presentó una riqueza ligeramente menor (6 morfoespecies), un índice de Shannon de 1.684 y una equidad de 0.94, manteniéndose también en rangos elevados. Ambos puntos mostraron valores bajos en el índice de Simpson (0.203 y 0.153, respectivamente), lo cual sugiere una baja dominancia de una sola especie, reforzando la idea de una comunidad bien balanceada (Magurran, 2004) (**Tabla 3.3.3-140**).

Estos resultados son coherentes con lo esperado en cuerpos de agua lénticos de zonas tropicales, donde la estabilidad del hábitat y la menor velocidad de flujo permiten un mayor desarrollo y

coexistencia de macrófitas con diferentes estrategias ecológicas (Esteves, 2011[4]). La alta equidad registrada implica que ninguna especie domina excesivamente el sistema, lo cual puede asociarse a condiciones ambientales estables y baja perturbación antrópica (Barbour et al., 1999[42]) (**Tabla 3.3.3-140**).

En contraste, en los cuerpos lóticos GÜIO_CL_01 y OCMY4 no fue posible calcular índices de diversidad debido a la presencia de una única morfoespecie en cada punto, lo que impide aplicar métricas como Shannon o Simpson, que requieren una comunidad con al menos tres especies para que el análisis sea significativo (Moreno, 2001) (**Tabla 3.3.3-140**). Esta baja diversidad es característica de ambientes lóticos con mayores restricciones físicas para el establecimiento de vegetación acuática y puede ser indicativa de condiciones hidrodinámicas limitantes o perturbaciones locales.

Tabla 3.3.3-140 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas Microcuenca caño Güio época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
GÜIO_CLE_01	83.33	6	1.684	0.203	0.94
GÜIO_CLE_02	173.36	8	1.979	0.153	0.952

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Época lluvias*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 para la estación y GÜIO_CLE_02 y el moniteoro del 2025 para el proyecto en estudio con la estación GÜIO_CLE_01. El estudio de la comunidad fitoplanctónica en el sistema léntico del Caño Güio durante la época de lluvias revela un ensamble ecológico caracterizado por diferencias espaciales significativas entre las estaciones GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02. La estación GÜIO_CLE_01 presentó mayor abundancia total (0.335 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-141**) dominada por el género *Eunotia* (0.191 Ind/mL) con una representatividad del (51.0%) (**Tabla 3.3.3-141**) (**Figura 3.3.3-61**), una diatomea acidófila indicadora de aguas con bajo pH y moderado contenido orgánico (Round et al., 1990), junto con *Pinnularia* (0.07 Ind/mL y 20.9%) (**Tabla 3.3.3-141**) (**Figura 3.3.3-61**), característica de ambientes con sustratos estables (Bahls, 2012). En contraste, GÜIO_CLE_02 mostró menor abundancia (0.247 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-141**) pero con presencia exclusiva de *Desmidium* (0.033 Ind/mL y 13.4%) (**Tabla 3.3.3-141**) (**Figura 3.3.3-61**), un alga verde asociada a aguas oligotróficas con influencia de humedales ácidos (Coesel & Meesters, 2007). La riqueza total de la Microcuenca (9 géneros) y la distribución diferencial de especies sugieren una marcada heterogeneidad ambiental, donde GÜIO_CLE_01 representa un ambiente más influenciado por aportes terrestres, evidenciado por la dominancia de diatomeas (*Eunotia*, *Pinnularia*), mientras que GÜIO_CLE_02 refleja condiciones más naturales sin impactos, con predominio de desmidios (*Desmidium*) y menor abundancia general.

[42] Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish (2nd ed.). U.S. Environmental Protection Agency.

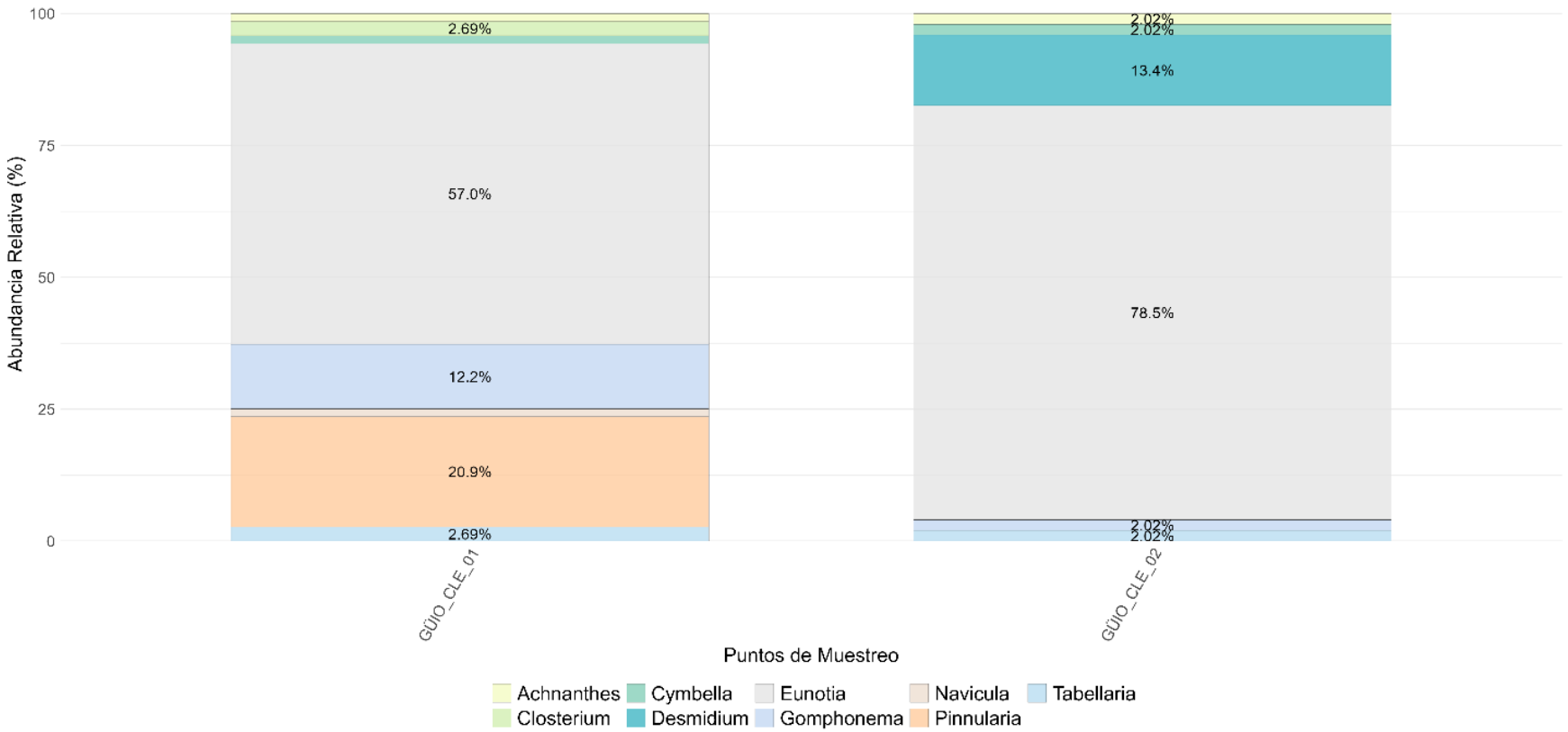


Figura 3.3.3-61 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Güio época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres se manifiesta en la composición taxonómica observada. La presencia de *Gomphonema* (0.046 Ind/mL en total) (**Tabla 3.3.3-141**), típico de zonas de transición entre corrientes y lagos (Biggs & Kilroy, 2000), junto con *Tabellaria* (0.014 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-141**), indicadora de aguas con bajo contenido de nutrientes (Stevenson et al., 2010), sugiere que la Microcuenca recibe influencia tanto de sistemas fluviales adyacentes como de áreas inundadas terrestres. La notable abundancia de *Eunotia* (0.385 Ind/mL en total) (**Tabla 3.3.3-141**), frecuente en aguas con aportes de materia orgánica vegetal en descomposición, lo que confirma que la conexión funcional con la llanura inundable circundante. Estos patrones son consistentes con la dinámica de pulsos de inundación descrita por (Junk et al., 1989), donde las comunidades fitoplanctónicas responden rápidamente a los cambios en la conectividad hidrológica.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Güio presenta una calificación ecológica buena, esto puede estar asociado a la presencia de especies indicadoras de ambientes poco alterados como *Desmidium* y *Tabellaria*, la diversidad funcional del ensamble fitoplanctónico, que refleja la heterogeneidad natural de los sistemas inundables y los patrones de distribución espacial coherentes con procesos ecológicos esperables durante el pulso de inundación. Sin embargo, la marcada dominancia de *Eunotia* en GÜIO_CLE_01 podría indicar procesos locales de acidificación o acumulación de materia orgánica.

Tabla 3.3.3-141 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Güio época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					GÜIO_CLE_01	GÜIO_CLE_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	0,009	0,005	0,014
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,07		0,07
			Naviculaceae	*Navicula*	0,005		0,005
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,191	0,194	0,385
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella*	0,005	0,005	0,01
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,041	0,005	0,046
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	0,005	0,005	0,01
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,009		0,009
			Desmidiaceae	*Desmidium*		0,033	0,033
Gran Total					0,335	0,247	0,582

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en las estaciones GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02 revela diferencias significativas en la estructura de la comunidad fitoplanctónica de este sistema léntico durante la época de lluvias. La estación GÜIO_CLE_01 presenta valores superiores de abundancia (0.335 Ind/mL), riqueza (8 géneros) y diversidad (Shannon = 1.667), con una equitatividad de Pielou de 0.802 (**Tabla 3.3.3-142**) que indica una distribución relativamente equilibrada de las especies. Estos parámetros sugieren condiciones ambientales favorables para el desarrollo del fitoplancton, con disponibilidad de nichos ecológicos y recursos adecuados (Reynolds, 2006). El valor de Simpson (0.301) (**Tabla 3.3.3-142**) confirma una dominancia moderada de ciertos taxones, coherente con la presencia de especies adaptadas a condiciones específicas de la llanura

inundable. En contraste, GÜIO_CLE_02 muestra menor abundancia (0.247 Ind/mL) y riqueza (6 géneros), con valores reducidos de diversidad (Shannon = 0.994) y equitatividad (Pielou = 0.555) (**Tabla 3.3.3-142**), lo que refleja condiciones más restrictivas donde pocas especies dominan el ensamble (Padisák et al., 2009). Estas diferencias entre estaciones es característica de sistemas inundables, donde la heterogeneidad espacial creada por el pulso de inundación genera microambientes diferenciados (Junk et al., 1989).

La comparación de ambos puntos sugiere que GÜIO_CLE_01 representa un ambiente más estable y productivo, posiblemente con mayor influencia de aportes alóctonos desde la llanura inundable, mientras que GÜIO_CLE_02 podría corresponder a un área con menor conectividad o condiciones físico-químicas más limitantes. La menor equitatividad en GÜIO_CLE_02 (0.555) (**Tabla 3.3.3-142**) indica una comunidad dominada por especies oportunistas, típica de ambientes con perturbaciones frecuentes o recursos limitados. No obstante, la presencia de seis géneros en esta estación demuestra que mantiene cierta capacidad para sustentar comunidades fitoplanctónicas diversas.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Güio presenta una calificación ecológica moderadamente buena, con áreas de mayor integridad biológica (GÜIO_CLE_01) y sectores con ciertas limitaciones ambientales (GÜIO_CLE_02). Esta variabilidad espacial es inherente a los sistemas de llanura inundable y refleja la dinámica natural del pulso de inundación. La presencia de comunidades diversas en GÜIO_CLE_01 sugiere que el sistema mantiene funciones ecológicas clave, mientras que las condiciones menos favorables en GÜIO_CLE_02 podrían responder a factores naturales como gradientes de profundidad o conectividad hidrológica diferencial.

Tabla 3.3.3-142 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Güio época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
GÜIO_CLE_01	0.335	8	1.667	0.301	0.802
GÜIO_CLE_02	0.247	6	0.994	0.543	0.555

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024. La comunidad zooplanctónica en el sistema léntico de la Microcuenca del Caño Güio durante la época de lluvias revela un ensamble de baja abundancia, pero diversidad funcional. La estación GÜIO_CLE_01 presentó mayor abundancia total (0.0313 Ind/mL) y riqueza (4 morfoespecies) (**Tabla 3.3.3-143**), destacando los protozoos testados *Euglypha* (0.0134 Ind/mL) y una representatividad del (42.8%) y *Trinema* (0.0089 Ind/mL y 28.4%) (**Tabla 3.3.3-143**) (**Figura 3.3.3-62**), organismos característicos de ambientes con moderado contenido orgánico y sustratos estables (Meisterfeld, 2002). En contraste, GÜIO_CLE_02 mostró menor abundancia (0.012 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-143**) pero con presencia exclusiva de *Difflugia*, *Arcella* y *Lesquereusia* (0.004 Ind/mL cada uno y una representatividad del 33.3%) (**Tabla 3.3.3-143**)

(**Figura 3.3.3-62**), indicadores de microhábitats específicos con vegetación acuática (Ogden & Hedley, 1980). La distribución espacial desigual sugiere que GÜIO_CLE_01, con su mayor diversidad de protozoos testados (*Arcella*, *Euglypha*, *Trinema*) y rotíferos bdeloideos (0.0045 Ind/mL), representa un ambiente más influenciado por aportes alóctonos desde la llanura inundable, mientras que GÜIO_CLE_02 refleja condiciones más restringidas, con predominio de especies adaptadas a microambientes particulares.

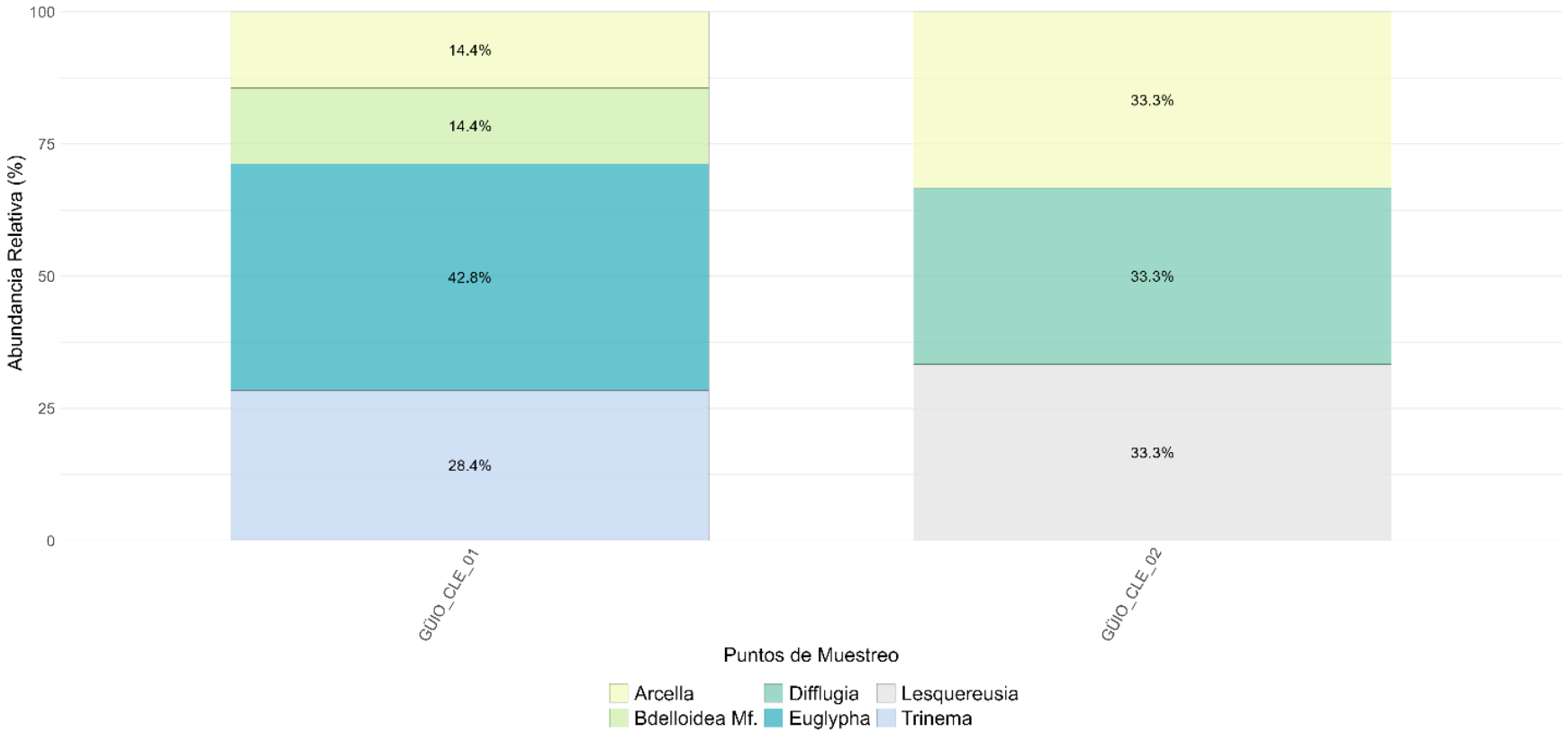


Figura 3.3.3-62 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Güio época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres se manifiesta en la composición taxonómica observada. La presencia de *Arcella* (0.0085 Ind/mL en total) (**Tabla 3.3.3-143**), típica de zonas marginales con materia orgánica en descomposición (Golemansky, 2007), junto con los rotíferos *Bdeloideos* (0.0045 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-143**), resistentes a periodos de sequía (Ricci & Fontaneto, 2009), confirma la conexión funcional con la llanura inundable circundante. La baja abundancia general (0.0433 Ind/mL en toda la Microcuenca) (**Tabla 3.3.3-143**) es característica de sistemas en fase inicial de inundación, donde las comunidades zooplanctónicas están comenzando su desarrollo (Junk et al., 1989). La ausencia de microcrustáceos (cladóceros y copépodos) sugiere limitada conectividad con sistemas lóticos durante el periodo de muestreo o condiciones aún no óptimas para su establecimiento.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Güio presenta una calificación ecológica moderada y puede estar asociado a la presencia de taxones indicadores de condiciones naturales como morfoespecies como *Difflugia* y *Euglypha*, los patrones de distribución coherentes con la fase inicial de inundación y la diversidad funcional representada por grupos con diferentes estrategias ecológicas. Sin embargo, la baja abundancia general y ausencia de grupos sensibles como cladóceros sugieren limitaciones en la conectividad ecológica o condiciones aún no óptimas para el desarrollo zooplanctónico.

Tabla 3.3.3-143 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Güio época lluvia

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					GÜIO_CLE_01	GÜIO_CLE_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0045	0,004	0,0085
			Difflugiidae	*Difflugia*		0,004	0,004
			Lesquereusiidae	*Lesquereusia*		0,004	0,004
Rotifera	Eurotatoria	-	-	Bdelloidea Mf.	0,0045		0,0045
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0134		0,0134
			Trinematidae	*Trinema*	0,0089		0,0089
Gran Total					0,0313	0,012	0,0433

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en las estaciones GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02 revela una comunidad zooplanctónica con características distintivas en cada punto de muestreo. La estación GÜIO_CLE_01 presenta valores superiores de abundancia (0.0313 Ind/mL) y riqueza (4 morfoespecies) (**Tabla 3.3.3-144**), acompañados de un índice de Shannon de 1.277 que indica una diversidad moderada, complementado por una alta equitatividad (Pielou = 0.921) (**Tabla 3.3.3-144**), lo que sugiere una distribución equilibrada de las especies presentes. Estos valores son consistentes con ambientes lénticos que mantienen condiciones estables para el desarrollo zooplanctónico, particularmente para protozoos testados como *Arcella* y *Euglypha*, que dominan el ensamble (Meisterfeld, 2002). El valor de Simpson (0.306) (**Tabla 3.3.3-144**) confirma una dominancia moderada de ciertos taxones, característica de sistemas en fase inicial de colonización.

Por otro lado, GÜIO_CLE_02 muestra una abundancia menor (0.012 Ind/mL) y menor riqueza (3 especies) (**Tabla 3.3.3-144**), aunque con un índice de Shannon relativamente alto (1.099) (**Tabla 3.3.3-144**) considerando su baja abundancia, y una equitatividad perfecta (Pielou = 1) (**Tabla 3.3.3-144**), lo que indica una distribución completamente uniforme entre las tres morfoespecies presentes (*Difflugia*, *Lesquereusia* y *Arcella*). Este patrón sugiere condiciones ambientales más restrictivas, posiblemente asociadas a microhábitats específicos con características físico-químicas particulares (Ogden & Hedley, 1980).

La comparación entre ambas estaciones evidencia una clara heterogeneidad espacial en la Microcuenca. GÜIO_CLE_01, con su mayor diversidad y abundancia, representa un ambiente más propicio para el desarrollo zooplanctónico, probablemente influenciado por aportes alóctonos de materia orgánica desde la llanura inundable adyacente. En contraste, GÜIO_CLE_02 refleja un ambiente más especializado, donde solo unas pocas especies han logrado establecerse. Esta disparidad es característica de los sistemas de llanura inundable, donde el pulso hidrológico crea una variedad de microhábitats con condiciones diferenciadas (Junk et al., 1989). La ausencia de microcrustáceos (cladóceros y copépodos) en ambas estaciones puede ser debido a que el sistema se encontraba en una fase temprana de sucesión ecológica durante el muestreo, o que las condiciones no eran aún óptimas para estos grupos más sensibles.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Güio presenta una calificación ecológica moderadamente buena, con áreas que muestran una diversidad zooplanctónica aceptable (GÜIO_CLE_01) y otras con comunidades más limitadas pero equilibradas (GÜIO_CLE_02). Esta variabilidad espacial responde probablemente a la dinámica natural de los sistemas inundables durante la época de lluvias. La presencia de taxones indicadores como *Difflugia* y *Euglypha* sugiere que el sistema mantiene condiciones adecuadas para grupos sensibles, aunque la baja abundancia general y ausencia de crustáceos señalan limitaciones en la productividad del sistema o en su conectividad con otros cuerpos de agua.

Tabla 3.3.3-144 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Güio época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
GÜIO_CLE_01	0.0313	4	1.277	0.306	0.921
GÜIO_CLE_02	0.012	3	1.099	0.333	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el

diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 y el monitoreo realizado en el 2025. Los puntos del 2024 son GÜIO_CL_01 y GÜIO_CL_02, y el punto OCMY4 hace referencia al monitoreo del 2025.

El estudio de la comunidad perifítica en el sistema lótico de la Microcuenca del Caño Güio durante la época de lluvias revela un ensamble ecológico con marcadas diferencias espaciales entre las estaciones OCMY4, GÜIO_CL_02 y GÜIO_CL_01. La estación GÜIO_CL_01 destaca por presentar la mayor abundancia total (85.3 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-145**), dominada por diatomeas como *Frustulia* (39.1 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (45.8%) y *Eunotia* (12.2 Ind/cm² 14.3%), acompañadas de desmidios como *Cosmarium* (12.2 Ind/cm² y 14.3%) (**Tabla 3.3.3-145**) (**Figura 3.3.3-63**). Estos taxones son bioindicadores de aguas con bajo contenido de nutrientes y moderada acidez (Round et al., The Diatoms: Biology & Morphology of the Genera, 1990). Por su parte, las estaciones OCMY4 y GÜIO_CL_02 muestran abundancias idénticas (74.4 Ind/cm² cada una), con predominio de *Cosmarium* (25.6 Ind/cm² y 34.4% en ambas), *Closterium* (20.9 Ind/cm² y 28.1%) y *Amphipleura* (9.3 Ind/cm² y 12.5%), sugiriendo condiciones más homogéneas entre estos puntos. La riqueza total de la Microcuenca (9 géneros) y la distribución diferencial de especies reflejan la heterogeneidad ambiental típica de sistemas de llanura inundable, donde *Cosmarium* y *Closterium* (Charophyta) indican influencia de aguas claras con vegetación acuática marginal (Coesel & Meesters, 2007), mientras que *Frustulia* y *Eunotia* (Bacillariophyceae) señalan conexiones con áreas terrestres inundadas ricas en materia orgánica (Stevenson & Bahls, 1999).

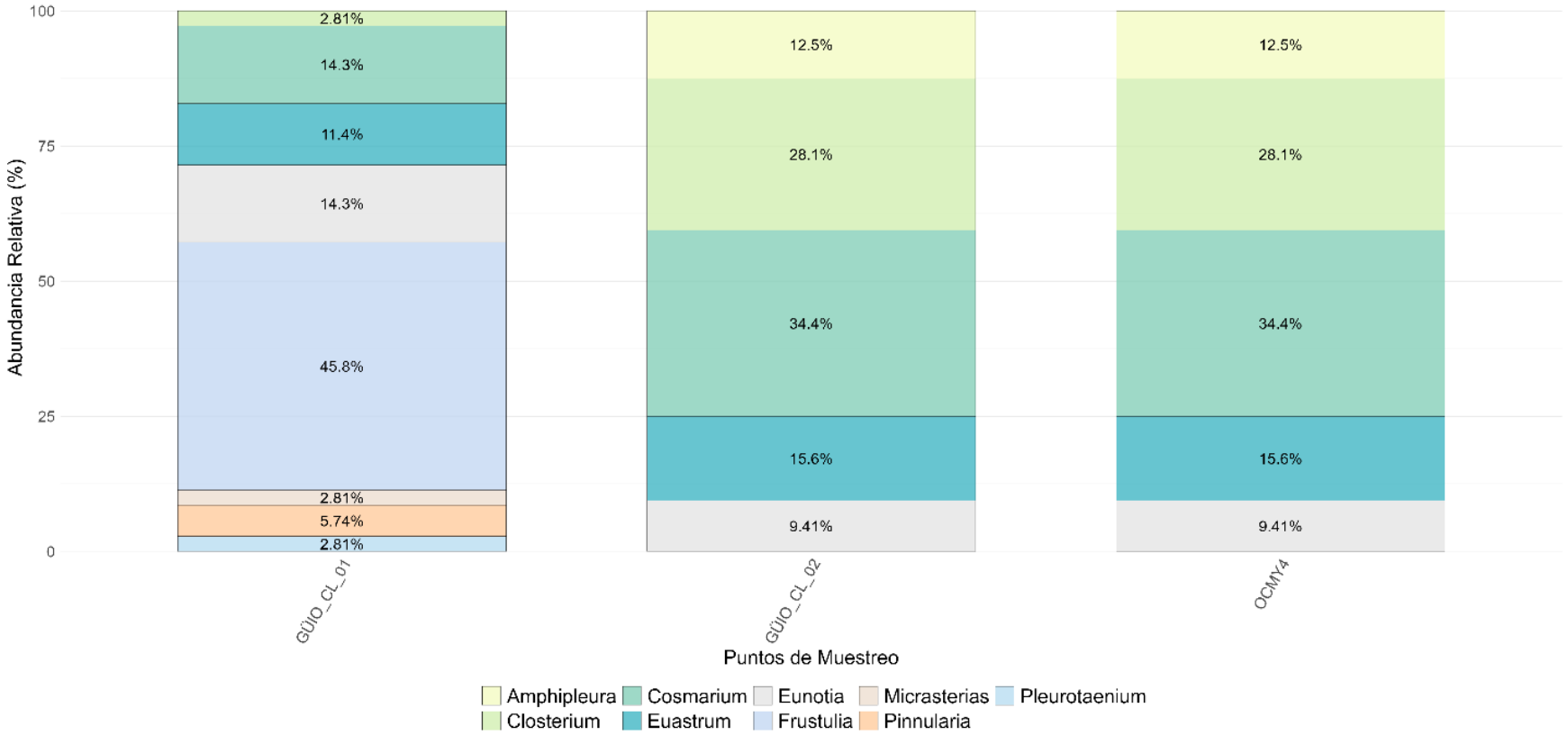


Figura 3.3.3-63 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Güio época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se evidencia en la composición taxonómica. La alta abundancia y porcentaje de abundancia de *Frustulia* en GÜIO_CL_01 (39.1 Ind/cm² y 45.8%)(**Tabla 3.3.3-145**) (**Figura 3.3.3-63**), diatomea típica de sustratos estables, sugiere menor influencia de corrientes fuertes en este punto, mientras que la presencia homogénea de *Amphipleura* en OCMY4 y GÜIO_CL_02 (9.3 Ind/cm² y 12.5% cada una) (indica flujos de agua más consistentes entre estos sitios (Biggs & Kilroy, 2000). La notable representación de desmidios (*Cosmarium*, *Euastrum*) en toda la Microcuenca (63.4 Ind/cm² y 32.9 Ind/cm² respectivamente en total) (**Tabla 3.3.3-145**) confirma aportes desde humedales marginales con aguas ácidas y pobres en nutrientes, característicos de la llanura inundable (Donato-Rondón, 2016). La ausencia de cianobacterias filamentosas y la baja presencia de diatomeas tolerantes a eutrofización (*Nitzschia*, *Gomphonema*) sugieren que el sistema mantiene una buena calidad de agua, sin evidencias de contaminación orgánica significativa (Whitton, 2012).

En conclusión, la Microcuenca del Caño Güio presenta una calificación ecológica buena-excelente, y esto puede estar asociado a la alta diversidad de especies sensibles (*Frustulia*, desmidios); la distribución espacial coherente con gradientes naturales de flujo y conectividad y la ausencia de taxones indicadores de contaminación. La predominancia de diatomeas acidófilas (*Eunotia*) y desmidios sugiere influencia de suelos ácidos en la llanura, mientras que la homogeneidad entre OCMY4 y GÜIO_CL_02 refleja una conectividad hidrológica efectiva durante el pulso de inundación (Junk et al., 1989).

Tabla 3.3.3-145 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Güio época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Güio			Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY4	GÜIO_CL_02	GÜIO_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*			4,9	4,9
			Amphipleuraceae	*Frustulia*			39,1	39,1
				Amphipleura	9,3	9,3		18,6
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	7	7	12,2	26,2
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	25,6	25,6	12,2	63,4
				Pleurotaenium			2,4	2,4
				Euastrum	11,6	11,6	9,7	32,9
				Micrasterias			2,4	2,4
			Closteriaceae	*Closterium*	20,9	20,9	2,4	44,2
Gran Total					**74,4**	**74,4**	**85,3**	**234,1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de los índices ecológicos en las tres estaciones de monitoreo (GÜIO_CL_01, GÜIO_CL_02 y OCMY4) revela patrones diferenciados en la comunidad perifítica de este sistema lótico durante la época de lluvias. La estación GÜIO_CL_01 destaca significativamente, mostrando la mayor abundancia (85.3 Ind/cm²) y riqueza específica (8 géneros), acompañada de valores de diversidad consistentes (Shannon = 1.749) y una equitatividad notable (Pielou = 0.841) (**Tabla 3.3.3-146**). Estos parámetros sugieren un ambiente con condiciones óptimas para el desarrollo del perifiton, caracterizado por una adecuada disponibilidad de recursos y

heterogeneidad de microhábitats (Stevenson & Bahls, 1999). Los valores de Simpson (0.26) confirman una distribución equilibrada sin dominancia extrema de ninguna especie, lo que refleja un sistema ecológicamente maduro. En contraste, las estaciones GÜIO_CL_02 y OCMY4 presentan valores idénticos de abundancia (74.4 Ind/cm²) y riqueza (5 géneros), con índices de Shannon (1.468) y Simpson (0.256) ligeramente inferiores, pero con una equitatividad superior (Pielou = 0.912) (**Tabla 3.3.3-146**), indicando una distribución más uniforme entre un menor número de especies. Esta configuración sugiere ambientes más especializados, posiblemente influenciados por condiciones locales particulares como flujos más constantes o menor disponibilidad de nichos ecológicos (Biggs & Kilroy, 2000).

La marcada diferencia en riqueza específica entre GÜIO_CL_01 (8 géneros) y las otras dos estaciones (5 géneros cada una) (**Tabla 3.3.3-146**) evidencia la heterogeneidad espacial característica de los sistemas de llanura inundable. La mayor diversidad en GÜIO_CL_01 podría estar asociada a una zona de transición con mayor influencia de aportes alóctonos desde la llanura terrestre circundante, mientras que la homogeneidad entre GÜIO_CL_02 y OCMY4 sugiere condiciones ambientales más estables y posiblemente una mayor influencia del sistema lótico principal. Los altos valores de equitatividad en todas las estaciones (0.841-0.912) (**Tabla 3.3.3-146**) son particularmente relevantes, ya que indican ausencia de especies dominantes y una distribución equilibrada de los recursos, característica de sistemas poco perturbados. La similitud exacta en los valores de diversidad entre GÜIO_CL_02 y OCMY4 sugiere una conexión hidrológica estrecha entre estos puntos o condiciones ambientales muy similares durante el periodo de muestreo.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Güio presenta una calificación ecológica excelente, y esto puede estar asociado a los altos valores de diversidad y equitatividad en todas las estaciones; la presencia de múltiples especies indicadoras de buena calidad de agua y a la heterogeneidad espacial esperable en sistemas naturales de llanura inundable. La combinación de alta abundancia (234.1 Ind/cm² en total) con diversidad funcional (representada por diatomeas y desmidios) confirma que el sistema mantiene condiciones óptimas para el desarrollo de comunidades perifíticas complejas. La diferencia observada entre GÜIO_CL_01 y las otras estaciones no representa un deterioro ecológico, sino más bien la variabilidad natural de estos ecosistemas.

Tabla 3.3.3-146 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Güio época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
GÜIO_CL_01	85.3	8	1.749	0.26	0.841
GÜIO_CL_02	74.4	5	1.468	0.256	0.912
OCMY4	74.4	5	1.468	0.256	0.912

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrada durante la época de lluvias en el caño Güio se compuso de dos morfoespecies pertenecientes a un único phyllum (Arthropoda) y clase (Insecta), distribuidas en dos (2) órdenes (Diptera y Hemiptera), dos (2) familias (Chironomidae y Notonectidae) y un género. La abundancia total alcanzó 14 ind/m², con la mayor parte concentrada en la estación GÜIO_CL_02 (*Chironomidae* Mf. = 10 ind/m²; *Buenoa sp.* = 2,2 ind/m²) y un registro residual de *Chironomidae Mf.* (2,2 ind m⁻²) en GÜIO_CL_01 (**Tabla 3.3.3-147**).

Tabla 3.3.3-147 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Güio época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						GÜIO_CL_02	GÜIO_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	10	2,2	12,2
		Hemiptera	Notonectidae	Buenoa	*Buenoa sp.*	2,2		2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**12**	**2**	**14**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La marcada dominancia de larvas de Chironomidae—grupo tolerante a hipoxia y elevadas cargas orgánicas—sugiere que el lecho del caño presenta sustratos finos, altos aportes de materia orgánica y eventuales condiciones de bajo oxígeno disuelto, habituales en sabanas inundables tras pulsos de crecida (Roldán 2003; Rosenberg & Resh 1993). La co-ocurrencia de *Buenoa sp.* (Notonectidae), depredador facultativo que respira aire y se desplaza entre aguas tranquilas y vegetación sumergida, indica la disponibilidad de microhábitats más oxigenados o un margen vegetal denso que facilita refugio y caza (Merritt & Cummins 2008).

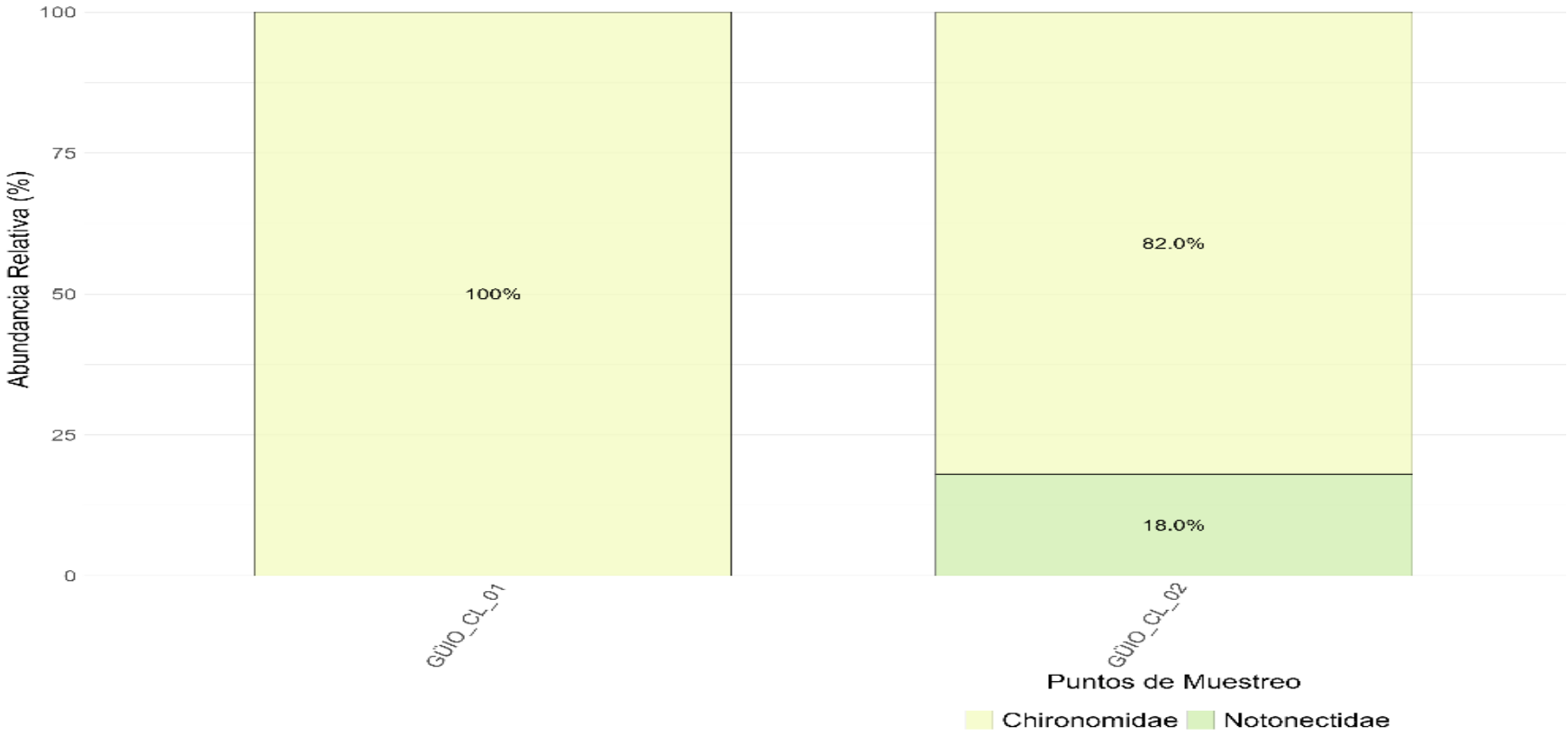


Figura 3.3.3-64 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Güio época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta asociación refleja la interacción entre sistemas lóticos y lénticos: durante las lluvias, el caño se expande lateralmente, generando remansos donde Chironomidae prospera y corredores superficiales donde los notonéctidos circulan. Además, la franja terrestre contribuye con detritos y refugios para la fase aérea de los insectos, reforzando la conectividad trófica (Allan & Castillo 2007). La baja riqueza—apenas dos morfoespecies—indica un ensamblaje simple y dominado por taxones tolerantes, posiblemente porque la recolonización pos-inundación aún está en curso o porque persisten presiones antrópicas (p. ej., sedimentación, escorrentía agrícola) que restringen la presencia de grupos sensibles como Ephemeroptera o Trichoptera.

En conjunto, el caño Güio exhibe una comunidad funcionalmente limitada, encabezada por depositívoros resistentes y depredadores oportunistas, lo que sugiere un estado meso- a eutrófico con heterogeneidad microambiental suficiente para sostener cierto grado de complejidad.

En el caso del índice BMWP/Col calculado para los dos puntos de monitoreo del caño Güio confirma un estado de fuerte deterioro ecológico: GÜIO_CL_02 obtuvo 7 puntos, y GÜIO_CL_01 solo 2 puntos. En ambos casos la clasificación cae en la clase V (Muy crítica), correspondiente a "aguas fuertemente contaminadas, situación crítica" según la escala propuesta por Roldán (2003). Estos valores tan bajos se explican por la presencia exclusiva de familias de macroinvertebrados altamente tolerantes a la contaminación. En particular Chironomidae domina en ambos sitios y es indicadora de sustratos anóxicos o con alta carga orgánica. Notonectidae, registrada únicamente en GÜIO_CL_02, eleva levemente la puntuación, pero no lo suficiente para sacar al sitio de la categoría crítica (**Tabla 3.3.3-148**).

Tabla 3.3.3-148 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Güio época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO GÜIO	GÜIO_CL_02	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	GÜIO_CL_01	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La ausencia de familias sensibles (p. ej., Ephemeroptera, Trichoptera, Elmidae) pone de manifiesto condiciones fisicoquímicas adversas: posibles episodios de hipoxia, sedimentación fina, enriquecimiento orgánico o aportes difusos de agroquímicos propios de la altillanura durante las lluvias.

Dado que el BMWP/Col se basa en la suma de puntuaciones familiares, la pobreza taxonómica detectada limita cualquier mejora del índice y subraya la necesidad de acciones de gestión que reduzcan las cargas de nutrientes y restablezcan la heterogeneidad del hábitat.

- Diversidad Alfa

En el caño Güio, la evaluación de la diversidad alfa muestra dos realidades muy contrastantes entre las estaciones muestreadas durante época de lluvias: GÜIO_CL_01 registró apenas

2,2 ind/m² de una sola morfoespecie (*Chironomidae* Mf.), lo que aritméticamente genera H′ = 0 y D = 1. En términos ecológicos, no existe comunidad propiamente dicha: un único taxón tolerante refleja un hábitat con fuerte estrés ambiental, dominado por sustrato fino, alta carga orgánica o episodios de hipoxia (Roldán 2003; Rosenberg & Resh 1993).

En contraste, GÜIO_CL_02 presentó 12,2 ind/m² repartidos en dos morfoespecies (*Chironomidae* Mf. y *Buenoa* sp.). El índice de Shannon (H′ = 1,011) indica una diversidad baja-intermedia, mientras que Simpson (D = 0,389) señala una dominancia moderada del quirónomido (**Tabla 3.3.3-149**).

Tabla 3.3.3-149 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Güio época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO GÜIO	GÜIO_CL_02	12.2	2	1.011	0.389	1.459

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Ecológicamente, la leve mejora de diversidad en GÜIO_CL_02 obedece a la presencia de *Buenoa sp.*—hemíptero depredador que respira aire y prefiere aguas tranquilas con vegetación sumergida—lo que sugiere microhábitats menos anóxicos o con cierta heterogeneidad hidráulica. Sin embargo, la escasez de otros grupos sensibles confirma un estado meso- a eutrófico con predominio de taxa tolerantes, coherente con la categoría "muy crítica" arrojada por el BMWP/Col.

En síntesis, los índices de diversidad avalan un caño Güio fuertemente limitado por carga orgánica y fluctuaciones hidrológicas: donde solo hay quirónomidos el ambiente es crítico; cuando aparece un depredador facultativo la diversidad mejora marginalmente pero sigue siendo baja. Estos resultados reclaman monitoreos multitemporales y acciones de manejo que reduzcan sedimentación y nutrientes para favorecer la recolonización de macroinvertebrados más sensibles.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

La campaña lluviosa en el caño Güio para los cuerpos de agua lenticos reveló un ensamblaje bentónico extremadamente simple: se identificaron solo dos morfoespecies—larvas de *Chironomidae* Mf. (Diptera: Chironomidae) y larvas de *Probezzia* sp. (Diptera: Ceratopogonidae)—lo que se traduce en un phylum (Arthropoda), una clase (Insecta), un orden (Diptera), dos familias, un género y una abundancia total de 4 ind/m² (2,2 ind/m² en el punto GÜIO_CLE_01 y 2,2 ind/m² en GÜIO_CLE_02) (**Tabla 3.3.3-150**).

Tabla 3.3.3-150 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Güio época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Güio		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						GÜIO_CLE_01	GÜIO_CLE_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.	2,2		2,2
			Ceratopogonidae	*Probezzia*	*Probezzia sp.*		2,2	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**2**	**2**	**4**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la bioindicación, la dominancia compartida por quirónomidos y ceratopogónidos sugiere ambientes con carga orgánica moderada a alta, sedimento fino y oxígeno disuelto bajo, ya que ambos grupos poseen adaptaciones tróficas y fisiológicas que les permiten colonizar hábitats empobrecidos (Roldán 2003; Merritt & Cummins 2008). *Probezzia* es un depredador facultativo de microcrustáceos y otras larvas, lo que implica la existencia de una cadena trófica corta y de microhábitats de agua más clara asociados a macrófitas flotantes; allí actúa como nexo entre el sistema léntico periférico (vegetación densa) y el flujo lótico del cauce principal, mientras los quirónomidos aprovechan la película orgánica que se acumula sobre los tallos. Esta interacción lentótico–lótica es típica de los caños de sabana inundable, donde los pulsos de crecida conectan remansos con tramos de corriente y facilitan el intercambio de energía y organismos entre el agua y el ecosistema terrestre ribereño (Allan & Castillo 2007) (**Figura 3.3.3-65**).

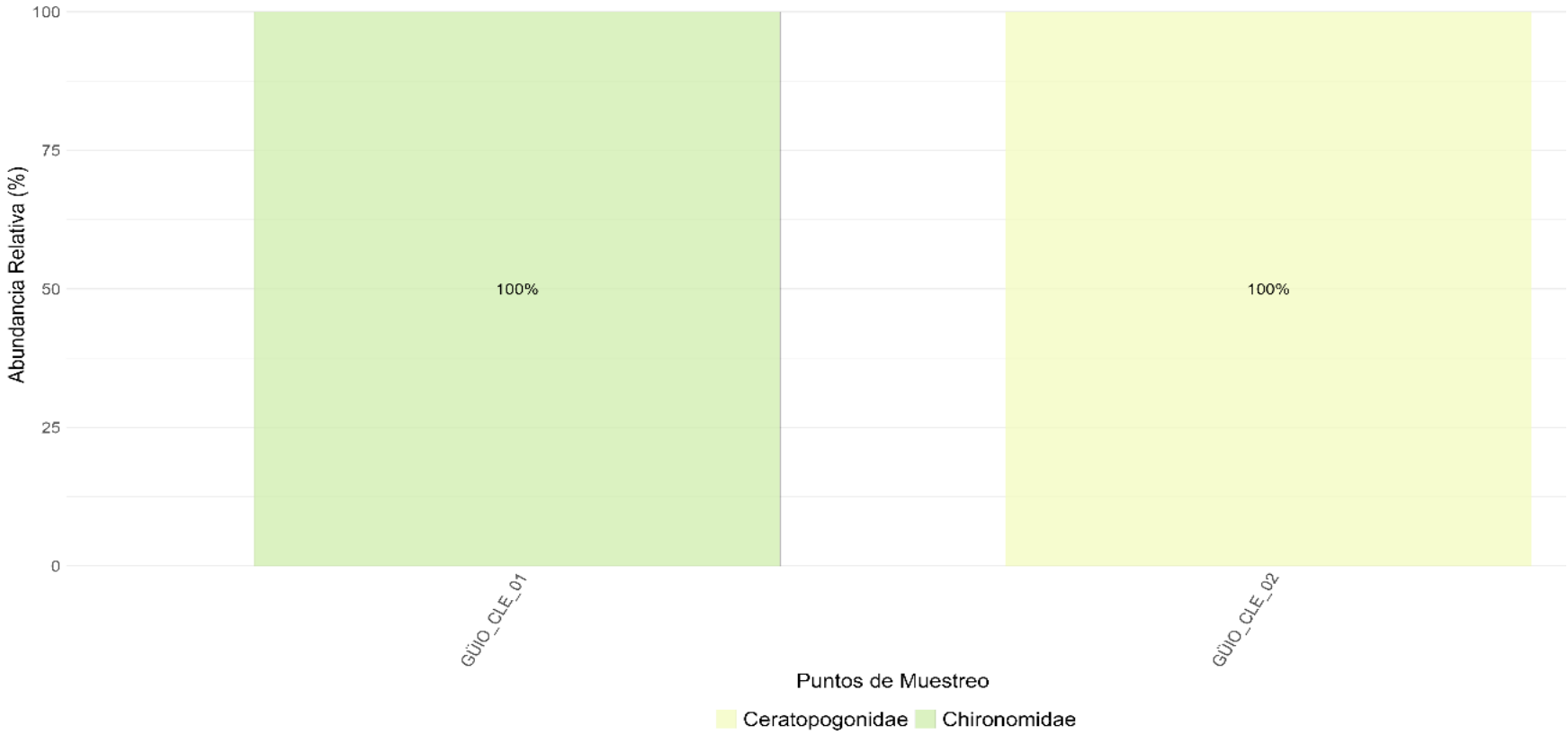


Figura 3.3.3-65 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Güio época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Sin embargo, el registro de solo dos familias impide aplicar el índice BMWP/Col con validez diagnóstica: el protocolo exige una lista amplia de familias con sensibilidades contrastantes—y en este caso se carece de representantes sensibles (p. ej., Elmidae, Trichoptera EPT) que aporten puntuaciones diferenciadas (Roldán 2003). Igualmente, no es posible estimar índices de diversidad alfa (Shannon, Simpson, Pielou) por estación, porque cada sitio alberga una única morfoespecie, lo que arrojaría $H' = 0$ y $D = 1$ y, por definición, invalida la comparación comunitaria (Magurran 2004).

Tabla 3.3.3-151 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Güio época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO GÜIO	GÜIO_CLE_01	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	GÜIO_CLE_02	V	Muy crítica	5	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conjunto, el caño Güio muestra una comunidad bentónica empobrecida y dominada por taxones tolerantes, reflejo probable de alta materia orgánica y pulsos hidrológicos recientes que aún no permiten la recolonización de grupos más exigentes (Domínguez & Fernández, 2009).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias, la comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca del caño Güio, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, presentó una composición limitada tanto en términos de riqueza como de cobertura. Se identificaron únicamente cuatro morfoespecies distribuidas en dos divisiones taxonómicas principales: Polypodiidae y Magnoliidae, todas pertenecientes a la división Tracheophyta. A nivel de clases y órdenes, se observaron representantes de Salviniales (familia Salviniaceae), Polypodiales (Pteridaceae) y Poales (Cyperaceae), con predominio de especies flotantes y palustres de hábito generalista, comúnmente asociadas a ambientes tropicales (Sculthorpe, 1967; Cook, 1996[26]) (**Tabla 3.3.3-152**).

En los cuerpos de agua lóticos (GÜIO_CL_01 y GÜIO_CL_02), se registró una baja diversidad. GÜIO_CL_01 no presentó cobertura vegetal alguna, lo que podría estar asociado a dinámicas hidrológicas más agresivas, mayor velocidad de corriente o a disturbios que impiden el establecimiento de macrófitas (Esteves, 2011[4]). En contraste, GÜIO_CL_02 presentó una única morfoespecie de la familia Cyperaceae, con un 100% de cobertura y abundancia relativa (**Tabla 3.3.3-152**). Esta dominancia refleja una baja heterogeneidad estructural y funcional de la comunidad, y sugiere condiciones ecológicas más restrictivas para el establecimiento de una comunidad diversificada (Wetzel, 2001[15]).

Por su parte, los cuerpos de agua lénticos (GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02) mostraron una mayor riqueza, con dos morfoespecies en cada punto. En GÜIO_CLE_01, la especie dominante fue *Salvinia* sp. (92,02% de abundancia relativa), acompañada de *Ceratopteris* sp. (7,98%). Este patrón se repite en GÜIO_CLE_02, donde *Salvinia* sp. también fue dominante (85,35%), seguida por *Salvinia auriculata* (14,65%) (**Tabla 3.3.3-152**). La alta cobertura de especies flotantes del género *Salvinia*, especialmente en sistemas lénticos, es característica de zonas con alta carga de nutrientes y baja turbulencia, condiciones que favorecen su proliferación (Santamaría, 2002[43]). La presencia adicional de helechos acuáticos (Pteridaceae) y especies de Cyperaceae sugiere una incipiente heterogeneidad estructural, aunque limitada.

En términos de composición taxonómica, los cuerpos lénticos reflejan una mayor complejidad que los lóticos. Sin embargo, en ambos tipos de sistema, el número de morfoespecies sigue siendo bajo si se compara con lo reportado en ecosistemas acuáticos tropicales con baja intervención antrópica (Junk et al., 2011[3]). Estos resultados pueden estar influenciados por factores estacionales, la dinámica fluvial del sistema, o condiciones físico-químicas locales.

Tabla 3.3.3-152 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Güio, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Güio							
				Punto De Muestreo	GÜIO_CL_01		GÜIO_CL_02		GÜIO_CLE_01		GÜIO_CLE_02	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia* sp.					100	92,02	56,34	85,35
				Salvinia auriculata							9,67	14,65
		Polypodiales	Pteridaceae	*Ceratopteris* sp.					8,67	7,98		
	Magnoliidae	Poales	Cyperaceae	Cyperaceae sp.			65	100				
Cobertura Total general					**0**	**0**	**65**	**100**	**108,67**	**100**	**66,01**	**100**
Morfoespecies por Punto					**0**		**1**		**2**		**2**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**							

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con cero, una o dos morfoespecies, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran, 2004[35]) por esta razón no se logró determinar los índices de diversidad.

[43] Santamaría, L. (2002). Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment. Acta Oecologica, 23(3), 137–154.

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación de la diversidad de macrófitas acuáticas entre las temporadas seca y lluviosa en la Microcuenca del caño Güio revela diferencias significativas en la composición, estructura y diversidad ecológica de la comunidad, reflejando la fuerte influencia de la estacionalidad sobre este ecosistema. Durante la temporada seca, se registró una mayor riqueza de morfoespecies (14 en total), distribuida de forma diferencial entre cuerpos de agua lénticos y lóticos, con predominancia de especies pertenecientes a las clases Magnoliidae y Polypodiidae, y órdenes como Poales, Myrtales, Alismatales y Salviniales. En particular, los cuerpos lénticos (GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02) presentaron mayor cobertura vegetal (83,33% y 173,36%, respectivamente) y diversidad, lo cual se evidencia en los valores de los índices ecológicos: Shannon (1,684–1,979), Simpson (0,203–0,153) y Pielou (0,94–0,952), indicando una comunidad relativamente equitativa y diversa (Magurran, 2004).

En contraste, durante la temporada de lluvias, se observó una fuerte reducción en la riqueza florística, con solo 4 morfoespecies registradas, concentradas en los puntos GÜIO_CL_02, GÜIO_CLE_01 y GÜIO_CLE_02. En este periodo, las especies del género *Salvinia* dominaron fuertemente los cuerpos lénticos, alcanzando coberturas superiores al 90%, lo que denota una comunidad menos diversa y más homogénea. Esta dominancia puede estar asociada a condiciones de alta disponibilidad de nutrientes y menor competencia interespecífica, típicas de sistemas inundables con bajos niveles de oxígeno disuelto y mayor carga orgánica (Henry-Silva & Camargo, 2008). Además, el aumento del nivel del agua y la expansión de zonas inundadas en época de lluvia puede limitar el establecimiento de ciertas macrófitas arraigadas, favoreciendo a especies flotantes con alta capacidad colonizadora (Esteves, 2011[4]).

Desde un enfoque ecológico, la mayor diversidad observada en época seca sugiere un sistema más estructurado, donde las condiciones de hábitat son más estables y favorables para una gama más amplia de estrategias ecológicas. En cambio, la simplificación observada en época lluviosa puede representar una respuesta adaptativa a disturbios hidrológicos, tales como fluctuaciones en el caudal, velocidad del flujo o cambios en la química del agua (Wetzel, 2001[15]). Esta dinámica refleja el modelo de pulso de inundación descrito por Junk et al. (1989[11]), en el cual la biodiversidad y productividad están fuertemente moduladas por las variaciones hidrológicas estacionales en los ecosistemas de planicie de inundación, como ocurre en la Orinoquia colombiana.

El análisis muestra que la estacionalidad es un factor clave que regula la composición y diversidad de las macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Güio, con una mayor complejidad estructural en la época seca y una marcada simplificación en la época de lluvias.

3.3.3.2.10 Microcuenca caño Ipapa

La Microcuenca del caño Ipapa, ubicada en el municipio de Puerto López, se encuentra en la región fisiográfica de la Altillanura colombiana, una subregión de la Orinoquía caracterizada por extensas planicies con relieve suavemente ondulado, suelos ácidos y de baja fertilidad natural, y

una alta estacionalidad climática con marcada diferenciación entre periodos secos y lluviosos (IGAC, 2018[22]). Esta región presenta una cobertura predominante de sabanas naturales e intervenidas, con parches de bosque ripario asociados a los cursos de agua. El caño Ipapa hace parte de la red hidrográfica del río Meta y cumple funciones ecológicas clave como la conectividad hidrológica, el mantenimiento de hábitats acuáticos y el soporte a la biodiversidad local. En este contexto, se llevó a cabo el monitoreo de comunidades hidrobiológicas en dos puntos de muestreo: IPAPA_CL_01 y OCMY9, este última ocupación de cauce (**Figura 3.3.3-66**).

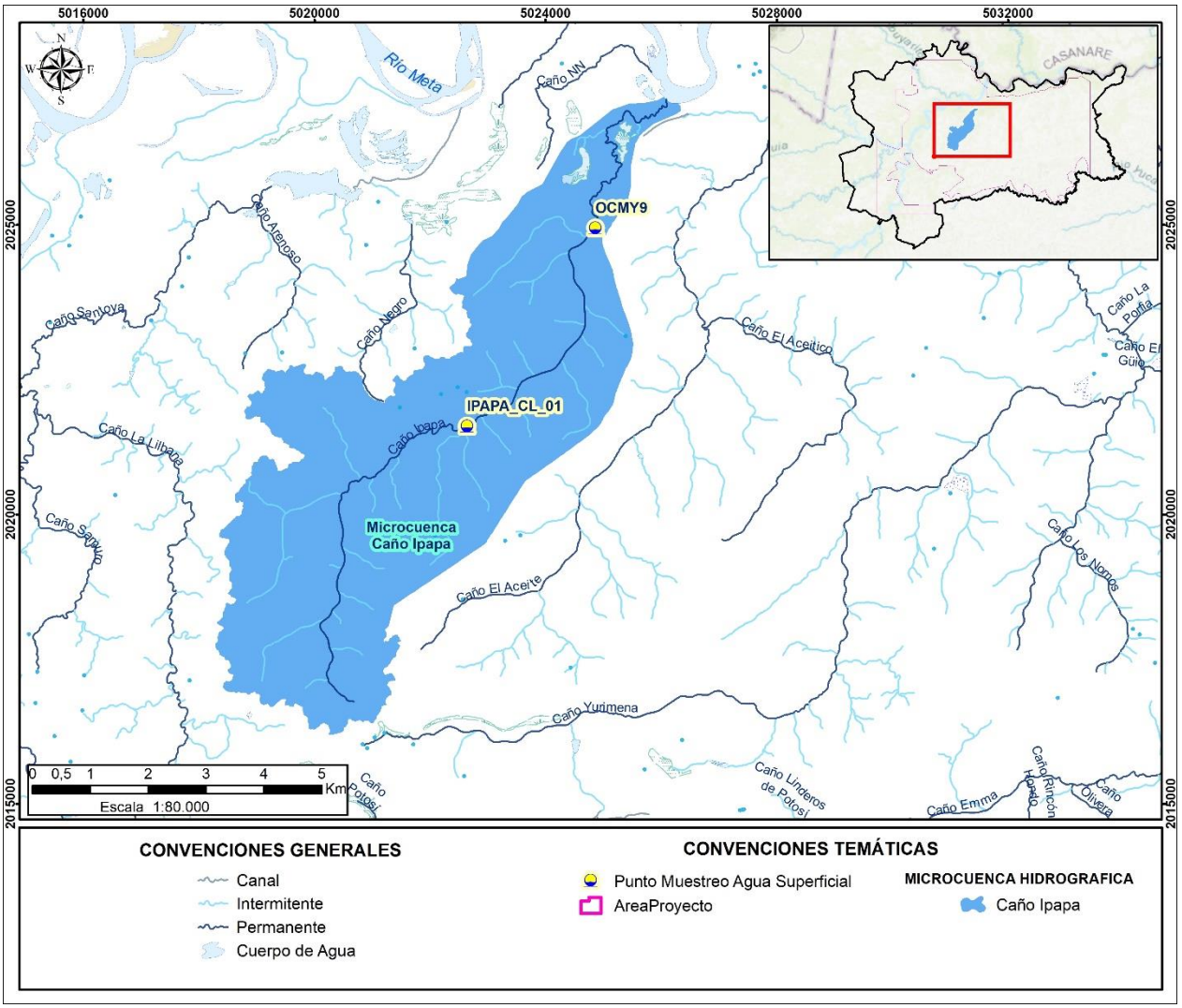


Figura 3.3.3-66 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Ipapa

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Ipapa, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada

comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

  - ✓ *Perifíton*

    - Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en las estaciones IPAPA_CL_01 y OCMY9 del Caño Ipapa, ubicado en la llanura inundable durante la época seca, revela un ensamble ecológico compuesto exclusivamente por diatomeas (Heterokontophyta) con una riqueza total de 4 géneros y una abundancia total de 42.3 Ind/cm² (**Tabla 3.3.3-153**). La estación OCMY9 presenta una mayor abundancia (31.4 Ind/cm²) y diversidad taxonómica de cuatro 4 géneros *Gomphonema*, *Pinnularia*, *Frustulia* y *Eunotia* (**Tabla 3.3.3-153**) en comparación con IPAPA_CL_01 reporto una abundancia total de 10.9 Ind/cm² y un solo género *Eunotia* con una abundancia de 10,9 Ind/cm2 y un porcentaje de representatividad del 100% (**Tabla 3.3.3-153**), lo que evidencia una heterogeneidad espacial significativa en la distribución de la comunidad bajo condiciones de estiaje.

El género *Eunotia* domina claramente el ensamble con 30.3 Ind/cm² (71.6% de la abundancia total) y es la única morfeoespecie que se reporta en ambas estaciones de muestreo, por el contrario, los géneros que se mencionan a continuación se reportaron en la estación OCMY9, EL género *Pinnularia* reporto una abundancia de 6 Ind/cm² y un porcentaje de abundancia del 19,1%, *Frustulia* (4.5 Ind/cm², 14.3%) y *Gomphonema* (1.5 Ind/cm², 4.76%) (**Tabla 3.3.3-153**). La predominancia de *Eunotia*, un género característico de aguas ácidas, blandas y con bajo contenido de nutrientes (Potapova &

Charles, 2007), sugiere condiciones oligotróficas marcadas por la reducción del caudal durante la época seca. La presencia de *Frustulia*, indicadora de aguas bien oxigenadas con bajo contenido orgánico (Round et al., The Diatoms: Biology & Morphology of the Genera, 1990), y de *Pinnularia*, asociada a ambientes con moderada conductividad, refleja la estabilidad química del sistema en condiciones de bajo flujo. La marcada diferencia entre estaciones donde IPAPA_CL_01 muestra una comunidad extremadamente simplificada dominada por *Eunotia* sugiere microambientes con limitaciones adicionales, posiblemente relacionadas con una mayor exposición a la radiación solar, fluctuaciones térmicas o reducción drástica del hábitat disponible, condiciones típicas de sistemas lóticos en llanuras inundables durante períodos de sequía (Biggs B. F., 1996). La interacción con sistemas terrestres se intensifica en época seca, como lo sugiere la presencia de *Gomphonema*, género frecuentemente asociado a zonas ribereñas con aporte de materia orgánica alóctona y sustratos estables. La ausencia de taxones típicamente planctónicos o de aguas quietas confirma la limitada conectividad con sistemas lénticos durante este período.

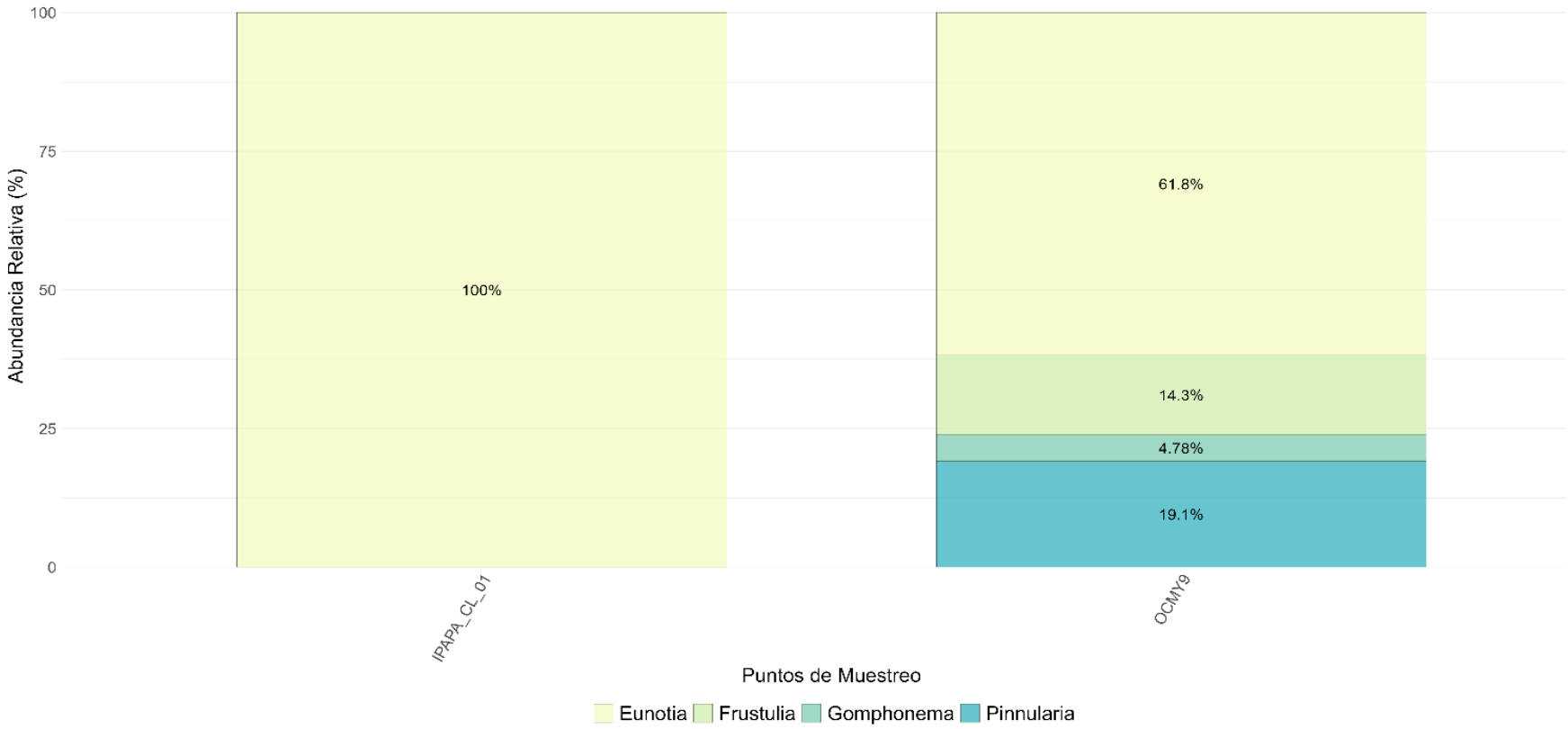


Figura 3.3.3-67 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Ipapa época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad sugiere una calidad del agua buena, lo que se asocia al predominio de taxones sensibles a la contaminación con géneros como *Eunotia* y *Frustulia* y la ausencia de indicadores de eutrofización. Sin embargo, la baja riqueza de géneros (4 en total) y la dominancia extrema de *Eunotia* alertan sobre condiciones ambientales restrictivas que podrían afectar la resiliencia del ecosistema.

Considerando todos los parámetros, la Microcuenca del Caño Ipapa recibe una calificación ecológica "moderadamente buena" durante la época seca, evaluación que refleja la capacidad del sistema para mantener comunidades sensibles pero bajo evidente estrés hidrológico.

Tabla 3.3.3-153 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Ipapa época seca

División	Clase	Orden	Familia	Género	Caño Ipapa		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					IPAPA_CL_01	OCMY9	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		1,5	1,5
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		6	6
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		4,5	4,5
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	10,9	19,4	30,3
Gran Total					10,9	31,4	42,3

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de la comunidad perifítica en los puntos IPAPA_CL_01 y OCMY9 de la Microcuenca de altillanura durante la época seca revela un ensamble ecológico con características extremadamente contrastantes que reflejan condiciones ambientales marcadamente diferentes entre estaciones.

El punto OCMY9 presenta una abundancia significativamente mayor (31.4 Ind/cm²) y una riqueza de 4 géneros, mientras que IPAPA_CL_01 muestra valores notablemente bajos (10.9 Ind/cm²) y una riqueza de apenas 1 género, lo que indica una heterogeneidad espacial pronunciada en la distribución de la comunidad bajo condiciones de estiaje. Los índices de diversidad evidencian esta disparidad, IPAPA_CL_01 registra un valor de Shannon de 0 y un índice de Simpson de 1, lo que refleja una comunidad completamente dominada por una única especie sin diversidad alguna, situación típica de ambientes bajo estrés hidrológico severo donde factores como la desecación, la alta irradiación o las fluctuaciones térmicas eliminan a los taxones más sensibles (Biggs B. F., 1996). Por el contrario, OCMY9 presenta un valor de Shannon de 1.204 y un Simpson de 0.388, indicando una diversidad baja pero significativa con dominancia moderada de algunas especies. El índice de Pielou de 0.869 en OCMY9 sugiere una distribución relativamente equitativa entre los cuatro géneros presentes, lo que es notable considerando las condiciones restrictivas de la época seca. Esta diferencia tan marcada entre estaciones sugiere microambientes contrastantes, posiblemente relacionados con variaciones en la retención de agua, la disponibilidad de sustratos estables o la proximidad a fuentes de agua subterránea que mitigan los efectos de la sequía.

Considerando ambos puntos en conjunto, la Microcuenca recibe una calificación ecológica "regular", calificación que se atribuye a limitada capacidad del sistema para mantener comunidades diversificadas durante el período seco. Aunque OCMY9 demuestra cierta resiliencia con una comunidad estructurada, la simplificación extrema en IPAPA_CL_01 alerta sobre la vulnerabilidad del ecosistema ante condiciones climáticas adversas. Este análisis refleja la dinámica de los sistemas lóticos en altillanura, donde la estacionalidad impone fuertes presiones sobre las comunidades perifíticas, favoreciendo a taxones tolerantes como *Eunotia* y eliminando a especies más sensibles.

Tabla 3.3.3-154 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Ipapa época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
IPAPA_CL_01	10.9	1	0	1	
OCMY9	31.4	4	1.204	0.388	0.869

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del caño Ipapa, evidencia una comunidad de baja abundancia (12 individuos/m² en total) pero con una riqueza moderada representada por nueve morfoespecies distribuidas en dos (2) phyllum: *Arthropoda* y *Arachnida*. A nivel taxonómico, se identificaron dos (2) clases (Insecta y Arachnida), tres (3) órdenes (Diptera, Coleóptera y Acari), seis (6) familias (Dytiscidae, Noteridae, Hydrophilidae, Elmidae, Scirtidae y Gomphidae), y cuatro (4) géneros confirmados (*Liodessus*, *Hydrocanthus*, *Tropisternus*, *Microcylloepus*) (**Tabla 3.3.3-155**).

Por su parte, la estación IPAPA_CL_01 registró solo 3,3 ind/m², con representación única del género *Liodessus* sp. (Coleoptera: Dytiscidae) y *Gomphidae* Mf. (Odonata). La estación OCMY9, aunque con igual abundancia (4,4 ind/m²), presentó una dominancia de coleópteros con énfasis en Dytiscidae y Elmidae.

Tabla 3.3.3-155 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Ipapa época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Ipapa		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						IPAPA_CL_01	OCMY9	
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Dytiscidae	-	*Dytiscidae* Mf.		3,3	3,3
				Liodessus	*Liodessus* sp.	1,1		1,1
			Noteridae	*Hydrocanthus*	*Hydrocanthus* sp.			1,1
			Hydrophilidae	*Tropisternus*	*Tropisternus* sp.			1,1
			Elmidae	*Microcylloepus*	*Microcylloepus* sp.		1,1	1,1
			Scirtidae	-	*Scirtidae* Mf.			1,1
		Odonata	Gomphidae		*Gomphidae* Mf.	1,1		1,1
	Arachnida	Acari	-	-	*Acari* Mf.	1,1		1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**3**	**4**	**7**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista ecológico, la composición del ensamble revela una comunidad funcional dominada por coleópteros acuáticos, un grupo relevante en hábitats de aguas corrientes y asociadas a sustratos estables o vegetación sumergida (Merritt & Cummins, 2008). La presencia de larvas de Elmidae (*Microcylloepus)*, generalmente asociadas a aguas bien oxigenadas, contrasta con la baja abundancia de indicadores sensibles, lo que sugiere condiciones de estrés ambiental intermedio. La presencia de Chironomidae, organismos tolerantes a bajas concentraciones de oxígeno y elevados niveles de materia orgánica (Roldán, 2003), indica posibles procesos de sedimentación o acumulación de detritos, habituales en canales con bajo flujo durante la época seca (**Figura 3.3.3-68**).

Por otro lado, la inclusión de géneros como *Hydrocanthus* indica cierta conectividad con microhábitats semilénticos o de flujo reducido, lo que refleja una interacción dinámica entre ambientes loticos y áreas de inundación temporal o charcas aisladas (**Figura 3.3.3-68**). Estos entornos híbridos son comunes en la altillanura durante la estación seca, donde la contracción del sistema hídrico crea zonas de retención de agua que funcionan como refugios para ciertos grupos adaptados a condiciones intermedias (Allan & Castillo, 2007).

Asimismo, la presencia de organismos típicamente terrestres o semiacuáticos como los *Acari* destaca el papel del entorno ripario y la importancia del aporte lateral de organismos desde sistemas terrestres colindantes, lo cual influye en la estructura y funcionalidad del ensamble bentónico.

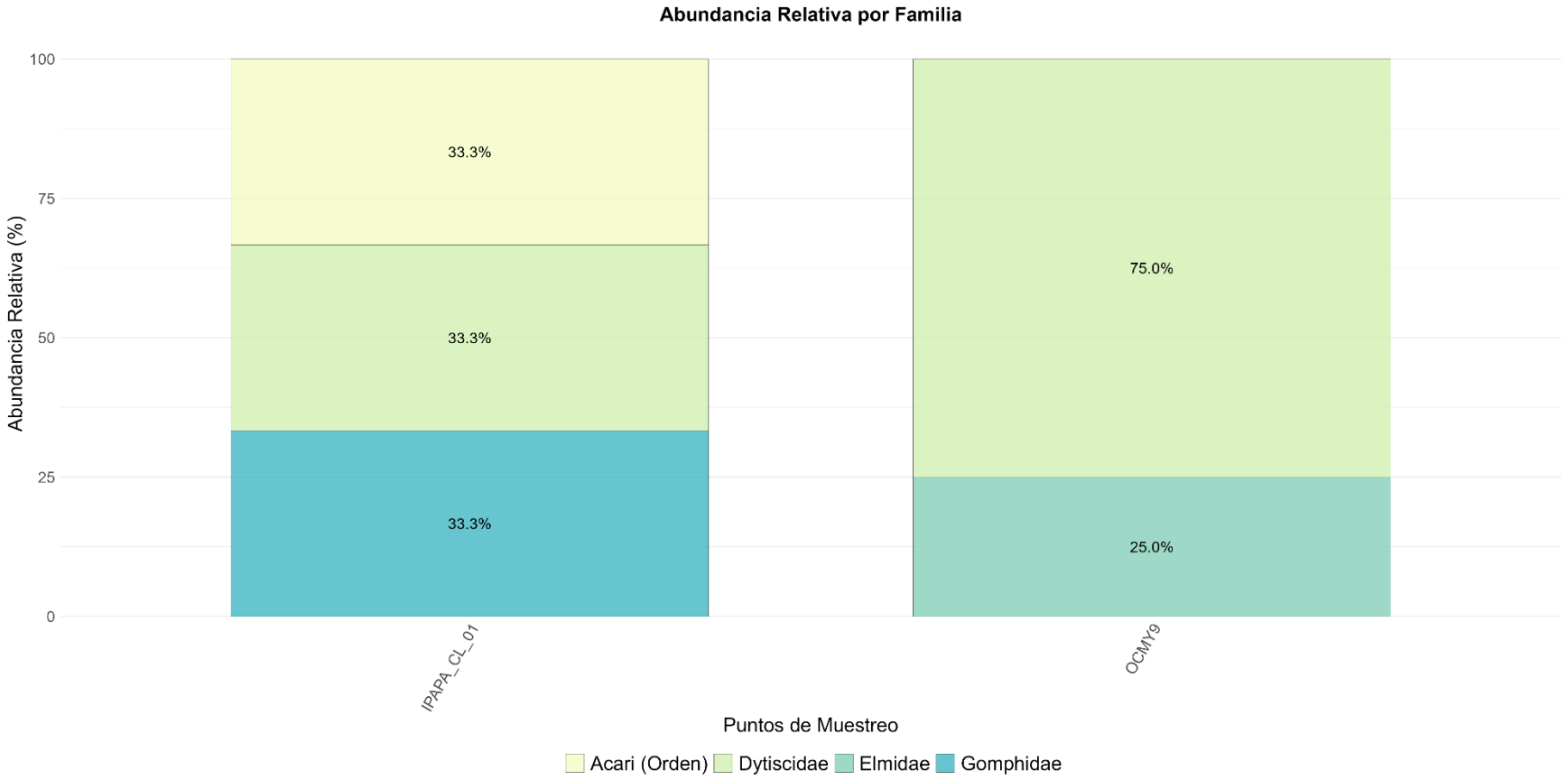


Figura 3.3.3-68 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Ipapa época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En síntesis, el ensamble del caño Ipapa refleja una estructura comunitaria fragmentada, con dominancia de taxones resistentes o de amplia tolerancia ecológica, y evidencia una presión ambiental moderada en época seca. Las condiciones observadas refuerzan la necesidad de monitorear los pulsos hidrológicos e integrar el análisis espacial entre ecosistemas acuáticos y terrestres para entender la dinámica funcional de la altillanura. El bajo número de individuos por estación también sugiere una limitada productividad o condiciones de estrés físico-químico, posiblemente intensificados por los efectos estacionales sobre el flujo, oxigenación y cobertura vegetal.

En complemento, el análisis del índice BMWP/Col para los puntos de monitoreo del caño Ipapa, ubicado en la altillanura y evaluado durante época seca, indica que todos los sitios presentan una calidad del agua clasificada como "muy crítica" según los umbrales establecidos por Roldán (2003). Los valores obtenidos fueron de 9 para el punto IPAPA_CL_01 y de 7 para OCMY9 (**Tabla 3.3.3-156**). De acuerdo con la escala de interpretación del índice, estos valores corresponden a aguas moderadamente contaminadas, aunque la categoría de clase V sugiere una situación ecológica severamente comprometida.

Tabla 3.3.3-156 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col).

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO IPAPA	OCMY7	V	Muy crítica	9	Aguas moderadamente contaminadas
	OCMY9	V	Muy crítica	7	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Este patrón de baja puntuación en el BMWP/Col refleja una comunidad biológica dominada por organismos de tolerancia intermedia a alta frente a perturbaciones ambientales, como los chironómidos (Chironomidae) y ciertos coleópteros, los cuales fueron los principales representantes del ensamble macroinvertebrado en estos puntos. La ausencia o escasa representación de morfoespecies indicadoras de buena calidad, como efemerópteros, plecópteros o tricópteros sensibles, limita la posibilidad de clasificar estos ecosistemas como sistemas con buena integridad ecológica.

La condición crítica observada puede estar influenciada por varios factores, incluyendo la reducción del caudal, el aumento de la temperatura del agua, la sedimentación y la disminución del oxígeno disuelto durante la época seca, lo cual afecta tanto la composición como la funcionalidad del ensamblaje bentónico (Merritt et al., 2008; Allan & Castillo, 2007). Además, la posible desconexión temporal con sistemas lénticos o la fragmentación del hábitat acuático puede dificultar el reclutamiento de nuevas colonias o el flujo genético entre comunidades, profundizando el impacto sobre la diversidad biológica.

En conclusión, los resultados del índice BMWP/Col en el caño Ipapa sugieren que la comunidad de macroinvertebrados responde a un estado ecológico degradado, asociado probablemente a condiciones hidrológicas estacionales adversas y presiones ambientales locales.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el caño Ipapa, únicamente se realizó para el punto IPAPA_CL_01.

Aunque con poca abundancia (3,3 ind/m²), alcanzó un valor de Pielou igual a 1, lo que indica máxima equidad entre las tres morfoespecies registradas. Su valor de Shannon (1,099) y Simpson (0,333) sugieren un nivel intermedio de diversidad (**Tabla 3.3.3-157**), característico de sistemas con comunidades simples pero estables, posiblemente reflejando condiciones ambientales homogéneas.

Tabla 3.3.3-157 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Ipapa época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO IPAPA	IPAPA_CL_01	3,3	3	1,099	0,333	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En contraste, el punto OCMY9 mostró una baja riqueza (2 morfoespecies) por lo que teniendo en cuenta la literatura especializada no daría conclusiones reales de la diversidad del punto de muestreo.

Estos resultados permiten inferir que, aunque los tres puntos presentan comunidades empobrecidas en términos de número de taxones, existen variaciones significativas en la estructura ecológica, lo que puede responder a microhábitats diferenciados o a efectos locales de perturbación y conectividad con otros sistemas (lóticos, lénticos o terrestres). Es posible que el punto OCMY9 se encuentre más expuesto a condiciones de aislamiento, reducción de flujo o carga orgánica puntual, lo cual favorece la proliferación de taxones oportunistas y reduce la complejidad ecológica del ensamblaje.

En conclusión, la diversidad alfa observada en el caño Ipapa refleja un estado ecológico general degradado pero con heterogeneidad estructural local, que debe considerarse en planes de monitoreo y restauración ecológica a escala de microMicrocuenca. La información obtenida es complementaria a los valores del índice BMWP/Col, y en conjunto, permiten una mejor comprensión del funcionamiento ecológico de estos sistemas acuáticos de la altillanura.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Con base en la información taxonómica y ecológica de las macrófitas acuáticas registradas en la Microcuenca del caño Ipapa durante temporada seca, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, se evidenció una comunidad vegetal poco diversa pero funcionalmente representativa de sistemas lóticos de la región de Altillanura. La comunidad estuvo compuesta por dos morfoespecies distribuidas en dos órdenes: Alismatales y Poales, pertenecientes a la división Tracheophyta y a la clase Magnoliidae, lo que indica una dominancia de angiospermas

adaptadas a condiciones ribereñas con diferentes formas de vida, especialmente helófitas emergentes (**Tabla 3.3.3-158**).

A nivel de cuerpos de agua lóticos, el punto OCMY9 (ocupación de cauce) presentó la mayor riqueza y cobertura vegetal, con dos morfoespecies: *Philodendron* sp. (familia Araceae) con una cobertura del 9% y *Scleria* sp. (familia Cyperaceae) con 3,33%, siendo *Philodendron* sp. la más abundante con un 72,99% de abundancia relativa. Esta composición sugiere presencia de áreas con sombra parcial y sustratos húmedos, donde especies tolerantes a la saturación del suelo pueden prosperar. Por otro lado, en el punto IPAPA_CL_01, correspondiente al cauce principal, no se encontraron macrófitas acuáticas durante el monitoreo, lo cual puede explicarse por la dinámica hidrológica más activa, mayor profundidad o escasa disponibilidad de sustratos aptos para el arraigo de estas especies (Chambers, 2008) (**Tabla 3.3.3-158**).

No se realizaron muestreos en cuerpos de agua lénticos (lagunas, cuerpos permanentes de agua estancada), lo cual limita el análisis comparativo entre tipos de sistemas acuáticos debido a que no se hallaron este tipo de ecosistemas. Sin embargo, la baja diversidad observada en los sistemas lóticos monitoreados podría estar relacionada con las condiciones de temporada seca, que reducen la disponibilidad de hábitats acuáticos someros y exponen a las macrófitas a mayor estrés hídrico, especialmente en zonas intervenidas por actividades agropecuarias o cercanas a infraestructura vial. A pesar de ello, la presencia de especies como *Philodendron* y *Scleria* refleja cierta capacidad de resiliencia y adaptación ecológica típica de la vegetación acuática marginal de la Orinoquía (Esteves F. A., 2011).

Tabla 3.3.3-158 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Ipapa, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Ipapa		
				Punto De Muestreo	OCMY9		IPAPA_CL_01
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Philodendron* sp.	9	72,99	No se encontraron morfoespecies
		Poales	Cyperaceae	*Scleria* sp.	3,33	27,01	
Cobertura Total general					**12,33**	**100**	**0**
Morfoespecies por Punto					**2**		**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**2**		

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con cero, una o dos morfoespecies, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran, 2004[35]) por esta razón no se logró determinar los índices de diversidad.

- *Época lluvias*

  - ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

  - ✓ *Perifiton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico analizado en la Microcuenca del caño Ipapa, monitoreado durante la época lluviosa en un sistema lótico de altillanura, presenta una comunidad de baja diversidad y abundancia moderada. La riqueza total es de siete 7 géneros, distribuidas en dos divisiones principales Heterokontophyta (diatomeas) y Charophyta. La abundancia total es de 66.2 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-159**), dominada por las diatomeas (58.3 ind/cm²), siendo *Pinnularia* (22.7 ind/cm²) la morfoespecie más abundante, seguida por *Eunotia* (17.5 ind/cm²) y *Frustulia* (12.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-159**). Las estaciones de muestreo, IPAPA_CL_01 y OCMY9, muestran abundancias similares (29.6 y 36.6 ind/cm² respectivamente) (**Tabla 3.3.3-159**), lo que sugiere condiciones ambientales homogéneas a lo largo de este tramo de la Microcuenca. La baja riqueza de especies es un indicador primario de un ecosistema bajo estrés, ya sea por condiciones naturales ácidas y oligotróficas de la altillanura o por presiones antrópicas (Van Dam et al., 1994).

La bioindicación a partir de los géneros presentes proporciona información crucial sobre la calidad del agua y las condiciones del hábitat. La comunidad está dominada por géneros muy específicos como *Eunotia* presentes en ambos puntos de monitoreo con abundancia para IPAPA_CL_01 (10,5 Ind/cm^2 y un porcentaje de abundancia del 35.5%) y el punto OCMY 9 reporto una abundancia de 7 Ind/cm^2 y un porcentaje de abundancia de 19.1%) y *Frustulia* reporto únicamente en OCMY9 12,2 Ind/cm^2 y un porcentaje de abundancia del 33.3%) (**Tabla 3.3.3-159**) (**Figura 3.3.3-80**), estos géneros son indicadores clásicos de aguas con bajo pH, bajas concentraciones de nutrientes (oligotrofia) y conductividad moderada, típicas de sistemas de altillanura bien conservados con influencia de sustratos arenosos o rocosos ácidos (Van Dam et al., 1994). La presencia de *Pinnularia* en ambos puntos de monitoreo IPAPA_CL_01 con abundancia de 12,2 Ind/cm2 y un

porcentaje de abundancia del 41.2% (**Tabla 3.3.3-159**) (**Figura 3.3.3-80**) y el punto OCMY9 reporto una abundancia del 10.5 Ind/cm2 y un porcentaje de representatividad del 28.7%, este género se caracteriza por tener una amplia tolerancia a cambios en el ecosistema, pero frecuente en esta aguas limpias, lo cual apoya esta interpretación de un ambiente con bajo impacto por contaminación orgánica, pero con condiciones naturalmente ácidas. La baja representatividad de Charophyta solo con los géneros *Cosmarium* y *Closterium* con abundancias respectivas de 1.7 y 5.2 ind/cm² sugiere una limitada conectividad con sistemas lénticos adyacentes (estanques, humedales) durante la época de muestreo, o que las condiciones del cauce principal (flujo, sustrato) no son ideales para estos grupos, los cuales prefieren aguas más quietas (Coesel & Meesters, 2007). La casi ausencia de géneros tolerantes a la polución orgánica o la eutrofización como *Nitzschia*, *Navicula* en altas abundancias, refuerza la noción de una Microcuenca con baja influencia de contaminación por nutrientes.

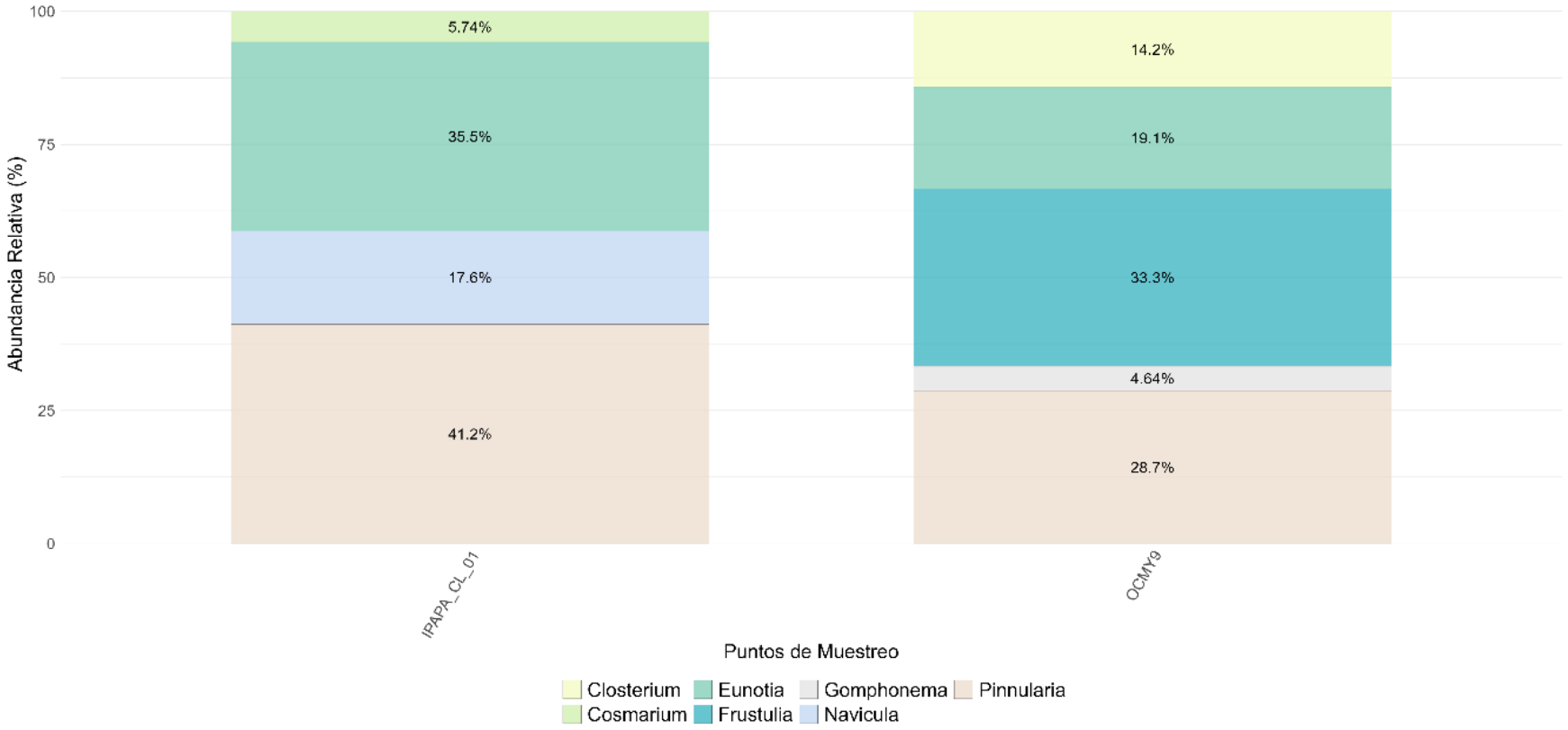


Figura 3.3.3-69 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Ipapa, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre los sistemas lóticos, lénticos y terrestres en esta Microcuenca de altillanura parece ser limitada según lo registrado en este muestreo. La época lluviosa, que normalmente actuaría como conector hidrológico, no parece haber transportado una significante cantidad de especies desde hábitats lénticos o terrestres inundados hacia el canal principal, como lo evidencia la mínima presencia de algas verdes y desmidias propias de charcos y humedales (Wetzel R. G., 2001). Esto podría deberse a la topografía de la altillanura, donde el drenaje es más rápido y la zona de inundación es menos extensa, limitando el intercambio ecológico. El ensamble observado es predominantemente bentónico-lótico, autóctono del cauce principal.

En conclusión, la calificación ecológica de esta Microcuenca de altillanura es buena. La comunidad del perifiton refleja un estado de baja a muy baja alteración antrópica por contaminación orgánica o por exceso de nutrientes. La estructura de la comunidad, dominada por diatomeas indicadoras de aguas limpias y ácidas, es coherente con las condiciones naturales esperadas para un sistema lótico en una altillanura bien conservada. La principal presión ambiental detectable es la acidez natural del agua, que restringe la diversidad a un grupo de especies altamente especializadas y tolerantes. La baja riqueza, por lo tanto, no es necesariamente un indicio de contaminación, sino de la especificidad del hábitat.

Tabla 3.3.3-159 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Ipapa, época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Ipapa		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					IPAPA_CL_01	OCMY9	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		1,7	1,7
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	12,2	10,5	22,7
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		12,2	12,2
			Naviculaceae	*Navicula*	5,2		5,2
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	10,5	7	17,5
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	1,7		1,7
			Closteriaceae	*Closterium*		5,2	5,2
Gran Total					29,6	36,6	66,2

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de la comunidad perifítica en los puntos IPAPA_CL_01 y OCMY9 de la Microcuenca de altillanura durante la época de lluvias revela un ensamble ecológico con características que sugieren condiciones ambientales moderadamente favorables pero con limitaciones en la diversidad biológica.

El punto OCMY9 presenta una mayor abundancia (36.6 Ind/cm²) y riqueza (5 géneros) en comparación con IPAPA_CL_01 (29.6 Ind/cm² y 4 géneros) (**Tabla 3.3.3-160**), lo que indica una disponibilidad de recursos ligeramente superior en la primera estación. Los valores del índice de Shannon 1.43 en IPAPA_CL_01 y 1.463 en OCMY9 (**Tabla 3.3.3-160**) reflejan una diversidad moderada-baja, típica de sistemas donde factores ambientales limitan el establecimiento de un mayor número de especies. El índice de Simpson, con valores de 0.273 para OCMY9 y 0.252 para IPAPA_CL_01, confirma una dominancia moderada de ciertos taxones, lo que podría estar

asociado a condiciones específicas de sustrato o disponibilidad de nutrientes que favorecen a especies particulares. El índice de Pielou, con valores de 1.0 en IPAPA_CL_01 y 0.9 en OCMY9 (**Tabla 3.3.3-160**), indica una distribución notablemente equitativa de los individuos entre las especies presentes, especialmente en IPAPA_CL_01 donde la equitatividad es perfecta.

Considerando la riqueza relativamente baja de 4 a 5 géneros (**Tabla 3.3.3-160**) en ambos puntos, la Microcuenca en conjunto presenta una calificación ecológica "moderada", y esto se sustenta con la limitada diversidad taxonómica que podría estar asociada a condiciones de altillanura donde la intensidad de las lluvias y la escorrentía afectan la estabilidad de la comunidad perifítica. No obstante, la alta equitatividad sugiere que el sistema mantiene un equilibrio en la distribución de recursos, característico de ambientes con perturbaciones naturales periódicas donde las especies presentes han desarrollado adaptaciones para aprovechar eficientemente los recursos disponibles. La similitud en los valores de diversidad entre ambas estaciones indica una homogeneidad relativa en las condiciones ecológicas de la Microcuenca durante el período de muestreo.

Tabla 3.3.3-160 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Ipapa, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
IPAPA_CL_01	29.6	4	1.43	0.273	1
OCMY9	36.6	5	1.463	0.252	0.909

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura da la comunidad

Durante la temporada de lluvias, la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Ipapa, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, presentó una notable riqueza y complejidad estructural, evidenciada por el registro de 10 morfoespecies distribuidas en varios grupos taxonómicos, con una cobertura total significativa en los puntos lóticos muestreados: IPAPA_CL_01 y OCMY9. Estas observaciones corresponden exclusivamente a cuerpos de agua lóticos, dado que no se incluyeron puntos en ambientes lénticos ya que no se encontraron en la Microcuenca (**Tabla 3.3.3-161**).

Desde la perspectiva taxonómica, todas las especies identificadas pertenecen a la división Tracheophyta, e incluyen representantes de las clases Magnoliidae y Polypodiidae. La clase Magnoliidae, correspondiente a angiospermas, dominó la composición con órdenes como Alismatales, Poales, Myrtales, Laurales y Malpighiales, destacándose por su adaptabilidad a condiciones de inundación estacional. Por su parte, Polypodiidae, correspondiente a helechos acuáticos y ribereños, estuvo representada por especies de la familia Pteridaceae, las cuales indican microhábitats húmedos y sombreados, típicos de las márgenes de caños con vegetación densa (Esteves F. A., 2011) (**Tabla 3.3.3-161**).

En cuanto a la estructura por punto de muestreo, IPAPA_CL_01 fue el sitio con mayor cobertura vegetal (83,34%) y diversidad intermedia (3 morfoespecies), dominado por *Brachiaria* sp. (Poaceae) y morfoespecies de Araceae, que sugieren áreas de baja velocidad de corriente, con alta exposición a la luz y presencia de bancos de sedimentación aptos para especies helófitas y gramíneas. El punto OCMY9 (ocupación de cauce), con siete morfoespecies, evidenció la mayor riqueza específica, aunque con una cobertura menor (21%). Allí se destacan familias como Cyperaceae, Melastomataceae y Pteridaceae, lo cual refleja una mayor heterogeneidad estructural y diversidad de microhábitats húmedos, posiblemente influenciados por condiciones de retención de agua y sombra parcial (Cronk, 2001) (**Tabla 3.3.3-161**).

En general, la comunidad de macrófitas durante la temporada húmeda mostró una respuesta clara al incremento en disponibilidad hídrica, lo cual favorece la expansión y establecimiento de especies adaptadas a condiciones palustres y semiacuáticas. La ausencia de muestreo en cuerpos de agua lénticos limita la caracterización completa de la vegetación acuática regional, ya que dichos ambientes suelen albergar especies flotantes libres o sumergidas con características ecológicas distintas (Wetzel R. G., 2001). No obstante, los resultados obtenidos en los sistemas lóticos permiten establecer patrones de ocupación espacial y funcional relevantes para el monitoreo ecológico de la Microcuenca, especialmente en contextos de transformación del paisaje como el que ocurre en la Altillanura colombiana.

Tabla 3.3.3-161 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Ipapa, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Ipapa			
				Punto De Muestreo	OCMY9		IPAPA_CL_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Pityrogramma* sp.	0,67	3,19		
				Pteridaceae Mf.	2	9,52		
	Magnoliidae	Myrtales	Melastomataceae	*Miconia* sp.	2,33	11,10		
				Aciotis sp.			20	24,00
		Alismatales	Araceae	Araceae Mf.			36,67	44,00
		Poales	Cyperaceae	Cyperaceae Mf.	12,67	60,33		
			Poaceae	Poaceae Mf.	1	4,76		
				Brachiaria sp.			26,67	32,00
		Malpighiales	Malpighiaceae	Malpighiaceae Mf.	1,33	6,33		
		Laurales	Lauraceae	Lauraceae Mf.	1	4,76		
Cobertura Total general					**21**	**100**	**83,34**	**100**
Morfoespecies por Punto					**7**		**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**10**			

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Con base en los índices ecológicos calculados para la comunidad de macrófitas acuáticas durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño Ipapa, se evidencian diferencias en la estructura y complejidad de las comunidades entre los puntos muestreados. El punto IPAPA_CL_01, con una cobertura total del 83,34% y una riqueza de tres morfoespecies, presentó

un índice de Shannon de 1,04, un índice de Simpson de 0,375 y un índice de equidad de Pielou de 0,947. Estos valores indican una comunidad con baja riqueza específica, pero con una distribución equitativa de las abundancias, lo que sugiere un dominio relativo balanceado entre las pocas especies presentes (Magurran A. E., 2004). Por su parte, el punto OCMY9 (ocupación de cauce) mostró una menor cobertura total (21%) pero una mayor riqueza (siete morfoespecies), reflejada en un índice de Shannon más alto (1,27) y un índice de Simpson de 0,429, lo que implica una comunidad más diversa, aunque con menor equidad (Pielou = 0,653), posiblemente debido al predominio de una o pocas especies sobre el resto (**Tabla 3.3.3-162**).

La comparación entre ambos puntos muestra que, aunque IPAPA_CL_01 tiene menor riqueza, su comunidad está más equilibrada en términos de abundancia relativa, mientras que OCMY9 (ocupación de cauce), con mayor número de especies, presenta una distribución más desigual. Esta relación inversa entre equidad y riqueza es común en comunidades donde ciertas especies dominan ecológicamente por su capacidad de adaptación o por condiciones locales específicas (Krebs, 2014). (**Tabla 3.3.3-162**).

Tabla 3.3.3-162 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Ipapa época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
IPAPA_CL_01	83.34	3	1.04	0.375	0.947
OCMY9	21	7	1.27	0.429	0.653

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación entre la temporada seca y la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño Ipapa evidencia patrones ecológicos contrastantes en la composición y diversidad de la comunidad de macrófitas acuáticas, resultado de las dinámicas hidrológicas estacionales que caracterizan a los ecosistemas lóticos de la región de la Altillanura colombiana. Durante la temporada seca, la cobertura vegetal total fue considerablemente menor (máximo del 12,33% en OCMY9) y la riqueza también reducida, con apenas tres morfoespecies registradas en toda la Microcuenca. En contraste, en la temporada de lluvias, la cobertura y la riqueza aumentaron significativamente, con una cobertura máxima del 83,34% (IPAPA_CL_01) y once morfoespecies identificadas en total. Este aumento en diversidad y biomasa está directamente relacionado con el incremento del nivel hídrico, lo que permite la expansión de hábitats marginales, el establecimiento de nuevas especies y una mayor disponibilidad de recursos (Esteves F. A., 2011); (Wetzel R. G., 2001).

Ecológicamente, estas diferencias reflejan la capacidad de las macrófitas acuáticas para responder a la variabilidad hidrológica, lo que coincide con estudios que documentan que las comunidades de plantas acuáticas presentan mayor riqueza y cobertura durante periodos de inundación, debido a la expansión del área húmeda, la disminución de competencia por luz en zonas abiertas y la mayor movilidad de propágulos (Chambers, 2008), (Cronk, 2001). En la temporada seca, las especies presentes tienden a ser más resistentes a condiciones de estrés hídrico o a tener estrategias de vida cortas que les permiten persistir en condiciones de caudal reducido o exposición al sol y al sustrato seco.

Desde la perspectiva de los índices de diversidad, durante la temporada seca no fue posible calcular valores significativos en la mayoría de los puntos debido a la baja riqueza, con solo uno o dos taxones presentes. En cambio, en la temporada de lluvias, los índices ecológicos como Shannon y Simpson fueron más representativos: en OCMY9, Shannon fue 1,27 y Simpson 0,429, reflejando una comunidad más diversa aunque con dominancia de algunas especies. En IPAPA_CL_01, con menos especies, Shannon fue de 1,04 pero con alta equidad (Pielou = 0,947), indicando una distribución más balanceada de las especies presentes. Estos resultados reafirman que la temporada de lluvias favorece una mayor diversidad estructural y funcional, mientras que la temporada seca conduce a comunidades más empobrecidas y dominadas, lo cual es característico de sistemas de agua dulce sujetos a marcada estacionalidad tropical (Junk W. J., 2011).

3.3.3.2.11 Microcuenca caño La Lilbana

La Microcuenca del caño La Lilbana, ubicada en el municipio de Puerto López, se encuentra en una región representativa de la altillanura colombiana, caracterizada por una fisiografía de planicies ligeramente onduladas, con suelos ácidos, de baja fertilidad natural y alta susceptibilidad a procesos de erosión (IGAC, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta., 2010). Esta zona pertenece al ecosistema de sabanas naturales del Orinoco, con una marcada estacionalidad climática, donde predominan extensas coberturas de pastizales naturales y fragmentos de bosques riparios, los cuales desempeñan un papel ecológico fundamental en la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad (Rodríguez M. A., 2016). En este contexto, se realizó el monitoreo de comunidades hidrobiológicas en el punto de muestreo identificado como OCmn19, correspondiente a una ocupación de cauce en el caño La Lilbana (**Figura 3.3.3-70**).

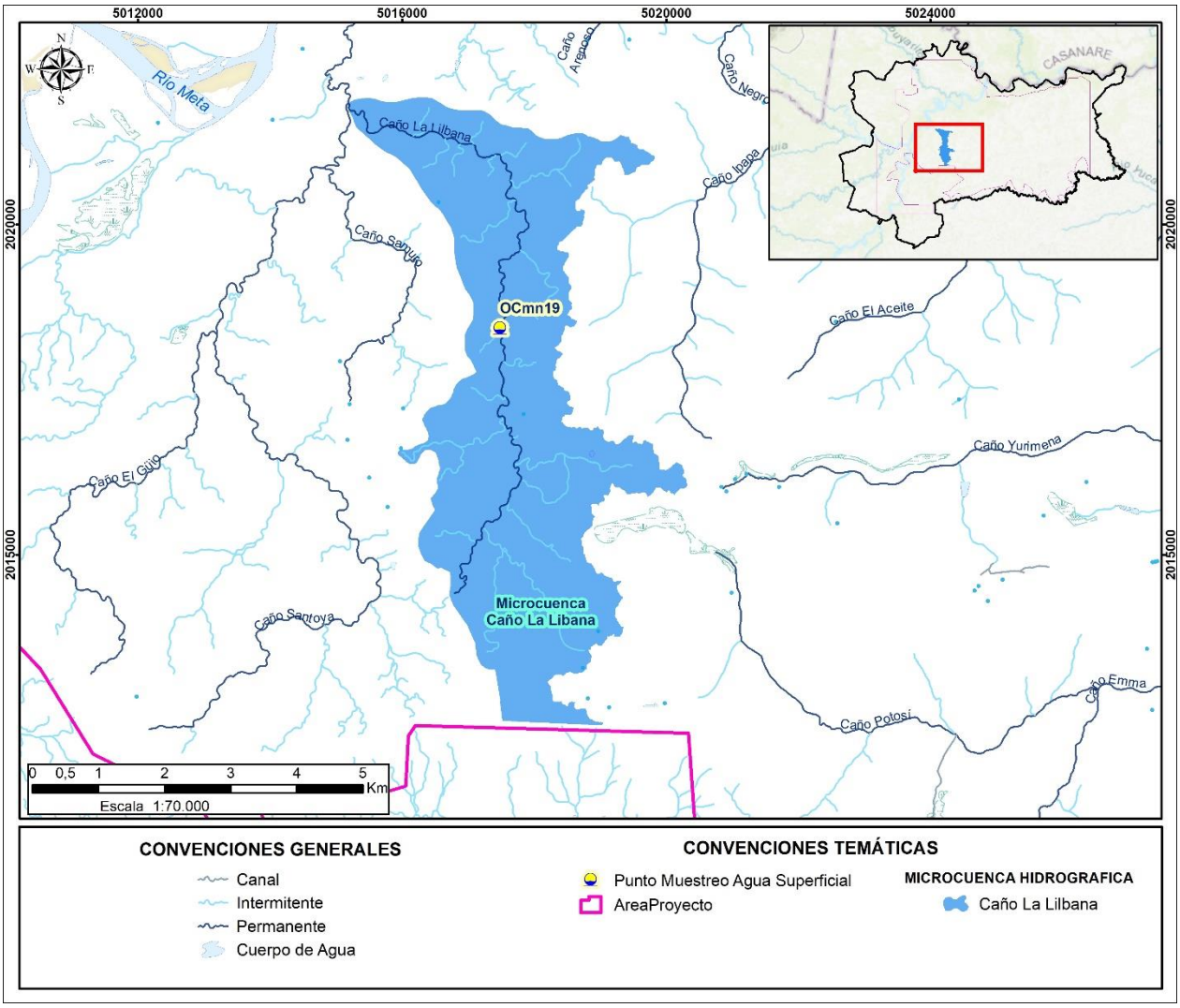


Figura 3.3.3-70 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño La Lilbana

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño La Lilbana, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores

ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble perifítico de la Microcuenca del Caño La Lilbana, representado por la estación OCmn19 durante la época seca, presenta una comunidad acuática notablemente reducida en complejidad estructural. La abundancia total registrada de 9.6 Ind/cm² (**Tabla 3.3.3-163**) se distribuye entre solo tres géneros de diatomeas pertenecientes a la división Heterokontophyta, *Pinnularia* (5.3 Ind/cm², 55.2% de abundancia relativa), *Eunotia* (3.2 Ind/cm², 33.3%) y *Surirella* (1.1 Ind/cm², 11.5%) (**Tabla 3.3.3-163**) (**Figura 3.3.3-71**). Esta extrema simplificación comunitaria de tres géneros supera los umbrales de pobreza específica reportados por (Roldán, 2016) para sistemas lóticos tropicales en época seca, donde normalmente se esperan al menos 5-7 géneros reeportados. La marcada dominancia de *Pinnularia*, diatomea pennada característica de sustratos estables y aguas bien oxigenadas según (Round et al., 1990), coexiste con la presencia de *Eunotia*, reconocido bioindicador de aguas ácidas y oligotróficas (Roldán, 2016), sugiriendo condiciones ambientales particulares donde factores limitantes estarían restringiendo severamente el desarrollo de la comunidad perifítica.

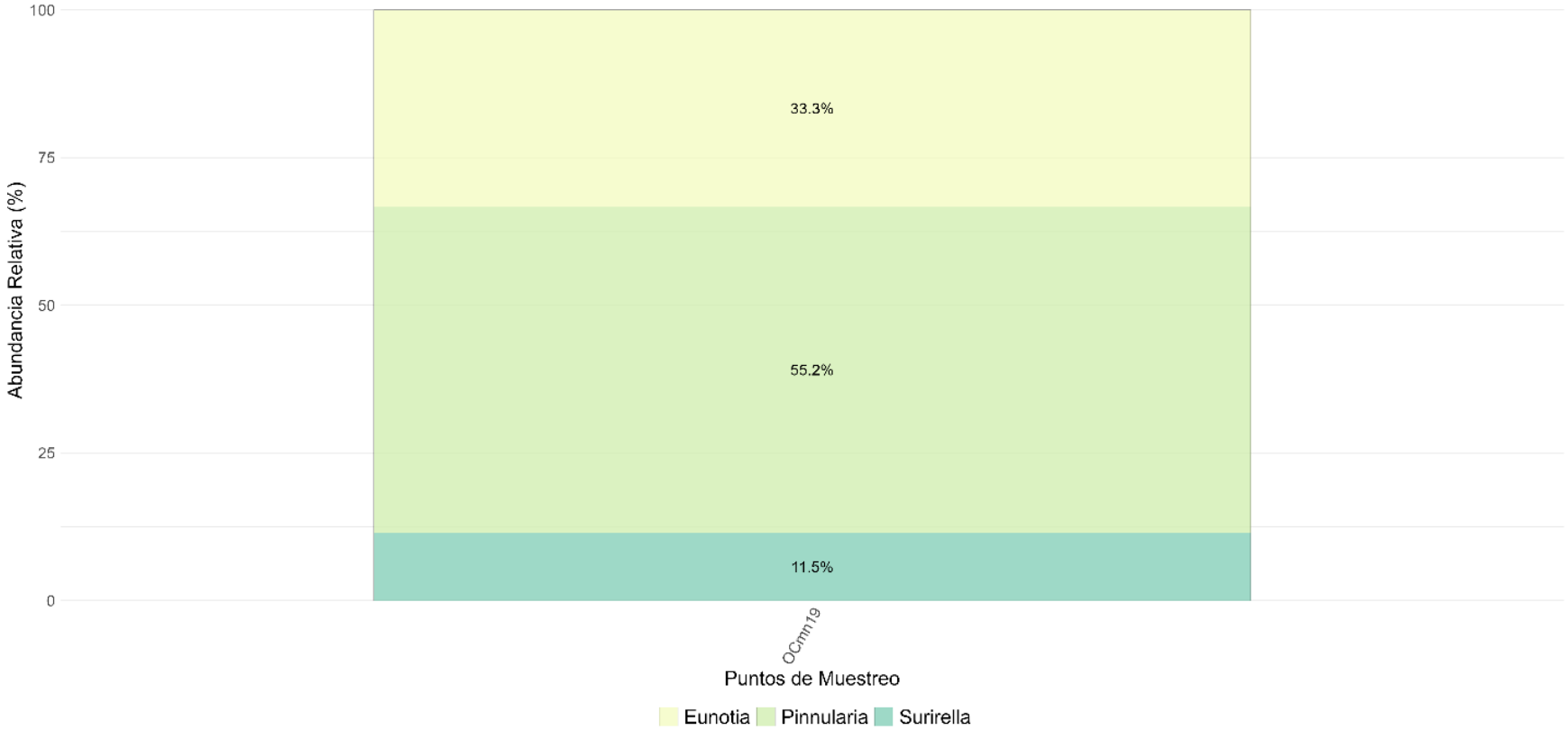


Figura 3.3.3-71 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la ausencia total de Chlorophyta, Charophyta y Cyanobacteria, grupos frecuentes en sistemas tropicales según (Wehr et al., 2015) junto con la muy baja abundancia general menor a 10 Ind/cm², señala un ambiente con limitaciones ecológicas extremas. La presencia exclusiva de diatomeas, todas ellas consideradas sensibles a perturbaciones, descarta contaminación orgánica significativa, pero su escasez absoluta sugiere otros factores restrictivos como la disponibilidad crítica de nutrientes, las condiciones hidráulicas adversas (flujo intermitente o sustratos inestables), o el estrés por radiación UV en aguas someras.

La interacción con sistemas terrestres parece mínima, evidenciada por la ausencia de géneros típicamente asociados a aportes orgánicos alóctonos, mientras que la conexión con sistemas lénticos es inexistente.

En Conclusión, la Microcuenca del Caño La Lilbana presenta una condición ecológica críticamente limitada según los criterios de Roldán (2016), caracterizada por una comunidad muy pobre, muy bajas abundancias y la ausencia de grupos algales esperables. Esta evaluación sugiere que el sistema enfrenta limitantes ambientales severas (probablemente naturales dada la presencia de bioindicadores sensibles). La preservación de diatomeas sensibles indica que, pese a las condiciones críticas actuales, el sistema mantiene potencial de recuperación si se identifican y manejan los factores limitantes clave.

Tabla 3.3.3-163 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño La Lilbana	Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCmn19	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	1,1	1,1
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	5,3	5,3
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	3,2	3,2
Gran Total					**9,6**	**9,6**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que aunque tenga tres géneros y abundancias mayores a 1 Ind/cm² son géneros que perteneces a una misma clase y las cuales tiene un comportamiento generalista. Por ende, los resultados arrojados por un análisis de diversidad no son resultados robustos o no dan conclusiones confiables con la información disponible.

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

En la Microcuenca del caño La Lilbana, se registró una comunidad de macroinvertebrados bentónicos extremadamente reducida. La única estación de monitoreo considerada fue OCmn19,

en la cual se identificó una única morfoespecie perteneciente al phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Chironomidae, clasificada como *Chironomidae* Mf., con una abundancia total de 1,1 ind/m² (**Tabla 3.3.3-164**). Esto implica una limitación para el análisis ecológico cuantitativo.

Tabla 3.3.3-164 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño La Lilbana	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCmn19	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde una perspectiva de bioindicación, la presencia exclusiva de Chironomidae —una familia ampliamente conocida por su tolerancia a condiciones de estrés ambiental como bajos niveles de oxígeno disuelto, altas cargas orgánicas y temperaturas elevadas— sugiere un ecosistema acuático con condiciones ambientales altamente perturbadas o subóptimas para la colonización de otras familias más sensibles (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014; Roldan G. , 1996). En este caso, la baja riqueza y abundancia también pueden estar asociadas a la estacionalidad hidrológica de la altillanura, en la cual los caudales disminuyen de forma drástica durante la época seca, afectando la continuidad y estabilidad del hábitat bentónico.

Adicionalmente, el entorno del caño La Lilbana podría estar influenciado por interacciones negativas con los sistemas terrestres circundantes, como la erosión de suelos o escorrentías con residuos agroquímicos, que alteran la composición físico-química del agua. Las interacciones con sistemas lénticos cercanos serían mínimas si no existen zonas de conexión hidrológica estacional, limitando aún más el intercambio biológico y la resiliencia del sistema.

En cuanto al análisis técnico, no es posible calcular el índice BMWP/Col ni los índices de diversidad alfa (Shannon, Simpson, Pielou) debido a la insuficiencia de datos. El índice BMWP/Col está basado en la presencia de diferentes familias de macroinvertebrados con diferentes sensibilidades a la contaminación; por tanto, al registrarse solo una familia, no es posible aplicar correctamente el protocolo de evaluación (Roldan G. , 1996). Por su parte, los índices de diversidad alfa requieren mínimo dos categorías taxonómicas para estimar la heterogeneidad (riqueza y equidad) de la comunidad, por lo que su aplicación en este caso no es válida ni estadísticamente significativa (Magurran, 2004).

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos registrado en la Microcuenca del caño La Lilbana durante época seca revela un ecosistema altamente empobrecido, posiblemente resultado de condiciones hidrológicas limitantes y presiones antrópicas.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

En el muestreo realizado en la temporada seca en el punto denominado OCmn19, que tiene como característica principal que es una ocupación de cauce, no se encontraron macrófitas acuáticas.

➢ *Época lluvias*

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en el sistema lótico monitoreado en la estación OCmn19, ubicada en la Microcuenca de caño La Lilbana en la altillanura durante la época lluviosa, está dominado por especies de las divisiones Heterokontophyta (clase Bacillariophyceae) y Charophyta (clase Zygnematophyceae). La comunidad presenta una riqueza de 4 géneros, con una abundancia total de 30.9 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-165**), donde el género más abundante fue *Ulnaria* (14.6 ind/cm²) y una representatividad del (47.2%), seguido de *Pinnularia* (9.8 ind/cm² y 31.7%) y *Eunotia* (4.9 ind/cm² y 15.9%), mientras que *Cosmarium* (1.6 ind/cm² y 15.9%) (**Tabla 3.3.3-165**)(**Figura 3.3.3-72**) mostró una presencia menor. La dominancia de diatomeas (*Pinnularia*, *Ulnaria*, *Eunotia*) sugiere un ambiente con buena disponibilidad de silicio y condiciones moderadas de nutrientes, mientras que la baja abundancia de *Cosmarium*, un alga verde típica de aguas más estancadas, indica una limitada influencia de sistemas lénticos en esta zona de la Microcuenca.

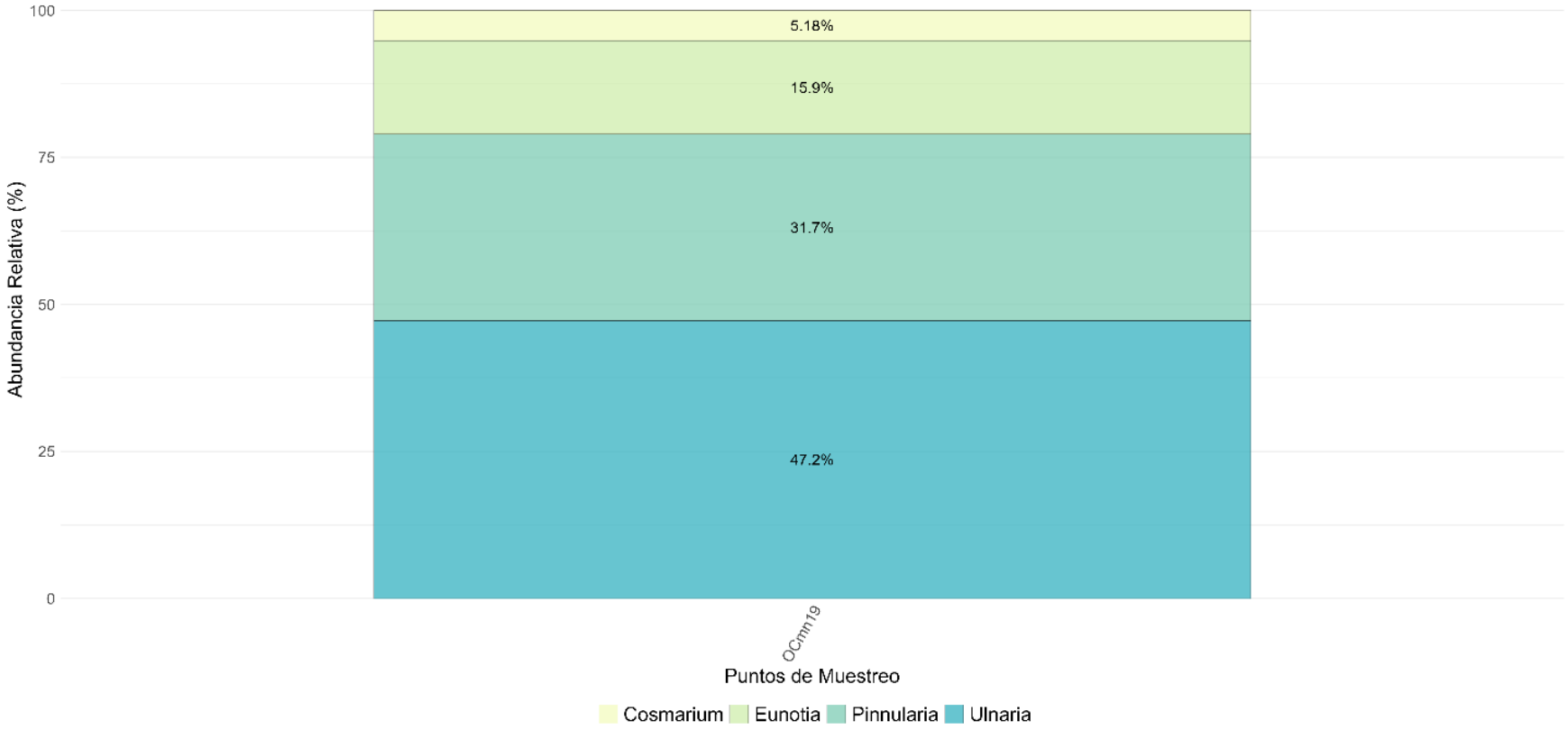


Figura 3.3.3-72 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de *Ulnaria* y *Pinnularia* (asociadas a aguas bien oxigenadas y con moderado contenido orgánico) junto con *Eunotia* (indicadora de aguas ligeramente ácidas y oligotróficas) sugiere un sistema con condiciones ecológicas equilibradas, aunque con posibles fluctuaciones en pH y nutrientes (Round et al., 1990) (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La escasa representación de *Cosmarium* refuerza la naturaleza predominantemente lótica del sitio, con mínima interacción con hábitats lénticos o terrestres adyacentes.

La calificación ecológica de la Microcuenca en este punto se considera buena, dada la diversidad funcional del perifiton y la ausencia de especies indicadoras de contaminación orgánica o eutrofización avanzada. Sin embargo, la baja riqueza de géneros (4) y la dominancia de *Ulnaria* podrían reflejar una leve presión ambiental, como variaciones en el caudal o aportes limitados de materia orgánica.

Tabla 3.3.3-165 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño La Lilbana	Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCmn19	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	9,8	9,8
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	4,9	4,9
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	14,6	14,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	1,6	1,6
Gran Total					30,9	30,9

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en el punto de monitoreo OCmn19 revela características importantes sobre la estructura de la comunidad de perifiton. Con una abundancia total de 30.9 ind/cm² y una riqueza de 4 géneros (**Tabla 3.3.3-166**), el sistema muestra valores de diversidad que permiten evaluar su estado ecológico. El índice de Shannon (1.164) (**Tabla 3.3.3-166**) indica un nivel moderado de diversidad, sugiriendo que, aunque existen varias especies presentes, no todas contribuyen equitativamente a la comunidad. Este dato se complementa con el índice de Simpson (0.352) (**Tabla 3.3.3-166**), que señala una dominancia intermedia, donde algunas especies son más abundantes que otras, pero sin llegar a una monopolización extrema del hábitat. Por su parte, el índice de Pielou (0.84) (**Tabla 3.3.3-166**) muestra una distribución relativamente equilibrada de las especies, confirmando que, a pesar de la dominancia parcial, existe una representación significativa de los distintos taxones presentes. Considerando estos resultados en conjunto, la calificación ecológica para este punto puede catalogarse como buena, ya que los valores reflejan una comunidad con diversidad aceptable y estructura equilibrada, típica de sistemas acuáticos bien conservados. La presencia combinada de estos índices en los rangos reportados apunta a un ecosistema con capacidad para mantener comunidades biológicas diversas, aunque con margen para mejorar en términos de riqueza específica. Es importante mencionar que este ensamble no es totalmente significativo para poder dar conclusiones certeras y robustas sobre el estado ecológico de la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-166 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn19	30.9	4	1.164	0.352	0.84

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Caño La Lilbana, monitoreado durante la época de lluvias en la estación OCmn19, presenta una comunidad acuática con características ecológicas particulares. El estudio registró una abundancia total de 19 ind/m², distribuida en dos (2) morfoespecies pertenecientes exclusivamente al phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, con representantes de las familias Chironomidae y Ceratopogonidae, y un único género identificado (*Probezzia*). La comunidad estuvo dominada por *Chironomidae* Mf. (15.6 ind/m², 82.1% de abundancia relativa), acompañada por *Probezzia* sp. (3.3 ind/m², 17.4%), mostrando una estructura comunitaria simple y altamente especializada (Roldán & Ramírez, 2008) (**Tabla 3.3.3-167**).

Tabla 3.3.3-167 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño La Lilbana	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						OCmn19	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	15,6	15,6
			Ceratopogonidae	Probezzia	*Probezzia* sp.	3,3	3,3
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**19**	**19**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la marcada dominancia de quironómidos, organismos generalmente considerados tolerantes a condiciones adversas, sugiere un ambiente con cierto grado de perturbación, posiblemente relacionado con aportes de materia orgánica o alteraciones físicas del hábitat (Domínguez & Fernández, 2009). La presencia de ceratopogónidos (*Probezzia* sp.), aunque en menor proporción, introduce un componente depredador en la comunidad, indicando que el sistema mantiene cierta funcionalidad ecológica a pesar de su baja diversidad (**Figura 3.3.3-73**). La ausencia total de grupos más sensibles como tricópteros, efemerópteros o coleópteros elmidos, típicamente asociados a aguas bien conservadas, refuerza la hipótesis de un ambiente impactado (Buss et al., 2015).

El análisis de las interacciones ecológicas revela que este ensamble muestra una conexión limitada con otros sistemas acuáticos y terrestres. Los quironómidos, como organismos principalmente colectores, representan un eslabón clave en el procesamiento de materia orgánica, mientras que los ceratopogónidos adultos (*Probezzia* sp.) constituyen el principal vínculo con el ecosistema terrestre al servir como presa para artrópodos y aves ribereñas (Merritt et al., 2008). La ausencia de decápodos u otros crustáceos sugiere una desconexión con sistemas lénticos adyacentes, lo que podría estar limitando el reclutamiento de nuevas especies y reduciendo la complejidad trófica del sistema.

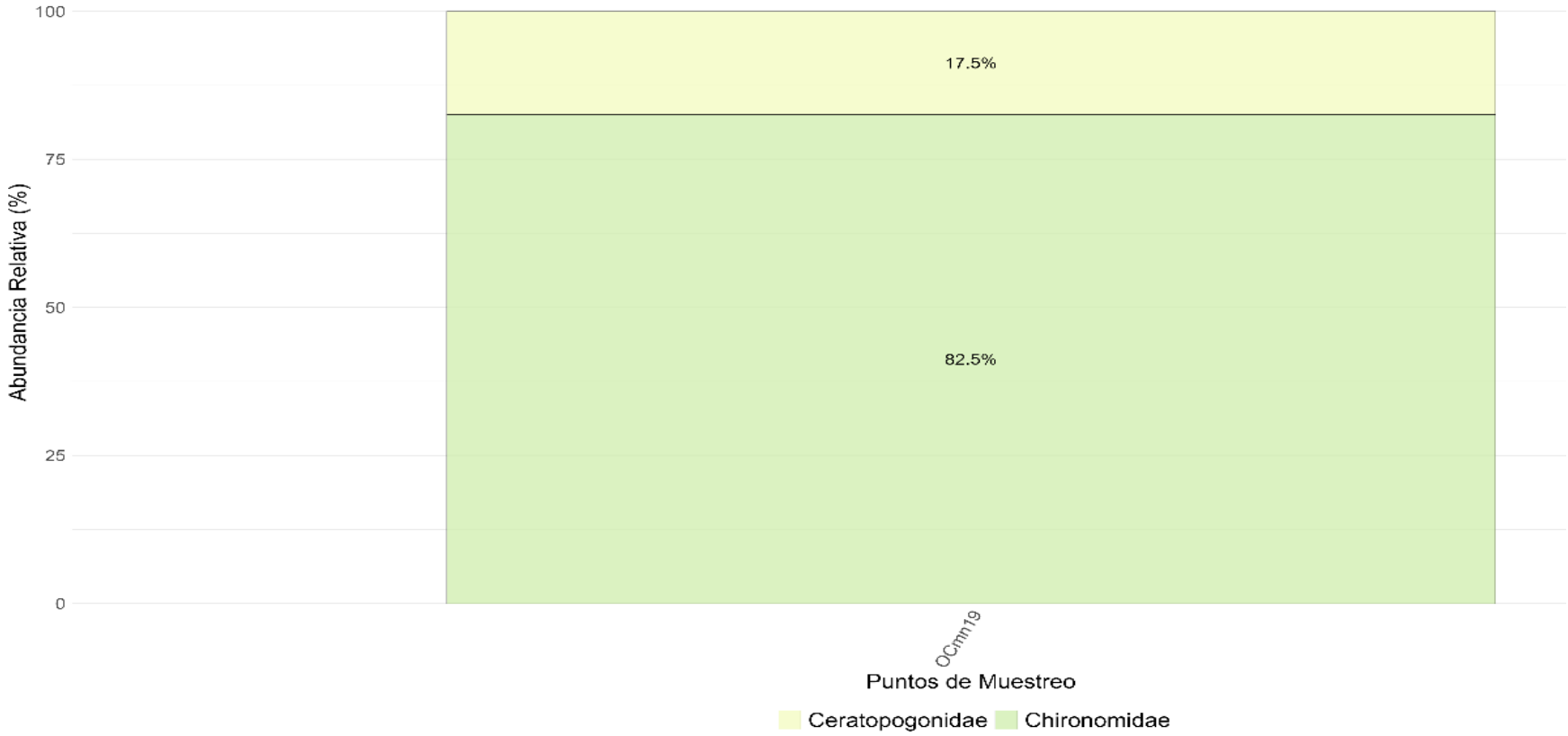


Figura 3.3.3-73 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El ensamble del Caño La Lilbana en la estación OCmn19 representa una comunidad bentónica empobrecida, dominada por organismos tolerantes con baja diversidad taxonómica y funcional. Esta estructura simplificada sugiere que el sistema enfrenta presiones ambientales significativas, posiblemente relacionadas con calidad del agua o alteración del hábitat. Sin embargo, la presencia de ceratopogónidos indica que aún se mantienen algunos procesos ecológicos clave.

El índice BMWP/Col arrojó un valor de 7 puntos, clasificando este cuerpo de agua en la categoría V (Muy crítica), lo que indica condiciones de contaminación severa (**Tabla 3.3.3-168**). Este resultado refleja adecuadamente la estructura de la comunidad observada, caracterizada por una marcada dominancia de Chironomidae (15.6 ind/m²) y presencia minoritaria de Probezzia sp. (3.3 ind/m²), ambos grupos con baja puntuación en el sistema BMWP (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 3.3.3-168 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO LA LILBANA	OCmn19	V	Muy crítica	7	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La puntuación extremadamente baja se explica principalmente por la ausencia total de taxones sensibles como tricópteros, efemerópteros o plecópteros, que normalmente aportarían puntajes altos al índice. Los ceratopogónidos (*Probezzia* sp.), aunque presentes, tienen una valoración intermedia en el BMWP/Col, insuficiente para compensar la dominancia de quironómidos, considerados organismos altamente tolerantes a la contaminación orgánica (Domínguez & Fernández, 2009). Esta composición taxonómica limitada (solo 2 morfoespecies) es típica de ambientes acuáticos sometidos a fuertes presiones antropogénicas o condiciones ambientales extremas (Buss et al., 2015).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la comunidad bentónica del Caño La Lilbana revelan una estructura ecológica particular que requiere interpretación cuidadosa. Con una abundancia total de 18.9 ind/m² distribuida en solo 2 morfoespecies (*Chironomidae* Mf. y *Probezzia* sp.), el índice de Shannon (H'=1.011) muestra una diversidad moderadamente baja (**Tabla 3.3.3-169**). Este valor aparentemente elevado se explica por la distribución relativamente equilibrada entre las dos especies presentes (15.6 ind/m² de quironómidos vs 3.3 ind/m² de ceratopogónidos), lo que matemáticamente maximiza la diversidad cuando solo existen dos taxones (Magurran, 2004).

El índice de Simpson (D=0.389) indica una dominancia intermedia, reflejando que aunque los quironómidos representan el 82.5% de la comunidad, los ceratopogónidos mantienen una presencia significativa (17.5%). Este valor sugiere que, a pesar de la baja riqueza, ninguna especie ejerce un dominio absoluto en el sistema (Domínguez & Fernández, 2009). Sin embargo, el índice de Pielou (J'=1.459) presenta un valor teóricamente imposible (superior a 1), lo que evidencia una limitación matemática en la aplicación de este índice a comunidades extremadamente pobres en especies, donde el índice de Shannon observado supera al Shannon máximo teórico para el número de especies presentes (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 3.3.3-169 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Lilbana época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO LA LILBANA	OCmn19	18.9	2	1.011	0.389	1.459

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La combinación de estos índices con los resultados del BMWP/Col (7 puntos, Clase V) sugiere que el Caño La Lilbana en OCmn19 presenta una comunidad biológica simplificada, la dominancia de organismos tolerantes, una limitada funcionalidad ecosistémica y un posible efecto de estrés ambiental crónico.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

En el muestreo realizado en la temporada de lluvia en el punto denominado OCmn19, que tiene como característica principal que es una ocupación de cauce, no se encontraron macrófitas acuáticas.

La transparencia del agua, influenciada por la carga de sedimentos en suspensión durante la temporada de lluvias genera turbidez que reduce la penetración de la luz solar, limitando la fotosíntesis en macrófitas sumergidas (Bunn & Arthington, 2002[47]). Asimismo, los eventos de inundación frecuentes y prolongados en los sistemas de sabana inundable pueden afectar la estabilidad de las comunidades vegetales, desplazando o eliminando especies no adaptadas a la alta variabilidad hidrológica (Junk, Bayley, & Sparks, The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989).

3.3.3.2.12 Microcuenca caño La Victoria

La Microcuenca del caño La Victoria, localizada en la región de la altillanura del municipio de Puerto López, representa un ecosistema acuático de relevancia ecológica por su papel en la dinámica hídrica y biológica en el área de influencia del Bloque CPO-5. Este sistema fluvial de carácter lótico se caracteriza por presentar una topografía predominantemente plana, suelos altamente lixiviados con baja fertilidad natural, y una red de drenaje estacional influenciada por el régimen de lluvias monomodal típico de la región (IGAC, 2012[44]; Rangel-Ch., 2015[45]). El monitoreo de las comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se llevó a cabo en tres puntos estratégicos: OCmn14, OCmn15 y OCMY11, todos ubicados en tramos de corriente (lóticos), sin incluir cuerpos de agua lénticos. Estos puntos fueron seleccionados con el objetivo de evaluar el estado ecológico del caño en áreas donde se propone la ocupación del cauce, permitiendo establecer una línea base para el análisis de la biodiversidad acuática (**Figura 3.3.3-74**).

[44] GAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2012). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta. Bogotá: IGAC.
[45] Rangel-Ch., J. O. (2015). La biodiversidad del ecosistema de sabana inundable de la altillanura colombiana: una aproximación desde la estructura, composición y funcionamiento. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

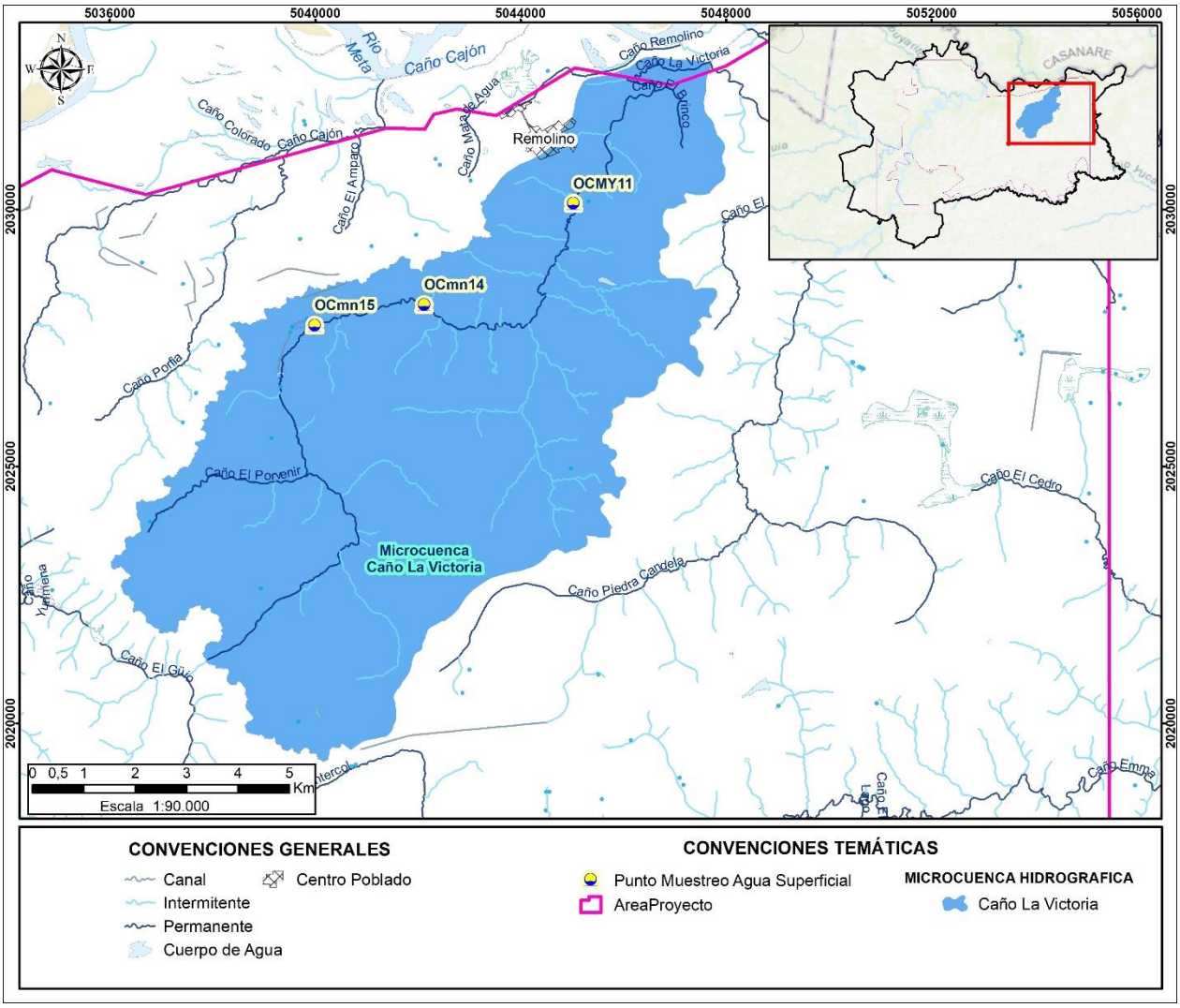


Figura 3.3.3-74 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño La Victoria

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño La Victoria, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores

ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en los tres puntos de muestreo (OCmn14, OCmn15 y OCMY11) de la Microcuenca Caño La Victoria revela una estructura ecológica particularmente sensible a las condiciones de época seca, con una abundancia total de 29 Ind/cm² () distribuida heterogéneamente. La estación OCmn14 destaca como el punto de mayor actividad biológica (23.9 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-170**), dominado significativamente por el género *Eunotia* (20.1 Ind/cm²) , que representa el 84% de su comunidad (**Figura 3.3.3-75**), seguido de *Pinnularia* (3.8 Ind/cm²) y una representatividad del (15.9%) (**Figura 3.3.3-75**). Esta composición sugiere fuertemente condiciones de aguas ácidas y bajas en nutrientes, características de zonas con influencia de suelos ácidos o descomposición de materia vegetal ribereña. Los puntos OCmn15 (4.2 Ind/cm²) y OCMY11 (0.9 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-170**) muestran comunidades notablemente más pobres, donde OCmn15 presenta una mezcla de *Navicula* (0.8 Ind/cm²) con el (19.05%), *Eunotia* (1.7 Ind/cm²) con (40.48%) y *Closterium* (1.7 Ind/cm²) con el (40.48%) (**Tabla 3.3.3-170**) (**Figura 3.3.3-75**) de representatividad, mientras OCMY11 registra únicamente *Pinnularia* (0.9 Ind/cm²) como único representante con el (100%) (**Tabla 3.3.3-170**) (**Figura 3.3.3-75**).

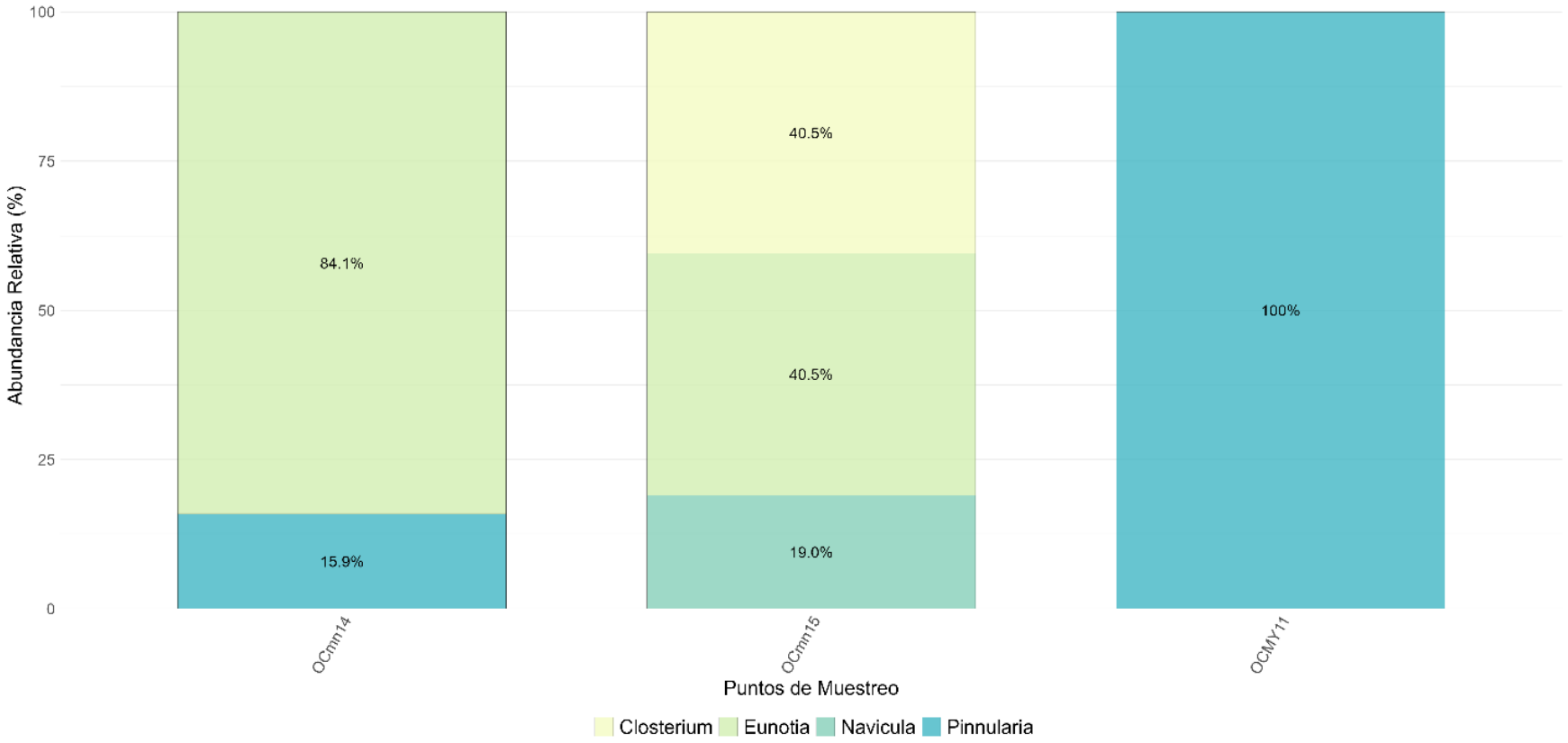


Figura 3.3.3-75 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La riqueza total de la Microcuenca es particularmente baja con cuatro géneros, concentrándose principalmente en OCmn14 con dos géneros y OCmn15 con tres géneros. La marcada dominancia de *Eunotia* en OCmn14, combinada con su casi ausencia en otros puntos, indica condiciones microambientales muy localizadas, posiblemente relacionadas con aportes específicos de agua ácida desde el terreno adyacente. La presencia de *Closterium* exclusivamente en OCmn15 sugiere conexiones puntuales con zonas húmedas o charcos residuales, mientras que la limitada presencia de *Pinnularia* en OCMY11 podría indicar el sector más afectado por la reducción del caudal.

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad en conjunto señala un sistema bajo estrés hídrico severo, con calidad de agua aceptable pero tendiente a la acidificación, particularmente en OCmn14. La interacción entre sistemas terrestres y acuáticos se evidencia en la probable influencia de suelos ácidos en la dominancia de *Eunotia*, la aparición de *Closterium* como indicador de zonas de transición agua-tierra y la casi ausencia de géneros típicamente lóticos, refleja la desconexión entre tramos durante la sequía. Estos patrones coinciden con lo reportado por (Round et al., 1990) en sistemas de llanura con marcada estacionalidad.

En conclusión, el ensamble perifítico de la Microcuenca Caño La Victoria muestra una comunidad empobrecida y espacialmente fragmentada, característica de sistemas lóticos en altillanura durante períodos secos extremos. La evaluación ecológica sugiere una calidad entre regular y pobre, con OCmn14 como único sector que mantiene una comunidad significativa, aunque desbalanceada. Estos resultados enfatizan la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante la reducción del caudal.

Tabla 3.3.3-170 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño La Victoria			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ cm^2)
					OCmn14	OCmn15	OCMY11	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	3,8		0,9	4,7
			Naviculaceae	*Navicula*		0,8		0,8
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	20,1	1,7		21,8
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		1,7		1,7
Gran Total					**23,9**	**4,2**	**0,9**	**29**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices ecológicos en los tres puntos de muestreo del Caño La Victoria revela una situación crítica para la comunidad perifítica durante la época seca. La estación OCMY11 presenta los valores más preocupantes, con una única especie (*Pinnularia*) en muy baja abundancia (0.9 Ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-171**), características típicas de ambientes severamente limitados o perturbados. OCmn14, aunque con mayor abundancia (23.9 Ind/cm^2), muestra una comunidad pobremente estructurada con dos géneros, con baja (**Tabla 3.3.3-171**), reflejando condiciones ambientales restrictivas que favorecen el desarrollo casi exclusivo de *Eunotia* y lo que impide hacer un adecuado análisis de diversidad mediante índices. En contraste, OCmn15 emerge

como el punto con mejores condiciones ecológicas, mostrando mayor riqueza con tres géneros y diversidad (Shannon=1.055), junto con baja dominancia (Simpson=0.36) y alta equitatividad (Pielou=0.96) (**Tabla 3.3.3-171**), lo que sugiere un microambiente más equilibrado capaz de sostener una comunidad algo más diversificada.

La evaluación integrada de la Microcuenca indica una calidad ecológica entre pobre y regular, con marcadas diferencias espaciales. La coexistencia de OCMY11 (crítico), OCmn14 (degradado) y OCmn15 (aceptable) en un mismo sistema refleja la extrema heterogeneidad ambiental característica de los cauces de altillanura durante períodos secos. Esta variabilidad probablemente responde a factores como disponibilidad de sustratos, gradientes de flujo residual y aportes diferenciales desde la Microcuenca terrestre. La presencia de OCmn15 como único punto que mantiene cierta diversidad sugiere la existencia de microrefugios ecológicos en el sistema, aunque claramente insuficientes para garantizar su funcionamiento adecuado. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por (Biggs B. F., 1996) en sistemas neotropicales bajo estrés hídrico, donde la diversidad perifítica actúa como indicador sensible de la salud del ecosistema.

En conclusión, la Microcuenca del Caño La Victoria muestra una condición ecológica precaria durante la época seca, con calificación de la Microcuenca de regular-pobre. Estos resultados destacan la vulnerabilidad de los sistemas lóticos en altillanura ante el cambio climático.

Tabla 3.3.3-171 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño La Victoria época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn15	4.2	3	1.055	0.36	0.96

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico registrado para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el caño La Victoria, un sistema lótico ubicado en la región de la altillanura colombiana y monitoreado durante la época seca, refleja una comunidad caracterizada por una baja riqueza taxonómica y abundancia. En total, se identificaron dos (2) morfoespecies, pertenecientes al phylum Annelida, clase Clitellata, distribuidas en dos órdenes (Rhynchobdellida y Lumbriculida), dos (2) familias (Glossiphoniidae y Lumbriculidae) y sin determinación a nivel de género. La abundancia total para la Microcuenca fue de 3 individuos/m², con una mayor representación en la estación OCmn14 (2 ind/m²) frente a OCMY11 (1 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-172**).

Tabla 3.3.3-172 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño La Victoria		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCmn14	OCMY11	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	Glossiphoniidae Mf.	1,1		1,1
		Lumbriculida	Lumbriculidae		Lumbriculidae Mf.	1,1	1,1	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**2**	**1**	**3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde una perspectiva de bioindicación, la presencia exclusiva de anélidos —en particular lombrices acuáticas como los Lumbriculidae y sanguijuelas como las Glossiphoniidae— es indicativa de ambientes con condiciones fisicoquímicas degradadas, baja concentración de oxígeno disuelto y alta carga orgánica, condiciones típicas de sistemas con escasa renovación hídrica, acumulación de materia orgánica o procesos de eutrofización (**Figura 3.3.3-76**) (Rosenberg & Resh, 1993; Timm & Veldhijzen van Zanten, 2002). Estas morfoespecies suelen ser clasificadas como tolerantes a la contaminación, lo cual limita su utilidad en la detección de condiciones de buena calidad ecológica, pero sí son relevantes para confirmar estados críticos o de perturbación.

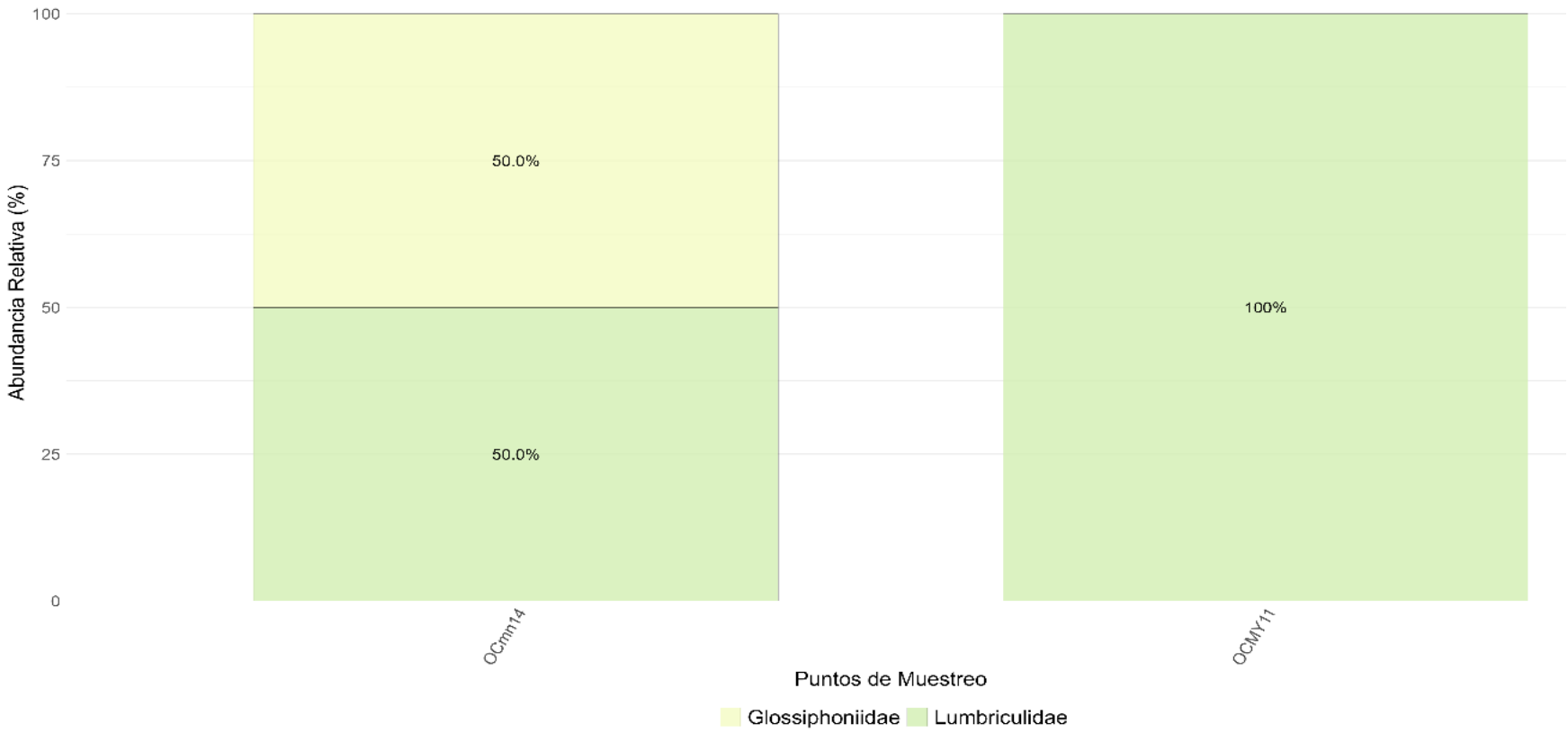


Figura 3.3.3-76 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El bajo número de taxa impide aplicar de manera robusta índices de diversidad alfa o el índice BMWP/Col (tal como se evidencia en la **Tabla 3.3.3-173**), ya que estos dependen de una riqueza mínima de familias con diferentes sensibilidades a la contaminación (Roldan G. , 2003; Magurran A. E., 2004). Esto restringe la interpretación ecológica y señala la necesidad de considerar la estacionalidad y la conectividad hidrológica como factores clave. En efecto, los sistemas lóticos de la altillanura suelen estar vinculados a sistemas lénticos adyacentes (madreviejas, lagunas estacionales) y reciben insumos del entorno terrestre, por lo que la limitada conectividad y la desecación temporal podrían haber afectado la disponibilidad de hábitats y la colonización por parte de otros macroinvertebrados (Merritt & Cummins, 2008).

Tabla 3.3.3-173 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño La Victoria época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO LA VICTORIA	OCmn14	V	Muy crítica	4	Aguas moderadamente contaminadas
	OCMY11	-	-	0	-

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble bentónico registrado en el caño La Victoria revela una comunidad altamente empobrecida, dominada por taxones indicadores de condiciones ambientales críticas, lo que sugiere una alteración estructural significativa. Este patrón puede estar asociado tanto a factores naturales estacionales como a presiones antrópicas o restricciones hidrológicas.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

En el muestreo realizado en la temporada seca en los puntos de ocupación de cauce sobre el cauce del caño La Victoria, denominados OCmn14, OCmn15 y OCMY11, no se encontraron macrófitas acuáticas.

Durante la época seca, la ausencia de macrófitas acuáticas en cuerpos de agua lóticos de los Llanos Orientales de Colombia se acentúa debido a condiciones hidrológicas aún más restrictivas. En este periodo, los caños experimentan una drástica reducción en el caudal, lo que conlleva a un aumento en la temperatura del agua y la concentración de solutos, generando un ambiente de mayor estrés hídrico para las plantas acuáticas (Márquez & Maldonado-Ocampo, 2018[46]). A pesar de que una reducción en la velocidad del flujo podría parecer favorable para el asentamiento de macrófitas, en estos sistemas de sabana inundable la lámina de agua puede desaparecer completamente o volverse extremadamente somera, lo que interrumpe el ciclo de vida de las especies vegetales acuáticas y restringe su permanencia (Junk et al., 1989; Rangel-Ch., 2015[45]).

Adicionalmente, en la altillanura, los cuerpos de agua pierden conectividad lateral con los humedales y planicies de inundación durante la temporada seca, lo que impide la migración de propágulos y la recolonización natural de macrófitas desde hábitats contiguos más estables o

[46] Márquez, E., & Maldonado-Ocampo, J. A. (2018). Guía para el monitoreo de la biodiversidad acuática en ecosistemas lóticos de la Orinoquia colombiana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

permanentes (Bunn & Arthington, 2002[47]). La falta de bancos de semillas viables y de condiciones de humedad constante durante esta época también representa una barrera ecológica para el restablecimiento de comunidades vegetales acuáticas cuando se restablece el flujo en la siguiente temporada de lluvias.

En conjunto, las condiciones extremas de poca profundidad, alta evaporación, baja disponibilidad de nutrientes y desconexión hidrológica durante la época seca actúan como filtros ecológicos que dificultan aún más el establecimiento de macrófitas acuáticas en estos ecosistemas lóticos.

- *Época lluvias*

  - ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

  - ✓ *Perifíton*

El ensamble perifítico en los puntos OCmn14, OCmn15 y OCMY11 de la Microcuenca Caño La Victoria, monitoreados durante la época de lluvias, presenta una estructura comunitaria caracterizada por la dominancia de Heterokontophyta (específicamente diatomeas de la clase Bacillariophyceae) y Charophyta, que en conjunto representan el 86.3% de la abundancia total (100.1 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-174**). La estación OCmn14 muestra una comunidad dominada por *Spirogyra* (27.9 ind/cm², 59.2% de su abundancia total), seguida de *Eunotia* (8.7 ind/cm² y 18.47%) (**Tabla 3.3.3-174**) (**Figura 3.3.3-77**), indicando posibles aportes orgánicos desde sistemas terrestres adyacentes (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007). En OCmn15 destacan *Pinnularia* (15.8 ind/cm², 30.8%) y *Trachelomonas* (21.7 ind/cm² y el 42.3%) (**Tabla 3.3.3-174**) (**Figura 3.3.3-77**), este último género bioindicador de condiciones eutróficas (Round et al., 1990), mientras que OCMY11 presenta únicamente *Pinnularia* (1.7 ind/cm² y 100%) (**Tabla 3.3.3-174**) (**Figura 3.3.3-77**), sugiriendo un posible gradiente de perturbación a lo largo de la Microcuenca.

[47] Bunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. Environmental Management, 30(4), 492–507. https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0

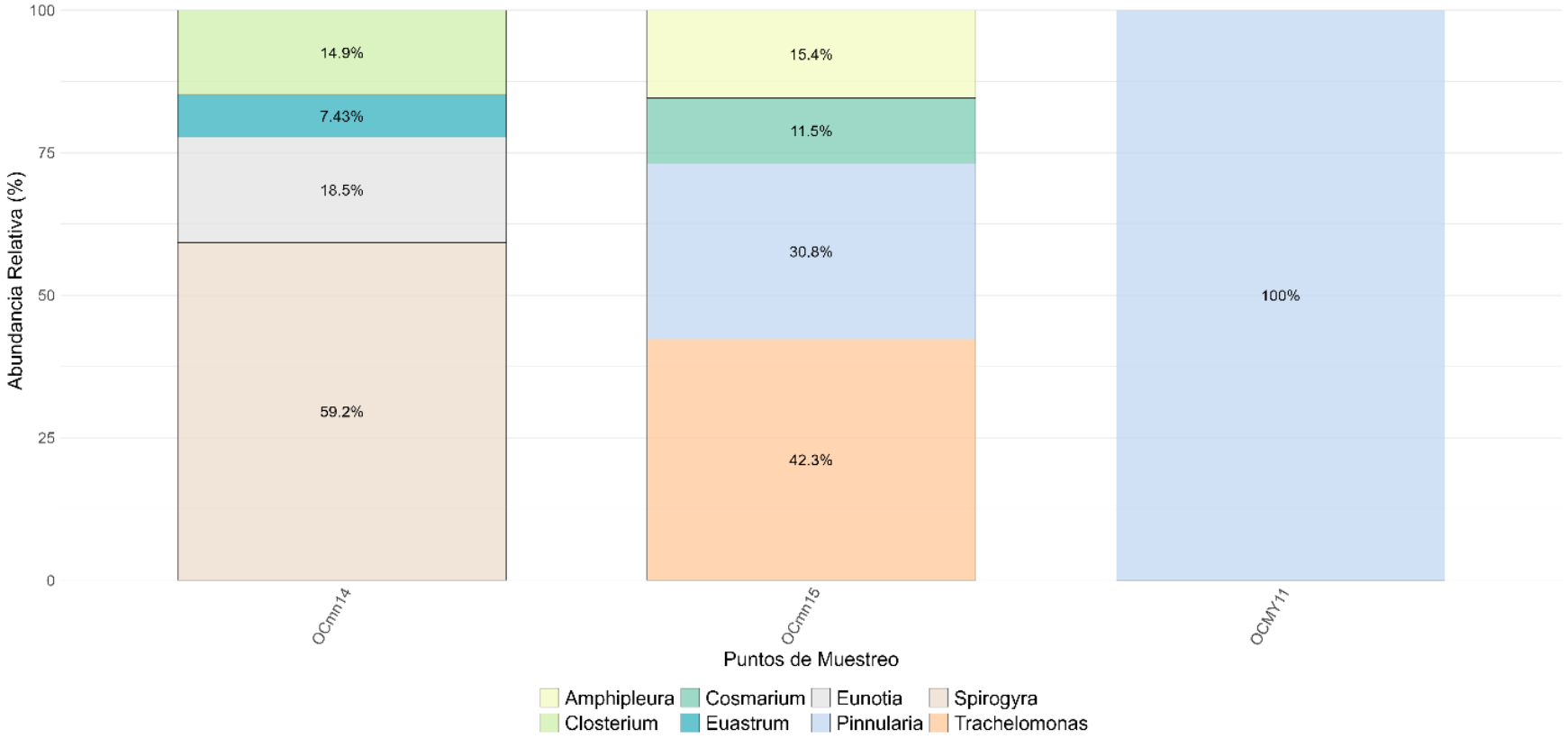


Figura 3.3.3-77 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La composición taxonómica revela patrones ecológicos significativos como la presencia de *Amphipleura* y *Eunotia* (diatomeas acidófilas) en OCmn14 y OCmn15 sugiere influencia de suelos ácidos típicos de altillanura (Round et al., 1990), la abundancia de *Spirogyra* (Charophyta) en OCmn14 indica conexión con sistemas lénticos, probablemente por remansos temporales en época seca (Reynolds, 2006), la aparición de *Trachelomonas* (Euglenophyta) exclusivamente en OCmn15 señala aportes orgánicos puntuales, posiblemente de origen antrópico (Sládeček, 1983). La riqueza total de 7 géneros (3 en OCmn14, 4 en OCmn15 y 1 en OCMY11) refleja una diversidad moderada-baja, característica de ambientes lóticos en período seco (Biggs B. F., 1996).

La interacción entre componentes terrestres-acuáticos se evidencia por la presencia de *Cosmarium* y *Euastrum* (Desmidiales), asociados a zonas de escorrentía con vegetación riparia (Coesel & Meesters, 2007), la dominancia de *Closterium* en OCmn14, bioindicador de fluctuaciones en niveles hídricos (Gerrath, 2003). Estos patrones coinciden con lo descrito por (Wetzel R. G., 2001) para ecotonos lótico-terrestres en climas estacionales.

La calificación ecológica integral de la Microcuenca Caño La Victoria es moderada con tendencia a buena**,** donde OCmn14 representa el sector mejor conservado, a pesar de mostrar signos de influencia léntica, OCmn15 evidencia presiones antrópicas incipientes por *Trachelomonas* y OCMY11 sugiere condiciones restrictivas baja abundancia y riqueza.

Tabla 3.3.3-174 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño La Victoria época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño La Victoria			Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCmn14	OCmn15	OCMY11	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		15,8	1,7	17,5
			Amphipleuraceae	*Amphipleura*		7,9		7,9
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	8,7			8,7
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		5,9		5,9
				Euastrum	3,5			3,5
			Closteriaceae	*Closterium*	7			7
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	27,9			27,9
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*		21,7		21,7
Gran Total					47,1	51,3	1,7	100,1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices de diversidad analizados en los tres puntos de muestreo (OCMY11, OCmn14 y OCmn15) revelan un gradiente ecológico significativo en la Microcuenca Caño La Victoria durante la época seca. La estación OCMY11 presenta condiciones extremas con una abundancia mínima (1.7 ind/cm²) y riqueza de un solo género (*Pinnularia*) (**Tabla 3.3.3-175**), resultando en valores nulos de Shannon (0) y máxima dominancia (Simpson=1) (**Tabla 3.3.3-175**), lo que sugiere un ambiente altamente restrictivo con posible estrés hídrico o químico (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

En contraste, OCmn14 y OCmn15 muestran comunidades más estructuradas, con abundancias similares (47.1 y 51.3 ind/cm² respectivamente) y riqueza idéntica (4 géneros) (**Tabla 3.3.3-175**), pero diferencias en su organización ecológica, OCmn15 exhibe mayor diversidad (Shannon=1.215 vs 1.072) y menor dominancia (Simpson=0.333 vs 0.432) (**Tabla 3.3.3-175**), junto con una mejor distribución de abundancias (Pielou=0.876 vs 0.773) (**Tabla 3.3.3-175**), indicando condiciones ambientales más estables y recursos mejor distribuidos (Magurran A. E., 2004). Esta variabilidad espacial refleja la influencia combinada de factores naturales (como la geomorfología de altillanura) y posibles presiones antrópicas diferenciales a lo largo de la Microcuenca (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007).

La calificación ecológica integrada de la Microcuenca se establece como heterogénea con predominio de condiciones moderadas. Mientras OCmn15 representa un estado ecológico aceptable (índices cercanos a valores de referencia para sistemas lóticos tropicales), OCmn14 muestra signos incipientes de perturbación y OCMY11 evidencia alteración severa. Esta diferencia sugiere que la Microcuenca mantiene sectores con resiliencia ecológica (particularmente en OCmn15, donde la presencia equilibrada de diatomeas como *Pinnularia* y euglenofitas como *Trachelomonas* indica procesos ecológicos funcionales), pero requiere atención inmediata en zonas críticas como OCMY11. La baja equitatividad general (<0.9 en todos los puntos) señala que incluso en las estaciones mejor conservadas existen desbalances en la estructura comunitaria, probablemente asociados a la estacionalidad climática (Biggs B. F., 1996).

Tabla 3.3.3-175 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño La Victoria época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY11	1,7	1	0	1	
OCmn14	47,1	4	1	0,432	0,773
OCmn15	51,3	4	1	0,333	0,876

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en la Microcuenca del caño La Victoria, ubicada en la altillanura colombiana y evaluada durante la época de lluvias, evidencia una comunidad diversa y funcionalmente estructurada. En total se identificaron 8 morfoespecies, distribuidas en un phyllum (Arthropoda), una clase (Insecta), seis (6) órdenes, siete (7) familias y siete (7) géneros, con una abundancia total de 29,3 individuos/m². Las estaciones monitoreadas fueron OCmn14, OCMY11 y OCmn15, aportando individualmente 9.0, 18.2 y 2.2 ind/m², respectivamente (**Tabla 3.3.3-176**).

Tabla 3.3.3-176 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño La Victoria			Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCmn14	OCMY11	OCmn15	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	8,9	11,1	1,1	21,1
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	Alluaudomyia sp.		1,1		1,1
		Coleóptera	Elmidae	Hexacylloepus	Hexacylloepus sp.		1,1		1,1
				Microcylloepus	Microcylloepus sp.		1,1		1,1
		Hemiptera	Naucoridae	Cryphocricos	Cryphocricos sp.		1,1		1,1
		Trichoptera	Leptoceridae	Nectopsyche	Nectopsyche sp.		1,1		1,1
		Odonata	Gomphidae	Phyllogomphoides	Phyllogomphoides sp.		1,1		1,1
		Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	*Anacroneuria sp.*			1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**9**	**18**	**2**	**29**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El grupo más abundante fue *Chironomidae* Mf., con una presencia dominante (21.1 ind/m²), lo que refleja una alta capacidad de tolerancia a variaciones ambientales, particularmente a niveles moderados o altos de materia orgánica disuelta (Roldán, 2003). Este grupo es común en sistemas lóticos de baja velocidad o zonas de sedimentación, y su abundancia puede estar relacionada con procesos de eutrofización o aporte constante de detritos orgánicos. Sin embargo, también se registraron taxones sensibles como *Nectopsyche* sp. (Leptoceridae), *Anacroneuria* sp. (Perlidae) y *Phyllogomphoides* sp. (Gomphidae), considerados bioindicadores de buena calidad de agua (Domínguez & Fernández, 2009; Roldán, 2003), lo que sugiere cierta heterogeneidad en las condiciones ambientales del sistema.

Desde la perspectiva de bioindicación, la coexistencia de familias tanto tolerantes como sensibles permite inferir un sistema con calidad de agua moderada, posiblemente sujeto a presiones locales puntuales, pero aún con tramos bien oxigenados y funcionalmente complejos. Por ejemplo, la familia Elmidae (escarabajos rastreros), representada por los géneros *Hexacylloepus* y *Microcylloepus*, se asocia a sustratos consolidados y flujos estables, lo que indica microhábitats saludables dentro del cauce (Merritt & Cummins, 2008).

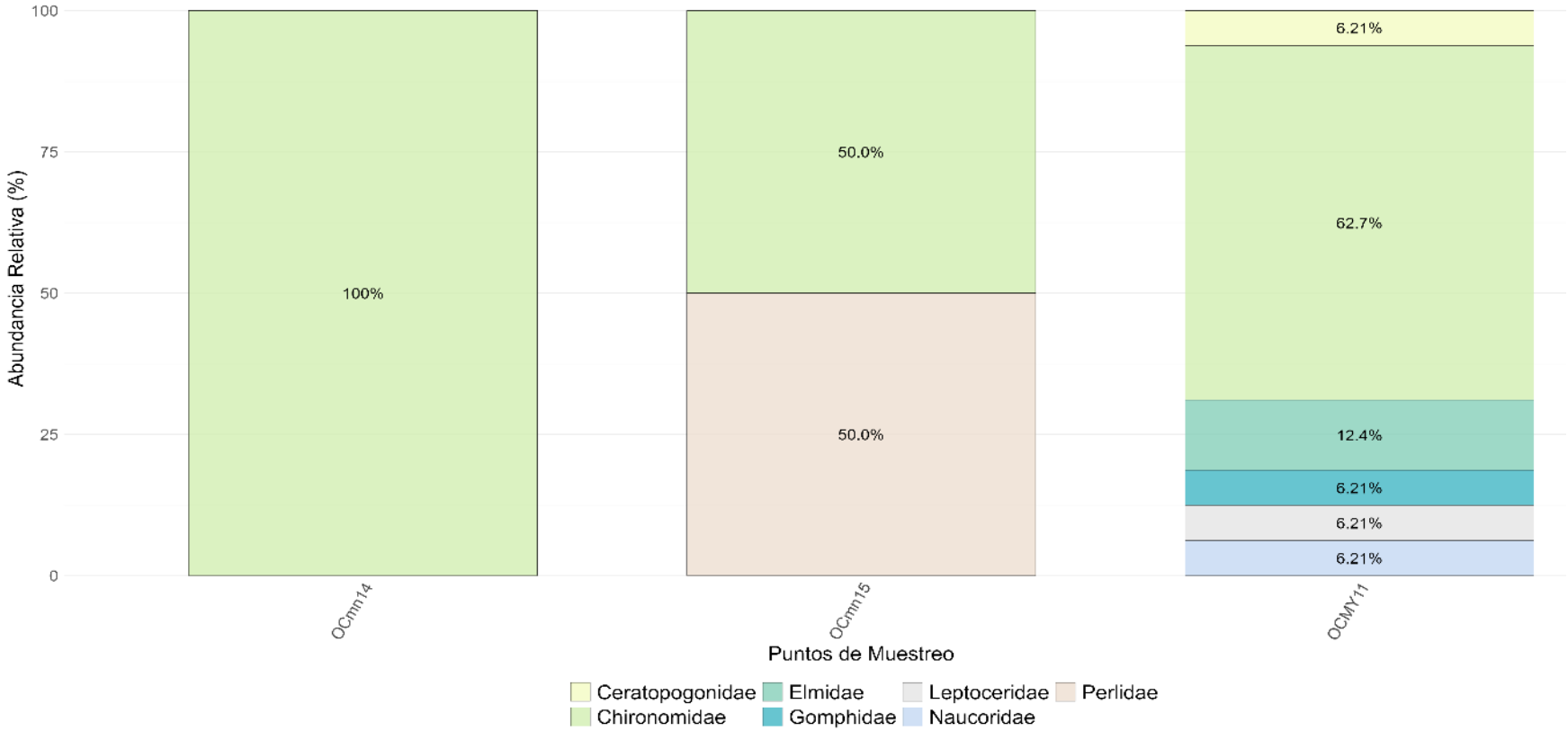


Figura 3.3.3-78 Porcentaje de familias de macroinvertebrados bentónicos microocuenca caño La Victoria época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En cuanto a la interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres, se destaca la presencia de órdenes como Odonata y Trichoptera, cuyas larvas son acuáticas, pero los adultos son terrestres. Esto indica una interdependencia funcional entre los ecosistemas acuáticos y sus zonas ribereñas, lo cual es vital para el mantenimiento de los ciclos de vida de estas especies y para la conectividad ecológica de la Microcuenca. La abundancia moderada de Diptera (Chironomidae y Ceratopogonidae) también puede asociarse a transiciones entre ambientes lénticos y lóticos, ya que muchas especies se desarrollan en zonas de remanso o charcas conectadas (Domínguez & Fernández, 2009).

En síntesis, el ensamble del caño La Victoria muestra una comunidad ecológicamente estructurada, con diversidad taxonómica representativa de ambientes lóticos relativamente conservados, aunque con indicios de perturbación moderada. La presencia de taxones indicadores de buena calidad sugiere la existencia de condiciones físico-químicas favorables en ciertos tramos, mientras que la dominancia de Chironomidae podría reflejar procesos de sedimentación o aporte orgánico puntual. Este tipo de análisis refuerza la importancia de considerar la variabilidad espacial dentro de los sistemas acuáticos para una adecuada interpretación del estado ecológico de las Microcuencas (Baptista et al., 2001).

El análisis del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia) para los puntos de monitoreo en la Microcuenca del caño La Victoria, muestra diferencias marcadas en la calidad del agua entre estaciones, lo cual sugiere una heterogeneidad ambiental significativa dentro del sistema lótico.

En el punto OCMY11, se registró un valor de 39, correspondiente a la clase III, que según la clasificación de Roldán (2003) representa una calidad de agua "dudosa" o moderadamente contaminada (**Tabla 3.3.3-177**). Este valor indica la presencia de una comunidad con cierta diversidad de familias sensibles y moderadamente tolerantes, lo que podría reflejar condiciones intermedias de oxigenación, bajo nivel de contaminación orgánica y dinámica hidráulica parcialmente estable. La presencia de taxones como *Anacroneuria* sp. (Perlidae) y *Nectopsyche* sp. (Leptoceridae), ambos con altos puntajes BMWP individuales, refuerza esta interpretación, dado que son indicadores reconocidos de aguas bien oxigenadas y baja carga orgánica.

En contraste, los puntos OCmn14 y OCmn15 obtuvieron valores de 2 y 12, respectivamente, ambos correspondientes a la clase V, indicando una situación ecológica "muy crítica" y presencia de aguas fuertemente contaminadas (**Tabla 3.3.3-177**). Estos bajos puntajes reflejan la dominancia o casi exclusividad de morfoespecies altamente tolerantes, como los *Chironomidae* Mf., y la ausencia o baja representatividad de familias sensibles. Las condiciones en estas estaciones podrían estar influenciadas por procesos de colmatación, acumulación de materia orgánica, baja velocidad de corriente o entradas puntuales de contaminantes, lo cual limita la diversidad ecológica del sistema (Buss et al., 2015).

Tabla 3.3.3-177 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño La Victoria época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO LA VICTORIA	OCMY11	III	Dudosa	39	Aguas moderadamente contaminadas
	OCmn15	V	Muy crítica	12	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCmn14	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En términos de interpretación ecológica, los resultados del índice BMWP/Col sugieren que el caño La Victoria presenta tramos con variabilidad en la calidad del agua, posiblemente influenciada por condiciones hidromorfológicas locales, conectividad con sistemas lénticos cercanos o fuentes de presión antrópica intermitente.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para los puntos de monitoreo en el caño La Victoria, ubicado en la altillanura y evaluado durante la época de lluvias, revela un gradiente ecológico asociado a la heterogeneidad de condiciones ambientales y calidad del hábitat.

En el punto OCMY11, se observa una alta diversidad alfa, evidenciada por una riqueza de siete (7) morfoespecies, un índice de Shannon de 1.715, un índice de Simpson de 0.25 y un valor de Pielou de 0.881 (**Tabla 3.3.3-178**). Estos indicadores reflejan una comunidad estructurada y con buena equitatividad, donde la abundancia (17.7 ind/m²) está distribuida de manera relativamente uniforme entre las especies presentes. Este patrón puede ser interpretado como resultado de condiciones ecológicas favorables, con adecuada oxigenación, sustratos variados y baja carga contaminante. La alta diversidad funcional sugiere estabilidad ecológica y baja perturbación, lo cual concuerda con el valor intermedio del índice BMWP/Col registrado para esta estación.

En contraste, OCmn14 muestra una riqueza mínima (1 morfoespecie) y un índice de Shannon de 0.637, lo que es incoherente desde el punto de vista ecológico, ya que con una sola morfoespecie no se puede estimar una verdadera diversidad de la comunidad (**Tabla 3.3.3-178**). Además, el valor de Simpson (0.556) no tiene sentido biológico en este contexto y el índice de Pielou no puede calcularse, lo que refleja una condición de empobrecimiento extremo en la comunidad. La baja diversidad en este sitio sugiere condiciones de fuerte estrés ambiental, probablemente asociadas a contaminación orgánica, pérdida de hábitat o alteraciones hidromorfológicas.

El punto OCmn15, aunque presenta una riqueza baja (2 morfoespecies), muestra un valor de Shannon de 0.693 y de Simpson de 0.5, con un índice de equitatividad (Pielou) de 1, lo cual indica que las dos morfoespecies presentes están distribuidas equitativamente (**Tabla 3.3.3-178**). Sin embargo, el bajo número de especies limita la interpretación ecológica de estos valores, ya que comunidades con tan baja riqueza no representan un ecosistema funcionalmente complejo (Magurran, 2004). La equidad elevada en un contexto de baja riqueza suele ser más reflejo de perturbación que de estabilidad ecológica.

Tabla 3.3.3-178 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño La Victoria época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO LA VICTORIA	OCMY11	17.7	7	1.715	0.25	0.881
	OCmn14	8.9	1	0.637	0.556	-
	OCmn15	2.2	2	0.693	0.5	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conjunto, estos resultados evidencian un gradiente de calidad ambiental en el caño La Victoria, donde OCMY11 se perfila como el sitio ecológicamente más estable, mientras que OCmn14 y OCmn15 representan ambientes degradados, posiblemente afectados por cargas de nutrientes, sedimentos o desconexión de zonas ribereñas. La baja diversidad en los últimos puntos también puede indicar una pérdida de conectividad con sistemas lénticos o una influencia negativa de presiones antrópicas cercanas.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

La comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca del caño La Victoria, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, revela una composición taxonómica diversa que refleja la complejidad estructural de los ecosistemas de la altillanura durante la temporada de lluvias. En total, se identificaron 14 morfoespecies pertenecientes a la división Tracheophyta, distribuidas en dos clases principales: Polypodiidae (helechos vasculares) y Magnoliidae (plantas con flores), que agrupan a 11 órdenes y 14 familias. Las especies predominantes incluyen representantes de los órdenes Poales (*Carex* sp., *Juncus* sp.) y Alismatales (Araceae Mf.), que presentaron altos valores de cobertura y abundancia relativa, especialmente en los puntos OCmn14 y OCmn15, donde *Carex* sp. alcanzó un 26 % de cobertura y más del 65 % de la abundancia relativa en OCmn14. En el punto OCMY11, *Ipomoea* sp. (Convolvulaceae) se destacó como especie dominante, con un 15 % de cobertura y casi el 79 % de abundancia relativa, lo que sugiere un patrón de dominancia puntual (**Tabla 3.3.3-179**).

Desde el punto de vista ecológico, esta comunidad refleja una estructura característica de sistemas acuáticos en regiones de altillanura, donde los gradientes hídricos estacionales influyen fuertemente en la composición vegetal. Las macrófitas aquí registradas representan distintos hábitos de crecimiento: especies emergentes (*Carex* sp., *Juncus* sp.), flotantes (Araceae Mf.) y trepadoras (*Lygodium* sp. y *Bolbitis* sp.), lo cual evidencia una ocupación de múltiples nichos ecológicos en el sistema (**Tabla 3.3.3-179**). Las condiciones hidromorfológicas temporales de la altillanura (suelos ácidos, baja fertilidad, y régimen de inundación estacional) fomentan adaptaciones morfofisiológicas específicas, como raíces adventicias, tejidos aerenquimatosos y reproducción vegetativa rápida (Rippstein et al., 2001; Esteves, 2011[4]).

La mayor riqueza de morfoespecies se observó en el punto OCmn15, con 8 especies, en comparación con 5 en OCmn14 y solo 2 en OCMY11, lo que podría asociarse a diferencias microambientales o de conectividad hidrológica. La cobertura total de macrófitas también fue

mayor en OCmn15 (64,02 %), indicando una etapa de expansión vegetal favorecida por el régimen de lluvias, mientras que OCMY11 presentó una cobertura mucho menor (19 %), posiblemente por condiciones hidrológicas menos favorables o presión antrópica local (**Tabla 3.3.3-179**). Estos resultados son coherentes con la teoría del pulso de inundación, que resalta el papel de las fluctuaciones hidrológicas en la estructuración de comunidades acuáticas (Junk et al., 1989).

En suma, la composición florística de la Microcuenca del caño La Victoria durante la temporada lluviosa evidencia una comunidad de macrófitas diversa, con especies bien adaptadas a los regímenes hídricos de la altillanura. La alta presencia de especies de las familias Cyperaceae, Araceae, y Convolvulaceae resalta su importancia ecológica en estos sistemas.

Tabla 3.3.3-179 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño La Victoria, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño La Victoria					
				Punto De Muestreo	OCmn14		OCmn15		OCMY11	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Dryopteridaceae	*Bolbitis* sp.	5,67	14,29				
			Blechnaceae	*Blechnum* sp.	0,67	1,69				
			Aspleniaceae	*Asplenium* sp.			1,67	2,61		
		Schizaeales	Lygodiaceae	*Lygodium* sp.	2,33	5,87				
	Magnoliidae	Myrtales	Myrtaceae	Myrtaceae Mf.			5	7,81		
		Alismatales	Araceae	Araceae Mf.			22,67	35,41		
		Poales	Cyperaceae	*Carex* sp.	26	65,54	8,67	13,54		
			Juncaceae	*Juncus* sp.					4	21,05
		Fabales	Fabaceae	Fabaceae Mf.			1,67	2,61		
		Solanales	Convolvulaceae	*Ipomoea* sp.					15	78,95
		Caryophyllales	Amaranthaceae	Amaranthaceae Mf.			0,67	1,05		
		Gentianales	Rubiaceae	Rubiaceae Mf.			0,67	1,05		
		Pandanales	Cyclanthaceae	*Asplundia* sp.	5	12,60				
		Magnoliales	Annonaceae	*Xylopia* sp.			23	35,93		
Cobertura Total general					**39,67**	**100**	**64,02**	**100**	**19**	**100**
Morfoespecies por Punto					**5**		**8**		**2**	
Morfoespecies por Microcuenca					**14**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño La Victoria durante la temporada de lluvias evidencia diferencias notables en la estructura ecológica entre los puntos muestreados. En el punto OCmn14 se registró una riqueza de cinco morfoespecies con una abundancia relativa del 39,67 %, mientras que en OCmn15 se observó una riqueza de ocho especies y una abundancia mayor, del 64,02 %. El índice de Shannon-Wiener (H'), que mide tanto la riqueza como la equitatividad de las especies, fue de 1,019 en OCmn14 y de 1,463 en OCmn15, lo que indica una mayor diversidad ecológica en este último (**Tabla 3.3.3-180**). Estos valores reflejan una comunidad más diversa y menos dominada en OCmn15, posiblemente debido a una mayor heterogeneidad ambiental o a condiciones hidrológicas más estables durante la temporada de lluvias (Magurran, 2004).

En cuanto al índice de Simpson (D), que expresa la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, se obtuvieron valores de 0,489 en OCmn14 y 0,287 en OCmn15. En este caso, valores más bajos indican menor dominancia y mayor diversidad efectiva, lo que reafirma el patrón observado con el índice de Shannon. Asimismo, el índice de equidad de Pielou (J'), que mide cuán equitativamente están distribuidos los individuos entre las especies presentes, fue de 0,633 en OCmn14 y 0,704 en OCmn15, sugiriendo una distribución más homogénea de las abundancias relativas en este último punto (**Tabla 3.3.3-180**). Esto sugiere que, aunque OCmn14 presenta una diversidad moderada, está más influenciado por la dominancia de especies como *Carex* sp., mientras que OCmn15 refleja una comunidad más equilibrada y rica en especies, lo cual puede asociarse a una mayor conectividad hidrológica o menor alteración antrópica local.

Cabe destacar que no fue posible calcular los índices de diversidad para el punto OCMY11, ya que solo se registraron dos morfoespecies. De acuerdo con la literatura ecológica, los índices de diversidad como Shannon y Simpson requieren un mínimo de tres especies para generar resultados estadísticamente confiables y comparables (Krebs, 1999[7]). La baja riqueza registrada en este punto podría estar relacionada con condiciones ambientales restrictivas, como alteraciones en la dinámica hídrica, contaminación local o competencia interespecífica limitada, lo cual es común en zonas de la altillanura que presentan baja fertilidad del suelo, acidez elevada y patrones de escorrentía estacionales (Rippstein et al., 2001).

En resumen, los índices de diversidad permiten inferir que el punto OCmn15 presenta una comunidad de macrófitas más estructurada, diversa y equitativa, lo que puede indicar un ecosistema acuático con mayor resiliencia ecológica frente a disturbios. Esta información es clave para la planificación de medidas de conservación y manejo ambiental, especialmente en regiones sensibles como la altillanura colombiana, donde los ecosistemas acuáticos cumplen funciones ecológicas esenciales.

Tabla 3.3.3-180 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño La Victoria época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn14	39.67	5	1.019	0.489	0.633
OCmn15	64.02	8	1.463	0.287	0.704

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

3.3.3.2.13 Microcuenca caño Macapay

La Microcuenca del caño Macapay, localizada en el municipio de Cabuyaro, forma parte de la vasta red hidrográfica de los Llanos Orientales y se encuentra inserta dentro de la llanura de inundación, característica que influye significativamente en la dinámica ecológica de sus cuerpos de agua. El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se llevó a cabo en dos puntos de muestreo de tipo lótico: MACAPAY_CL_01 y MACAPAY_CL_02. La Microcuenca del caño Macapay presenta un régimen hidrológico marcado por la estacionalidad de las precipitaciones, típica de las zonas de sabana tropical, con periodos de intensas lluvias que generan amplias áreas de inundación, promoviendo una alta productividad biológica y conectividad entre hábitats acuáticos

y terrestres (IDEAM, 2010[48]). Estas condiciones ecológicas hacen de la Microcuenca un sistema complejo, dinámico y representativo de los ecosistemas acuáticos de los Llanos Orientales (**Figura 3.3.3-79**).

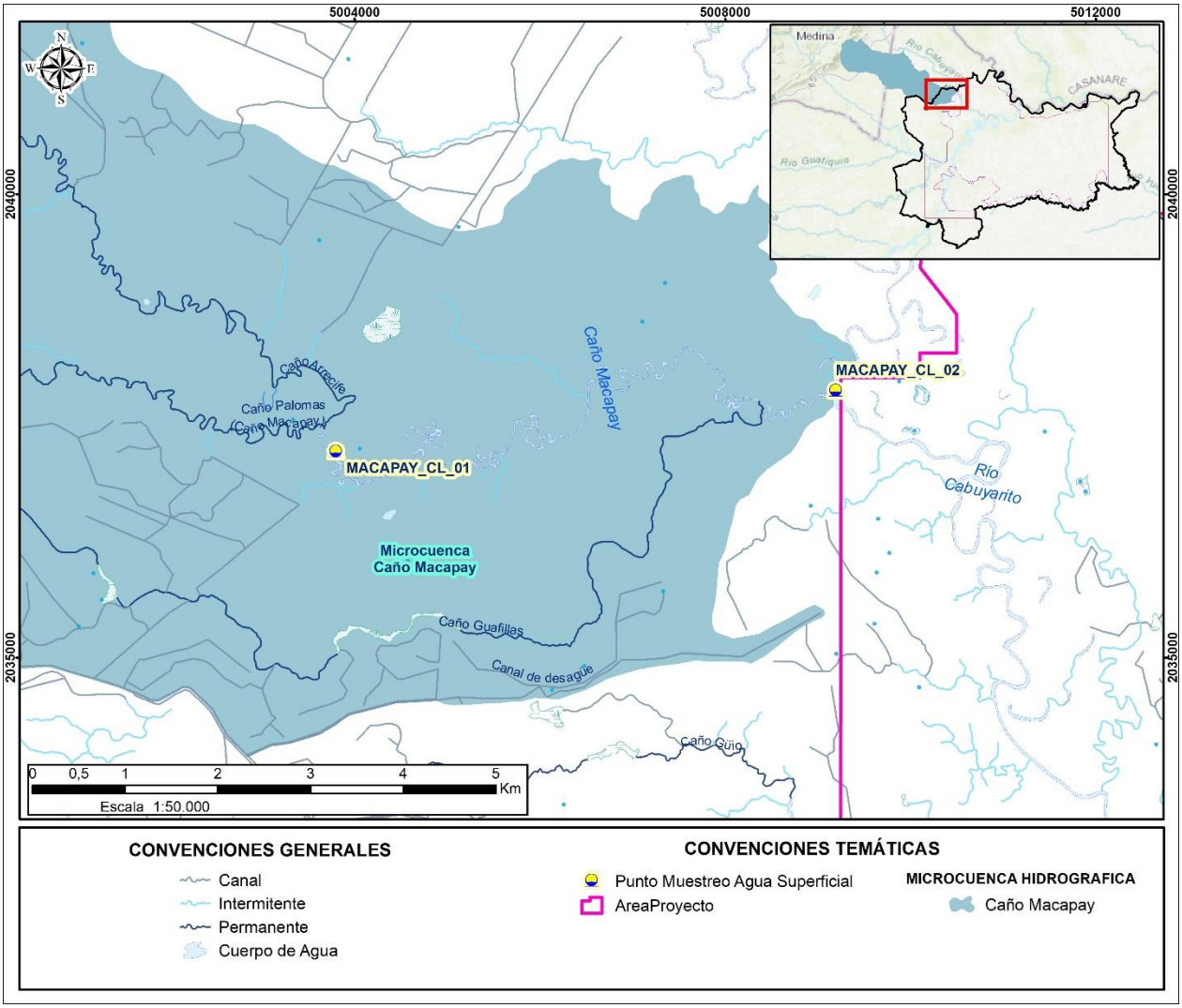


Figura 3.3.3-79 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Macapay

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Macapay, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

[48] IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

➢ *Época seca*

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en los puntos MACAPAY_CL_02 y MACAPAY_CL_01 de la Microcuenca del Caño Macapay revela una estructura ecológica diferenciada con una abundancia total de 24.9 Ind/cm² (**Tabla 3.3.3-181**). La estación MACAPAY_CL_02 presenta mayor abundancia (15.3 Ind/cm²) y riqueza (siete géneros) (**Tabla 3.3.3-181**), destacándose el género *Ulnaria* (4.7 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (30.72%) (**Tabla 3.3.3-181**) (**Figura 3.3.3-80**) , indicador de aguas con moderado flujo y buena oxigenación, seguido de *Sphaerocystis* (3.5 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia de (22.87%) y *Pinnularia* (2.3 Ind/cm²) con un porcentaje de abundancia (15.03%) (**Tabla 3.3.3-181**) (**Figura 3.3.3-80**). En contraste, MACAPAY_CL_01 muestra menor abundancia (9.6 Ind/cm²) y riqueza de cuatro géneros (**Tabla 3.3.3-181**), dominada por *Pinnularia* (4.8 Ind/cm²) (50%) y con presencia de *Surirella* (2.4 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (25%) (**Tabla 3.3.3-181**) (**Figura 3.3.3-80**), sugiriendo condiciones más variables. La distribución de géneros evidencia interacciones complejas como la presencia de *Ulnaria* y *Pinnularia* en ambos puntos confirma características lóticas básicas; la aparición exclusiva de *Sphaerocystis* y *Oedogonium* en MACAPAY_CL_02 indica posibles zonas de remanso con influencia lentica y la limitada presencia de *Cosmarium* (1.2 Ind/cm²) y *Cymatopleura* (1.2 Ind/cm²) sugiere escasos aportes terrestres.

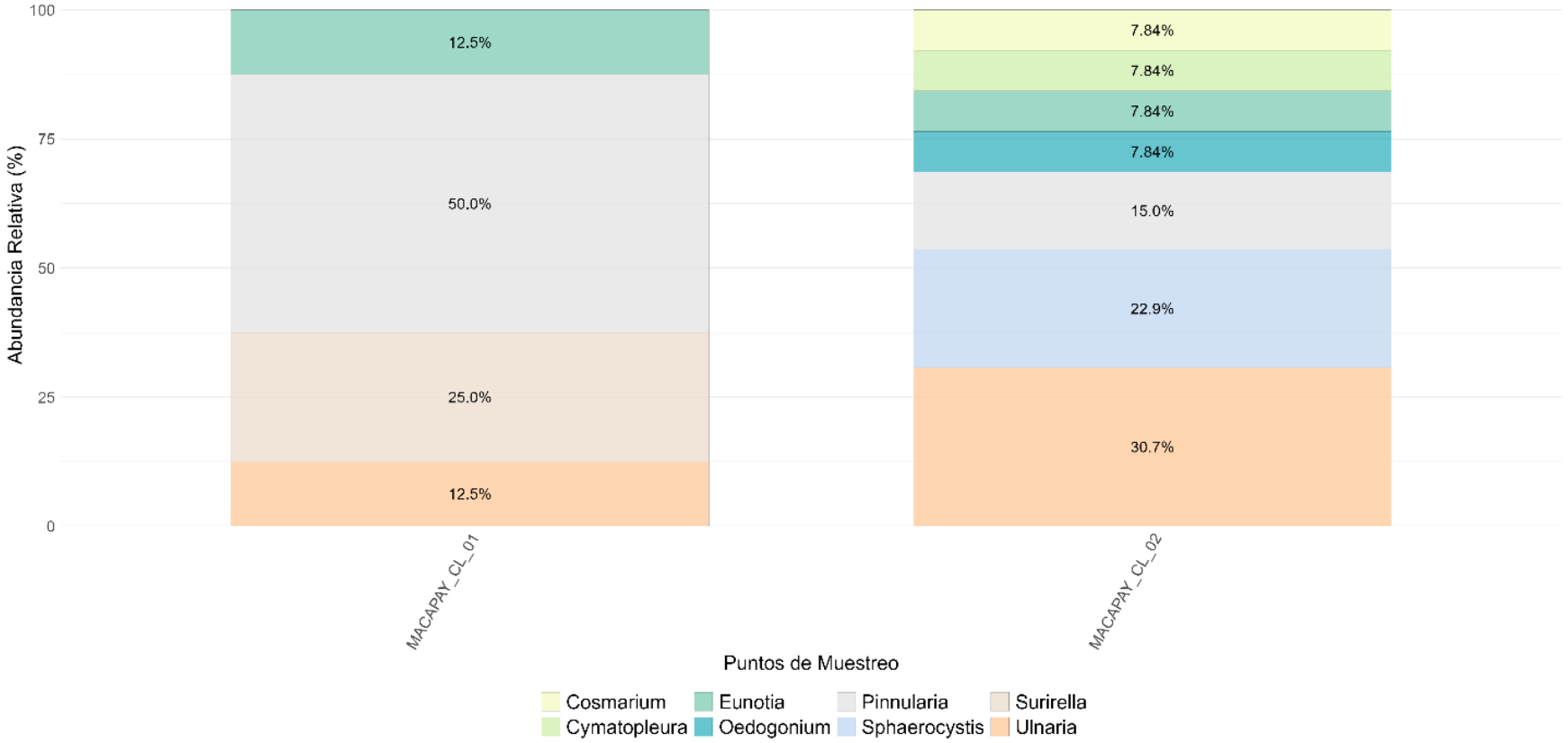


Figura 3.3.3-80 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad sugiere un sistema con calidad aceptable (presencia de diatomeas sensibles como *Pinnularia*), pero con evidente estrés hídrico dada la baja abundancia general y predominio de géneros tolerantes. La marcada diferencia entre estaciones, particularmente en la presencia/ausencia de clorófitas, refleja la heterogeneidad microambiental típica de sistemas de altillanura en época seca, donde factores como la profundidad residual, disponibilidad de sustratos y radiación solar generan nichos ecológicos diferenciados (Biggs B. F., 1996) (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

En conclusión, el ensamble perifítico de la Microcuenca Caño Macapay durante la época seca muestra características de un sistema lótico bajo presión, con comunidades poco abundantes pero ecológicamente diferenciadas entre estaciones. La relativa diversidad en MACAPAY_CL_02 (siete géneros) frente a la simplicidad de MACAPAY_CL_01 (cuatro géneros) sugiere que el caño mantiene cierta heterogeneidad ambiental que permite el desarrollo de comunidades variadas, aunque claramente limitadas por las condiciones secas. Estos patrones coinciden con lo reportado por (Round et al., 1990) en sistemas neotropicales, donde la época seca actúa como filtro ecológico para las comunidades perifíticas.

Tabla 3.3.3-181 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Macapay		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					MACAPAY_CL_02	MACAPAY_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		2,4	2,4
				Cymatopleura	1,2		1,2
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	2,3	4,8	7,1
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	1,2	1,2	2,4
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	4,7	1,2	5,9
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	1,2		1,2
		Volvocales	Sphaerocystidaceae	*Sphaerocystis*	3,5		3,5
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	1,2		1,2
Gran Total					**15,3**	**9,6**	**24,9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad en los dos puntos de muestreo de la Microcuenca Caño Macapay revela diferencias significativas en la estructura de la comunidad perifítica durante la época seca. La estación MACAPAY_CL_02 presenta mejores condiciones ecológicas, evidenciadas por su mayor abundancia (15.3 Ind/cm²), riqueza de especies de siete géneros y valores más altos de diversidad (Shannon=1.778), combinados con baja dominancia (Simpson=0.195) y buena equitatividad (Pielou=0.914) (**Tabla 3.3.3-182**). Estos parámetros sugieren una comunidad bien estructurada y equilibrada, característica de ambientes con condiciones estables y mínima perturbación. En contraste, MACAPAY_CL_01 muestra valores inferiores en todos los índices, menor abundancia (9.6 Ind/cm²), riqueza reducida a cuatro géneros y diversidad más baja (Shannon=1.213), aunque mantiene una aceptable equitatividad (Pielou=0.875) (**Tabla 3.3.3-182**). Esta diferencia entre estaciones probablemente responde a variaciones microambientales como disponibilidad de

sustratos, intensidad de flujo o aportes de nutrientes, comunes en sistemas de altillanura durante períodos secos (Biggs B. F., 1996).

La evaluación ecológica integrada de la Microcuenca sugiere una calificación entre buena y regular, con MACAPAY_CL_02 representando un sector mejor conservado y MACAPAY_CL_01 mostrando condiciones ligeramente más restrictivas. La presencia simultánea de puntos con diferente calidad ecológica es característica de sistemas lóticos en regiones de altillanura, donde factores geomorfológicos locales crean microambientes diferenciados (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). El mantenimiento de la diversidad en MACAPAY_CL_02, particularmente considerando la época seca, indica que el caño conserva cierta capacidad para sustentar comunidades perifíticas diversas, aunque la menor calidad en MACAPAY_CL_01 señala áreas potencialmente vulnerables.

Tabla 3.3.3-182 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Macapay época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MACAPAY_CL_01	9.6	4	1.213	0.344	0.875
MACAPAY_CL_02	15.3	7	1.778	0.195	0.914

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del caño Macapay, muestra una comunidad dominada por taxones tolerantes y de amplia distribución en cuerpos de agua con condiciones ambientales perturbadas. En total se registraron cuatro (4) morfoespecies, pertenecientes a un phyllum (Arthropoda), una clase (Insecta), dos (2) órdenes (Diptera), dos (2) familias (Chironomidae y Ceratopogonidae), y dos (2) géneros identificados (*Alluaudomyia*, *Stilobezzia*), con una abundancia total de 160 ind/m^2 (**Tabla 3.3.3-183**).

Tabla 3.3.3-183 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Macapay época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Enero	Morfoespecie	Caño Macapay		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m^2)
						MACAPAY_CL_02	MACAPAY_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	10	100	110
			Ceratopogonidae		*Ceratopogonidae* Mf.	10		10
				Alluaudomyia	*Alluaudomyia* sp.		30	30
				Stilobezzia	*Stilobezzia* sp.		10	10
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**20**	**140**	**160**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La dominancia del orden Diptera, particularmente de la familia Chironomidae con 110 individuos/m², sugiere condiciones de baja calidad del hábitat, ya que este grupo está ampliamente documentado como tolerante a bajos niveles de oxígeno, acumulación de materia

orgánica y sustratos blandos o sedimentados (Buss et al., 2004; Rosenberg & Resh, 1993). Adicionalmente, la presencia de morfoespecies de la familia Ceratopogonidae, incluyendo géneros como *Alluaudomyia* y *Stilobezzia*, refuerza la interpretación de ambientes acuáticos con alta productividad primaria y posiblemente con zonas de aguas estancadas o de baja corriente, condiciones favorecidas por la disminución del caudal en época seca.

Desde una perspectiva de bioindicación, la baja diversidad taxonómica y la alta abundancia relativa de chironómidos denotan un ensamble simplificado, característico de cuerpos de agua sometidos a estrés ambiental. Esto puede estar relacionado con procesos de conectividad reducida entre sistemas lóticos y lénticos durante la época seca, así como con impactos derivados de la fragmentación del hábitat, el aislamiento temporal de las corrientes y la presencia de materia orgánica en descomposición proveniente de sistemas terrestres adyacentes (Allan & Castillo, 2007).

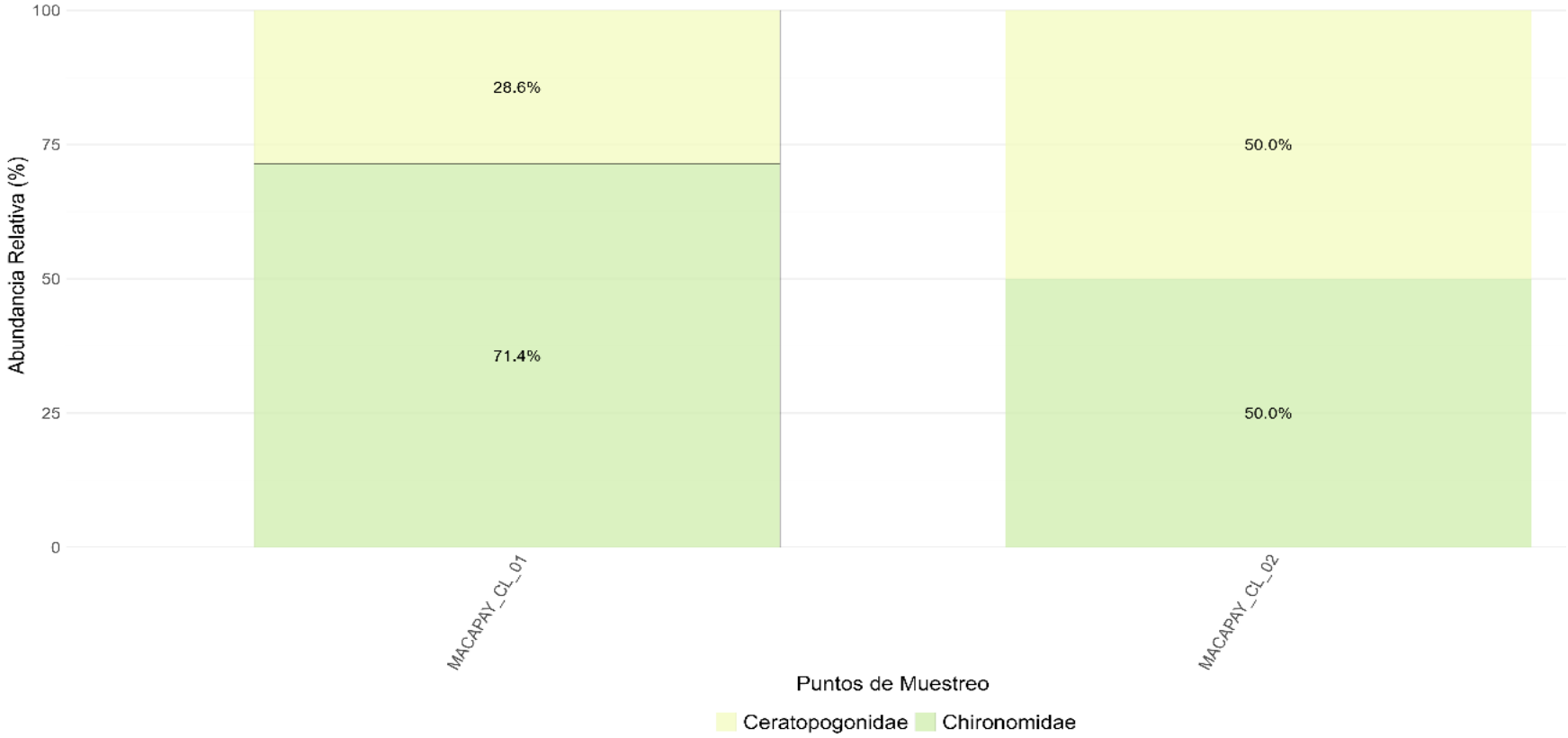


Figura 3.3.3-81 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Macapay época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres es clave en este contexto: en época seca, la reducción del caudal puede facilitar la intrusión de especies típicas de zonas semilénticas o marginales, como los ceratopogónidos, mientras que la acumulación de hojarasca o materia orgánica proveniente de los bordes riparios puede incrementar la carga de nutrientes en el sustrato, promoviendo la proliferación de dípteros detritívoros o micro depredadores. Esto se traduce en un ensamble funcionalmente empobrecido, con escasa representación de grupos bioindicadores de buena calidad como Ephemeroptera, Plecoptera u Odonata, cuya ausencia es común en hábitats degradados o con baja disponibilidad de oxígeno disuelto (Merritt & Cummins, 2008).

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del caño Macapay refleja un ecosistema acuático de baja complejidad ecológica y alto nivel de perturbación, posiblemente asociado a condiciones hidroclimáticas propias de la estación seca, la pérdida de conectividad longitudinal y lateral en el sistema hídrico, y a la acumulación de materia orgánica de origen terrestre. Estos resultados evidencian la necesidad de integrar estrategias de manejo ecosistémico que contemplen tanto la restauración de corredores acuáticos como el control de fuentes de carga orgánica externa.

En concordancia con lo anterior, el análisis del índice BMWP/Col califica a ambos puntos de monitoreo en la clase V, evidencia un estado ecológico correspondiente a una calidad "muy crítica", con valores de BMWP/Col de 7 en ambos casos (**Tabla 3.3.3-184**). Según la interpretación del índice, este puntaje corresponde a aguas moderadamente contaminadas, lo que indica la presencia de condiciones ambientales adversas para la mayoría de los macroinvertebrados sensibles y una dominancia de organismos tolerantes a la contaminación orgánica y a bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Roldán, 2003).

Tabla 3.3.3-184 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Macapay época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_01	V	Muy crítica	7	Aguas moderadamente contaminadas
	MACAPAY_CL_02	V	Muy crítica	7	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Este bajo valor puede explicarse por la escasa diversidad taxonómica registrada en los muestreos, con una comunidad dominada principalmente por representantes del orden Diptera, particularmente la familia Chironomidae, que es ampliamente reconocida por su resistencia a condiciones eutróficas o de degradación ambiental (Buss et al., 2004). La ausencia de grupos bioindicadores de buena calidad del agua como los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera o Trichoptera, también contribuye significativamente al bajo puntaje obtenido en el índice.

Es importante resaltar que el valor del índice BMWP/Col se ve influenciado no solo por la cantidad de taxa presentes, sino por su sensibilidad relativa a la contaminación. En este sentido, el puntaje de 7 indica que las familias registradas poseen un bajo valor bioindicador, lo cual puede reflejar impactos locales como acumulación de materia orgánica, pérdida de vegetación ribereña, baja oxigenación del agua y alteraciones hidrológicas propias de la época seca en sistemas de la altillanura (Roldan G. , 2003).

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la Microcuenca del caño Macapay, revela una diversidad estructural baja a moderada, con diferencias importantes en la composición y abundancia entre ambas estaciones.

En el punto MACAPAY_CL_01, se registró una abundancia total de 140 individuos/m² distribuidos en 3 morfoespecies, lo cual se reflejó en un índice de Shannon de 1.195, un valor moderado, mientras que el índice de Simpson fue de 0.347, lo que indica una dominancia marcada por una o dos morfoespecies, situación típica en ambientes impactados donde ciertas especies oportunistas proliferan. No obstante, el índice de equitatividad de Pielou (1.088), aunque levemente superior a 1 (debido probablemente al redondeo) (**Tabla 3.3.3-185**), sugiere una distribución relativamente homogénea entre las especies presentes, aunque el alto número de individuos de una sola familia como Chironomidae indica una dominancia ecológica clara.

Tabla 3.3.3-185 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Macapay época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_01	140	3	1.195	0.347	1.088
	MACAPAY_CL_02	20	2	0.693	0.5	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Por su parte, el punto MACAPAY_CL_02 mostró una abundancia total mucho menor (20 individuos/m²) y una riqueza de solo dos (2) morfoespecies, lo que se traduce en una diversidad aún más baja, el bajo número de morfoespecies y de individuos limita significativamente la complejidad del ensamble ecológico.

Ambos puntos reflejan una comunidad empobrecida, con baja diversidad taxonómica, dominancia de grupos tolerantes y pobre representación de grupos sensibles, lo cual puede deberse a la degradación del hábitat, reducción del caudal, acumulación de materia orgánica y desconexión funcional entre sistemas lóticos y hábitats asociados (lénticos y terrestres), factores exacerbados durante la época seca (Allan & Castillo, 2007; Buss et al., 2004). Estos resultados reafirman lo evidenciado en el índice BMWP/Col, donde ambos puntos fueron clasificados en calidad "muy crítica".

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la caracterización de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Macapay, no se registró la presencia de estas plantas en los puntos de muestreo MACAPAY_CL_01 y MACAPAY_CL_02. Es importante señalar que el muestreo se realizó durante la temporada seca, periodo en el cual los niveles de agua disminuyen considerablemente, lo que puede reducir la conectividad entre hábitats acuáticos y afectar la disponibilidad de microhábitats apropiados para el crecimiento de macrófitas, especialmente aquellas dependientes de condiciones estables de inundación (Junk et al., 1989; Esteves, 2011[4]). Adicionalmente, no se realizaron muestreos en cuerpos de agua lénticos, como lagunas o meandros abandonados, que generalmente ofrecen

condiciones más favorables para el desarrollo de comunidades de macrófitas debido a su baja dinámica de flujo, mayor retención de nutrientes y estabilidad en el sustrato (Sculthorpe, 1967) ya que no se encontraron. Esta combinación de factores (la naturaleza lótica de los puntos evaluados, la estacionalidad seca y la exclusión de ambientes lénticos) limita la representatividad florística del análisis y puede explicar la ausencia de macrófitas durante el muestreo.

- *Época lluvias*

  - ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

  - ✓ *Perifiton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en el sistema lótico estudiado, ubicado en la Microcuenca del caño Macapay en una altillanura y monitoreado durante la época de lluvias, está compuesto por una comunidad diversa de microorganismos pertenecientes a diferentes divisiones, como Heterokontophyta, Chlorophyta, Charophyta y Euglenophyta. Las estaciones de muestreo, denominadas MACAPAY_CL_01 y MACAPAY_CL_02, representan puntos clave dentro de la Microcuenca, donde se observaron diferencias significativas en la abundancia y riqueza de morfoespecies. En MACAPAY_CL_01, la abundancia total fue de 380.8 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-186**), dominada por géneros como *Rhopalodia* (61.5 ind/cm²)y un porcentaje de abundancia (16.15%) (**Tabla 3.3.3-186**) (**Figura 3.3.3-82**), *Nitzschia* (48.3 ind/cm² y 12.7%) y *Achnanthes* (54.2 ind/cm² y 14.23%) (**Tabla 3.3.3-186**) (**Figura 3.3.3-82**), mientras que en MACAPAY_CL_02, la abundancia fue de 113.4 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-186**), con predominio de *Closterium* (48.4 ind/cm² y 42.68%) y *Gyrosigma* (26 ind/cm² y 22.93%) (**Tabla 3.3.3-186**) (**Figura 3.3.3-82**). La riqueza de géneros fue notable, con representantes como *Pinnularia*, *Surirella* y *Trachelomonas*, que indican condiciones específicas del hábitat (Lowe & Pan, 1996).

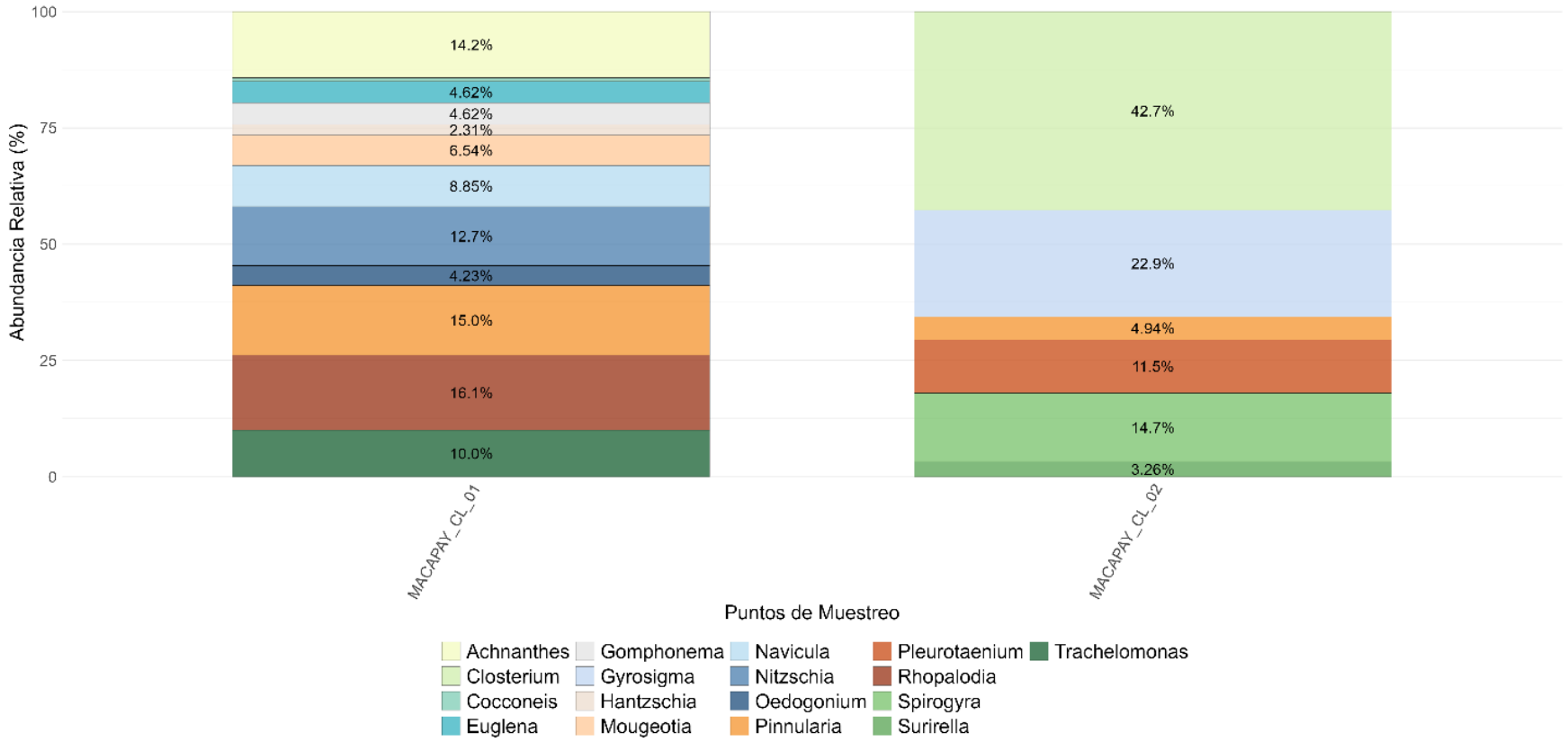


Figura 3.3.3-82 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La bioindicación revela que la presencia de diatomeas (*Bacillariophyceae*), como *Navicula* y *Gomphonema*, sugiere aguas bien oxigenadas y con moderada carga orgánica (Roldán, 2016), mientras que la abundancia de *Euglena* y *Trachelomonas* (*Euglenophyta*) podría indicar eutrofización incipiente (Bellinger & Sigee, 2015). La interacción entre géneros como *Spirogyra* y *Mougeotia* (*Charophyta*) refleja la influencia de sistemas lénticos adyacentes, evidenciando una conexión ecológica entre ambientes lóticos y lénticos (Reynolds, 2006). Además, la presencia de *Oedogonium* (*Chlorophyta*) sugiere aportes de materia orgánica desde sistemas terrestres, destacando la interacción entre los componentes acuáticos y terrestres de la Microcuenca (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007).

La calificación ecológica de la Microcuenca se considera moderadamente saludable, con cierta influencia antropogénica debido a la presencia de taxones tolerantes a la contaminación orgánica. No obstante, la diversidad y la predominancia de diatomeas indicadoras de buena calidad del agua sugieren que el sistema aún mantiene condiciones adecuadas para la vida acuática.

Tabla 3.3.3-186 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Macapay época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Macapay		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					MACAPAY_CL_02	MACAPAY_CL_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		17,6	17,6
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	3,7		3,7
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	5,6	57,1	62,7
			Naviculaceae	*Gyrosigma*	26		26
				Navicula		33,7	33,7
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*		61,5	61,5
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*		54,2	54,2
			Cocconeidaceae	*Cocconeis*		2,9	2,9
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia*		8,8	8,8
				Nitzschia		48,3	48,3
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*		16,1	16,1
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Pleurotaenium*	13		13
			Closteriaceae	*Closterium*	48,4		48,4
		Zygnematales	Zygnemataceae	*Mougeotia*		24,9	24,9
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	16,7		16,7
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*		38,1	38,1
				Euglena		17,6	17,6
Gran Total					**113,4**	**380,8**	**494,2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los resultados del análisis de diversidad en las estaciones MACAPAY_CL_01 y MACAPAY_CL_02 revelan patrones ecológicos contrastantes que permiten evaluar el estado de la Microcuenca. En MACAPAY_CL_01 se registró una abundancia considerable (380.8 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-187**) acompañada de una riqueza de 12 géneros (**Tabla 3.3.3-187**), valores que superan significativamente los observados en MACAPAY_CL_02 (113.4 ind/cm² y 6 géneros respectivamente) (**Tabla 3.3.3-187**). El índice de Shannon (2.371 vs 1.53) y la equitatividad de Pielou (0.954 vs 0.854) (**Tabla 3.3.3-187**)en MACAPAY_CL_01 indican una comunidad más diversa y equilibrada, donde los recursos se distribuyen uniformemente entre las especies

(Magurran A. E., 2004). Este patrón sugiere condiciones ambientales óptimas y estabilidad ecológica en este punto de muestreo. Por el contrario, los valores de MACAPAY_CL_02, particularmente el índice de Simpson 0.258 frente a 0.107 en MACAPAY_CL_01 (**Tabla 3.3.3-187**), reflejan una mayor dominancia de ciertos taxones, posiblemente indicando perturbaciones ambientales o condiciones menos favorables.

La marcada diferencia en los parámetros de diversidad entre ambos puntos sugiere una heterogeneidad espacial significativa dentro de la Microcuenca. La estación MACAPAY_CL_01, con sus altos valores de diversidad y equitatividad, representa un microhábitat bien conservado, probablemente con menor impacto antropogénico y condiciones físico-químicas estables. En contraste, MACAPAY_CL_02 muestra características típicas de ambientes sometidos a mayores presiones, donde la reducción en riqueza y diversidad podría asociarse a factores como variaciones en la calidad del agua o disponibilidad de recursos (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007).

En conclusión, ambos puntos de muestreo de la Microcuenca presentan una calificación ecológica moderadamente buena con áreas de excelente conservación. La presencia de sectores con alta diversidad (MACAPAY_CL_01) compensa parcialmente las zonas con menor calidad ecológica (MACAPAY_CL_02), resultando en un estado general intermedio.

Tabla 3.3.3-187 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) caño Macapay época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MACAPAY_CL_01	380.8	12	2.371	0.107	0.954
MACAPAY_CL_02	113.4	6	1.53	0.258	0.854

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el punto MACAPAY_CL_02, correspondiente a un sistema lótico de la Microcuenca del caño Macapay, ubicado en la altillanura colombiana y monitoreado durante la época de lluvias, evidenció una comunidad escasamente estructurada. En total, se identificaron dos (2) morfoespecies, pertenecientes a un phyllum (Arthropoda), una clase (Insecta), un orden (Diptera), dos (2) familias (Chironomidae y Simuliidae) y 1 género identificado (*Simulium*). La abundancia total registrada fue de 4 individuos/m², de los cuales 3.3 ind/m² correspondieron a *Chironomidae* Mf. y 1.1 ind/m² a *Simulium* sp., (**Tabla 3.3.3-188**).

Tabla 3.3.3-188 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos caño Macapay época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Macapay	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						MACAPAY_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	3,3	3,3
			Simuliidae	Simulium	*Simulium sp.*	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**4**	**4**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El bajo número de morfoespecies y la escasa abundancia observada indican un ensamble simplificado y poco diverso, lo cual puede estar influenciado por condiciones ambientales adversas como bajos niveles de oxígeno disuelto, altas cargas de sedimento fino, escasa cobertura vegetal ribereña o presiones antrópicas como ganadería extensiva o alteración del cauce. La familia Chironomidae, representada como morfoespecie no identificada a nivel de género, es ampliamente reconocida por su tolerancia a condiciones de estrés ambiental y contaminación orgánica (Roldán, 2003; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). Por su parte, *Simulium sp.*, perteneciente a Simuliidae, presenta una sensibilidad intermedia y su presencia puede estar asociada a corrientes bien oxigenadas, aunque también tolera ciertos grados de alteración, especialmente en etapas larvales.

Desde la perspectiva de bioindicación, la coocurrencia de Chironomidae y Simuliidae en un sistema lótico puede señalar un ambiente con características intermedias, posiblemente con algún grado de recuperación estructural del hábitat, aunque aún limitado en complejidad biótica. No obstante, la dominancia cuantitativa de formas tolerantes y la baja riqueza taxonómica impiden clasificar esta comunidad como ecológicamente equilibrada (Bonada et al., 2006).

En cuanto a la interacción con los sistemas lénticos y terrestres, es posible que procesos de sedimentación provenientes de escorrentía superficial o prácticas agrícolas en las cercanías hayan afectado negativamente la calidad del hábitat bentónico, reduciendo la heterogeneidad del sustrato y limitando la colonización por parte de grupos más sensibles como Ephemeroptera, Trichoptera u Odonata, usualmente esperados en condiciones óptimas (Ramírez & Pringle, 1998).

Finalmente, esta composición simplificada y empobrecida impide la aplicación robusta del índice BMWP/Col, ya que requiere una mayor representación de familias indicadoras para generar una evaluación confiable de la calidad del agua (Roldán, 2003). Tal como se evidencia en la **Tabla 3.3.3-189**, donde el punto de monitoreo se clasifico en la clase V con calidad Muy Crítica y una significancia de aguas fuertemente contaminadas.

Tabla 3.3.3-189 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) caño Macapay época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	Bmwp	Significado
CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_02	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para el punto ubicado en la Microcuenca del caño Macapay, revela una comunidad bentónica de macroinvertebrados con una abundancia total de 4.4 ind/m² y una riqueza de tan solo dos morfoespecies. El valor del índice de Shannon (H' = 0.562) indica una diversidad baja, lo cual es coherente con la escasa riqueza taxonómica (**Tabla 3.3.3-190**). Este índice refleja tanto el número de especies como su equitatividad relativa en la comunidad, por lo que valores cercanos a 0 indican dominancia marcada por una sola especie o una comunidad poco estructurada (Magurran, 2004).

El índice de Simpson (D = 0.625) sugiere que hay una probabilidad relativamente alta de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes, aunque esta interpretación está limitada por la baja riqueza (**Tabla 3.3.3-190**). En general, valores de Simpson cercanos a 1 indican mayor diversidad, sin embargo, con solo dos morfoespecies, este valor puede sobreestimar la equidad debido al efecto del bajo número de categorías.

El índice de equitatividad de Pielou (J' = 0.811), que mide la uniformidad en la distribución de los individuos entre las especies presentes, es relativamente alto (**Tabla 3.3.3-190**). Esto indica que las dos morfoespecies registradas presentan abundancias similares o distribuciones no dominantes, lo cual mejora la percepción de balance comunitario. No obstante, esta "equitatividad" se da en el contexto de una comunidad extremadamente simplificada, por lo que su valor debe interpretarse con precaución (Moreno, 2001).

Tabla 3.3.3-190 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos.

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_02	4.4	2	0.562	0.625	0.811

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conjunto, estos índices reflejan una comunidad ecológicamente empobrecida, probablemente afectada por condiciones ambientales limitantes o alteraciones antrópicas que restringen la colonización y establecimiento de macroinvertebrados más sensibles. Este tipo de estructura suele observarse en ecosistemas lóticos de la altillanura sometidos a presiones como el pastoreo extensivo, la erosión ribereña o cambios en el régimen hidrológico.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Con base en la información presentada sobre la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Macapay durante la temporada de lluvias, se observa una mayor riqueza

florística en el punto de muestreo MACAPAY_CL_02, donde se identificaron seis morfoespecies, en contraste con MACAPAY_CL_01, en el que solo se registró una. En total, se reconocieron siete morfoespecies para toda la Microcuenca, pertenecientes a la división Tracheophyta y clase Magnoliidae, distribuidas en seis órdenes y familias botánicas distintas, lo cual evidencia una composición estructural moderadamente diversa dentro del contexto de ambientes lóticos. El punto MACAPAY_CL_02 mostró una cobertura vegetal del 54%, con predominio de especies como *Panicum* sp. (Poaceae) e *Inga* sp. (Fabaceae), mientras que MACAPAY_CL_01 estuvo dominado exclusivamente por *Lasiacis* sp. (Poaceae), con un 70,67% de cobertura (**Tabla 3.3.3-191**).

La predominancia de especies de la familia Poaceae sugiere adaptaciones a hábitats de flujo constante y suelos temporalmente saturados, características típicas de los sistemas fluviales en llanura de inundación (Sculthorpe, 1967; Esteves, 2011[4]). Las diferencias notables en la cobertura y riqueza entre los dos puntos podrían estar asociadas a variaciones microambientales dentro del canal del caño, como el ancho del cauce, el grado de sombra, la velocidad de corriente y la estabilidad del sustrato, todos ellos influenciados por el pulso de inundación propio de los ecosistemas de sabana inundable (Junk et al., 1989[11]). Cabe resaltar que los muestreos no incluyeron cuerpos de agua lénticos (como lagunas permanentes o meandros aislados), los cuales suelen ofrecer mayor estabilidad hídrica y condiciones más favorables para el desarrollo y establecimiento de una comunidad de macrófitas más diversa y estructurada (Wetzel, 2001[15]) ya que no se encontraron en la Microcuenca. Por lo tanto, aunque el análisis refleja adecuadamente la respuesta vegetal ante la hidrodinámica de los ambientes lóticos en época de lluvias, podría subestimar la riqueza florística total de la Microcuenca al no considerar zonas lénticas con potencial alta biodiversidad vegetal.

Tabla 3.3.3-191 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Macapay, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Macapay			
				Punto De Muestreo	MACAPAY_CL_01		MACAPAY_CL_02	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Poaceae	*Panicum* sp.			15,67	29,02
				Lasiacis sp.	70,67	100		
		Fabales	Fabaceae	*Inga* sp.			13,33	24,69
		Malvales	Malvaceae	Malvaceae Mf.			4,67	8,65
		Caryophyllales	Polygonaceae	Polygonaceae Mf.			1	1,85
		Sapindales	Sapindaceae	*Melicoccus* sp.			9,33	17,28
		Rosales	Cannabaceae	*Celtis* sp.			10	18,52
Cobertura Total general					**70,67**	**100**	**54**	**100**
Morfoespecies por Punto					**1**		**6**	
Morfoespecies por Microcuenca					**7**			

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

De acuerdo con los índices de diversidad calculados para la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Macapay durante la temporada de lluvias, el punto MACAPAY_CL_02

presentó una abundancia total de 54 individuos distribuidos en seis morfoespecies, lo que permitió estimar un índice de Shannon-Wiener de 1.608, un índice de Simpson de 0.217 y un índice de equitatividad de Pielou de 0.897 (**Tabla 3.3.3-192**). Estos valores reflejan una comunidad con una diversidad moderada y una alta equidad en la distribución de abundancias entre las especies presentes, lo cual indica que ninguna de ellas domina completamente el ecosistema (Magurran, 2004; Moreno, 2001). La alta equitatividad sugiere un sistema relativamente estable y con baja presión ambiental localizada, condiciones comunes en ambientes lóticos de llanura de inundación durante la temporada de lluvias, cuando el aumento del caudal y la heterogeneidad estructural del hábitat promueven la coexistencia de múltiples especies vegetales (Junk et al., 1989; Esteves, 2011[4]). Por otro lado, en el punto MACAPAY_CL_01 no fue posible calcular estos índices debido a la presencia de una única morfoespecie (*Lasiacis* sp.), lo cual impide la estimación de diversidad y equidad según los criterios matemáticos de los índices utilizados. Este patrón de baja riqueza en MACAPAY_CL_01 podría estar relacionado con condiciones locales más restrictivas o perturbadas que limitan el establecimiento de otras macrófitas, destacando la importancia de considerar la variabilidad espacial dentro de un mismo sistema fluvial para una adecuada interpretación ecológica (Krebs, 1999[7]; Thomaz & Cunha, 2010[19]).

Tabla 3.3.3-192 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Macapay época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MACAPAY_CL_02	54	6	1.608	0.217	0.897

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

3.3.3.2.14 Microcuenca caño Menegua

La Microcuenca del caño Menegua, localizada en el municipio de Puerto López, se sitúa en una región fisiográfica conocida como la altillanura, caracterizada por amplias planicies onduladas, suelos ácidos de baja fertilidad y una marcada estacionalidad climática con periodos secos y lluviosos bien definidos (IGAC, 2020). En este contexto, se llevó a cabo un monitoreo de comunidades hidrobiológicas con el objetivo de evaluar la calidad ecológica del sistema acuático, utilizando tres puntos de muestreo estratégicos: dos cuerpos de agua lóticos (OCMY18, asociado a una ocupación de cauce, y MENEGUA_CL_02) y uno léntico (MENEGUA_CLE_02). La Microcuenca del caño Menegua forma parte del sistema hidrográfico del río Meta, con una red hídrica influenciada por la dinámica natural de la altillanura y por presiones derivadas del uso agropecuario del suelo.

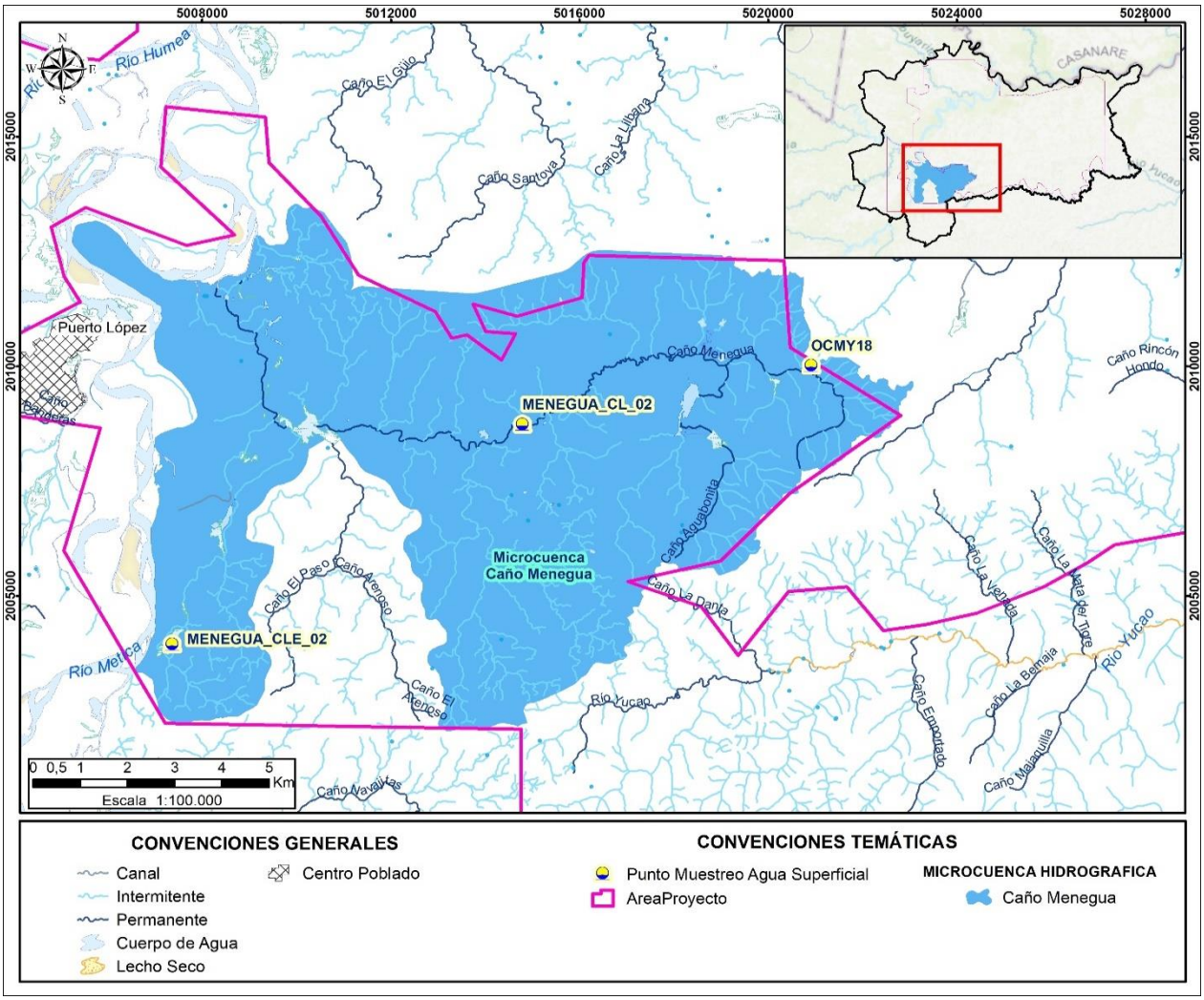


Figura 3.3.3-83 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Menegua

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Menegua, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*
  - ✓ *Fitoplancton*
    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del fitoplancton en el sistema léntico representado por el punto MENEGUA_CLE_02, ubicado en una altillanura durante la época seca, muestra una comunidad compuesta principalmente por tres géneros pertenecientes a dos divisiones distintas: *Pinnularia* y *Eunotia* (Heterokontophyta, Bacillariophyceae) y *Cosmarium* (Charophyta, Zygnematophyceae). La abundancia total en la Microcuenca es de 0.067 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-193**), con *Pinnularia* como el género dominante (0.042 Ind/mL) y con un porcentaje de abundancia de (62,7%), seguido de *Eunotia* (0.021 Ind/mL) con un porcentaje de abundancia (31,3%) y *Cosmarium* (0.004 Ind/mL) y con un porcentaje de abundancia del (5,97%) (**Tabla 3.3.3-193**) (**Figura 3.3.3-84**). Esta baja abundancia sugiere condiciones limitantes, posiblemente relacionadas con la época seca, que reduce la disponibilidad de nutrientes y agua en el sistema (Reynolds, 2006).

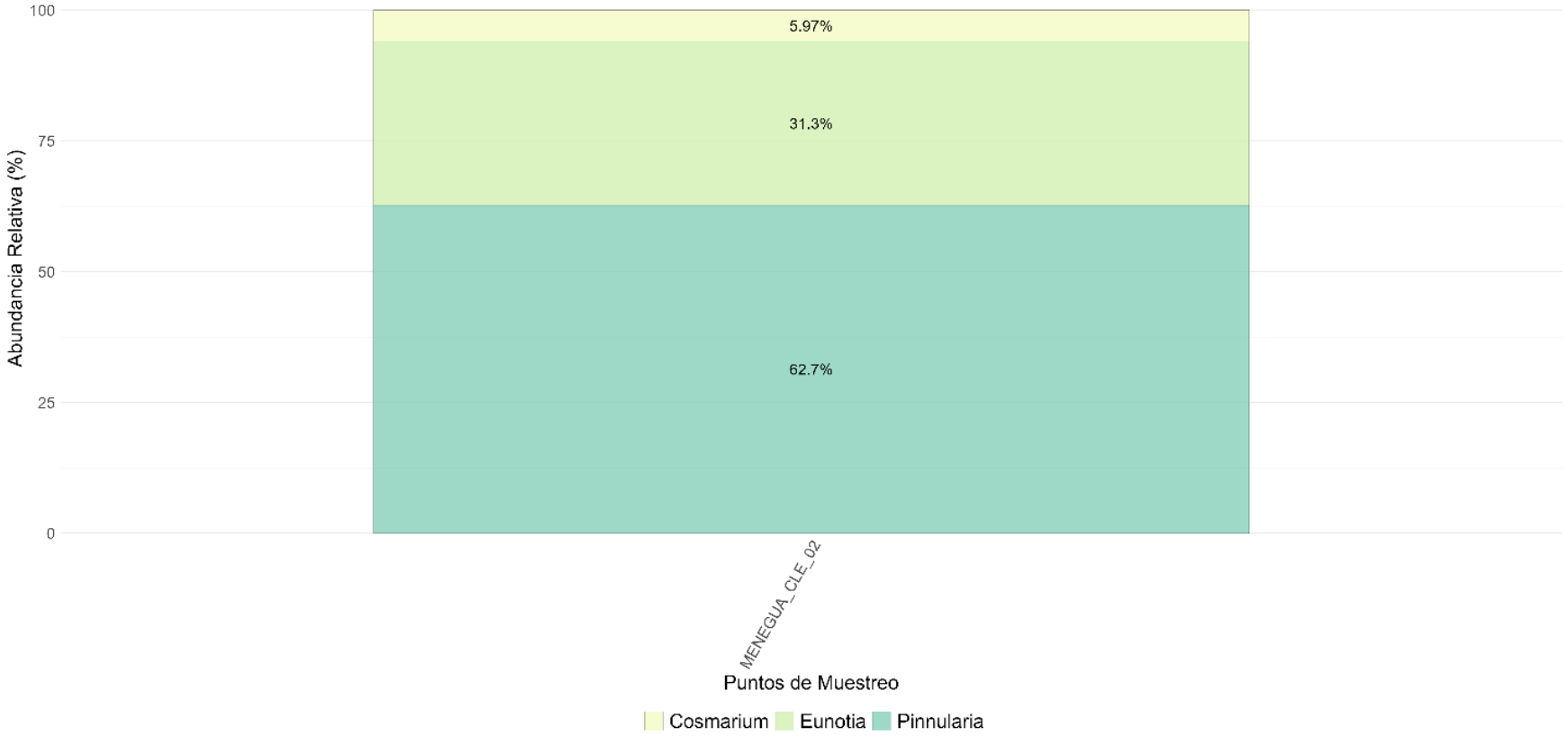


Figura 3.3.3-84 Porcentaje de Abundancia Relativa de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de *Pinnularia* y *Eunotia*, diatomeas típicas de ambientes ácidos y oligotróficos (Round et al., 1990), indica un sistema con bajos niveles de nutrientes y posiblemente influenciado por sustratos ricos en materia orgánica, característicos de altillanuras. Por otro lado, *Cosmarium*, un alga verde desmidial, sugiere ambientes con aguas blandas y baja conductividad, reforzando la idea de un sistema léntico con limitaciones nutricionales (Coesel & Meesters, 2007). La riqueza de especies es baja (tres morfoespecies), lo que concuerda con estudios que relacionan la disminución de la diversidad fitoplanctónica con condiciones de estrés hídrico y baja disponibilidad de recursos (Padisák et al., 2009)

Desde la perspectiva de la bioindicación, este ensamble refleja un sistema oligotrófico con fluctuaciones estacionales marcadas. La dominancia de *Pinnularia* sugiere una adaptación a condiciones de baja disponibilidad de nutrientes, mientras que la interacción con *Eunotia* y *Cosmarium* podría indicar una partición de nichos en un ambiente restrictivo (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La conexión con sistemas lóticos y terrestres parece limitada durante la época seca, lo que reduce el intercambio de especies y nutrientes (Wetzel R. G., 2001). Sin embargo, en épocas lluviosas, este sistema podría recibir aportes alóctonos que modifiquen temporalmente la estructura de la comunidad (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007).

En conclusión, el ensamble fitoplanctónico en MENEGUA_CLE_02 durante la época seca sugiere un sistema léntico oligotrófico, caracterizado por baja diversidad y abundancia, dominado por diatomeas adaptadas a condiciones ácidas y con escasa disponibilidad de nutrientes. La interacción con otros sistemas acuáticos y terrestres parece ser mínima en esta estación, aunque podría presentar variaciones estacionales. No obstante, es importante señalar que esta interpretación es limitada, ya que un único punto de monitoreo no permite una caracterización integral de la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-193 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Menegua	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MENEGUA_CLE_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,042	0,042
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,021	0,021
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,004	0,004
Gran Total					**0,067**	**0,067**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados para el punto MENEGUA_CLE_02 no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico en el sistema léntico MENEGUA_CLE_02, ubicado en una altillanura durante la época seca, presenta una comunidad extremadamente reducida, representada únicamente por el rotífero *Lecane* (Filum: Rotifera, Clase: Eurotatoria, Orden: Ploima, Familia: Lecanidae), con una abundancia total de 0.0016 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-194**). Esta baja densidad sugiere condiciones ambientales restrictivas, probablemente asociadas a la disminución del nivel de agua y la reducción de recursos tróficos durante la estación seca, fenómenos documentados en sistemas lénticos tropicales sometidos a estrés hídrico (Segers, 2008).

La presencia exclusiva de *Lecane*, un género común en ambientes lénticos con fluctuaciones estacionales marcadas, indica una adaptación a condiciones de baja productividad y posiblemente a altas temperaturas, características de las altillanuras en períodos secos (Jersabek & Leitner, 2013). Este taxón es conocido por su resistencia a condiciones variables, incluyendo bajas concentraciones de oxígeno y alta turbidez, lo que podría explicar su dominancia en este sistema (Wallace R. L. et al., 2016). La riqueza de especies es mínima (una sola morfoespecie), reflejando un ambiente con limitaciones ecológicas severas, donde factores como la disponibilidad de alimento (fitoplancton y detritos) y la depredación por invertebrados o peces podrían estar influyendo en la estructura de la comunidad (Dumont, 1994).

Desde la perspectiva de la bioindicación, la dominancia de *Lecane* sugiere un sistema con bajo aporte de nutrientes y posiblemente sometido a estrés ambiental, ya que este género es frecuente en ambientes oligotróficos o perturbados (Segers, 2008). La ausencia de otros grupos zooplanctónicos, como cladóceros o copépodos, podría deberse a la falta de conectividad con sistemas lóticos o terrestres durante la época seca, limitando el reclutamiento de especies más sensibles (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007). En períodos lluviosos, sin embargo, la llegada de agua y sedimentos desde áreas circundantes podría enriquecer la comunidad, introduciendo nuevos taxones y modificando las interacciones tróficas (Wetzel R. G., 2001).

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres parece ser mínima en esta estación, lo que acentúa el aislamiento del punto MENEGUA_CLE_02. No obstante, la cercanía a hábitats terrestres podría favorecer la llegada de materia orgánica al sistema, sustentando parcialmente la red trófica microbiana (Dodds & Whiles, 2020).

En conclusión, el ensamble zooplanctónico en MENEGUA_CLE_02 durante la época seca evidencia un sistema léntico altamente restrictivo, con una comunidad dominada por *Lecane* y una riqueza de especies casi nula. Estas condiciones reflejan los impactos de la estacionalidad y el aislamiento geográfico, típicos de altillanuras tropicales.

Tabla 3.3.3-194 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Menegua época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Menegua	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MENEGUA_CLE_02	
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Lecanidae	*Lecane*	0,0016	0,0016
Gran Total					**0,0016**	**0,0016**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados para el punto MENEGUA_CLE_02 no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico en los puntos OCMY18 y MENEGUA_CL_02, ubicados en una altillanura durante la época seca, muestra una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta) y algas verdes (Chlorophyta y Charophyta), con marcadas diferencias en composición y abundancia entre estaciones. En OCMY18 destacan *Encyonema* (8.1 Ind/cm²) y una representatividad (18.33%) y *Nitzschia* (11.6 Ind/cm²) y una representatividad (26.24%), diatomeas indicadoras de aguas moderadamente contaminadas con alta tolerancia a fluctuaciones de nutrientes (Potapova & Charles, 2007), mientras que en MENEGUA_CL_02 domina *Aulacoseira* (256.9 Ind/cm²) y un porcentaje de representatividad del (82.71%) (**Tabla 3.3.3-195**) (**Figura 3.3.3-85**), género asociado a condiciones turbias y alta sedimentación (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008). La riqueza total de la Microcuenca fue de 19 morfoespecies y una abundancia total de 354.8 Ind/cm² (**Tabla 3.3.3-195**), esto refleja

un sistema con alta heterogeneidad microambiental, donde la altillanura actúa como un filtro biogeoquímico que modifica las comunidades entre estaciones.

Desde la perspectiva de bioindicación, la coexistencia de *Gomphonema* (2.4 Ind/cm²) y *Surirella* (7 Ind/cm²) sugiere gradientes locales de pH y oxígeno disuelto, típicos de zonas con aportes orgánicos estacionales (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La elevada abundancia de *Aulacoseira* en MENEGUA_CL_02 (256.9 Ind/cm²) señala procesos de resuspensión de sedimentos, posiblemente vinculados a la reducción del caudal en época seca (Round et al., 1990). La presencia de *Trachelomonas* (10.5 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (23.76%) (**Figura 3.3.3-85**) un euglenoide mixotrófico, indica aportes de materia orgánica desde sistemas terrestres adyacentes, evidenciando la conexión entre la Microcuenca y su entorno (Whitton, 2012).

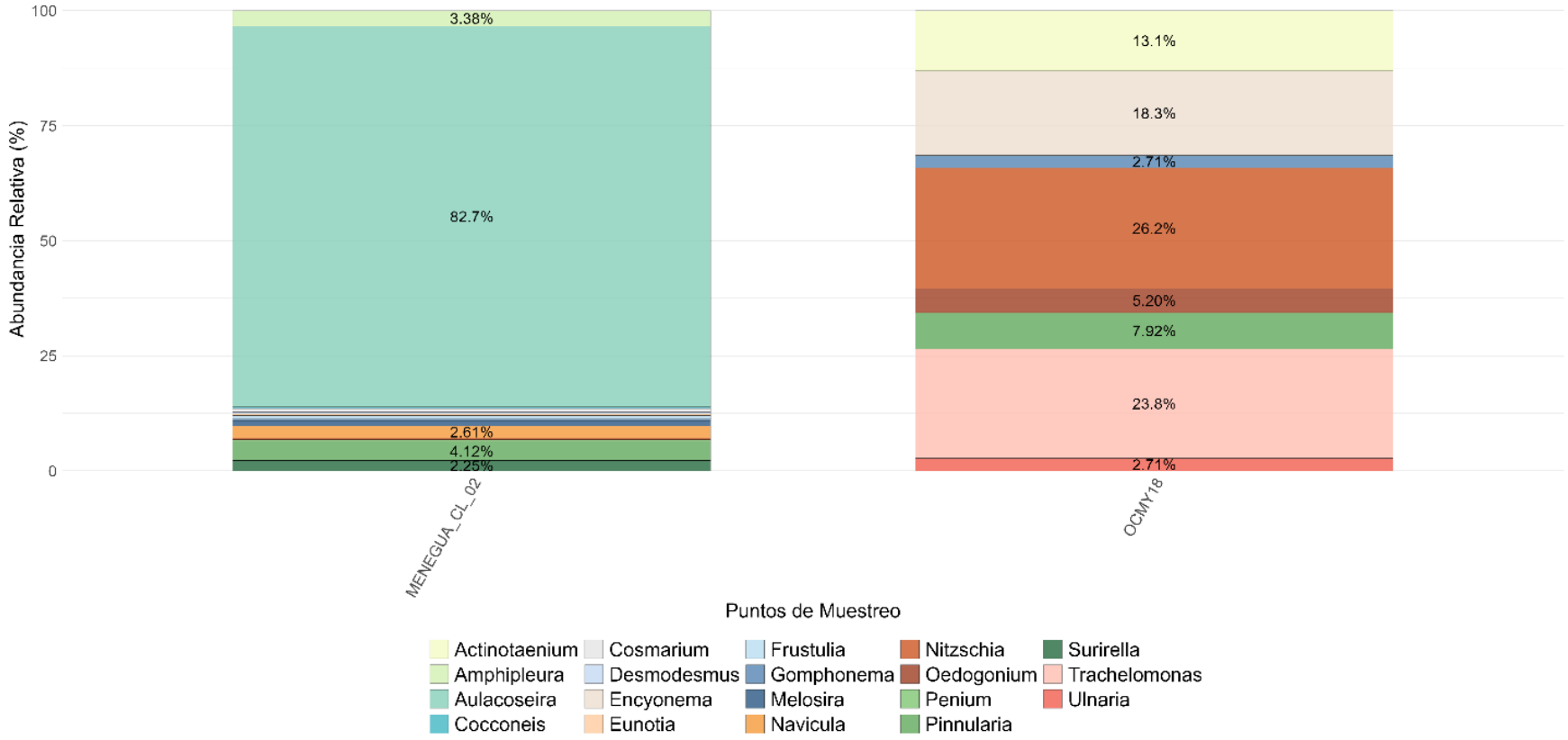


Figura 3.3.3-85 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la distribución desigual de géneros mientras OCMY18 presenta mayor diversidad de diatomeas móviles con *Nitzschia* y *Encyonema*, géneros adaptados a sustratos estables, MENEGUA_CL_02 concentra diatomeas coloniales como el género *Aulacoseira* y algas filamentosas como *Oedogonium*, reflejando influencia de aguas someras con alta radiación solar (Whitton, 2012). Esta divergencia sugiere que la altillanura funciona como un ecotono donde convergen procesos fluviales (transporte de sedimentos) y terrestres (aporte de detritos), creando microhábitats especializados.

En conclusión, el ensamble perifítico analizado evidencia un sistema lótico altamente dinámico, donde las condiciones de altillanura en época seca promueven la dominancia de diatomeas coloniales (*Aulacoseira*) y géneros tolerantes a estrés hídrico como *Nitzschia*. La marcada diferencia entre las abundancias totales de las dos estaciones (44.2 Ind/cm² y 310.6 Ind/cm²) resalta el papel de la geomorfología local en la estructuración de comunidades, actuando como un filtro ambiental que amplía las respuestas ecológicas durante períodos secos.

Tabla 3.3.3-195 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Menegua		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY18	MENEGUA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*	8,1		8,1
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	1,2	1,2	2,4
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		7	7
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	3,5	12,8	16,3
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		2,3	2,3
				Amphipleura		10,5	10,5
			Naviculaceae	*Navicula*		8,1	8,1
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*		1,2	1,2
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	1,2		1,2
		Achnanthales	Cocconeidaceae	*Cocconeis*		1,2	1,2
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	11,6	1,2	12,8
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*		3,5	3,5
		Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*		256,9	256,9
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	2,3		2,3
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*		1,2	1,2
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		2,3	2,3
				Actinotaenium	5,8		5,8
			Peniaceae	*Penium*		1,2	1,2
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	10,5		10,5
Gran Total					**44,2**	**310,6**	**354,8**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad para la comunidad del perifiton en la Microcuenca, basados en los puntos MENEGUA_CL_02 y OCMY18, muestran diferencias ecológicas notables. El punto MENEGUA_CL_02 presenta una alta abundancia (310.6 Ind/cm²) y riqueza de especies de 14

géneros, lo que sugiere una comunidad con una densidad significativa de organismos y un número relativamente alto de géneros. Sin embargo, el índice de Shannon (0.849) y el de equitatividad de Pielou (0.322) (**Tabla 3.3.3-196**) indican una comunidad dominada por pocas especies, posiblemente debido a condiciones ambientales favorables para especies oportunistas o a perturbaciones que reducen la uniformidad. Este escenario es común en sistemas con aportes de nutrientes externos o estrés selectivo. Por su parte, OCMY18 muestra una abundancia moderada (44.2 Ind/cm^2) y menor riqueza ocho géneros, pero con un índice de Shannon (1.818) que, elevado para su riqueza. Este valor, junto con el Simpson (0.187) y Pielou (0.874) (**Tabla 3.3.3-196**), apunta a una distribución más equilibrada de las especies, típica de ambientes estables con menor dominancia.

Las diferencias observadas entre los puntos de muestreo sugieren que la Microcuenca presenta una notable variabilidad espacial en las condiciones ecológicas. Mientras MENEGUA_CL_02 refleja un ambiente productivo, pero con dominancia de pocas especies, OCMY18 muestra características de un sistema más equilibrado. Esta heterogeneidad podría estar asociada a diferencias en la calidad del agua, la disponibilidad de recursos o la presencia de factores de estrés localizados.

Los resultados disponibles indican que la Microcuenca presenta sectores con dinámicas ecológicas diferenciadas, pero no permiten establecer una calificación ecológica integral. La presencia simultánea de comunidades dominadas por pocas especies y otras más equilibradas sugiere un sistema complejo.

Tabla 3.3.3-196 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Menegua época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MENEGUA_CL_02	310.6	14	0.849	0.682	0.322
OCMY18	44.2	8	1.818	0.187	0.874

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en sistemas lóticos monitoreados durante la época seca en la altillanura colombiana, específicamente en la Microcuenca del caño Menegua, revela una estructura de la comunidad sumamente simplificada, posiblemente influenciada por condiciones ambientales limitantes. En los puntos de monitoreo OCMY18 y MENEGUA_CL_02, se identificó un total de 3 individuos/m², pertenecientes a 2 morfoespecies, clasificadas dentro de dos (2) phylum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases (Clitellata e Insecta), dos (2) órdenes (Tubificida y Hemiptera), dos (2) familias (Naididae y Veliidae) y un género identificado (*Rhagovelia*) (**Tabla 3.3.3-197**).

Tabla 3.3.3-197 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Menegua		Abundancia Total Microcuenca (Ind/M²)
						OCMY18	MENEGUA_CL_02	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae* Mf.		1,1	1,1
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	*Rhagovelia* sp.	2,2		2,2
Total general						**2**	**1**	**3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En cuanto a la composición específica, en el punto MENEGUA_CL_02 se registró un individuo de *Naididae* Mf. (1,1 individuos/m²), una familia de oligoquetos comúnmente asociada a condiciones de baja calidad de agua y sedimentos con alta carga orgánica, actuando como bioindicadores de ambientes eutrofizados o contaminados (Domínguez & Fernández, 2009; Roldan G. , 1992). Por su parte, en el punto OCMY18, se identificó la presencia de *Rhagovelia* sp. (2,2 individuos/m²), una morfoespecie perteneciente a los hemípteros acuáticos (Veliidae), conocidos por habitar áreas de corriente superficial, lo que indica una cierta calidad de hábitat estructural y oxigenación superficial (Merritt & Cummins, 2008) (**Figura 3.3.3-86**). Aunque no se trata de un género estrictamente sensible, su presencia sugiere cierto nivel de heterogeneidad en la microestructura del sistema, posiblemente asociado a vegetación de ribera o entradas de agua desde sistemas lénticos conectados.

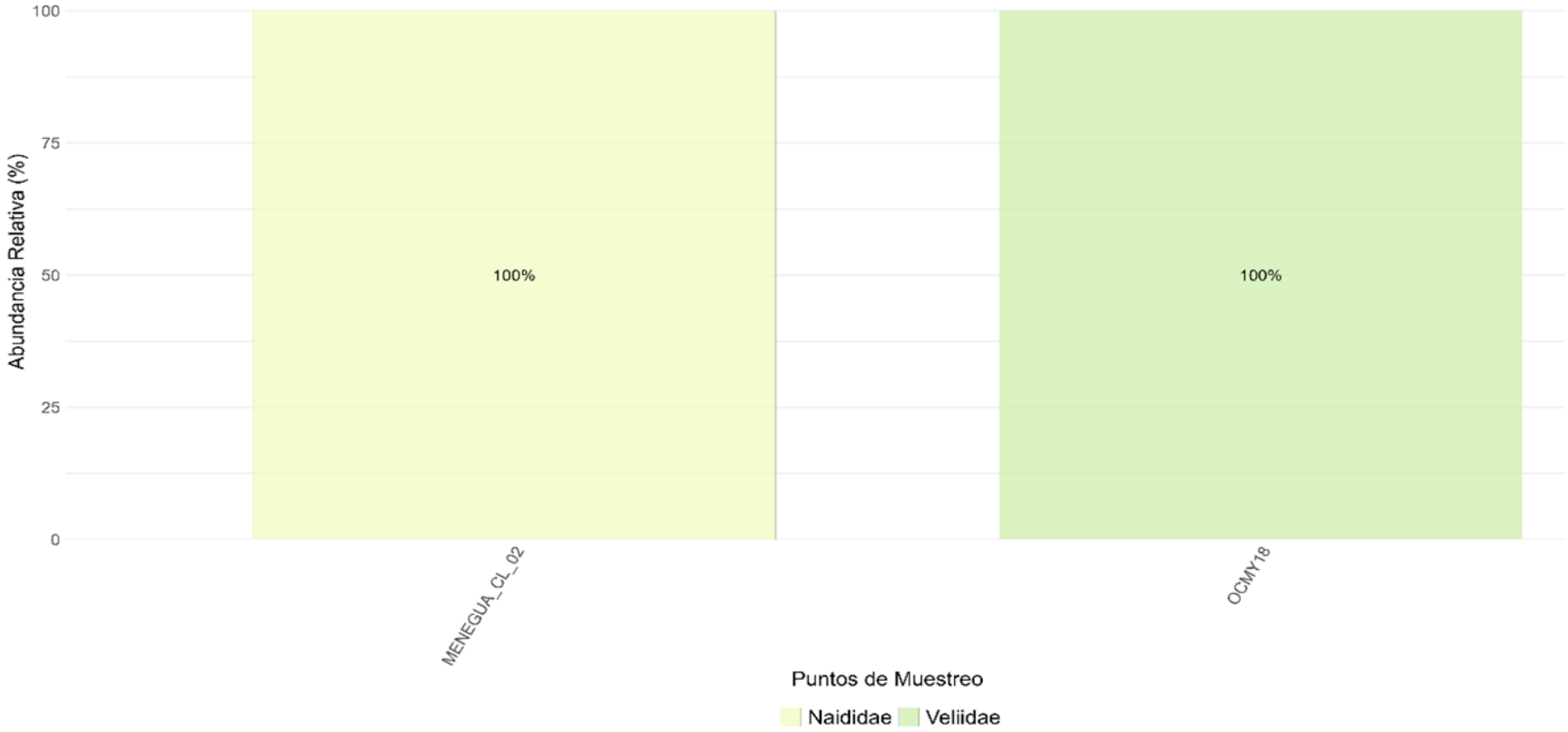


Figura 3.3.3-86 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Asimismo, es importante considerar la interacción entre los sistemas lóticos, lénticos y terrestres en el contexto de la altillanura. En este paisaje, los caños y arroyos dependen funcionalmente del mosaico de humedales temporales, sabanas y relictos boscosos, los cuales aportan materia orgánica, sombra, nutrientes y refugio para muchas especies acuáticas (Hamilton, 2002). La desconexión de estos sistemas durante la estación seca, exacerbada por presiones antrópicas como el drenaje, la ganadería extensiva o el cambio en el uso del suelo, puede reducir los flujos ecológicos entre estos compartimentos y limitar la recolonización por parte de especies más sensibles, resultando en comunidades pobres como la observada.

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos registrado en la Microcuenca del caño Menegua refleja un estado de simplificación ecológica, con dominancia de organismos tolerantes o de afinidad generalista, baja diversidad y funciones ecosistémicas restringidas. La presencia de *Naididae* Mf. y *Rhagovelia* sp*.,* permite inferir condiciones de estrés moderado a alto, posiblemente mitigadas de forma parcial por estructuras de microhábitat que ofrecen refugios puntuales.

En relación con el análisis del índice BMWP/Col, este no fue posible realizarlo para estos puntos debido a que las familias encontradas no se encuentran valoradas en la adaptación que se usa para este. Igualmente, la baja presencia de familias no permite concluir ni afirmar la calidad de agua de estos sistemas, teniendo un resultado sesgado para la significancia y calificación de este indicador.

- Diversidad Alfa

Debido a la baja riqueza específica registrada en la Microcuenca del caño Menegua durante el periodo de monitoreo en época seca, no es posible realizar un análisis riguroso mediante índices de diversidad alfa como Shannon, Simpson o Pielou, ya que estos requieren la presencia de al menos dos morfoespecies para poder reflejar adecuadamente la estructura ecológica de una comunidad. En este caso, con solo dos morfoespecies identificadas (*Naididae* Mf. y *Rhagovelia* sp*.*), cada una presente en un único punto de muestreo, la interpretación de los índices resultaría artificial o estadísticamente irrelevante. La diversidad, entendida como una medida combinada de riqueza (número de especies) y equitatividad (distribución de abundancia entre ellas), no puede ser calculada de forma significativa cuando no existe una comunidad mínimamente estructurada. De hecho, índices como Shannon se anulan automáticamente si existe un solo taxón en la muestra, y en casos con muy baja riqueza tienden a subestimar las diferencias funcionales reales del ecosistema (Magurran A. E., 2004).Por lo tanto, bajo estas condiciones, se justifica prescindir de dichos cálculos e interpretar el estado ecológico del sistema con base en métricas más apropiadas para ensambles simplificados, como la riqueza bruta, la abundancia relativa y la composición taxonómica. Esta limitación también refleja posibles condiciones ambientales estresantes o procesos de simplificación ecológica que ameritan una interpretación cuidadosa del contexto local.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y ensamble de la comunidad

Durante el monitoreo realizado en época seca, específicamente en la estación MENEGUA_CLE_02 correspondiente a la Microcuenca del caño Menegua, se registró un ensamble compuesto por un total de cinco morfoespecies, distribuidas en dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases (Clitellata e Insecta), cuatro (4) órdenes (Tubificida, Lumbriculida, Diptera y Coleóptera), cinco (5) familias y cuatro (4) géneros. La abundancia total fue de 8 individuos/m², siendo las morfoespecies *Naididae* Mf. (1,1 ind/m²), *Lumbriculidae* Mf. (2,2 ind/m²), *Alluaudomyia* sp. (2,2 ind/m²), *Stilobezzia* sp. (1,1 ind/m²) y *Enochrus* sp. (1,1 ind/m²) las únicas presentes (**Tabla 3.3.3-198**).

Tabla 3.3.3-198 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Menegua época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Menegua	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						MENEGUA_CLE_02	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae* Mf.	1,1	1,1
		Lumbriculida	Lumbriculidae		*Lumbriculidae* Mf.	2,2	2,2
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia* sp.	2,2	2,2
				Stilobezzia	*Stilobezzia* sp.	1,1	1,1
		Coleóptera	Hydrophilidae	Enochrus	*Enochrus* sp.	1,1	1,1
Total general						**8**	**8**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de este ensamble sugiere la existencia de una comunidad poco estructurada, con baja riqueza y dominancia compartida entre grupos de macroinvertebrados indicadores de ambientes lenticos con condiciones físico-químicas probablemente empobrecidas. Por ejemplo, las familias Naididae y Lumbriculidae son comúnmente asociadas a cuerpos de agua con altos niveles de materia orgánica en descomposición y baja concentración de oxígeno disuelto, por lo que su presencia en estos sistemas puede indicar condiciones de moderada a alta carga orgánica (Roldan G. , 1992) (**Figura 3.3.3-87**). En particular, los oligoquetos bentónicos como *Naididae* tienden a proliferar en hábitats eutrofizados o alterados por deposición de sedimentos finos, actuando como organismos detritívoros clave en la remoción de materia particulada (Wetzel R. G., 2001).

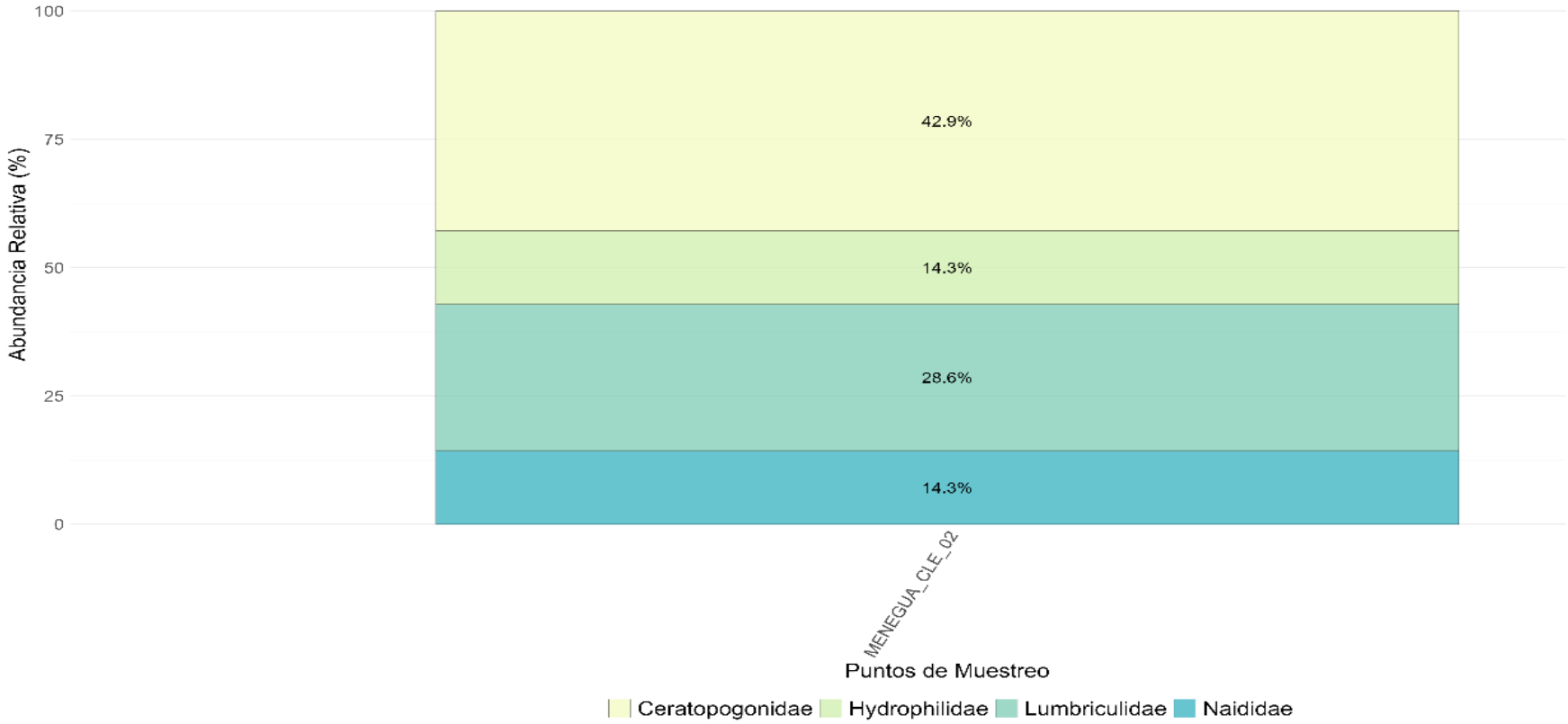


Figura 3.3.3-87 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Menegua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Por otro lado, las morfoespecies del orden Diptera como *Alluaudomyia* sp. y *Stilobezzia* sp. (familia Ceratopogonidae) son reconocidas por su capacidad de tolerancia a condiciones variables y por ocupar nichos funcionales específicos, como predadores o hematófagos, dependiendo de la etapa del ciclo de vida. Estas pueden aprovechar microhábitats marginales o temporalmente estables en sistemas lenticos, donde se conjugan aportes de materia orgánica provenientes de sistemas terrestres adyacentes (Merritt & Cummins, 2008). En este sentido, su presencia puede también interpretarse como parte de un ensamblaje que responde a pulsos de conectividad entre zonas terrestres y acuáticas, especialmente en época seca, cuando disminuye el espejo de agua y se forman pequeños depósitos donde se acumula materia vegetal y detritos.

El registro de *Enochrus* sp. (Hydrophilidae), un coleóptero acuático con adaptaciones tanto para hábitats lóticos como lénticos resalta la posible existencia de zonas de transición dentro del sistema fluvial, en las que se superponen dinámicas propias de cuerpos de agua de corriente con aquellas de sistemas más estancados. Esta observación evidencia la importancia de considerar la interacción entre componentes lénticos y lóticos, especialmente en regiones de altillanura donde la geomorfología del paisaje facilita estos gradientes hidrológicos. Además, el flujo de energía y materia entre sistemas terrestres y acuáticos (input de hojarasca, dispersión de insectos adultos, escurrimiento superficial) influye directamente sobre la composición y función de los macroinvertebrados asociados a macrófitas, que en muchos casos actúan como puente trófico entre niveles funcionales del ecosistema (Wallace J. B., 1996).

En conjunto, la estructura ecológica del ensamble en la Microcuenca del caño Menegua, bajo condiciones de estiaje, refleja un sistema con limitada heterogeneidad ecológica y dominado por grupos tolerantes o funcionalmente oportunistas, tal como se ve reflejado en el resultado del índice BMWP/Col, el cual lo califica con calidad de agua Muy Crítica, teniendo un significado de aguas fuertemente contaminadas (**Tabla 3.3.3-199**). Aunque la diversidad registrada es baja, la presencia de ciertos géneros con valor bioindicador permite inferir que el hábitat mantiene una funcionalidad básica para sustentar procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes. Sin embargo, la ausencia de organismos más sensibles o especialistas podría estar indicando presiones antrópicas o condiciones físico-químicas desfavorables en esta época del año.

Tabla 3.3.3-199 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Menegua época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO MENEGUA	MENEGUA_CLE_02	V	Muy crítica	8	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para el punto MENEGUA_CLE_02 en la Microcuenca del caño Menegua, revela una estructura de la comunidad con riqueza y equidad moderadas, en un contexto de baja abundancia general (7,7 individuos/m²). En este punto se registraron cinco morfoespecies correspondientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), lo que sugiere una comunidad con cierto grado de heterogeneidad ecológica, a pesar de tratarse de un entorno estacionalmente limitado.

El valor de Shannon (H' = 1,55) indica una diversidad moderada, lo cual puede considerarse relevante dadas las condiciones típicas de los sistemas lenticos de la altillanura durante la estación seca, caracterizados por perdida del espejo de agua, limitada disponibilidad de microhábitats y mayor concentración de solutos. A su vez, el índice de Simpson (D = 0,224) señala una dominancia baja de alguna morfoespecie sobre las demás, lo que coincide con el valor relativamente alto del índice de equidad de Pielou (J' = 0,963), que refleja una distribución casi uniforme de los individuos entre las especies presentes (**Tabla 3.3.3-200**). Esta equidad es clave para la estabilidad del ensamble, pues indica que no existe una morfoespecie claramente dominante, situación poco común en sistemas alterados o con presión antrópica elevada (Magurran A. E., 2004).

Tabla 3.3.3-200 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Menegua época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO MENEGUA	MENEGUA_CLE_02	7.7	5	1.55	0.224	0.963

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista funcional y bioindicador, la presencia de representantes de las familias Naididae, Lumbriculidae, Ceratopogonidae, Hydrophilidae y Veliidae señala una comunidad dominada por morfoespecies tolerantes a condiciones ambientales fluctuantes, algunas de las cuales están asociadas a hábitats con materia orgánica en descomposición o poca oxigenación (Roldan G. , 1996; Wetzel R. G., 2001). No obstante, la diversidad observada podría estar reflejando la existencia de microambientes diferenciados, donde las características del sustrato, la cobertura vegetal y la entrada de materia orgánica desde sistemas terrestres circundantes permiten sostener una comunidad funcionalmente diversa (Merritt & Cummins, 2008).

En síntesis, los índices de diversidad aplicados muestran que, aunque la comunidad presenta baja abundancia, existe una distribución equitativa entre sus miembros y una diversidad funcional mínima suficiente para sostener procesos ecológicos esenciales en el ecosistema lótico. Este resultado resalta la importancia de mantener la conectividad entre hábitats lénticos, lóticos y terrestres en los paisajes de altillanura, y sugiere que incluso en condiciones hidrológicas limitadas, la biodiversidad de macroinvertebrados puede mantener cierta resiliencia ecológica si se conservan las características físicas y biológicas clave del sistema.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

En el marco del monitoreo de comunidades hidrobiológicas en la Microcuenca del caño Menegua, ubicada en la altillanura del municipio de Puerto López, se evaluó la presencia y cobertura de macrófitas acuáticas en tres puntos de muestreo representativos de diferentes condiciones hidrológicas: MENEGUA_CLE_02 (ambiente léntico), OCMY18 y MENEGUA_CL_02 (ambientes lóticos). Los resultados muestran que la única cobertura vegetal registrada se concentró exclusivamente en el punto léntico (MENEGUA_CLE_02), donde se identificaron tres morfoespecies pertenecientes a las familias Alismataceae, Araceae y Onagraceae. Las especies

Limnocharis flava, *Montrichardia* sp. y *Ludwigia peruviana* presentaron coberturas del 2%, 18,33% y 7,33%, respectivamente, lo que se tradujo en una cobertura total del 27,66% en este punto. La mayor abundancia relativa correspondió a *Montrichardia sp.* con un 66,27%, seguida de *Ludwigia peruviana* (26,50%) y *Limnocharis flava* (7,23%). En contraste, no se registró presencia de macrófitas en los puntos lóticos (OCMY18 y MENEGUA_CL_02), lo cual podría atribuirse a las condiciones de flujo y turbulencia que limitan el establecimiento de vegetación acuática en estos tramos del caño (Roldán, 2003[49]; Wetzel, 2001[15]). Este patrón refleja la influencia del régimen hidrodinámico sobre la distribución de las macrófitas y destaca la importancia de los ambientes lénticos como refugio y zona de alta productividad biológica en sistemas de altillanura (Esteves, 2011[4]) (**Tabla 3.3.3-201**).

Tabla 3.3.3-201 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Menegua, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Menegua			
				Punto De Muestreo	MENEGUA_CLE_02		OCMY18	MENEGUA_CL_02
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Alismataceae	*Limnocharis flava*	2	7,23		
			Araceae	*Montrichardia* sp.	18,33	66,27		
		Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia peruviana*	7,33	26,50		
Cobertura Total general					**27,66**	**100**	**0**	**0**
Morfoespecies por Punto					**3**		**0**	**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**3**			

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada seca, el punto MENEGUA_CLE_02, correspondiente a un cuerpo léntico en la Microcuenca del caño Menegua, registró una abundancia promedio de 27,66 individuos, con una riqueza de especies igual a 3, lo cual sugiere una comunidad relativamente simple pero funcional. El índice de Shannon (H' = 0,83) indica una diversidad baja, lo cual es común en ecosistemas acuáticos tropicales sujetos a estrés hídrico estacional, donde la disponibilidad de agua se reduce y algunas especies dominantes desplazan a otras menos tolerantes (Magurran, 2004). De manera complementaria, el índice de Simpson (D = 0,5) muestra una equidad moderada en la dominancia, es decir, aunque hay pocas especies, ninguna domina de forma absoluta la comunidad, lo que indica cierta estabilidad ecológica (**Tabla 3.3.3-202**).

Por su parte, el índice de equidad de Pielou (J' = 0,755) sugiere una distribución relativamente homogénea de los individuos entre las especies presentes (**Tabla 3.3.3-202**). Esta equidad puede atribuirse a condiciones más homogéneas del hábitat durante la estación seca, donde la reducción del espejo de agua limita el espacio disponible y favorece la coexistencia en densidades similares. Sin embargo, la baja riqueza general sugiere que, aunque las especies presentes mantienen proporciones similares en número, el sistema enfrenta una pérdida relativa de

[49] Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia.

diversidad específica, posiblemente debido a la disminución de microhábitats o la competencia por recursos limitados (Odum & Barrett, 2005[21]).
Estos valores son consistentes con lo reportado en otros humedales lénticos de la Orinoquía durante épocas secas, donde la diversidad alfa tiende a disminuir por la contracción del sistema acuático, aunque algunas especies adaptadas a condiciones estacionales logran mantener un equilibrio funcional en la comunidad (Mitsch & Gosselink, 201529). En conjunto, los índices reflejan una comunidad simplificada pero estructuralmente balanceada, lo cual es representativo de cuerpos de agua permanentes sometidos a estacionalidad climática en regiones tropicales como la altillanura colombiana.

Tabla 3.3.3-202 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Menegua época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MENEGUA_CLE_02	27.66	3	0.83	0.5	0.755

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Época lluvias*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico en la estación *MENEGUA_CLE_02* de la Microcuenca Caño Menegua presenta una comunidad compuesta exclusivamente por diatomeas (División Heterokontophyta, Clase Bacillariophyceae), con seis géneros identificados: *Nitzschia* (0.034 Ind/mL), *Gomphonema* (0.036 Ind/mL), *Eunotia* (0.021 Ind/mL), *Amphipleura* (0.008 Ind/mL), *Navicula* (0.013 Ind/mL) y *Rhopalodia* (0.008 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-203**), sumando una abundancia total de 0.12 Ind/mL. La estructura comunitaria muestra predominio de *Gomphonema* (30% de abundancia relativa) y *Nitzschia* (28.3%), seguidos por *Eunotia* (17.5%) (**Tabla 3.3.3-203**) (**Figura 3.3.3-88**), configuración típica de sistemas lénticos tropicales con moderada productividad y condiciones estables durante la época lluviosa (Reynolds, 2006). La ausencia de otros grupos fitoplanctónicos (como cianobacterias o clorofitas) sugiere condiciones ambientales particulares, posiblemente relacionadas con la química del agua o características específicas del hábitat.

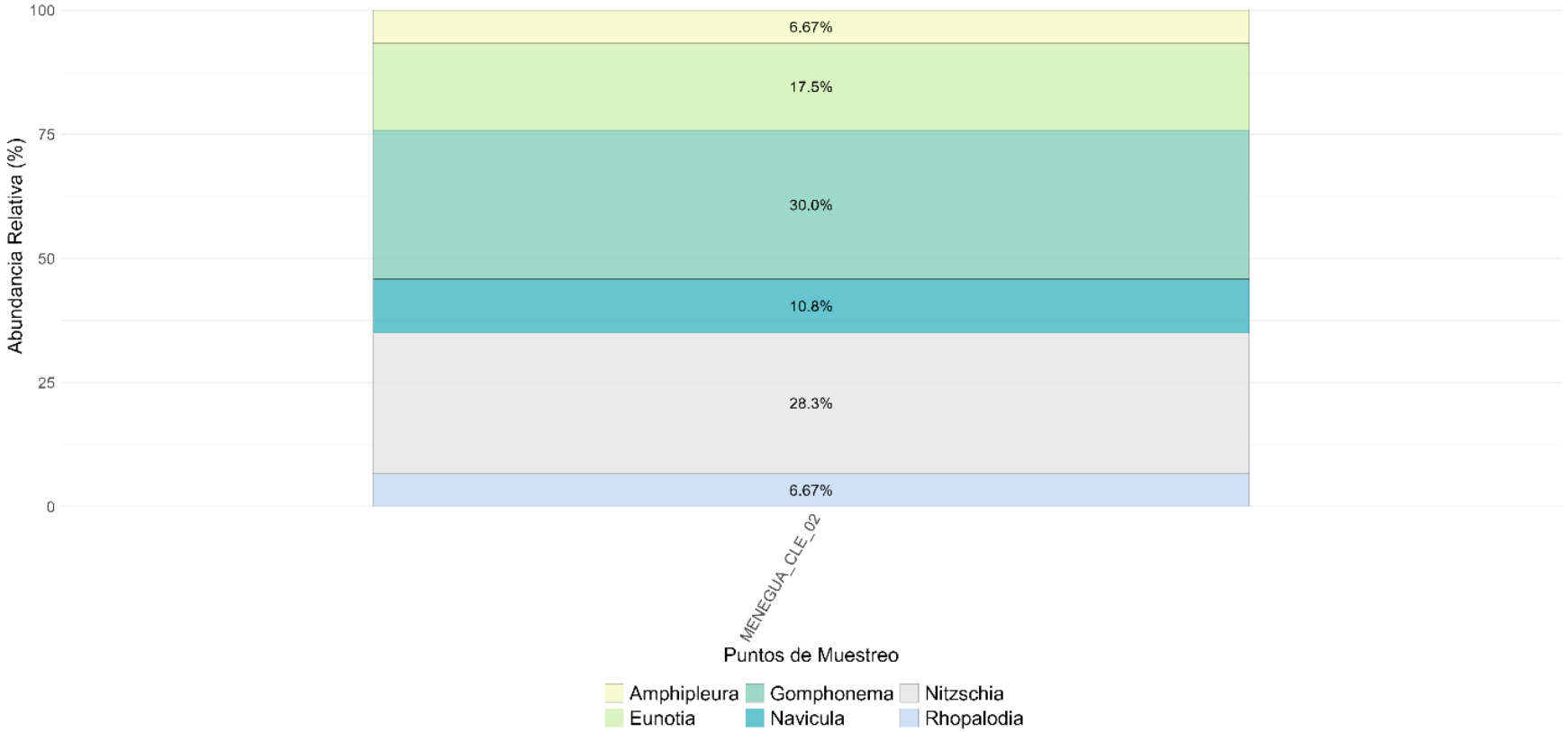


Figura 3.3.3-88 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la composición taxonómica revela información valiosa sobre las condiciones ecológicas del sistema. La presencia de *Eunotia* (diatomea acidófila) y *Amphipleura* (indicadora de aguas oligotróficas) sugiere pH ligeramente ácido y baja concentración de nutrientes inorgánicos, característicos de humedales en altillanura con influencia de suelos lateríticos (Van Dam et al., 1994). La coexistencia de *Nitzschia* y *Gomphonema*, géneros frecuentes en aguas con moderado contenido orgánico, indica zonas de transición entre condiciones oligotróficas y mesotróficas, posiblemente asociadas a aportes limitados de materia orgánica desde la vegetación riparia durante las lluvias (Round et al., 1990). La baja abundancia total (0.12 Ind/mL) refuerza la interpretación de un sistema con limitada productividad primaria, aunque bien estructurado desde el punto de vista comunitario.

La interacción con sistemas terrestres se manifiesta principalmente a través de la presencia de *Eunotia*, frecuentemente asociada a hojarasca en descomposición, mientras que la conexión con sistemas lóticos parece limitada, evidenciada por la ausencia de diatomeas típicamente reófilas. La homogeneidad del ensamble (solo diatomeas) sugiere que el sistema funciona como una unidad ecológica relativamente aislada durante la época lluviosa, con escasa influencia de comunidades fitoplanctónicas externas. Esta configuración podría estar relacionada con las características geomorfológicas de la altillanura, donde los sistemas lénticos tienden a ser poco profundos y con limitado intercambio hídrico durante los períodos de máxima precipitación.

En conclusión, la Microcuenca de Caño Menegua en la estación MENEGUA_CLE_02 presenta una calificación ecológica buena, sustentada por una comunidad fitoplanctónica diversa (6 géneros) y equilibrada (sin dominancia extrema), la presencia de bioindicadores sensibles (*Eunotia*, *Amphipleura*) que reflejan condiciones naturales características de la altillanura, y una estructura comunitaria coherente con sistemas lénticos poco perturbados. La baja abundancia total podría indicar limitaciones naturales en la disponibilidad de nutrientes más que problemas de contaminación o perturbación. La ausencia de cianobacterias potencialmente tóxicas es un aspecto particularmente positivo desde la perspectiva de calidad de agua. Sin embargo, al tener un solo punto de muestreo eso no puede calificar el estado ecológico de la Microcuenca sino el estado en que se encuentra puntualmente ese punto de monitoreo.

Tabla 3.3.3-203 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Menegua época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Menegua	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MENEGUA_CLE_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	0,034	0,034
		Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,036	0,036
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,021	0,021
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Amphipleura*	0,008	0,008
			Naviculaceae	*Navicula*	0,013	0,013
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	0,008	0,008
Gran Total					0,12	0,12

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad en la estación *MENEGUA_CLE_02* revelan una comunidad fitoplanctónica en óptimas condiciones ecológicas, caracterizada por valores excepcionales de equitatividad (Pielou = 0.996) (**Tabla 3.3.3-204**) que indican una distribución casi perfectamente equilibrada de las abundancias entre las seis especies presentes. El índice de Shannon (1.784) (**Tabla 3.3.3-204**) refleja una diversidad significativa para este tipo de sistema léntico, mientras que el valor de Simpson (0.191) (**Tabla 3.3.3-204**) confirma la ausencia de especies dominantes, patrón típico de ambientes con condiciones ambientales estables y baja presión de perturbaciones (Margalef, 1978). La abundancia total registrada (0.12 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-204**), aunque moderada, resulta adecuada para un sistema de altillanura en época lluviosa, donde el lavado de nutrientes y el aumento de la turbidez suelen limitar naturalmente la productividad primaria (Reynolds, 2006). La composición exclusiva por diatomeas (previamente identificadas como *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Eunotia*, *Amphipleura*, *Navicula* y *Rhopalodia*) sugiere un ambiente con condiciones químicas estables y buena calidad de agua, donde estos organismos silíceos encuentran condiciones óptimas para su desarrollo.

La combinación de estos índices con las características taxonómicas reportadas anteriormente permite inferir que el sistema mantiene un equilibrio ecológico notable, con ausencia de floraciones algales y adecuada representación de especies indicadoras de diferentes condiciones microambientales. La perfecta equitatividad (Pielou = 0.996) (**Tabla 3.3.3-204**) es particularmente relevante, ya que sugiere que ninguna especie está siendo favorecida por condiciones ambientales alteradas o por disponibilidad diferencial de nutrientes. Esta configuración comunitaria es característica de ecosistemas acuáticos bien conservados, donde los mecanismos de competencia interespecífica operan sin la interferencia de perturbaciones externas significativas (Allan & Castillo, Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2007).

En conclusión, la Microcuenca del Caño Menegua, representada por la estación MENEGUA_CLE_02, merece una calificación ecológica excelente, basada en la combinación óptima de diversidad y equitatividad, la ausencia de especies dominantes o indicadoras de perturbación, y la coherencia entre la estructura comunitaria y las condiciones esperadas para sistemas lénticos no alterados en la altillanura. Estos resultados sugieren que el cuerpo de agua mantiene sus procesos ecológicos esenciales y presenta una notable resistencia a las fluctuaciones ambientales propias de la época lluviosa. La presencia de esta comunidad fitoplanctónica equilibrada y diversa es indicador de un ecosistema acuático saludable y con buena capacidad de autorregulación. Es importante resaltar que la calificación del estado del cuerpo de agua es principal para el punto de monitoreo mas no para la Microcuenca ya que solo se tiene un punto de monitoreo.

Tabla 3.3.3-204 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca del caño Menegua época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MENEGUA_CLE_02	0.12	6	1784	0.191	0.996

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico en la estación *MENEGUA_CLE_02* de la Microcuenca Caño Menegua presenta una comunidad extremadamente limitada, representada únicamente por el protozoo testado *Euglypha* (Filo Cercozoa, Orden Euglyphida), con una abundancia total de apenas 0.0105 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-205**). Esta configuración comunitaria, caracterizada por una riqueza específica mínima (1 especie) y una abundancia notablemente baja, sugiere condiciones ambientales altamente restrictivas para el desarrollo del zooplancton en este sistema durante la época lluviosa.

La presencia exclusiva de *Euglypha*, organismo típicamente asociado a sustratos bentónicos ricos en detritos orgánicos (Foissner et al., 2007), indica que la comunidad zooplanctónica está funcionando principalmente como componente del neuston o asociada a la interfase agua-sedimento, más que como un ensamble propiamente planctónico. La ausencia total de rotíferos, cladóceros y copépodos, grupos que normalmente dominan el zooplancton en sistemas lénticos tropicales, revela limitaciones severas en la red trófica, posiblemente relacionadas con la escasa disponibilidad de fitoplancton adecuado como recurso alimenticio o con condiciones físico-químicas adversas.

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia exclusiva de *Euglypha* sugiere un sistema con predominio de procesos de descomposición sobre la producción primaria, la posible acumulación de materia orgánica alóctona derivada de la vegetación riparia, y las condiciones que limitan el establecimiento de una comunidad zooplanctónica más diversificada. La interacción con sistemas terrestres parece ser el factor ecológico más relevante, evidenciado por la naturaleza detritívora del organismo presente, mientras que la conexión con sistemas lóticos adyacentes aparece como mínima o nula, dada la ausencia de especies típicamente reófilas. La época lluviosa en la altillanura podría estar exacerbando estas condiciones a través del lavado de nutrientes y el aumento de la turbidez, factores conocidos por afectar negativamente al zooplancton en sistemas poco profundos (Gliwicz, 1986). La baja abundancia registrada (0.0105 Ind/mL) es particularmente significativa cuando se compara con otros sistemas lénticos tropicales, donde valores típicos suelen ser al menos un orden de magnitud superiores, incluso en condiciones oligotróficas.

En conclusión, la Microcuenca de Caño Menegua, en lo que respecta a su comunidad zooplanctónica, presenta una calificación ecológica deficiente, basada en la extrema pobreza específica (solo 1 especie identificada), la baja abundancia total, y la ausencia de grupos zooplanctónicos clave que sustentan las redes tróficas acuáticas. Esta condición podría ser resultado de factores naturales (como las características propias de la altillanura en época lluviosa) o de perturbaciones antrópicas no identificadas en los datos disponibles. La presencia de un sistema zooplanctónico tan empobrecido plantea serias preocupaciones sobre la capacidad de este cuerpo de agua para mantener comunidades acuáticas más complejas y procesos ecológicos esenciales.

Tabla 3.3.3-205 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Menegua época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Menegua	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MENEGUA_CLE_02	
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0105	0,0105
Gran Total					0,0105	0,0105

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico en la Microcuenca Caño Menegua, analizado en las estaciones OCMY18 y MENEGUA_CL_02, revela una comunidad dominada por diatomeas (División Heterokontophyta) con marcadas diferencias espaciales en su estructura. La estación MENEGUA_CL_02 presenta una comunidad diversa y abundante total de (72.6 Ind/cm^2) (**Tabla 3.3.3-206**), compuesta por cinco géneros: *Pinnularia* (26 Ind/mL, 35.2%), *Eunotia* (18.6 Ind/ cm^2 y 25.2%), *Frustulia* (11.2 Ind/ cm^2 y 15.2%), *Tabellaria* (11.2 Ind/ cm^2 y 15.2%) y *Gomphonema* (5.6 Ind/ cm^2 y 7.6%) (**Figura 3.3.3-89**). En contraste, OCMY18 muestra una comunidad extremadamente reducida (1.2 Ind/mL 100%) (**Tabla 3.3.3-206**)(**Figura 3.3.3-89**) con solo *Eunotia*. Esta diferencia sugiere condiciones ambientales radicalmente diferentes entre

ambos puntos de muestreo, están posiblemente relacionadas con el gradiente lótico del sistema. La composición taxonómica en MENEGUA_CL_02, donde *Pinnularia* y *Eunotia* representan más del 60% de la abundancia total, es característica de aguas con bajo pH y moderado contenido de materia orgánica disuelta, típicas de sistemas en altillanura con influencia de suelos ácidos (Van Dam et al., 1994). La presencia de *Frustulia* y *Tabellaria*, bioindicadores de aguas oligotróficas bien oxigenadas (Round et al., 1990), sugiere que este punto mantiene condiciones relativamente prístinas, mientras que la casi ausencia de comunidad en OCMY18 podría indicar factores limitantes como alta turbidez, flujo intenso o condiciones químicas adversas.

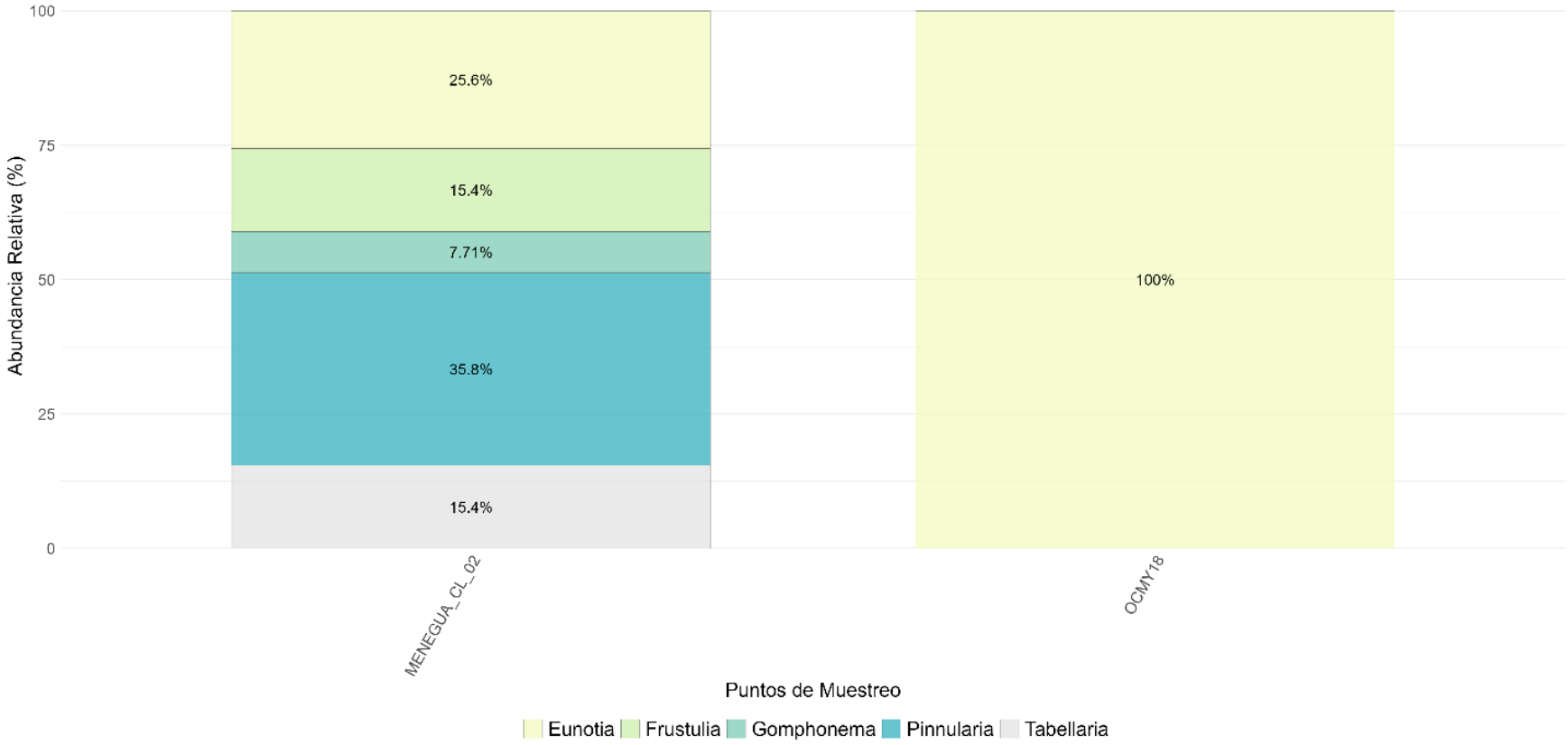


Figura 3.3.3-89 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción con sistemas terrestres se manifiesta claramente a través de la predominancia de *Eunotia*, género fuertemente asociado a la descomposición de materia vegetal riparia, cuya abundancia combinada en ambas estaciones alcanza 19.8 Ind/mL (26.8% del total). La conexión con sistemas lénticos parece limitada, evidenciada por la ausencia de especies típicamente lénticas, aunque la presencia de *Tabellaria* (11.2 Ind/ cm^2) podría indicar cierta influencia de zonas de remanso adyacentes. El gradiente ambiental a lo largo del caño se hace evidente al comparar ambos puntos MENEGUA_CL_02, con su comunidad diversa y abundante, probablemente representa una zona de acumulación con condiciones más estables, mientras que OCMY18, con su comunidad casi ausente, podría estar sometida a perturbaciones hidráulicas constantes que impiden el establecimiento de una comunidad perifítica desarrollada. Esta heterogeneidad espacial es característica de sistemas lóticos en regiones de altillanura durante la época lluviosa, donde los pulsos de inundación generan microambientes altamente variables (Biggs B. F., 1996).

En conclusión, la Microcuenca Caño Menegua presenta una calificación ecológica buena con reservas**,** basada en la presencia de una comunidad diversa y bien estructurada en MENEGUA_CL_02 (5 géneros con distribución equilibrada), la abundancia de bioindicadores sensibles (*Eunotia*, *Frustulia*) que reflejan condiciones naturales características de la altillanura y la evidencia de interacción ecológica con sistemas terrestres adyacentes. Sin embargo, la situación crítica en OCMY18 (comunidad casi ausente) plantea la existencia de posibles factores de estrés.

Tabla 3.3.3-206 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Menegua época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Menegua		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ cm^2)
					OCMY18	MENEGUA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		5,6	5,6
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		26	26
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		11,2	11,2
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	1,2	18,6	19,8
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		11,2	11,2
Gran Total					**1,2**	**72,6**	**73,8**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad en las estaciones MENEGUA_CL_02 y OCMY18 muestran patrones ecológicos profundamente contrastantes en la comunidad perifítica de este sistema lótico. La estación MENEGUA_CL_02 exhibe valores excepcionales de diversidad (Shannon = 1.573) y equitatividad (Pielou = 0.977) (**Tabla 3.3.3-207**), combinados con baja dominancia (Simpson = 0.236) (**Tabla 3.3.3-207**), indicando una comunidad altamente equilibrada donde las cinco especies presentes coexisten en proporciones casi perfectas. Estos índices, sumados a la notable abundancia (72.6 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-207**), sugieren condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del perifiton, con disponibilidad adecuada de sustratos, nutrientes y condiciones de flujo favorables (Biggs B. F., 1996). La perfecta equitatividad es destacable, ya que refleja la ausencia de especies dominantes y un ambiente libre de presiones selectivas. En contraste, OCMY18 presenta una situación crítica, con la única especie (*Eunotia*) y abundancia mínima (1.2 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-207**), lo que da como resultado en índices de diversidad nulos

(Shannon = 0) y dominancia absoluta (Simpson = 1). Esta diferencia con abundancias mayores en MENEGUA_CL_02, sugiere la existencia de factores limitantes en OCMY18, posiblemente relacionados con condiciones hidráulicas extremas como flujo turbulento, alta turbidez o disponibilidad limitada de sustratos adecuados (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

La comparación entre estaciones revela que el sistema alberga simultáneamente un punto especialmente rico y diversidad perifítica (MENEGUA_CL_02) con características excepcionales, y un área prácticamente estéril (OCMY18) desde la perspectiva de esta comunidad. Esta diferencia podría explicarse por la geomorfología del caño, donde MENEGUA_CL_02 probablemente corresponde a un sector de menor energía hidráulica que permite el establecimiento de la comunidad, mientras que OCMY18 podría ubicarse en una zona de flujo rápido o con perturbaciones frecuentes. La presencia exclusiva de *Eunotia* en OCMY18, diatomea acidófila altamente especializada, sugiere que este género es el único capaz de tolerar las condiciones extremas de este punto (Van Dam et al., 1994). La notable resiliencia mostrada por la comunidad en MENEGUA_CL_02, con valores de diversidad comparables a sistemas que no han sido alterados, indica que el cuerpo de agua mantiene capacidad para sustentar comunidades bentónicas complejas cuando las condiciones locales lo permiten.

En conclusión, la Microcuenca de Caño Menegua recibe una calificación ecológica buena con reservas importantes, basada en la presencia de un área (MENEGUA_CL_02) con comunidad perifítica excepcionalmente diversa y equilibrada (indicador de condiciones óptimas), pero la coexistencia de una zona (OCMY18) prácticamente ausente de comunidad, que señala problemas ambientales localizados. Esta evaluación debe interpretarse considerando que los sistemas lóticos naturalmente presentan heterogeneidad espacial, pero la magnitud de las diferencias observadas supera lo esperado en condiciones naturales. La excelente condición en MENEGUA_CL_02 demuestra el potencial ecológico del sistema, pero la situación en OCMY18 requiere atención inmediata para garantizar la integridad ecológica de toda la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-207 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Menegua época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MENEGUA_CL_02	72.6	5	1.573	0.236	0.977
OCMY18	1.2	1	0	1	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El monitoreo pluvial en el caño Menegua (subMicrocuenca del río Meta, altillanura colombiana) reveló un ensamblaje bentónico integrado por ocho (8) morfoespecies, pertenecientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), tres (3) clases, seis (6) órdenes, ocho (8) familias y cinco (5) géneros identificados (*Alluaudomyia, Hexacylloepus, Microcylloepus, Phyllogomphoides,*

Macrobrachium). La abundancia total alcanzó 41 ind/m², distribuida principalmente en la estación OCMY18 (29 ind/m²) y secundariamente en MENEGUA_CL_02 (12 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-208**).

Tabla 3.3.3-208 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Menegua		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY18	MENEGUA_CL_02	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae* Mf.		1,1	1,1
		Tubificida	Naididae		*Naididae* Mf.	2,2		2,2
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.	18,9	8,9	27,8
			Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia*	2,2		2,2
		Coleóptera	Elmidae	*Hexacylloepus*	*Hexacylloepus* sp.		1,1	1,1
				Microcylloepus	*Microcylloepus*	3,3		3,3
		Odonata	Gomphidae	*Phyllogomphoides*	*Phyllogomphoides*	2,2		2,2
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.		1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**29**	**12**	**41**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La mayor abundancia la registró *Chironomidae* Mf. (27,8 ind m⁻², 68 % del total), taxón depositívoro altamente tolerante a hipoxia y a cargas orgánicas elevadas; su profusión señala lechos con sedimento fino y materia orgánica en descomposición (Roldán 2003; Rosenberg & Resh 1993). La co-ocurrencia de *Naididae* Mf. (2,2 ind m⁻²) refuerza esa interpretación, pues los tubificinos prosperan en ambientes eutrofizados. Sin embargo, la presencia de elmídidos (*Hexacylloepus*, *Microcylloepus*) y del odonato *Phyllogomphoides* —ambos requeridores de microflujos bien oxigenados— introduce heterogeneidad estructural: pequeños chorros o filtraciones entre raíces y hojarasca sugieren un mosaico de condiciones hidráulicas generado por la crecida lluviosa. El decápodo *Macrobrachium* sp., registrado en MENEGUA_CL_02, vincula además la comunidad con la franja ribereña, ya que estos camarones migran nocturnamente entre el sustrato y la vegetación sumergida (Merritt & Cummins 2008) (**Figura 3.3.3-90**).

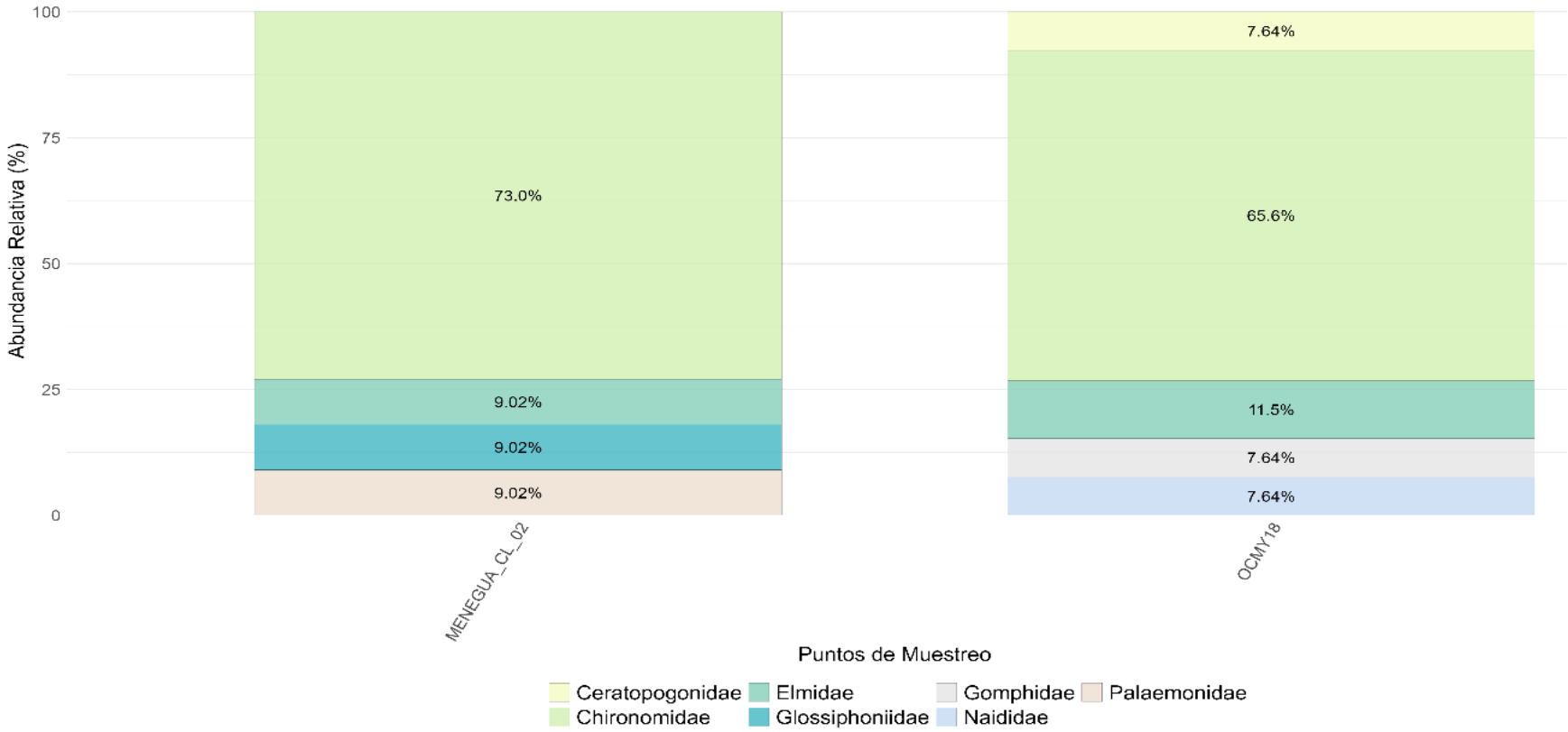


Figura 3.3.3-90 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta combinación demuestra la interacción funcional entre los sistemas lóticos y las lagunas estacionales adyacentes: los pulsos de inundación aportan oxígeno y colonizadores desde el cauce principal, mientras la vegetación marginal retiene detritos y crea refugios, reforzando la conectividad con el medio terrestre (Allan & Castillo 2007; Junk et al. 1989). La diversidad moderada (8 morfoespecies) y la co-existencia de taxones tolerantes y moderadamente sensibles indican un estado mesotrófico con capacidad de resiliencia, aunque la elevada abundancia de quirónomidos y naidídeos aconseja vigilar posibles incrementos en carga orgánica.

El análisis del índice BMWP/Col para la Microcuenca del caño Menegua, en el contexto de sistemas lóticos de la altillanura colombiana durante la época de lluvias, revela condiciones ecológicas desfavorables en los dos puntos monitoreados: OCMY18 y MENEGUA_CL_02. En ambos casos se obtuvo una clase IV (Crítica) de calidad biológica del agua, con valores de BMWP de 23 y 21 respectivamente, los cuales corresponden a la categoría de "aguas muy contaminadas", de acuerdo con los rangos establecidos por Roldán Pérez (2003) (**Tabla 3.3.3-209**).

Tabla 3.3.3-209 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Menegua época lluvias

MICROCUENCA	PUNTO DE MONITOREO	CLASE	CALIDAD	BMWP	Significado
CAÑO MENEGUA	OCMY18	IV	Critica	23	Aguas muy contaminadas
	MENEGUA_CL_02	IV	Critica	21	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos puntajes reflejan la baja representatividad de familias indicadoras de buena calidad del agua en el ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos, predominando organismos de alta tolerancia a la contaminación como Chironomidae y Naididae. Adicionalmente, la similitud en los valores entre estaciones sugiere que el impacto es homogéneo a lo largo del tramo monitoreado, posiblemente relacionado con procesos difusos de alteración de la calidad del agua como la acumulación de materia orgánica, el incremento de la temperatura, o descargas residuales puntuales o no controladas.

En síntesis, el resultado del índice BMWP/Col en la Microcuenca del caño Menegua pone en evidencia un ecosistema fuertemente afectado, con limitada capacidad de autorregulación y bajos niveles de oxigenación del hábitat bentónico, lo que justifica la clasificación crítica. Se recomienda implementar un monitoreo complementario con parámetros fisicoquímicos, así como evaluar posibles fuentes de impacto en la zona de influencia, con el fin de definir acciones de manejo y restauración ecológica.

- Diversidad Alfa

En el caño Menegua, los índices de diversidad alfa muestran diferencias claras entre las dos estaciones evaluadas en época de lluvias. OCMY18 registró la mayor abundancia (28,8 ind/m²) y riqueza (5 morfoespecies), lo que se refleja en un Shannon de 1,484 y un Simpson (1 – λ) de 0,29; estos valores indican una diversidad intermedia con cierta dominancia—principalmente de Chironomidae—pero con aportes sustanciales de elmídidos, odonatos y ceratopogónidos. La equitatividad de Pielou (J' = 0,922) sugiere que, a pesar de esta dominancia, las abundancias

relativas están relativamente bien repartidas entre los taxones presentes, rasgo típico de microhábitats más heterogéneos y mejor oxigenados dentro del lecho. En contraste, MENEGUA_CL_02 exhibió menor abundancia (12,2 ind/m²) y riqueza (4 morfoespecies), con un Shannon de 1,16 y un Simpson de 0,438; aquí la comunidad muestra dominancia más marcada de Chironomidae y una distribución menos equilibrada de individuos (J' = 0,837) (**Tabla 3.3.3-210**).

Tabla 3.3.3-210 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Menegua época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO MENEGUA	MENEGUA_CL_02	12.2	4	1.16	0.438	0.837
	OCMY18	28.8	5	1.484	0.29	0.922

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos resultados confirman que, aunque ambos sitios están influenciados por cargas orgánicas (alta presencia de quirónomidos), OCMY18 posee microcondiciones ligeramente más favorables—probablemente pequeños chorros de agua o raíces de macrófitas que incrementan la oxigenación—que sostienen un ensamble algo más diverso y equitativo. En conjunto, los índices revelan un caño con diversidad limitada por factores tróficos y sedimentos finos, pero con heterogeneidad suficiente para mantener diferencias locales en la estructura bentónica.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

La comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca del caño Menegua, ubicada en la altillanura colombiana dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, presenta una composición exclusiva de plantas vasculares, agrupadas en la división Tracheophyta y la clase Magnoliidae, con una notable representación de órdenes como Alismatales, Poales, Myrtales, Fabales, entre otros. Esta estructura taxonómica es típica de sistemas de agua dulce tropicales con buena disponibilidad hídrica y alta heterogeneidad ambiental, especialmente durante la temporada de lluvias (Junk & Piedade, 2013[18]). Al analizar la estructura de la comunidad según el tipo de cuerpo de agua, se evidencian diferencias marcadas entre ambientes lóticos (OCMY18 y MENEGUA_CL_02) y lénticos (MENEGUA_CLE_02). En los cuerpos lénticos, como MENEGUA_CLE_02, se registró la mayor cobertura total (80,68%) y la mayor riqueza de morfoespecies (6), con dominancia de especies como *Philodendron* sp. (42,33%), *Inga* sp., *Clidemia* sp. y *Panicum* sp., todas asociadas a ambientes de baja dinámica hídrica y suelos húmedos permanentes (**Tabla 3.3.3-211**). Estas especies reflejan una alta estabilidad ecológica y condiciones favorables para la colonización y desarrollo de macrófitas flotantes y emergentes, lo cual coincide con lo reportado en humedales de sabana tropical (Esteves, 2011[4]).

En contraste, los cuerpos de agua lóticos presentaron menor riqueza y cobertura vegetal, resultado de las condiciones físicas impuestas por el flujo. El punto OCMY18 (ocupación de cauce) tuvo la cobertura más baja (12,66%) y solo dos morfoespecies, entre las que se destaca *Carex* sp. (Cyperaceae), con 8,33% de cobertura y 65,80% de abundancia relativa, una especie

especializada en márgenes riparias con alta tolerancia al arrastre (Philbrick & Novelo, 1997[50]). Por su parte, el punto MENEGUA_CL_02 presentó una cobertura intermedia (57%) y tres morfoespecies, destacándose *Alternanthera* sp. (25,33%) y *Leersia* sp. (20,67%), que reflejan condiciones de menor velocidad de corriente o mayor heterogeneidad lateral del cauce, que permiten el establecimiento de vegetación emergente (**Tabla 3.3.3-211**). Este patrón sugiere que, en la Microcuenca del caño Menegua, los cuerpos lénticos funcionan como reservorios de biodiversidad con comunidades más complejas, mientras que los lóticos albergan especies con adaptaciones morfológicas específicas para sobrevivir al flujo, presentando comunidades más simplificadas pero resilientes (Junk et al., 2014[51]).

La predominancia de angiospermas, especialmente de las familias Araceae, Poaceae, Amaranthaceae y Onagraceae (**Tabla 3.3.3-211**), también indica un fuerte componente de especies adaptadas tanto a ambientes encharcados permanentes como a condiciones variables de nivel de agua, lo cual es característico de la altillanura colombiana, con suelos ácidos, baja fertilidad y marcada estacionalidad hídrica (Rippstein et al., 2001). En conjunto, el análisis de la estructura y composición de las macrófitas evidencia la influencia del régimen hidrológico y la geomorfología sobre la distribución y riqueza vegetal acuática en la Microcuenca, confirmando lo observado en otros ecosistemas similares del bioma Orinoquia (Cronk & Fennessy, 2001[2]; Esteves, 2011[4]).

Tabla 3.3.3-211 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Menegua, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Menegua					
				Punto De Muestreo	MENEGUA_CLE_02		OCMY18		MENEGUA_CL_02	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Myrtales	Melastomataceae	*Clidemia* sp.	9	11,16				
			Onagraceae	*Ludwigia* sp.					11	19,30
		Alismatales	Araceae	*Philodendron* sp.	42,33	52,47				
				Araceae Mf.	5,67	7,03	4,33	34,20		
		Caryophyllales	Amaranthaceae	*Alternanthera* sp.					25,33	44,44
		Poales	Cyperaceae	*Carex* sp.			8,33	65,80		
			Poaceae	*Leersia* sp.					20,67	36,26
				Panicum sp.	8,34	10,34				
		Dilleniales	Dilleniaceae	*Doliocarpus* sp.	5	6,20				
		Fabales	Fabaceae	*Inga* sp.	10,34	12,82				
Cobertura Total general					**80,68**	**100**	**12,66**	**100**	**57**	**100**
Morfoespecies por Punto					**6**		**2**		**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**10**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvia, la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Menegua mostró una mayor riqueza y diversidad en comparación con la estación seca, lo que refleja el efecto positivo del aumento de la disponibilidad hídrica sobre la estructura comunitaria

[50] Philbrick, C. T., & Novelo, A. R. (1997). Ecology and distribution of Podostemaceae in Mexico. Aquatic Botany, 57(3–4), 195–208.
[51] Junk, W. J., et al. (2014). Brazilian Wetlands: Their Definition, Delineation, and Classification. Aquatic Conservation, 24(1), 5–22.

(Junk et al., 2014[51]). En el sistema léntico (MENEGUA_CLE_02), se registró la mayor abundancia (80,68%), con una riqueza de 6 morfoespecies, y un índice de Shannon (H') de 1,473, que indica una diversidad moderada y una comunidad más compleja estructuralmente. El índice de Simpson (D = 0,305) refuerza esta interpretación, ya que sugiere una baja dominancia de especies, lo cual es característico de ecosistemas donde se facilita la coexistencia de múltiples especies gracias a la expansión del hábitat y la heterogeneidad ecológica inducida por las lluvias (Magurran, 2004; Mitsch & Gosselink, 2015[29]). Además, el valor del índice de equidad de Pielou (J' = 0,822) refleja una distribución relativamente uniforme de los individuos entre las especies, favorecida por las condiciones estables y húmedas de los cuerpos de agua estancados.

En contraste, el sistema lótico (MENEGUA_CL_02) presentó una abundancia menor (57%) y una riqueza de solo 3 morfoespecies, aunque con un valor de Shannon de 1,197, lo que indica una diversidad ligeramente menor. Curiosamente, el índice de equidad de Pielou fue más alto (J' = 1,09) que, en el sistema léntico, lo cual podría indicar una comunidad menos diversa pero más homogéneamente distribuida, posiblemente como resultado de la influencia del flujo que impone restricciones físicas al establecimiento de especies, pero mantiene un equilibrio relativo entre las que logran colonizar (Esteves, 2011[4]). El valor de Simpson (D = 0,337) también señala una leve dominancia, lo que sugiere que una o pocas especies tienen mayor peso en la estructura comunitaria, aunque no de manera excluyente.

Estos resultados son consistentes con patrones observados en otros humedales y caños de sabana tropical, donde la temporada de lluvias favorece la expansión de la vegetación acuática, el aumento de nichos ecológicos y, por tanto, una mayor diversidad alfa, especialmente en sistemas lénticos (Junk & Piedade, 2010[52]). En síntesis, los datos reflejan cómo el régimen hidrológico estacional influye significativamente sobre la estructura y diversidad de las comunidades de macrófitas.

Tabla 3.3.3-212 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Menegua época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MENEGUA_CLE_02	80.68	6	1.473	0.305	0.822
MENEGUA_CL_02	57	3	1.197	0.337	1.09

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

En la temporada seca, el punto MENEGUA_CLE_02 en la Microcuenca del caño Menegua mostró una cobertura total de 27,66%, con una riqueza de 3 morfoespecies. Las especies dominantes fueron *Montrichardia* sp. (Araceae), con 18,33% de cobertura, seguida de *Ludwigia peruviana* (Onagraceae), con 7,33%. La cobertura de especies como Limnocharis flava (Alismataceae) fue marginal, con 2%. Esta baja diversidad durante la temporada seca puede estar asociada a la reducción del nivel del agua y la disminución de hábitats disponibles, lo que favorece una mayor

[52] Junk, W. J., & Piedade, M. T. F. (2010). An introduction to South American wetland forests: Distribution, definitions and general characterization. In Amazonian Floodplain Forests (pp. 3–25). Springer.

competencia entre las especies menos adaptadas a la estacionalidad. En este contexto, la abundancia relativa de *Montrichardia* sp. (66,27%) indica que ciertas especies tolerantes a la desecación dominan el sistema (Esteves, 2011[4]).

En la temporada de lluvia, el punto MENEGUA_CLE_02 mostró una cobertura total de 80,68% y una riqueza de 6 morfoespecies, con una notable dominancia de especies como *Philodendron* sp. (Araceae) y *Inga* sp. (Fabaceae), que tuvieron un importante papel en la estructura comunitaria. Los índices de diversidad aumentaron significativamente en comparación con la temporada seca, con un índice de Shannon (H') de 1,473, lo que indica una diversidad más alta y una mayor equidad en la distribución de individuos entre las especies (Magurran, 2004). Además, el índice de Simpson (D = 0,305) sugiere una baja dominancia de una sola especie, lo que resalta la capacidad de los sistemas lénticos para albergar una variedad más equilibrada de macrófitas acuáticas bajo condiciones óptimas de humedad y hábitat.

En los cuerpos lóticos, como MENEGUA_CL_02, los índices también mostraron cierta mejora en la diversidad, aunque a una escala menor, con una abundancia de 57% y una riqueza de 3 morfoespecies. El índice de Shannon (H' = 1,197), aunque inferior al de los cuerpos lénticos, muestra una comunidad con mayor diversidad en comparación con la temporada seca. El índice de equidad de Pielou (J' = 1,09) es más alto que en el cuerpo léntico, lo que indica una distribución más equitativa entre las especies en un ambiente con mayor flujo, lo que favorece una menor dominancia de unas pocas especies (Esteves, 2011[4]).

3.3.3.2.15 Microcuenca caño Navajas Sur

La Microcuenca del Caño Navajas Sur, ubicada en el municipio de Puerto López, constituye un ecosistema de importancia ecológica y de manejo hídrico. Este afluente del río Metica, que atraviesa una zona de altillanura, presenta una topografía característica de llanura de baja pendiente, con una geografía que favorece la formación de cuerpos de agua lenticos y lóticos. El monitoreo de las comunidades hidrobiológicas en la Microcuenca se realiza en tres puntos de muestreo: NAVAJAS_SUR_CLE_01, correspondiente a un cuerpo de agua lentico, y NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_02, que representan cuerpos de agua lóticos. Estos puntos son esenciales para evaluar la biodiversidad y la salud ecológica del sistema acuático, ya que las características fisiográficas y ecológicas de la Microcuenca, incluyendo su composición geológica y su variabilidad hídrica, influyen directamente en las comunidades hidrobiológicas presentes. La Microcuenca se caracteriza por su dinámica hidrológica, en la que las variaciones en el flujo de agua son determinantes en la estructura y composición de las comunidades biológicas (Gómez et al., 2015[53]; Rodríguez, 2018[54]).

[53] Gómez, J. F., Pérez, M. A., & Rodríguez, D. (2015). Estudio ecológico de las Microcuencas hidrográficas de la región de altillanura en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Ambientales.
[54] Rodríguez, A. R. (2018). Análisis de la biodiversidad acuática en cuerpos de agua lóticos y lenticos de la Microcuenca del río Metica, Meta. Revista de Investigación en Ecología y Biodiversidad, 24(2), 135-150. https://doi.org/10.1234/recb.2018.02402

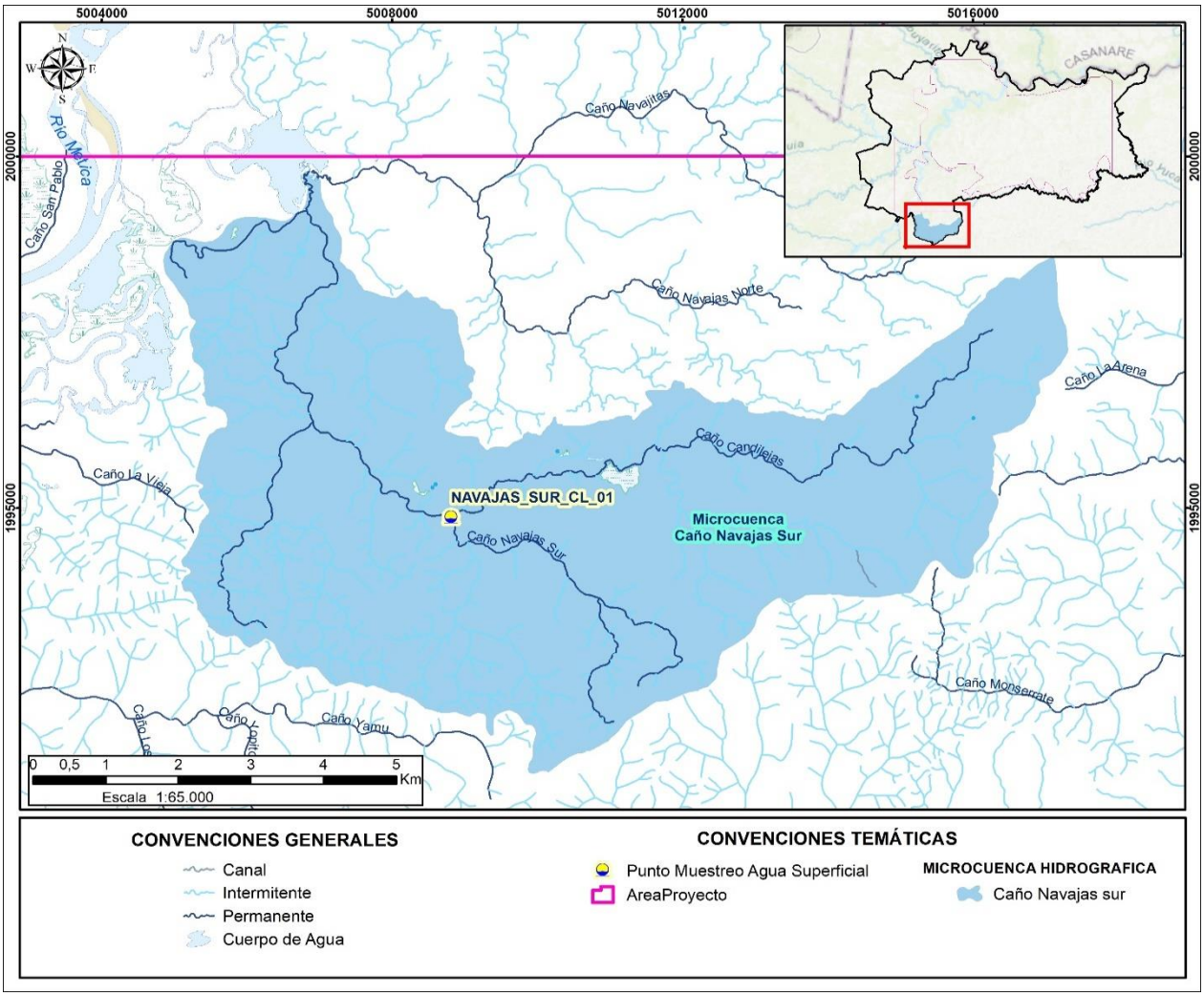


Figura 3.3.3-91 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Navajas Sur

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Navajas Sur, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*
  - ✓ *Fitoplancton*
    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico en el punto NAVAJAS_SUR_CLE_01, ubicado en una altillanura durante la época seca, presenta una comunidad de baja diversidad (seis géneros) y escasa abundancia total (0.036 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-213**), dominada por diatomeas (Heterokontophyta) y desmidias (Charophyta). La especie más abundante es *Pinnularia* (0.012 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (33.3%) (**Figura 3.3.3-92**), una diatomea bentónica característica de aguas oligotróficas con bajo contenido de nutrientes (Round et al., 1990), seguida de *Gomphonema* (0.008 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (22,2%), indicadora de sustratos estables y moderada conductividad (Potapova & Charles, 2007). La presencia de *Actinella* (0.004 Ind/mL) y *Surirella* (0.004 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-213**) y reportaron un porcentaje de abundancia de (11,1%) (**Figura 3.3.3-92**), esto sugiere condiciones ácidas y baja mineralización, típicas de altillanuras con suelos lateríticos (Morales & Vis, 2007). Las desmidias *Cosmarium* y *Micrasterias* (ambas con 0.004 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-213**) confirman un ambiente con aguas blandas y baja concentración iónica, características de sistemas lénticos aislados en época seca (Coesel & Meesters, 2007).

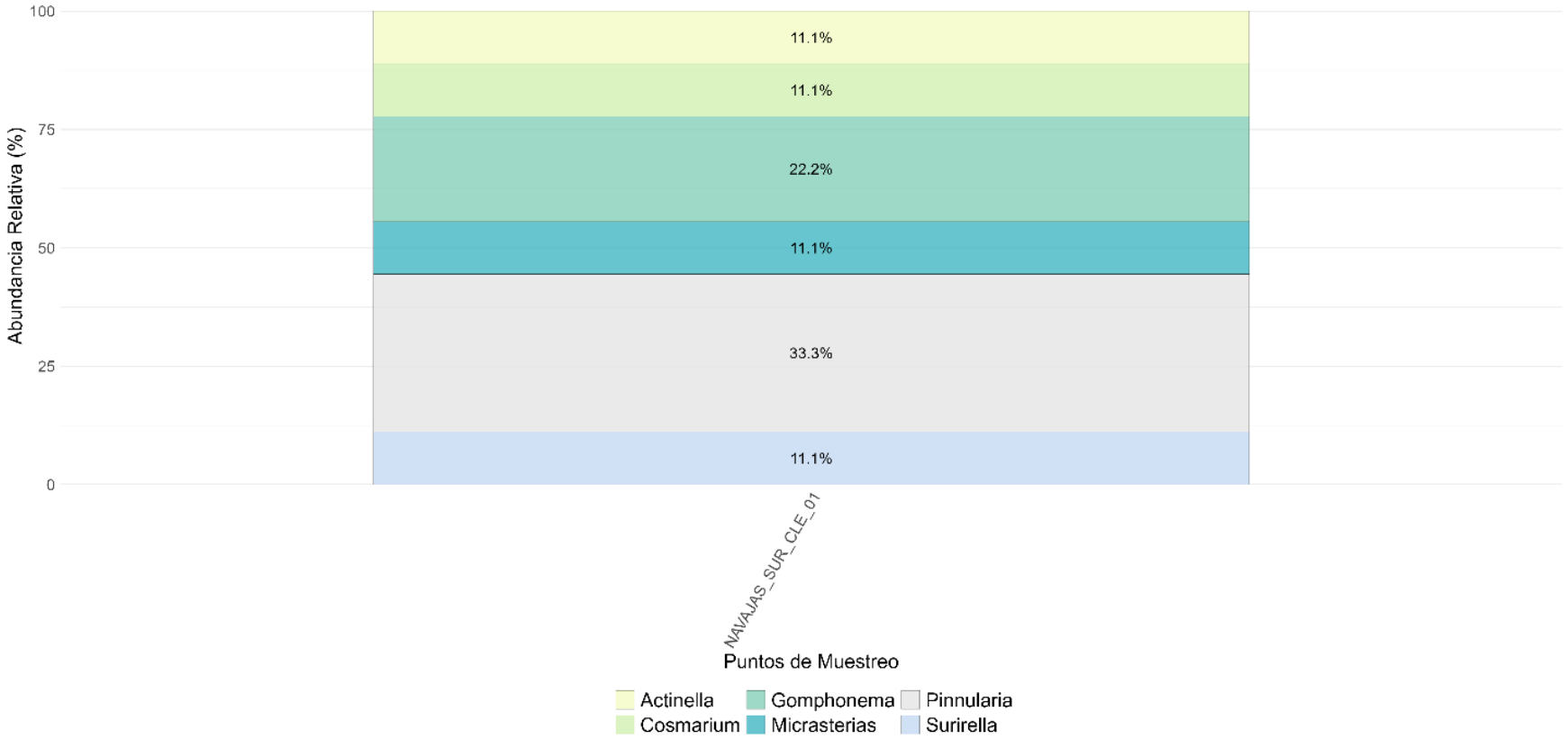


Figura 3.3.3-92 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la estructura comunitaria refleja un sistema oligotrófico, evidenciado por la dominancia de *Pinnularia* y la escasez de algas verdes clorofíceas, lo que indica limitación por fósforo (Dodds et al., 2009). Asimismo, la baja conectividad del sistema se infiere por la ausencia de cianobacterias y la predominancia de taxones sésiles como *Gomphonema*, lo que sugiere un mínimo intercambio con sistemas lóticos (Wetzel R. G., 2001). Además, la presencia de desmidias (*Micrasterias*, *Cosmarium*) evidencia un aporte terrestre, probablemente por infiltración de aguas ricas en materia orgánica disuelta (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008).

La interacción con sistemas terrestres se manifiesta en la presencia de *Actinella*, un género asociado a hojarasca en descomposición (Whitton, 2012), mientras que la ausencia de taxones planctónicos típicos como (*Aulacoseira*, *Cyclotella*) confirma el aislamiento del cuerpo de agua. Esta condición se ve reforzada por la época seca, ya que reduce la conexión hidrológica con posibles fuentes de recolonización.

En conclusión, el ensamble fitoplanctónico en NAVAJAS_SUR_CLE_01 refleja un sistema léntico, oligotrófico y relativamente aislado, donde las condiciones de altillanura durante la época seca favorecen comunidades especializadas de diatomeas bentónicas y desmidiáceas. La baja abundancia, con densidades reportadas menores a 0.05 ind/mL, sugiere limitaciones energéticas posiblemente asociadas a la estacionalidad climática. No obstante, es importante señalar que un único punto de muestreo no permite una caracterización precisa y representativa de toda la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-213 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Navajas Sur NAVAJAS_SUR_CLE_01	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,012	0,012
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Actinella*	0,004	0,004
		Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,008	0,008
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	0,004	0,004
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,004	0,004
				Micrasterias	0,004	0,004
Gran Total					**0,036**	**0,036**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad fitoplanctónica en el punto NAVAJAS_SUR_CLE_01 muestran características ecológicas particulares. La baja abundancia registrada (0.036 Ind/mL) sugiere una productividad limitada en el área muestreada, posiblemente asociada a condiciones oligotróficas o a factores restrictivos en la columna de agua. No obstante, la riqueza de seis géneros combinada con un índice de Shannon de 1.677 indica una diversidad moderada dentro de este contexto de baja densidad. El valor bajo de Simpson (0.21) señala una mínima dominancia de especies

específicas, patrón que se ve reforzado por el alto índice de Pielou (0.936) (**Tabla 3.3.3-214**), demostrando una distribución excepcionalmente equitativa entre los taxones presentes. Estos indicadores podrían interpretarse como signos de un ambiente con limitaciones nutricionales, pero con una estructura comunitaria balanceada, donde ninguna especie ejerce presión competitiva significativa sobre las demás.

Sin embargo, es fundamental reconocer que la evaluación ecológica basada en un único punto de muestreo carece de validez para extrapolar conclusiones sobre el estado de toda una Microcuenca. Las comunidades fitoplanctónicas presentan naturalmente variabilidad espacial debido a diferencias en profundidad, flujo de nutrientes, exposición solar o influencia antrópica, entre otros factores. Un solo muestreo no puede capturar esta heterogeneidad, pudiendo llevar a interpretaciones erróneas si se generalizan sus resultados. Por ejemplo, este punto podría representar una zona de mezcla particularmente equilibrada, mientras que otras áreas de la misma Microcuenca podrían mostrar condiciones de eutrofización o dominancia de especies indicadoras de contaminación. Además, sin puntos de comparación, no es posible determinar si los valores observados representan la condición basal del sistema o una desviación puntual.

Tabla 3.3.3-214 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NAVAJAS_SUR_CLE_01	0.036	6	1.677	0.21	0.936

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico en el punto NAVAJAS_SUR_CLE_01, ubicado en una altillanura de la Microcuenca del río Meta durante la época seca, presenta una comunidad de baja diversidad, compuesta exclusivamente por dos morfoespecies de amebas testadas (Amoebozoa, Tubulinea) *Arcella* (0.0171 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (79,9%) y *Lesquereusia* (0.0043 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (20,1%) (**Figura 3.3.3-93**), con una abundancia total de 0.0214 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-215**). La dominancia de *Arcella*, un género bentónico-perifítico, sugiere un ambiente léntico con sustratos orgánicos estables y aguas ácidas a neutras (pH 5.0–7.0), típico de sistemas lenticos en altillanuras con escasa influencia fluvial (Smith, 2003). La presencia de *Lesquereusia*, menos abundante pero ecológicamente significativa, está asociada a microhábitats con alta acumulación de detritos vegetales, lo que refleja una estrecha interacción con sistemas terrestres adyacentes (Lara, 2016).

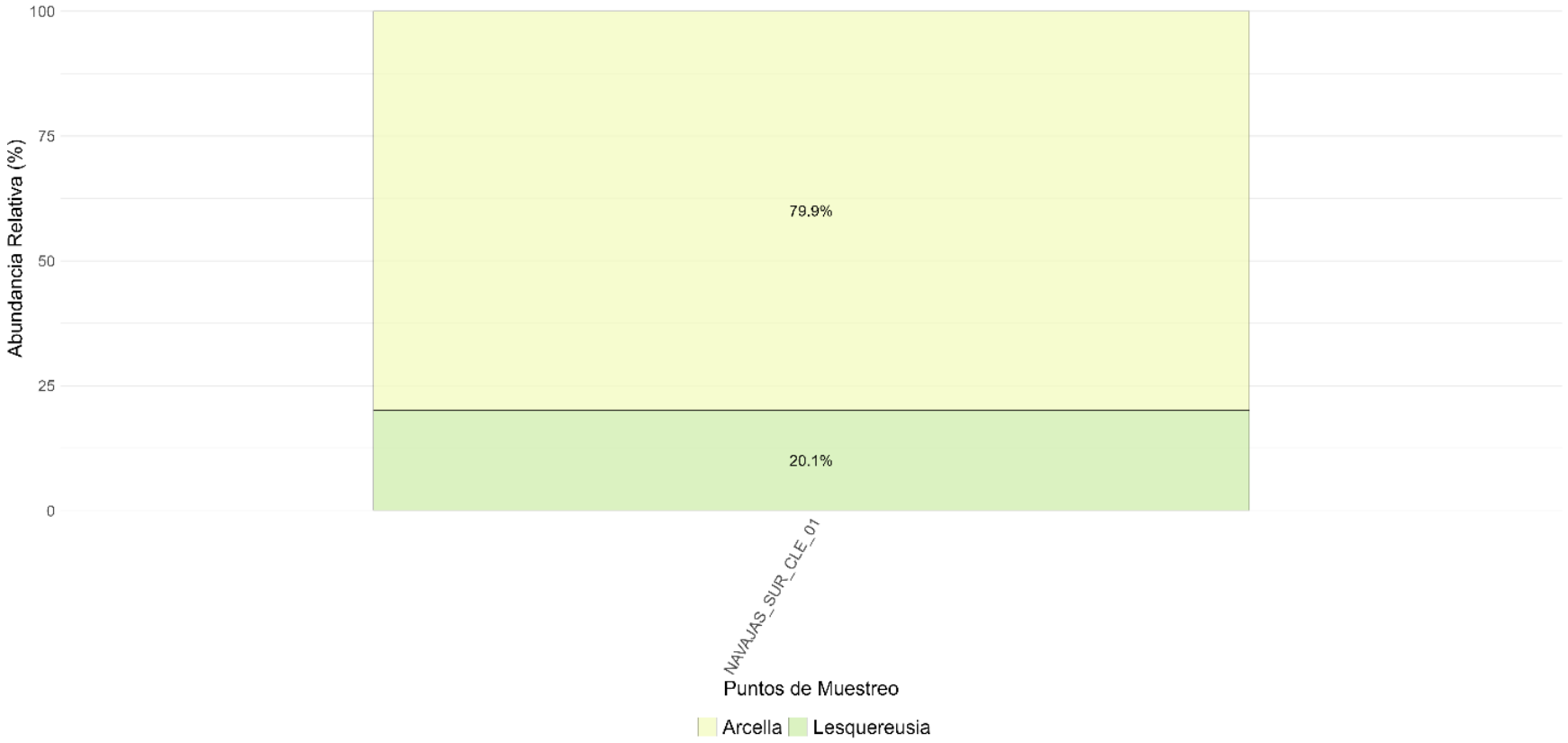


Figura 3.3.3-93 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la ausencia de rotíferos y cladóceros, grupos comunes en sistemas lénticos conectados, confirma el aislamiento hidrológico del cuerpo de agua durante la época seca (Wetzel R. G., 2001). La exclusividad de amebas testadas, organismos resistentes a la desecación y con ciclos de vida adaptados a fluctuaciones extremas, refuerza la hipótesis de un sistema temporal con limitada recarga hídrica. Además, la baja riqueza con dos géneros y una abundancia menor a 0.05 Ind/mL, coinciden con las condiciones oligotróficas reportadas para altillanuras en la Orinoquia colombiana, donde los suelos lateríticos y la escorrentía mínima en estación seca reducen el aporte de nutrientes (Donato-Rondón, 2016).

La interacción con los sistemas terrestres se evidencia en la ecología de *Arcella* y *Lesquereusia*, organismos que dependen de la hojarasca y de la materia orgánica particulada como sustrato y fuente de alimento (Foissner W. , Soil protozoa as bioindicators in ecosystems under human influence, 1999). a ausencia de taxa planctónicos como *Brachionus* (Rotifera) o *Daphnia* (Cladocera) sugiere una influencia insignificante de sistemas lóticos. En cambio, la predominancia de amebas indica un proceso de transición ecológica, en el que el sistema acuático comienza a perder sus características lénticas y adquiere condiciones más terrestres. Este cambio puede estar asociado a la acumulación de sedimentos, el descenso del nivel freático y la sucesión vegetal mediante el establecimiento de plantas emergentes, lo que refleja una desconexión hidrológica progresiva que favorece comunidades asociadas a interfaces agua-suelo (Dodds & Whiles, 2020).

En conclusión, el ensamble zooplanctónico en NAVAJAS_SUR_CLE_01 refleja un sistema léntico, aislado y oligotrófico, fuertemente influenciado por condiciones terrestres durante la época seca. La dominancia de amebas testadas sugiere un ambiente con limitaciones energéticas, baja conectividad hidrológica y una alta dependencia de aportes orgánicos externos. Sin embargo, es importante destacar que un único punto de muestreo no permite una caracterización precisa ni representativa de la Microcuenca en su totalidad.

Tabla 3.3.3-215 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Navajas Sur	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					NAVAJAS_SUR_CLE_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0171	0,0171
			Lesquereusiidae	*Lesquereusia*	0,0043	0,0043
Gran Total					**0,0214**	**0,0214**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de Diversidad del punto NAVAJAS_SUR_CLE_01 revelan una comunidad zooplanctónica con características ecológicas preocupantes. La abundancia extremadamente baja (0.0214) junto con una riqueza mínima de solo dos morfoespecies, indican un ambiente altamente restrictivo para el desarrollo del zooplancton. El índice de Shannon (0.95) confirma una diversidad muy reducida, mientras que el valor de Simpson (0.44) sugiere una dominancia moderada de una especie sobre la otra. Sin embargo, el índice de Pielou (1.371) (**Tabla 3.3.3-216**) presenta un

valor alto que contradice los demás indicadores. En condiciones normales, estos datos sugerirían un sistema bajo fuerte estrés ambiental, con posibles limitaciones de alimento, condiciones químicas adversas o presión de depredación, resultando en una comunidad zooplanctónica empobrecida y desequilibrada.

No obstante, es crucial destacar que evaluar el estado ecológico de una Microcuenca completa basándose en un único punto de muestreo puede llevar a conclusiones erróneas. Las comunidades zooplanctónicas presentan una distribución heterogénea influenciada por factores como corrientes, disponibilidad de fitoplancton (su principal alimento), profundidad, temperatura y actividad antropogénica local. Un solo muestreo no puede capturar esta variabilidad espacial, pudiendo representar, una condición puntual anómala (como una zona de mezcla o descarga temporal) o un microambiente particular no representativo.

La presente evaluación, al basarse en una sola estación, solo permite describir condiciones puntuales sin posibilidad de extrapolación, por lo que sus conclusiones deben considerarse estrictamente preliminares y no representativas del estado ecológico integral de la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-216 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NAVAJAS_SUR_CLE_01	0.0214	2	0.95	0.44	1.371

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico en los puntos NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_02, ubicados en la altillanura de la Microcuenca del río Meta durante la época seca, presenta diferencias marcadas

en composición y estructura. En NAVAJAS_SUR_CL_01 se registró una comunidad de baja diversidad de tres géneros y abundancia total de 11.2 Ind/cm², dominada por diatomeas bentónicas del género *Pinnularia* (3.7 Ind/cm²) y un porcentaje de representatividad de (33.01%) y *Eunotia* (5.6 Ind/cm²) con un porcentaje (50%), bioindicadoras de aguas ácidas con pH menor a 6.5 y baja conductividad menor a 100 µS/cm, características de sistemas lóticos con escaso aporte mineral (Donato-Rondón, 2016). En contraste, NAVAJAS_SUR_CL_02 mostró mayor riqueza con 10 géneros y una abundancia significativamente más alta de 44.8 Ind/cm², con predominio de *Gomphonema* (11.2 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (25%) y *Surirella* (9.8 Ind/cm²) con un porcentaje del (21.87%), géneros asociados a aguas moderadamente mineralizadas y sustratos estables (Potapova & Charles, 2007). Esta divergencia sugiere un gradiente de conectividad en la Microcuenca que mientras NAVAJAS_SUR_CL_01 representa un tramo aislado con influencia predominante de aguas ácidas (evidenciado por *Eunotia*), NAVAJAS_SUR_CL_02 refleja mayor interacción con sistemas lénticos adyacentes, como lo demuestra la presencia de *Desmodesmus* (1.4 Ind/cm²) y un porcentaje del (3.12%) (**Figura 3.3.3-94**) (**Tabla 3.3.3-217**), género típico de lagunas marginales (Wetzel R. G., 2001).

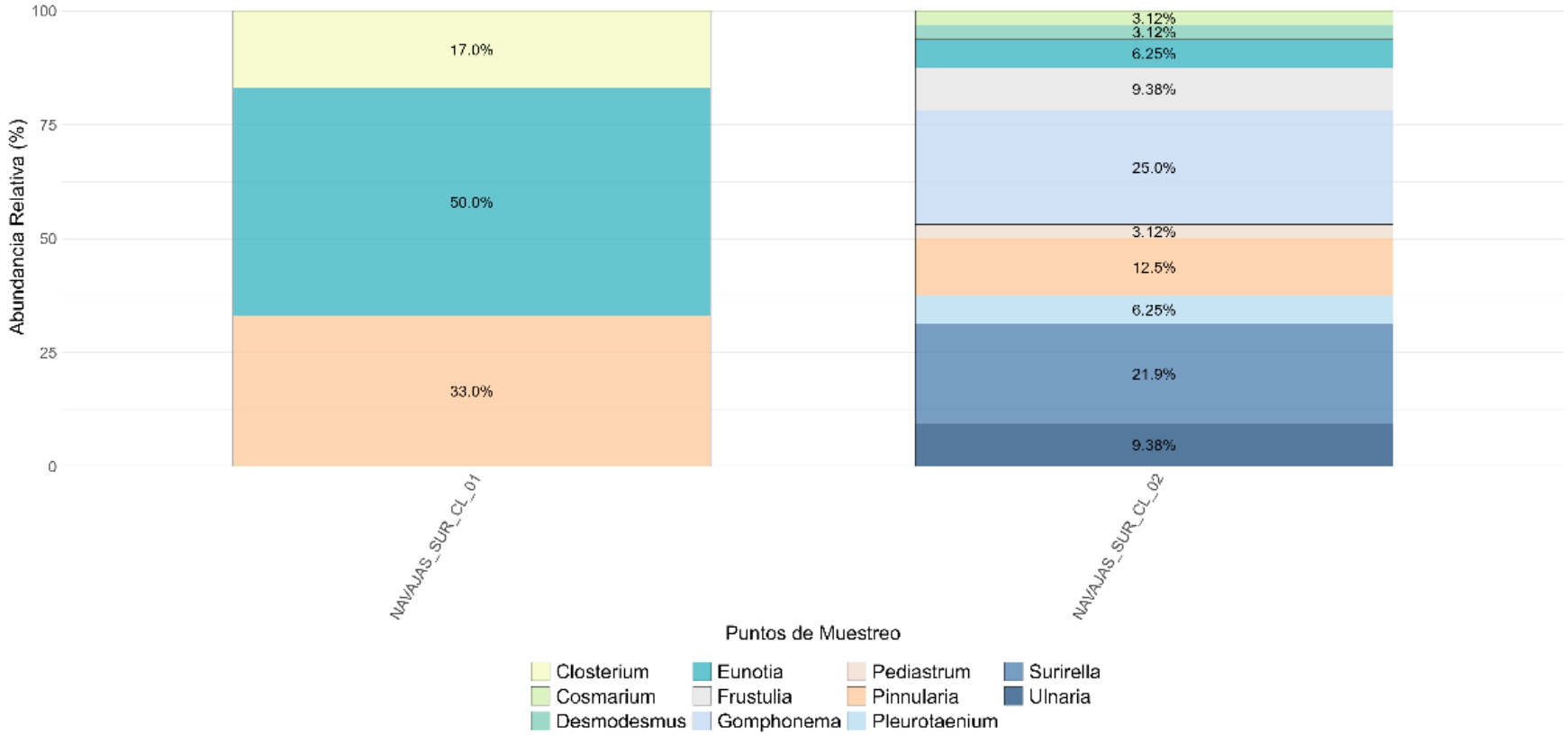


Figura 3.3.3-94 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción con sistemas terrestres se manifiesta en la distribución diferencial de géneros especializados como *Pinnularia* en NAVAJAS_SUR_CL_01 que indica filtración de agua desde los suelos cercanos que son ricos en materia orgánica en descomposición (como hojas y raíces), lo que hace que el agua tenga un color oscuro y sea ácida. Estos suelos, llamados lateríticos, dejan pasar esa agua hacia lagunas o cuerpos de agua cercanos (Donato-Rondón, 2016), mientras que la mayor abundancia de *Surirella* en CL_02 sugiere aportes de sedimentos finos desde llanuras de inundación. La presencia exclusiva de *Closterium* (1.9 Ind/cm²) en NAVAJAS_SUR_CL_01 y *Pleurotaenium* (2.8 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-217**) en NAVAJAS_SUR_CL_02 refuerza esta diferenciación, ya que estos géneros de desmidias responden a gradientes de oligotrofia y contenido de materia orgánica disuelta, respectivamente (Coesel & Meesters, 2007). Desde la perspectiva funcional, la relación diatomeas y algas verdes confirma que NAVAJAS_SUR_CL_02 recibe mayores aportes externos, coherente con su posición en la Microcuenca.

En conclusión, la comunidad perifítica en estos sistemas lóticos de altillanura evidencia cómo la heterogeneidad geomorfológica y la estacionalidad climática generan nichos ecológicos diferenciados.

Tabla 3.3.3-217 Ensamble Ecológico de la Comunidad el Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Navajas Sur		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					NAVAJAS_SUR_CL_01	NAVAJAS_SUR_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		11,2	11,2
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		9,8	9,8
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	3,7	5,6	9,3
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		4,2	4,2
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	5,6	2,8	8,4
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		4,2	4,2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*		1,4	1,4
			Hydrodictyaceae	*Pediastrum*		1,4	1,4
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		1,4	1,4
				Pleurotaenium		2,8	2,8
			Closteriaceae	*Closterium*	1,9		1,9
Gran Total					**11,2**	**44,8**	**56**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico de Caño Navajas Sur, monitoreado durante la época seca en la estación NAVAJAS_SUR_CL_01, presentó una comunidad extremadamente reducida, compuesta por una sola morfoespecie (*Tipulidae* Mf.) perteneciente al phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Tipulidae, con una abundancia total de 1.1 ind/m² (**Tabla 3.3.3-218**).

Tabla 3.3.3-218 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Navajas Sur	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						NAVAJAS_SUR_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	-	Tipulidae Mf.	1,1	1,1
Total general						**1**	**1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta limitadísima diversidad biológica (riqueza = 1) sugiere condiciones ambientales críticas en este sistema durante el período de muestreo. Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia exclusiva de Tipulidae, familia considerada generalmente como moderadamente tolerante a perturbaciones (Roldan & Ramirez, 2008), en muy baja abundancia, indica un ecosistema acuático con severas limitaciones para el desarrollo de comunidades bentónicas diversas. La ausencia completa de grupos sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera o Trichoptera (EPT), tradicionalmente considerados indicadores de buena calidad de aguas en sistemas lóticos (Domínguez & Fernández, 2009), refuerza la hipótesis de condiciones ambientales adversas.

La interacción con sistemas lénticos y terrestres parece mínima en este caso, evidenciada por la falta de taxones típicamente asociados a interfaces ecológicas (como coleópteros acuáticos o hemípteros), lo que podría sugerir un aislamiento del sistema durante la época seca. La marcada pobreza de la comunidad bentónica podría atribuirse a múltiples factores: condiciones naturales extremas propias de la época seca en la altillanura (disminución crítica del caudal, aumento de temperatura del agua, posible hipoxia), efectos de perturbaciones antropogénicas locales, o una combinación de ambos.

La limitada información disponible (solo una estación monitoreada) no permite establecer si esta condición es característica de todo el caño o específica del punto muestreado. En conclusión, el ensamble bentónico de Caño Navajas Sur durante la época seca muestra características de un sistema ecológicamente comprometido, con una comunidad extremadamente empobrecida que sugiere condiciones ambientales críticas. Estos resultados no permiten realizar un análisis robusto sobre la bioindicación con el índice BMWP/Col o con los índices de diversidad alfa.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de Caño Navajas Sur, en la estación NAVAJAS_SUR_CLE_01, estuvo compuesto por tres (3) morfoespecies distribuidas en dos (2) phylum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases (Clitellata e Insecta), tres (3) órdenes (Lumbriculida, Diptera y Coleóptera), tres (3) familias (Lumbriculidae, Ceratopogonidae y Dytiscidae) y dos (2) géneros identificados (*Alluaudomyia* y *Liodessus*), con una abundancia total de 28 ind/m². La comunidad estuvo dominada por *Alluaudomyia sp.* (Ceratopogonidae) con 24,4 ind/m² (87,1% de la abundancia total) (**Tabla 3.3.3-219**).

Tabla 3.3.3-219 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Navajas Sur	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						NAVAJAS_SUR_CLE_01	
Annelida	Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	-	Lumbriculidae Mf.	1,1	1,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia* sp.	24,4	24,4
		Coleóptera	Dytiscidae	*Liodessus*	*Liodessus* sp.	2,2	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**28**	**28**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta estructura de la comunidad, caracterizada por baja riqueza específica y marcada dominancia de Ceratopogonidae (familia de dípteros considerada generalmente como tolerante a condiciones de estrés ambiental), sugiere un ecosistema con limitaciones importantes para el desarrollo de comunidades acuáticas diversas durante el período de estiaje (Roldan & Ramirez, 2008).

La presencia de *Liodessus* sp. (Dytiscidae), un coleóptero depredador que suele habitar tanto sistemas lénticos como lóticos, indica cierta conexión ecológica con otros ambientes acuáticos de la zona, aunque su baja abundancia relativa sugiere que estas interacciones podrían estar limitadas durante la época seca (Merritt & Cummins, 2008). Los oligoquetos de la familia Lumbriculidae, aunque presentes en muy baja densidad, representan un componente importante en sistemas lénticos y su presencia, aunque escasa, indica la existencia de sustratos orgánicos en el fondo (Domínguez & Fernández, 2009) (**Figura 3.3.3-95**).

La ausencia de grupos típicamente asociados a macrófitas en buen estado de conservación (como ciertos coleópteros Hydrophilidae o hemípteros) y de taxones sensibles (como Ephemeroptera o Trichoptera), junto con la alta dominancia de Ceratopogonidae, sugiere condiciones ambientales subóptimas que podrían estar relacionadas tanto con factores naturales propios de la época seca (reducción del volumen de agua, aumento de temperatura, posible disminución de oxígeno disuelto) como con posibles impactos antropogénicos.

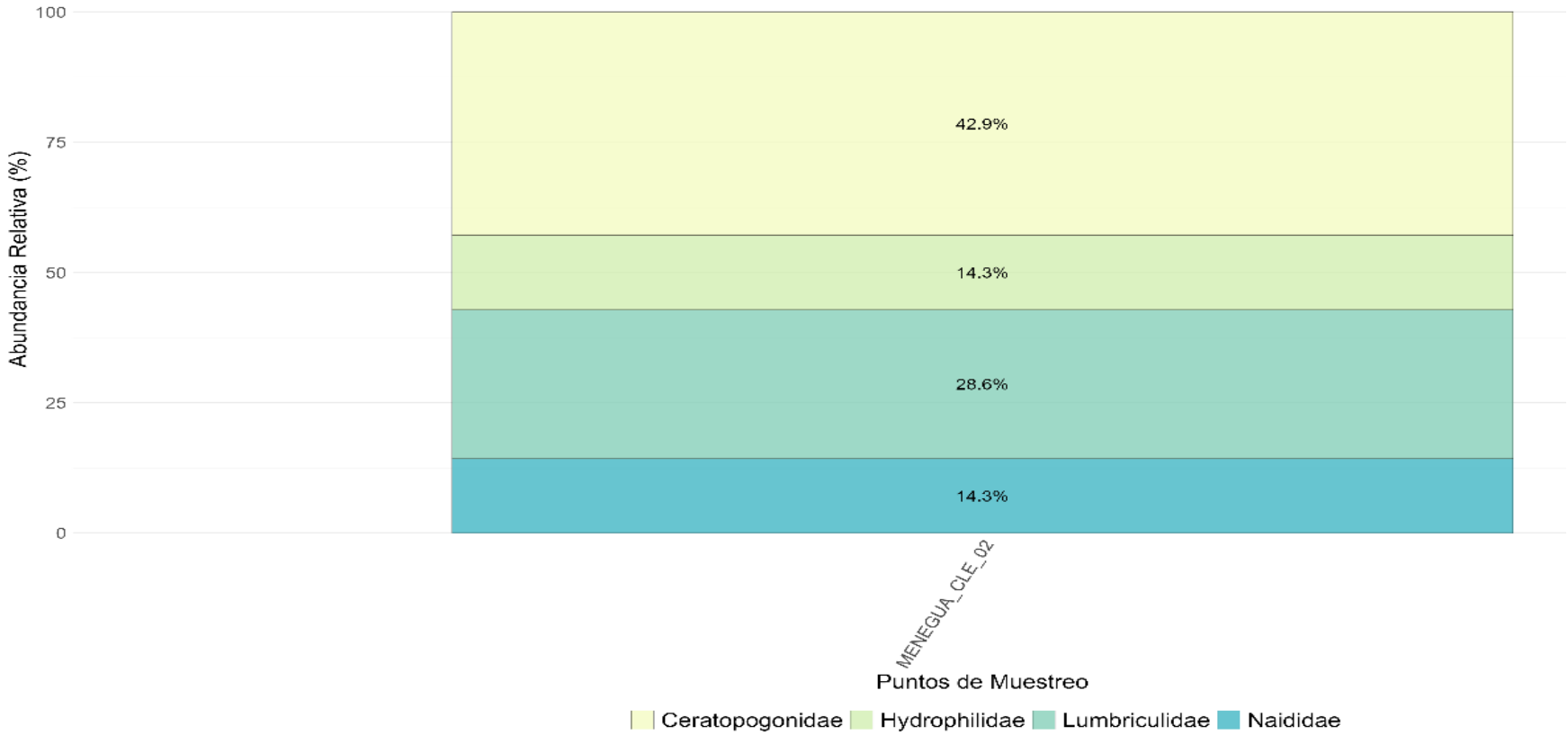


Figura 3.3.3-95 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La limitada conectividad con sistemas terrestres se evidencia en la ausencia de taxones típicos de la interfaz agua-tierra (como ciertos hemípteros o coleópteros semiacuáticos). En conclusión, el ensamble estudiado en Caño Navajas Sur durante la época seca muestra características de un sistema ecológicamente limitado, con una comunidad bentónica asociada a macrófitas de baja diversidad y marcada dominancia de especies tolerantes, lo que refleja probablemente las condiciones ambientales restrictivas propias del estiaje en la altillanura, aunque no puede descartarse la influencia de presiones antropogénicas. La relativa simplicidad de esta comunidad sugiere una baja complejidad trófica y limitada conectividad ecológica con otros sistemas acuáticos y terrestres durante este período.

Esto se ve reflejado en los resultados aportados por el índice BMWP/Col, el cual califica a este cuerpo de agua con calidad Muy Crítica con un significado de aguas fuertemente contaminadas, esto asociado a que, aunque tiene familias representadas con una puntuación media (Ceratopogonidae y Dytiscidae) en el índice, debido a la baja diversidad este no puede arrojar resultados más concluyentes (**Tabla 3.3.3-220**).

Tabla 3.3.3-220 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	Bmwp	Significado
CAÑO NAVAJAS SUR	NAVAJAS_SUR_CLE_01	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la estación NAVAJAS_SUR_CLE_01 en el sistema léntico de Caño Navajas Sur revelan una comunidad biológica notablemente empobrecida durante la época seca. El índice de Shannon (H' = 0.443) indica una diversidad extremadamente baja, lo que concuerda con los hallazgos previos de solo tres (3) morfoespecies presentes (*Alluaudomyia* sp.*, Liodessus* sp. y *Lumbriculidae* Mf.) en una abundancia total de 27.7 ind/m². Este valor de Shannon, significativamente menor a 1, sugiere una comunidad con distribución muy desigual de individuos (Magurran A. E., 2004), hecho confirmado por el alto valor de dominancia de Simpson (D = 0.782), que muestra cómo el 78.2% de la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (**Tabla 3.3.3-221**).

Tabla 3.3.3-221 Índices alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca del caño Navajas Sur época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO NAVAJAS SUR	NAVAJAS_SUR_CLE_01	27.7	3	0.443	0.782	0.403

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El índice de Pielou (J' = 0.403) refleja una baja equitatividad en la distribución de abundancias entre las morfoespecies presentes, donde *Alluaudomyia* sp., representa el 88.1% de la comunidad (24.4/27.7 ind/m²), mientras los otros dos taxa apenas alcanzan el 11.9% restante. Está marcada dominancia de Ceratopogonidae sobre los demás taxones es característica de sistemas acuáticos

sometidos a estrés ambiental, ya sea por condiciones naturales extremas (como las propias de la época seca en la altillanura) o por perturbaciones antropogénicas (Dudgeon, 2020).

Desde la perspectiva de la teoría de comunidades, estos valores de diversidad alfa (riqueza = 3, Shannon < 0.5, Simpson > 0.7) son típicos de sistemas en etapas tempranas de sucesión ecológica, ambientes con perturbaciones frecuentes que impiden el establecimiento de comunidades complejas y hábitats con condiciones ambientales extremas que actúan como filtros ecológicos severos (Krebs, 2014).

La combinación de estos índices corrobora los hallazgos del análisis de composición y estructura previo, confirmando que el ensamble estudiado representa un sistema ecológicamente limitado, con baja capacidad para albergar comunidades diversas durante el período de estiaje. Esta condición podría estar relacionada con restricciones naturales propias de la época seca (disminución del volumen de agua, aumento de temperatura), posible disminución de oxígeno disuelto, limitada disponibilidad de recursos tróficos y el efecto de barreras que impiden la colonización por otras especies.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada seca, el monitoreo de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del Caño Navajas Sur, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, evidenció una baja diversidad de estas comunidades vegetales, reflejada en la presencia de una única morfoespecie registrada exclusivamente en el punto NAVAJAS_SUR_CLE_01, correspondiente a un cuerpo de agua léntico. En este sitio se identificó la especie *Eleocharis geniculata* (familia Cyperaceae, orden Poales, clase Magnoliidae, división Tracheophyta), con una cobertura del 33,34 % y una abundancia relativa del 100 % (**Tabla 3.3.3-222**). Esta especie herbácea, común en áreas pantanosas y suelos húmedos, es indicadora de ambientes acuáticos con baja velocidad de flujo y su presencia resalta la estabilidad del microhábitat en este sector léntico (Cook, 1996[26]).

En contraste, en los puntos NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_02, ambos cuerpos de agua lóticos, no se registró presencia de macrófitas acuáticas. Este patrón concuerda con lo reportado por autores como Wetzel (2001[15]) y Bornette & Puijalon (2011[12]), quienes destacan que los ambientes lóticos suelen presentar condiciones hidrodinámicas poco favorables para el establecimiento de especies de macrófitas, debido a la corriente constante, mayor erosión del sustrato y menor acumulación de nutrientes. Además, los valores bajos de cobertura vegetal y riqueza específica en este tipo de hábitats están ligados a la limitada disponibilidad de condiciones adecuadas para la fijación radicular de estas plantas.

A nivel taxonómico, el análisis revela una estructura simplificada de la comunidad, representada exclusivamente por una especie perteneciente a la división Tracheophyta, sin registro de otras clases u órdenes. La baja diversidad y riqueza específica pueden atribuirse a la estacionalidad climática de la región de altillanura, donde la estacionalidad hídrica influye significativamente en la dinámica ecológica de los cuerpos de agua y sus biocenosis (Mitsch & Gosselink, 2015[29]). En

este sentido, el dominio de una sola especie sugiere un ecosistema con limitada heterogeneidad ecológica en términos de vegetación acuática durante la época seca.

Tabla 3.3.3-222 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajas Sur, época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Navajas Sur	
				Punto De Muestreo	NAVAJAS_SUR_CLE_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Cyperaceae	*Eleocharis geniculata*	33,34	100
Cobertura Total general					**33,34**	**100**
Morfoespecies por Punto					**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**1**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

La estimación de la diversidad alfa no es adecuada cuando solo se cuenta con cero, una o dos morfoespecies, ya que no se considera una comunidad biológica en tanto haya menos de 3 especies o morfoespecies. Esta medida está diseñada para evaluar simultáneamente la riqueza y equitatividad de especies dentro de una comunidad ecológica determinada (Magurran, 2004[35]) por esta razón no se logró determinar los índices de diversidad en temporada seca en el caño Navajas Sur.

➢ *Época lluvias*

✓ *Fitoplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El análisis de la comunidad fitoplanctónica en la Microcuenca de Caño Navajas Sur, muestreado durante la época de lluvias en la altillanura, revela un ensamble extremadamente limitado en términos de riqueza y abundancia. En la estación NAVAJAS_SUR_CLE_01 se registraron únicamente dos géneros *Gomphonema* (0.005 ind/mL) y *Pinnularia* (0.005 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-223**)y ambas con porcentajes de abundancia del (50%) (**Figura 3.3.3-96**), ambas diatomeas bentónicas típicamente asociadas a sustratos más que a la columna de agua, lo que sugiere un posible arrastre desde hábitats periféricos. La abundancia total (0.01 ind/mL) lo que indica condiciones claramente limitantes para el desarrollo del fitoplancton en este sistema durante el periodo de estudio.

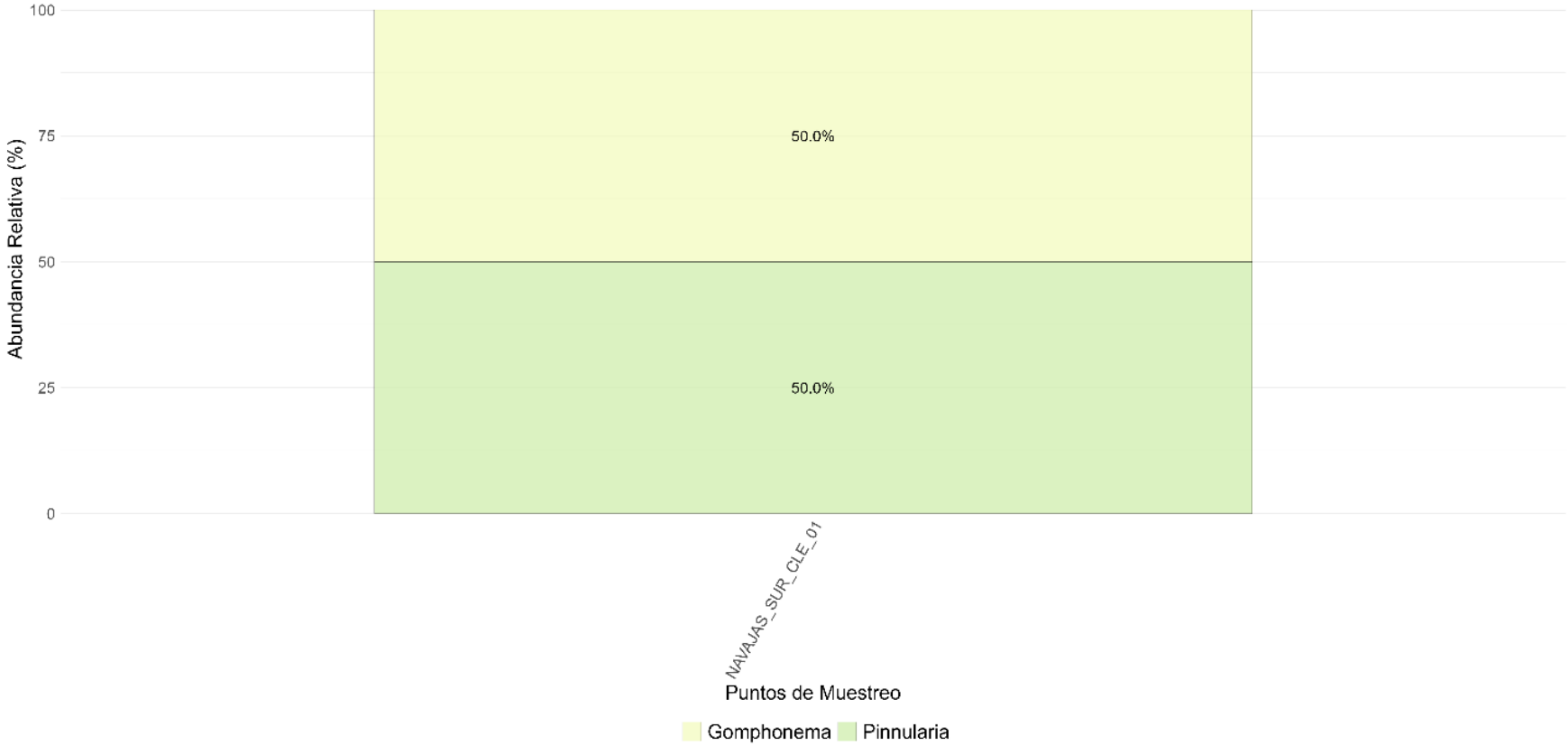


Figura 3.3.3-96 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia exclusiva de diatomeas pennadas como *Gomphonema* y *Pinnularia* señala aguas con bajo contenido de nutrientes y posiblemente ligeramente ácidas, características de ambientes oligotróficos (Round et al., 1990).

La ausencia total de algas verdes, cianobacterias u otros grupos fitoplanctónicos comunes en sistemas lénticos sugiere fuertes limitaciones nutricionales, probablemente agravadas por el efecto de dilución de las lluvias (Reynolds, 2006). La baja densidad celular, es más baja a lo esperado incluso en sistemas oligotróficos (Wetzel R. G., 2001), lo que podría indicar condiciones transitorias excepcionales durante el muestreo.

La interacción con sistemas terrestres y lóticos parece haber sido mínima, evidenciada por la ausencia de especies típicamente transportadas por escorrentía. La composición observada sugiere un sistema léntico temporal con poca conexión hidrológica durante el periodo de muestreo, donde las diatomeas registradas probablemente provienen de poblaciones bentónicas resuspendidas más que de un verdadero ensamble planctónico desarrollado in situ (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La época de lluvias, aunque normalmente enriquecedora, podría haber generado condiciones de alta turbidez y corta residencia del agua que inhibieron el desarrollo fitoplanctónico.

En conclusión, la Microcuenca de Caño Navajas Sur presenta una calificación ecológica muy baja en lo que respecta a su comunidad fitoplanctónica durante el periodo estudiado, con valores de abundancia que indican un sistema extremadamente pobre. Esta condición podría ser temporal (asociada a las lluvias) o reflejar un estado trófico críticamente bajo. La casi ausencia de fitoplancton plantea serias dudas sobre la base de la red trófica acuática en este sistema durante el periodo evaluado.

Tabla 3.3.3-223 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Navajas Sur	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					NAVAJAS_SUR_CLE_01	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,005	0,005
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,005	0,005
Gran Total					0,01	0,01

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del zooplancton en la Microcuenca Caño Navajas Sur, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época de lluvia, se caracteriza por una baja diversidad y abundancia, como lo evidencia el único registro de la morfoespecie *Arcella* (filo Amoebozoa, clase Tubulinea, orden Arcellinida) en la estación NAVAJAS_SUR_CLE_01**,** con una abundancia de 0.0048 ind/mL (**Tabla 3.3.3-224**)**.** Esta especie, perteneciente a la familia Arcellidae, es un protozoo testado común en ambientes lénticos, particularmente en aguas con moderada presencia de materia orgánica y condiciones estables. La escasez de otras morfoespecies sugiere un ambiente con limitaciones en la disponibilidad de recursos o posibles condiciones restrictivas, como fluctuaciones en el nivel del agua debido a las lluvias, que podrían afectar la estabilidad de la comunidad zooplanctónica.

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia exclusiva de *Arcella* puede asociarse a ambientes con baja competencia y condiciones oligotróficas a mesotróficas, ya que estos organismos son tolerantes a variaciones en la calidad del agua, pero no suelen dominar en sistemas altamente productivos (Foissner & Berger, 1996). La ausencia de rotíferos, cladóceros o copépodos, grupos típicos del zooplancton en sistemas lénticos, podría indicar una limitada conectividad con sistemas lóticos o terrestres durante el periodo de muestreo o una baja influencia de nutrientes derivados de escorrentías. Esta se considera ya que la época de lluvias podría haber diluido los nutrientes, reduciendo temporalmente la productividad primaria y, por ende, la base alimenticia para el zooplancton (Payne et al., 2016).

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres parece ser mínima en este caso, ya que no se registraron morfoespecies indicadoras de flujo de agua o aportes alóctonos, como quistes de invertebrados terrestres o especies adaptadas a corrientes. Esto sugiere que el cuerpo de agua estudiado actúa como un sistema aislado durante la época de lluvias, con poca influencia de hábitats adyacentes. No obstante, la presencia de *Arcella*, que puede colonizar hábitats temporales, indica cierta resiliencia a cambios ambientales (Lahr et al., 2019).

En conclusión, la Microcuenca de Caño Navajas Sur presenta una calificación ecológica moderada a baja en lo que respecta a su comunidad zooplanctónica, debido a la pobreza en riqueza y abundancia de especies. La dominancia de *Arcella* sugiere condiciones ambientales estables, pero poco enriquecidas, posiblemente vinculadas a un sistema léntico con limitada influencia externa durante el periodo de muestreo.

Tabla 3.3.3-224 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Navajas Sur	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					NAVAJAS_SUR_CLE_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0048	0,0048
Gran Total					**0,0048**	**0,0048**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en la Microcuenca caño Navajas Sur, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época de lluvia, refleja una comunidad diversa compuesta principalmente por diatomeas (Heterokontophyta), algas verdes (Charophyta) y euglenoides (Euglenophyta). La Microcuenca Caño Navajas Sur, presenta dos puntos de muestreo (NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJA_SUR_CL_02), donde se observaron diferencias en la abundancia de morfoespecies. En NAVAJA_SUR_CL_01, *Pinnularia* (22.7 ind/cm²) y un porcentaje de abundancia relativa (37.2%) y *Eunotia* (12.2 ind/cm² y 20%) fueron dominantes, mientras que en NAVAJA_SUR_CL_02, *Pinnularia* (41 ind/cm² y 50.1%) y *Actinella* (11.2 ind/cm² y 13.7%) (**Tabla 3.3.3-225**) (**Figura 3.3.3-97**) mostraron mayor abundancia. La riqueza de géneros fue notable, con presencia de *Cosmarium*, *Closterium*, *Phacus*, y *Lepocinclis*, entre otros, lo que sugiere un ambiente con disponibilidad de nutrientes y condiciones variables de luz y flujo.

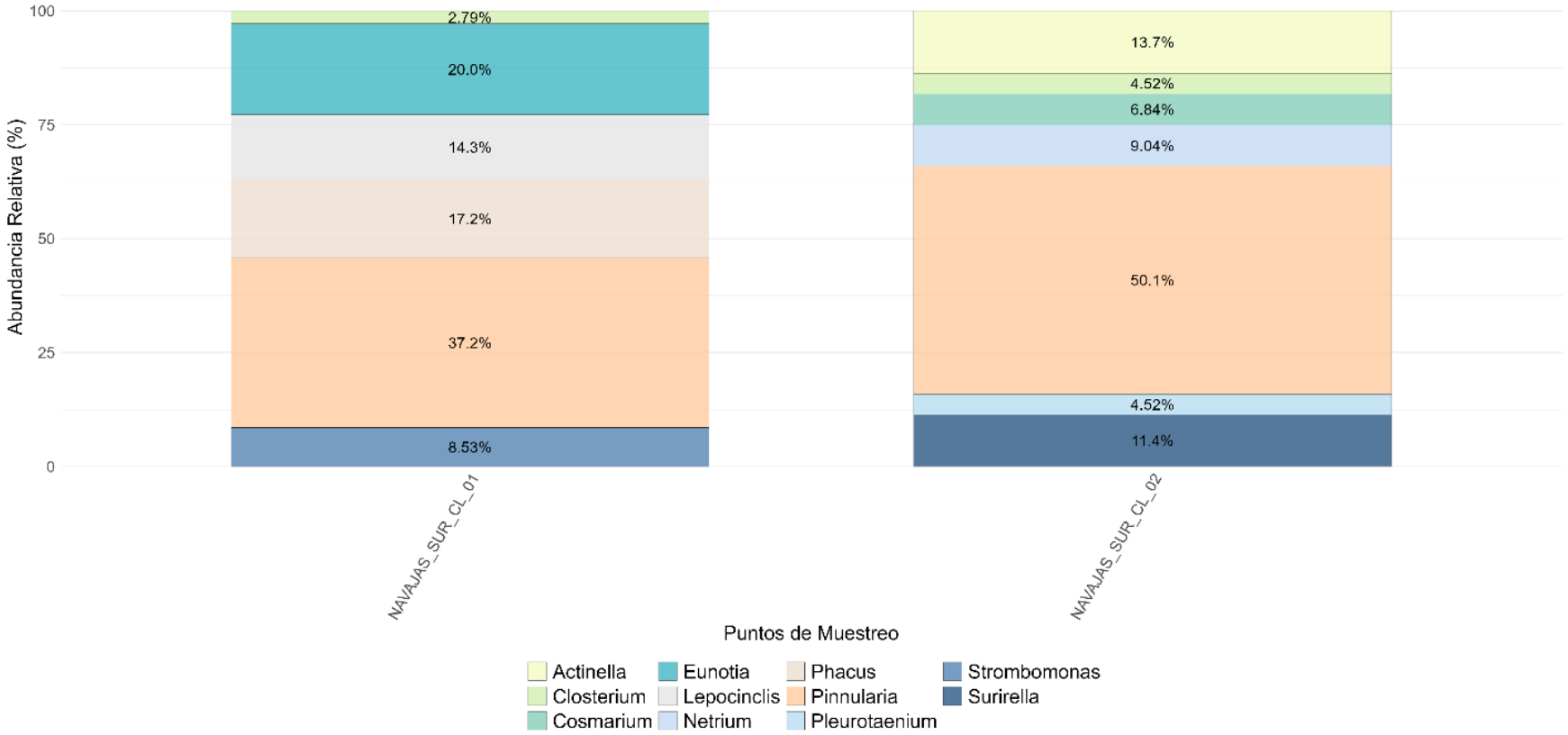


Figura 3.3.3-97 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de diatomeas como *Pinnularia* y *Eunotia* indica aguas ligeramente ácidas y con bajo contenido de nutrientes, típicas de sistemas lóticos bien oxigenados (Round et al., 1990). Por otro lado, la abundancia de *Surirella* y *Cosmarium* sugiere una influencia de sistemas lénticos cercanos, posiblemente debido a la conexión hidrológica durante la época de lluvia. Los euglenoides (*Phacus*, *Lepocinclis*) son indicadores de materia orgánica en descomposición, lo que podría reflejar aportes terrestres o escorrentía desde áreas adyacentes (Wetzel R. G., 2001).

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se evidencia en la composición del ensamble. Por ejemplo, *Closterium* y *Netrium*, comunes en ambientes lénticos, aparecen en baja abundancia, lo que sugiere un transporte pasivo desde hábitats cercanos. Además, la presencia de *Actinella* y *Strombomonas* refuerza la idea de un sistema dinámico con influencia de múltiples fuentes. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010), quien destaca la importancia de la conectividad entre hábitats en la estructuración de comunidades de perifiton.

En conclusión, la Microcuenca de Caño Navajas Sur presenta una calificación ecológica favorable, con una comunidad de perifiton diversa y funcional, aunque con indicios de influencia antrópica o natural por la presencia de euglenoides. La calidad del agua puede considerarse buena, dada la predominancia de diatomeas indicadoras de condiciones limpias.

Tabla 3.3.3-225 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Navajas Sur		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					NAVAJAS_SUR_CL_01	NAVAJAS_SUR_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		9,3	9,3
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	22,7	41	63,7
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	12,2		12,2
				Actinella		11,2	11,2
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		5,6	5,6
				Pleurotaenium		3,7	3,7
			Closteriaceae	*Closterium*	1,7	3,7	5,4
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*		7,4	7,4
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Phacus*	10,5		10,5
				Lepocinclis	8,7		8,7
			Euglenaceae	*Strombomonas*	5,2		5,2
Gran Total					**61**	**81,9**	**142,9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad para la comunidad de perifiton en los puntos de muestreo NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_02 revelan diferencias en la estructura ecológica de la Microcuenca. En NAVAJAS_SUR_CL_01, se registró una abundancia de 61 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-226**) y una riqueza de seis géneros, mientras que en NAVAJAS_SUR_CL_02, la abundancia fue mayor (81.9 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-226**) con una riqueza de siete géneros, lo

que indica una ligera variación en la composición de especies entre ambos sitios. El índice de Shannon, que mide la diversidad considerando tanto riqueza como equitatividad, fue de 1.931 en el primer punto y 1.862 en el segundo (**Tabla 3.3.3-226**), valores moderados que sugieren una diversidad intermedia, aunque con una distribución ligeramente más equilibrada en NAVAJAS_SUR_CL_01.

Por su parte, el índice de Simpson, que evalúa la dominancia de especies, mostró valores bajos (0.161 y 0.191, respectivamente), lo que confirma que no hay una especie claramente dominante y que la comunidad es relativamente diversa. Finalmente, el índice de Pielou, que mide la equitatividad, fue de 1 en el primer punto y 0.957 en el segundo (**Tabla 3.3.3-226**), indicando una distribución casi uniforme de las abundancias en NAVAJAS_SUR_CL_02.

En conjunto, estos resultados reflejan que la Microcuenca presenta una calidad ecológica buena, con una comunidad de perifiton diversa y equilibrada, sin dominancia excesiva de una sola especie. La mayor abundancia y riqueza en NAVAJAS_SUR_CL_02 podrían deberse a condiciones microambientales favorables, como mayor disponibilidad de nutrientes o menor perturbación. Sin embargo, la similitud en los índices de diversidad sugiere que ambos puntos mantienen características ecológicas estables, típicas de sistemas lóticos bien conservados. En conclusión, la Microcuenca puede considerarse en un estado ecológico favorable.

Tabla 3.3.3-226 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NAVAJAS_SUR_CL_01	61	6	1.931	0.161	1.078
NAVAJAS_SUR_CL_02	81.9	7	1.862	0.191	0.957

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico de Caño Navajas Sur, monitoreado durante la época de lluvias en la estación NAVAJAS_SUR_CL_01, presentó una comunidad compuesta por cinco (5) morfoespecies distribuidas en dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases, cuatro (4) órdenes, cinco (5) familias y tres (3) géneros identificados (*Alluaudomyia*, *Hexacylloepus* y *Leptonema*), con una abundancia total de siete (7) ind/m². La comunidad estuvo representada por *Naididae* Mf. *(*1,1 ind/m*²), Chironomidae* Mf. (1,1 ind/m²), *Alluaudomyia sp.* (2,2 ind/m²), *Hexacylloepus* sp. (1,1 ind/m²) y *Leptonema* sp. (1,1 ind/m²), mostrando una distribución relativamente equilibrada de las abundancias entre los taxones presentes (**Tabla 3.3.3-227**).

Tabla 3.3.3-227 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Navajas Sur	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						NAVAJAS_SUR_CL_01	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae* Mf.	1,1	1,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.	1,1	1,1
			Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia* sp.	2,2	2,2
		Coleóptera	Elmidae	*Hexacylloepus*	*Hexacylloepus* sp.	1,1	1,1
		Trichoptera	Hydropsychidae	*Leptonema*	*Leptonema* sp.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**7**	**7**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de *Leptonema* sp. (Hydropsychidae), un tricóptero considerado sensible a perturbaciones, junto con *Hexacylloepus* sp. (Elmidae), coleóptero típico de aguas bien oxigenadas, sugiere que el sistema mantiene condiciones ambientales favorables en algunos sectores durante la época de lluvias (Roldán & Ramírez, 2008). Sin embargo, la baja abundancia total (7 ind/m²) y la presencia simultánea de grupos tolerantes como Naididae y Chironomidae indican que el sistema podría estar experimentando presiones ambientales moderadas (Domínguez & Fernández, 2009) (**Figura 3.3.3-98**).

La interacción con sistemas lénticos y terrestres se evidencia a través de la presencia de *Alluaudomyia* sp. (Ceratopogonidae), que puede colonizar diversos tipos de hábitats acuáticos, y *Hexacylloepus* sp., que suele habitar tanto en sistemas lóticos como en zonas de transición con ambientes lénticos (Merritt & Cummins, 2008). La aparición de *Leptonema* sp., un tricóptero cuyas larvas construyen redes de captura en aguas corrientes, confirma la condición lótica del sistema durante el período de muestreo. La relativa diversidad observada (5 morfoespecies) en comparación con los resultados de la época seca en el mismo sistema, donde solo se registró una especie (Tipulidae Mf.), sugiere una notable recuperación de la comunidad durante las lluvias, probablemente debido al aumento en la disponibilidad de hábitats, la mejora en la calidad del agua y la mayor conectividad con otros sistemas acuáticos (Wantzen et al., 2008). No obstante, la baja abundancia total sigue siendo preocupante y podría indicar limitaciones en el reclutamiento de poblaciones o la persistencia de factores de estrés.

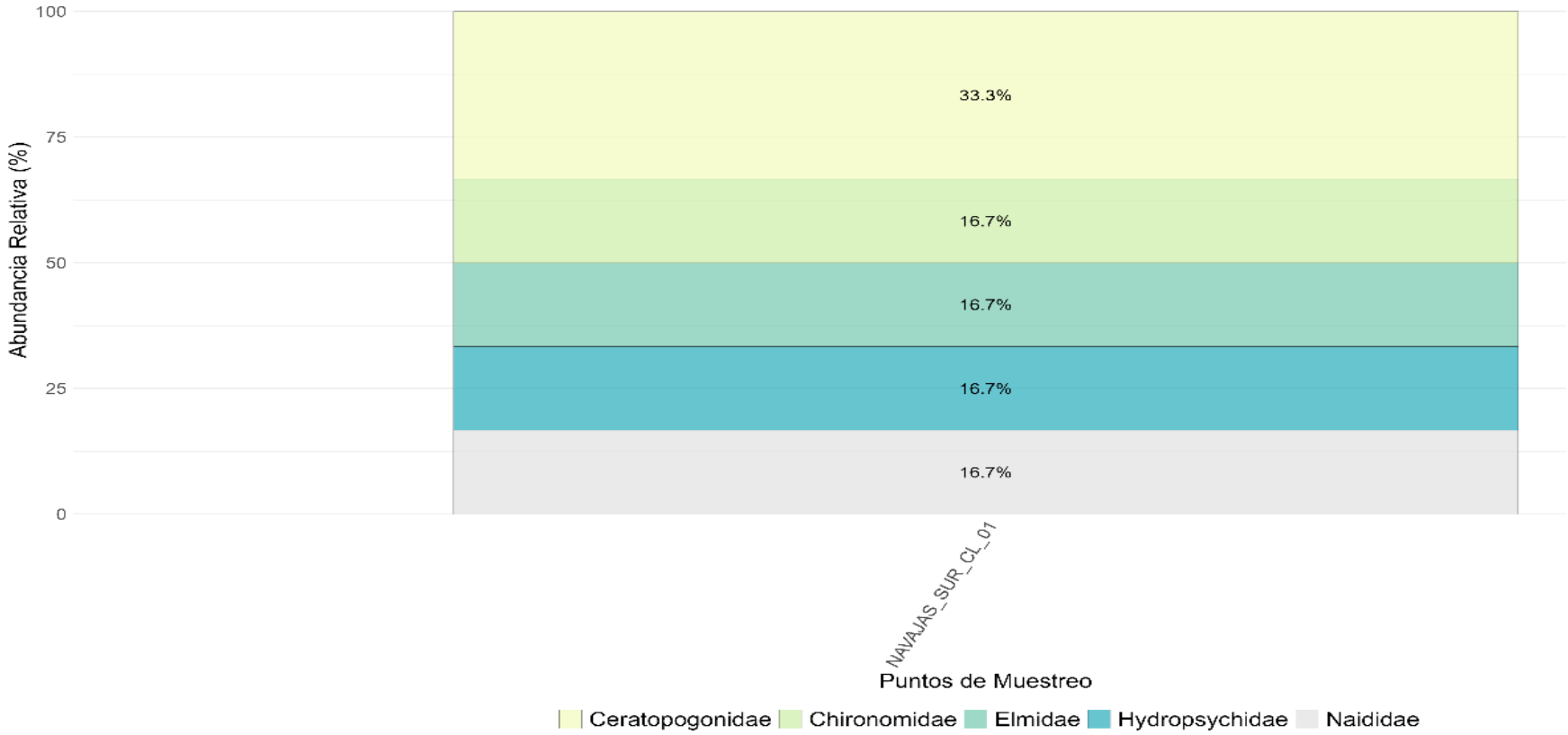


Figura 3.3.3-98 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble bentónico de Caño Navajas Sur durante la época de lluvias muestra una comunidad más diversa que en el período seco, con presencia de taxones indicadores de buena calidad ambiental, aunque con abundancias totales aún reducidas. La coexistencia de organismos con diferentes requerimientos ecológicos (desde los tolerantes como Naididae hasta los sensibles como *Leptonema* sp.) sugiere la existencia de microhábitats diferenciados dentro del sistema. Estos resultados destacan la importancia del régimen hidrológico en la estructuración de las comunidades acuáticas en la altillanura.

El índice BMWP/Col aplicado a la estación NAVAJAS_SUR_CL_01 en Caño Navajas Sur durante la época de lluvias arrojó un valor de 21 puntos, clasificando la calidad del agua como "Clase IV - Crítica" (aguas muy contaminadas) (**Tabla 3.3.3-228**). Este resultado, aunque mejor que los registrados durante la época seca, sigue reflejando condiciones ambientales preocupantes para el sistema acuático. La puntuación obtenida se explica por la presencia de Hydropsychidae (*Leptonema* sp.) que aporta 10 puntos al índice, Elmidae (*Hexacylloepus* sp.) con 6 puntos, y la presencia simultánea de familias tolerantes como Naididae, Chironomidae y Ceratopogonidae que limitan significativamente el valor total (Roldán, 2003). La contribución de los taxones sensibles (*Leptonema* y *Hexacylloepus*) es insuficiente para compensar el impacto negativo de los grupos tolerantes que dominan numéricamente la comunidad, particularmente *Alluaudomyia* sp. (Ceratopogonidae) con 2,2 ind/m².

Tabla 3.3.3-228 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

Microcuenca	Punto de monitoreo	Clase	Calidad	Bmwp	Significado
CAÑO NAVAJAS SUR	NAVAJAS_SUR_CL_01	IV	Critica	21	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta clasificación "crítica" contrasta parcialmente con la relativa diversidad observada en el análisis de la comunidad (5 morfoespecies), demostrando que el BMWP/Col es particularmente sensible a la presencia/ausencia de taxones indicadores más que a la diversidad total y la proporción entre grupos sensibles y tolerantes (Domínguez & Fernández, 2009).

La presencia de *Leptonema* sp. (Hydropsychidae), a pesar de su baja abundancia (1,1 ind/m²), evita que el índice alcance valores aún más críticos, sugiriendo que algunas zonas del sistema mantienen características adecuadas para organismos sensibles durante las lluvias. Sin embargo, la clasificación final confirma que el cuerpo de agua sigue sujeto a fuertes presiones ambientales, posiblemente relacionadas con el aporte de contaminantes desde la Microcuenca, la alteración de los hábitats acuáticos, los efectos residuales de la época seca y la presión antropogénica localizada (Alba-Tercedor, 1996).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la estación NAVAJAS_SUR_CL_01 revelan una comunidad bentónica con características ecológicas particulares durante la época de lluvias. El valor del índice de Shannon (H' = 1.561) indica una diversidad moderada, consistente con la

presencia de cinco (5) morfoespecies en una abundancia total de 6.6 ind/m². Este resultado refleja una notable mejoría respecto a los valores registrados durante la época seca en el mismo sistema, donde se observó diversidad nula (Shannon = 0) en condiciones de estiaje (Domínguez & Fernández, 2009).

El índice de Simpson (D = 0.222) muestra una baja dominancia, con solo 22.2% de probabilidad de que dos organismos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, lo que sugiere una distribución equilibrada de las abundancias entre los taxones presentes. Este patrón se confirma con el alto valor de equitatividad de Pielou (J' = 0.97), cercano al máximo teórico de 1, que indica una distribución casi perfectamente uniforme de los individuos entre las especies (Magurran, 2004) (**Tabla 3.3.3-229**). Sin embargo, esta aparente estabilidad de la comunidad debe interpretarse con cautela, ya que se da en el contexto de una abundancia total muy baja (6.6 ind/m²), donde pequeñas variaciones en el número de individuos pueden afectar significativamente los valores de los índices.

Tabla 3.3.3-229 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca del caño Navajas Sur época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO NAVAJAS SUR	NAVAJAS_SUR_CL_01	6.6	5	1.561	0.222	0.97

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la teoría de comunidades, estos resultados sugieren una recolonización inicial del sistema tras las condiciones críticas de la época seca, la existencia de múltiples nichos ecológicos disponibles durante el período lluvioso y un equilibrio frágil, donde la comunidad podría evolucionar hacia mayor diversidad o colapsar ante perturbaciones (Krebs, 2014).

La combinación de estos índices con los resultados del BMWP/Col (21 puntos, Clase IV) revela una aparente rareza ecológica: mientras los índices de diversidad sugieren una comunidad relativamente equilibrada (Shannon 1.561, Pielou 0.97), el BMWP indica condiciones críticas ("aguas muy contaminadas"). Esta discrepancia se explica porque los índices alfa miden estructura de la comunidad, no calidad ambiental, la comunidad diversa está compuesta principalmente por especies tolerantes, los pocos taxones sensibles presentes (*Leptonema sp.*) tienen abundancias muy bajas y el BMWP da mayor peso a la presencia/ausencia de indicadores que a la diversidad total (Roldán, 2003).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvia, la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del Caño Navajas Sur, ubicada en el área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, mostró una mayor complejidad estructural y diversidad específica en comparación con la temporada seca, lo cual está estrechamente relacionado con el aumento del nivel del agua, la expansión del hábitat ribereño y la disponibilidad de nutrientes. En total, se identificaron cinco morfoespecies distribuidas entre tres puntos de muestreo: NAVAJAS_SUR_CLE_01 (cuerpo de agua léntico), y

NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_02 (cuerpos lóticos). A nivel taxonómico, todas las especies registradas pertenecen a la división Tracheophyta, agrupadas principalmente en la clase Magnoliidae, y distribuidas en los órdenes Poales y Asterales, siendo las familias Cyperaceae, Poaceae y Asteraceae las que representaron a la comunidad (**Tabla 3.3.3-230**).

En el punto léntico NAVAJAS_SUR_CLE_01, se presentó la mayor diversidad y cobertura de macrófitas, con tres morfoespecies: *Cyperus* sp. (Cyperaceae), *Leersia* sp. y *Urochloa* sp. (ambas Poaceae), alcanzando una cobertura total del 112,67 %. Esto refleja un ambiente de baja energía, con condiciones más estables para el asentamiento de especies enraizadas emergentes, las cuales dominan en sistemas con escasa corriente y suelos saturados (Chambers et al., 2008[10]). La familia Poaceae, especialmente *Leersia* sp., fue particularmente dominante (61,67 %), indicando su alta capacidad de colonización en zonas húmedas y su importancia estructural en el ecosistema (**Tabla 3.3.3-230**).

Por otro lado, en los cuerpos de agua lóticos NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_02, se observaron diferencias notables en la composición. En NAVAJAS_SUR_CL_01 solo se registró la presencia de *Cyperus* sp. (Cyperaceae), con una cobertura del 44 %, reflejando condiciones de corriente moderada que permiten el establecimiento de ciertas especies tolerantes a flujos, como las ciperáceas. En NAVAJAS_SUR_CL_02 se identificaron dos morfoespecies: *Mikania* sp. (Asteraceae), una planta trepadora común en márgenes húmedos, y *Digitaria* sp. (Poaceae), con una cobertura dominante del 104,33 % (**Tabla 3.3.3-230**), lo cual sugiere una mayor colonización de áreas expuestas y posiblemente disturbadas (Bornette & Puijalon, 2011[12]; Cook, 1996[26]).

En general, el análisis taxonómico evidencia el predominio de especies del orden Poales, adaptadas a condiciones variables de humedad, corriente y disturbio, lo que confirma su rol fundamental en la estructura funcional de las comunidades ribereñas (Barko et al., 1986[13]). Asimismo, la clase Magnoliidae muestra una amplia representación, reflejando su versatilidad en ecosistemas acuáticos tropicales.

Tabla 3.3.3-230 Ensamble ecológico comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajas Sur, época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Navajas Sur					
				Punto De Muestreo	NAVAJAS_SUR_CLE_01		NAVAJAS_SUR_CL_01		NAVAJAS_SUR_CL_02	
				Especie/Morfo especie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Asterales	Asteraceae	*Mikania* sp.					4	3,69
		Poales	Cyperaceae	*Cyperus* sp.	32,67	29,00	44	100,00		
			Poaceae	*Digitaria* sp.					104,33	96,31
				Leersia sp.	61,67	54,74				
				Urochloa sp.	18,33	16,27				
Cobertura Total general					**112,67**	**100**	**44**	**100**	**108,33**	**100**
Morfoespecies por Punto					**3**		**1**		**2**	
Morfoespecies por Microcuenca					**5**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño Navajas Sur, el análisis de los índices de diversidad de macrófitas acuáticas mostró resultados significativos únicamente en el punto NAVAJAS_SUR_CLE_01, correspondiente a un cuerpo de agua léntico. En este sitio se registró una abundancia total de 112,67 individuos, con una riqueza de tres morfoespecies, y valores de diversidad correspondientes a un índice de Shannon (H') de 1,011, índice de Simpson de 0,389 y un índice de equidad de Pielou (J') de 0,92 (**Tabla 3.3.3-231**). Estos indicadores reflejan una diversidad moderada y una distribución bastante equitativa entre las especies presentes, lo cual es característico de ambientes con condiciones más estables, baja turbulencia y mayor disponibilidad de nichos para la colonización de macrófitas acuáticas (Wetzel, 2001[15]; Mitsch & Gosselink, 2015[29]).

La equidad cercana a 1 (J' = 0,92) (**Tabla 3.3.3-231**)sugiere que las especies no solo estuvieron presentes, sino que también estuvieron distribuidas de forma relativamente balanceada en términos de abundancia. Esta condición es común en sistemas lénticos, donde la menor energía hidrodinámica favorece el establecimiento de especies enraizadas y emergentes, así como la permanencia de condiciones fisicoquímicas homogéneas que promueven la coexistencia (Barko et al., 1986[13]; Chambers et al., 2008[10]).

En contraste, en los puntos NAVAJAS_SUR_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_02, correspondientes a cuerpos de agua lóticos, no fue posible calcular índices de diversidad debido a que en ambos casos se registró una riqueza menor a tres morfoespecies. Esta baja riqueza y dominancia específica son comunes en sistemas con mayor turbulencia, sustratos inestables y pulsos hidrológicos frecuentes, los cuales dificultan el asentamiento de comunidades vegetales complejas (Bornette & Puijalon, 2011[12]). En estos ambientes, generalmente prevalecen especies oportunistas o de rápido crecimiento, capaces de tolerar el estrés físico asociado al flujo constante.

En conjunto, estos resultados demuestran que la estructura y diversidad de las comunidades de macrófitas acuáticas en el caño Navajas Sur están fuertemente influenciadas por la naturaleza del cuerpo de agua y el régimen hidrológico asociado, confirmando que los ecosistemas lénticos tienden a albergar una mayor diversidad estructurada y funcional en comparación con los sistemas lóticos.

Tabla 3.3.3-231 Índices de diversidad, macrófitas acuáticas caño Navajas Sur época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NAVAJAS_SUR_CLE_01	112.67	3	1.011	0.389	0.92

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación de la diversidad de macrófitas acuáticas entre las temporadas seca y de lluvias en la Microcuenca del caño Navajas Sur evidencia diferencias marcadas en la composición, estructura y riqueza de especies, atribuibles a las variaciones hidrológicas y ecológicas propias de cada estación. Durante la temporada seca, la comunidad fue extremadamente simplificada, con

la presencia de una sola morfoespecie (*Eleocharis geniculata*) perteneciente a la familia Cyperaceae, registrada únicamente en el punto léntico NAVAJAS_SUR_CLE_01, con una cobertura del 33,34 % y una riqueza de una especie para toda la Microcuenca. Este empobrecimiento florístico es coherente con condiciones ecológicas de bajo nivel de agua, disminución de hábitat disponible, estrés hídrico y mayor concentración de nutrientes, que favorecen la dominancia de especies oportunistas o tolerantes a sequía (Mitsch & Gosselink, 2015[29]; Chambers et al., 2008[10]).

En contraste, durante la temporada de lluvias, la riqueza y cobertura vegetal aumentaron notablemente en los cuerpos de agua, especialmente en el punto NAVAJAS_SUR_CLE_01, donde se registraron tres morfoespecies (*Cyperus* sp., *Leersia* sp. y *Urochloa* sp.), con una cobertura total de 112,67 % y un índice de diversidad de Shannon de 1,011, lo cual indica una comunidad más diversa y estructurada. Asimismo, se amplió la diversidad a nivel de familias, incorporando Poaceae y Asteraceae, reflejando una mayor heterogeneidad ambiental y expansión del nicho ecológico en condiciones de mayor inundación y estabilidad hídrica (Bornette & Puijalon, 2011[12]; Wetzel, 2001[15]).

Desde el punto de vista ecológico, estos patrones responden a la resiliencia estacional de los humedales tropicales, donde la disponibilidad hídrica durante la temporada de lluvias permite una recolonización activa, mayor competencia interespecífica y regeneración de la diversidad estructural, mientras que la temporada seca actúa como un filtro ambiental que restringe la composición florística a especies altamente adaptadas (Junk et al., 1989[11]; Barko et al., 1986[13]). La alta equidad observada en época de lluvias (Pielou = 0,92) sugiere un balance entre las especies presentes, lo que refuerza la idea de un ecosistema más estable y funcional en esta estación, frente a una comunidad simplificada y dominada en época seca.

En síntesis, la dinámica hidrológica estacional es un factor determinante en la diversidad de macrófitas acuáticas en el caño Navajas Sur. La temporada de lluvias favorece la complejidad ecológica y la riqueza específica, mientras que la época seca actúa como un regulador negativo de la diversidad, concentrando la comunidad en unas pocas especies resistentes. Este patrón es consistente con estudios previos sobre humedales e hidrosistemas en zonas tropicales estacionales, que destacan el papel del pulso de inundación como motor de biodiversidad y estructuración funcional (Junk et al., 1989[11]; Mitsch & Gosselink, 2015[29]).

3.3.3.2.16 Microcuenca caño Navajitas

La Microcuenca del caño Navajitas, ubicada en el municipio de Puerto López, forma parte de la región fisiográfica de la altillanura, caracterizada por su relieve plano a ligeramente ondulado, suelos ácidos de baja fertilidad y una cobertura vegetal dominada por sabanas naturales y pastizales intervenidos (IGAC, 2014[55]). En este contexto, se realizó un monitoreo de comunidades hidrobiológicas en dos puntos de muestreo representativos del caño Navajitas (NAVAJITAS_CL_01 y NAVAJITAS_CL_02), con el objetivo de evaluar el estado ecológico del sistema acuático mediante la caracterización de organismos indicadores, como las macrófitas acuáticas, que

[55] IGAC (2014). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

permiten inferir condiciones de calidad del agua y alteraciones en los ecosistemas lóticos (IDEAM, 2018[37]) (**Figura 3.3.3-99**).

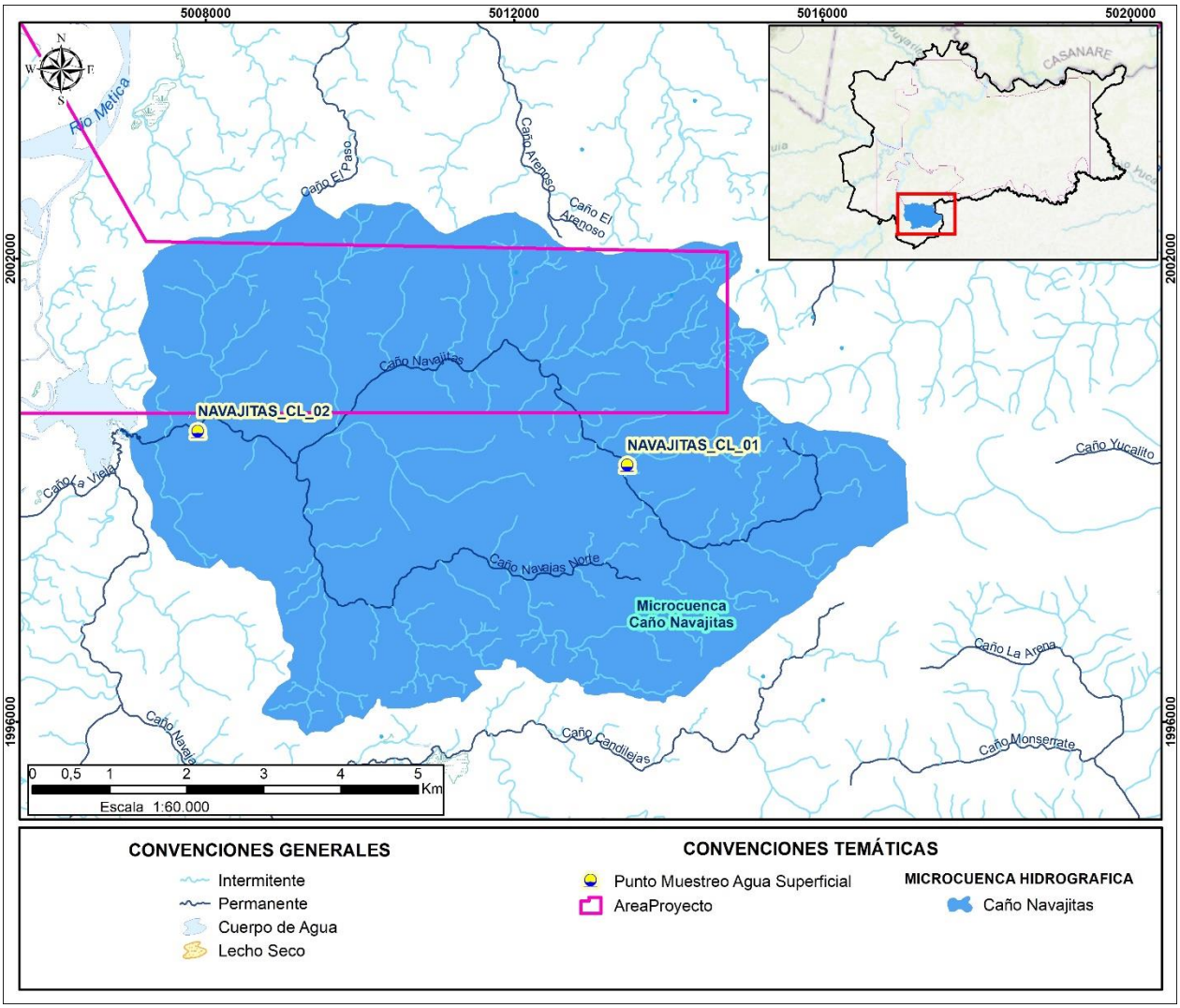


Figura 3.3.3-99 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Navajitas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Navajitas, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

➢ *Época seca*

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en los puntos NAVAJITAS_CL_01 y NAVAJITAS_CL_02 del Caño Navajitas revela una estructura ecológica altamente desequilibrada durante la época seca. La estación NAVAJITAS_CL_01 presenta una abundancia notablemente elevada (93.9 Ind/cm²), dominada abrumadoramente por el género *Aulacoseira* (81.8 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (87.11%), que representa el 87.1% del total registrado en este punto. Está marcada dominancia contrasta con la presencia de otros seis géneros en bajas abundancias (*Gyrosigma* 2.8 Ind/cm² (2.98%); *Audouinella* 3.7 Ind/cm² (3.94%) y *Pinnularia* 1.9 Ind/cm² (2.02%). Por su parte, NAVAJITAS_CL_02 muestra una comunidad extremadamente pobre, con solo 1.3 Ind/cm² y un porcentaje de abundancia del (100%) de *Pinnularia* como único registro. La riqueza total de la Microcuenca es de siete géneros y se concentra exclusivamente en NAVAJITAS_CL_01, evidenciando una distribución espacial sumamente heterogénea (**Tabla 3.3.3-232**) (**Figura 3.3.3-100**).

Desde la perspectiva de bioindicación, la dominancia de *Aulacoseira* en NAVAJITAS_CL_01 sugiere condiciones de alta turbulencia y disponibilidad de nutrientes, características de zonas con influencia de corrientes principales. Sin embargo, su presencia masiva (81.8 Ind/cm²) combinada con la casi ausencia de otros géneros podría indicar un evento de floración algal, posiblemente relacionado con aportes puntuales de nutrientes o cambios abruptos en las condiciones físico-químicas del agua. La presencia de *Audouinella* (3.7 Ind/cm²), un alga roja típica de aguas bien oxigenadas, pero con cierta tolerancia a la contaminación orgánica, añade complejidad al diagnóstico. En contraste, la extrema pobreza de NAVAJITAS_CL_02 (solo *Pinnularia*) sugiere condiciones restrictivas diferentes, posiblemente relacionadas con sustratos inadecuados o sombreado excesivo.

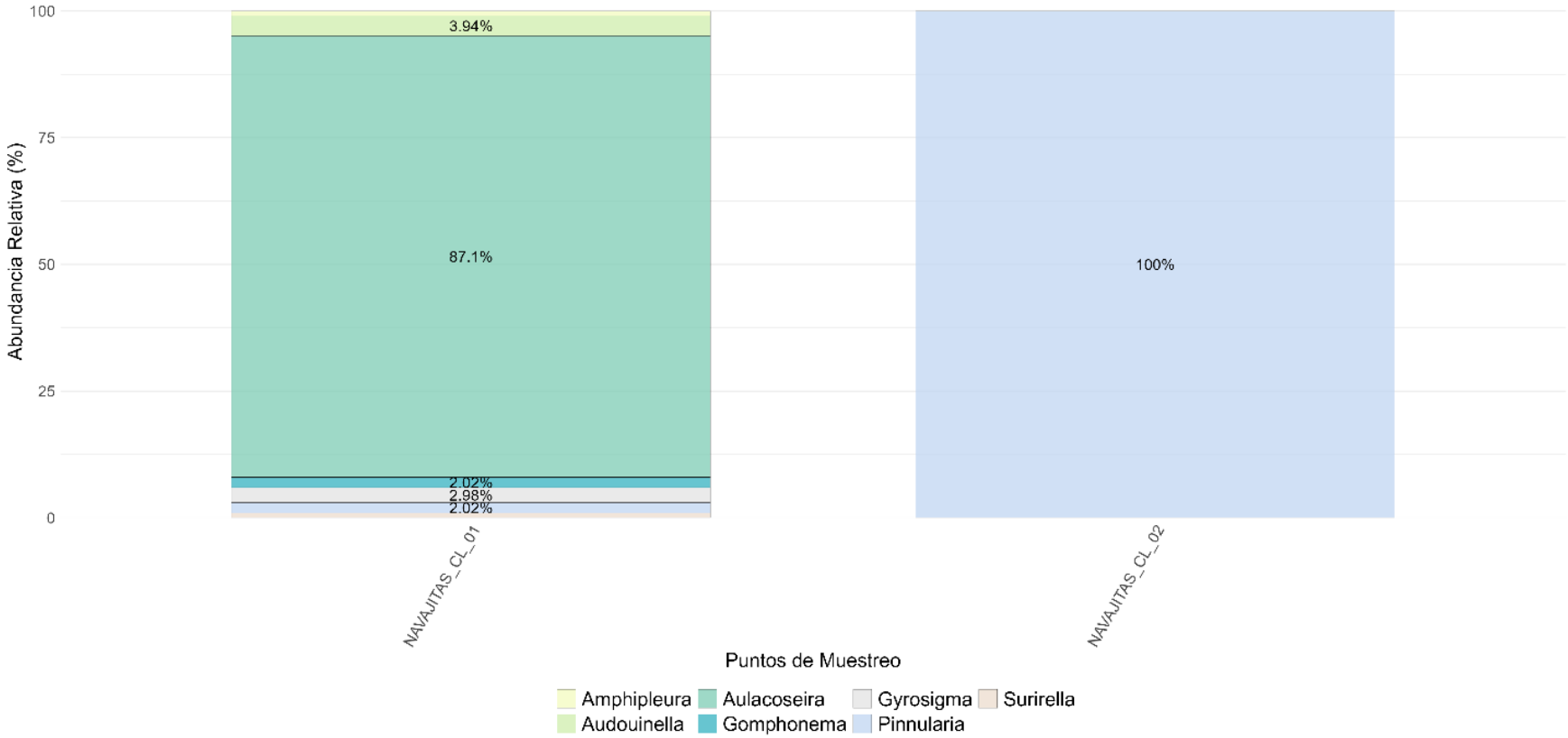


Figura 3.3.3-100 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la posible conexión con áreas de mayor flujo que explicaría la dominancia de *Aulacoseira* en NAVAJITAS_CL_01, la casi ausencia de comunidades en NAVAJITAS_CL_02, que podría deberse a su posición en zonas de transición con menor influencia fluvial y la limitada presencia de géneros indicadores de aportes terrestres, sugieren una escasa influencia ribereña durante el período de muestreo.

En conclusión, el ensamble perifítico de la Microcuenca Caño Navajitas muestra características de un sistema ecológicamente perturbado, con una distribución espacial extremadamente desigual de las comunidades. La combinación de dominancia masiva en un punto (*Aulacoseira* en NAVAJITAS_CL_01) y virtual ausencia en otro (NAVAJITAS_CL_02) sugiere fuertes gradientes ambientales a pequeña escala, posiblemente relacionados con variaciones en el régimen hidrodinámico, aportes puntuales de nutrientes o alteraciones antrópicas locales. La evaluación ecológica de la Microcuenca indicaría una calidad entre regular y pobre.

Tabla 3.3.3-232 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Navajitas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					NAVAJITAS_CL_01	NAVAJITAS_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	1,9		1,9
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	0,9		0,9
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	1,9	1,3	3,2
			Amphipleuraceae	*Amphipleura*	0,9		0,9
			Naviculaceae	*Gyrosigma*	2,8		2,8
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	81,8		81,8
Rhodophyta	Florideophyceae	Acrochaetiales	Audouinellaceae	*Audouinella*	3,7		3,7
Gran Total					**93,9**	**1,3**	**95,2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en los dos puntos de muestreo revelan una situación ecológica crítica en la Microcuenca del Caño Navajitas durante la época seca. La estación NAVAJITAS_CL_01 presenta una marcada dominancia ecológica, evidenciada por su alto índice de Simpson (0.769) y baja equitatividad (Pielou=0.301), a pesar de mostrar una riqueza aparente de siete géneros (**Tabla 3.3.3-233**). Estos valores, combinados con la alta abundancia registrada (93.9 Ind/cm²), sugieren una comunidad fuertemente dominada por pocas especies (especialmente *Aulacoseira* como se vio previamente), donde la presencia de otros taxones resulta marginal. Esta condición podría indicar un proceso de eutrofización incipiente o alteraciones significativas en las condiciones físico-químicas del agua. En el extremo opuesto, NAVAJITAS_CL_02 muestra una situación aún más preocupante, con valores de (Shannon=0, Simpson=1) y una única especie presente (*Pinnularia*) en muy baja abundancia (1.3 Ind/cm²), características típicas de ambientes severamente degradados o con condiciones extremadamente restrictivas.

La evaluación ecológica integrada de la Microcuenca indica una calidad ambiental entre pobre y crítica. La coexistencia de estos dos escenarios tan contrastantes, uno de dominancia extrema y otro de ausencia de comunidad, sugiere que el sistema está experimentando perturbaciones

significativas, posiblemente relacionadas con fluctuaciones abruptas en el régimen hídrico, contaminación puntual o alteración de sustratos.

La casi ausencia de especies en NAVAJITAS_CL_02 es particularmente alarmante, ya que refleja la incapacidad del sistema para mantener comunidades perifíticas viables en algunos sectores. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por (Biggs B. F., 1996) en sistemas fluviales bajo estrés, donde la pérdida de diversidad y el aumento de dominancia son indicadores tempranos de deterioro ambiental. La calificación ecológica de la Microcuenca sería crítica. No se debe realizar un análisis de índices de diversidad cuando solo se ha encontrado una especie, ya que estos índices están diseñados para cuantificar la variedad de especies y su distribución relativa dentro de una comunidad biológica. La diversidad ecológica implica tanto la riqueza (número de especies) como la equitatividad (distribución de los individuos entre las especies). En presencia de una única especie, la riqueza es mínima y la equitatividad carece de sentido, lo que conduce inevitablemente a un valor de diversidad igual a cero. Aplicar índices como Shannon o Simpson en este contexto no aporta información ecológica relevante y puede inducir a interpretaciones erróneas. Por ello, se considera metodológicamente inapropiado realizar este tipo de análisis sin una mínima riqueza de especies que justifique la evaluación de la diversidad (Magurran A. E., 2004), (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001).

Tabla 3.3.3-233 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Navajitas época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NAVAJITAS_CL_01	93.9	7	0.586	0.769	0.301

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el caño Navajitas, presentó un total de ocho (8) morfoespecies, distribuidas en tres (3) phyllum (Arthropoda, Malacostraca y Nematoda), dos (2) clases de artrópodos (Insecta y Malacostraca), tres (3) órdenes (Diptera, Coleóptera, Decapoda), siete (7) familias (Chironomidae, Ceratopogonidae, Tipulidae, Dolichopodidae, Hydrophilidae, Elmidae y Palaemonidae) y cinco (5) géneros identificables (*Alluaudomyia*, *Probezzia*, *Aphrosylus*, *Hexacylloepus*, *Macrobrachium*). La abundancia total fue de 35 individuos/m², siendo el punto NAVAJITAS_CL_02 el que concentró la mayor diversidad y abundancia (31 individuos/m²) frente al punto NAVAJITAS_CL_01 (4 individuos/m²) (**Tabla 3.3.3-234**).

Tabla 3.3.3-234 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Navajitas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						NAVAJITAS_CL_01	NAVAJITAS_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	1,1	15,5	16,6
			Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	*Alluaudomyia* sp.		4,4	4,4
				Probezzia	*Probezzia* sp.		2,2	2,2
			Tipulidae	-	*Tipulidae* Mf.	1,1		1,1
			Dolichopodidae	*Aphrosylus*	*Aphrosylus* sp.	1,1		1,1
		Coleóptera	Hydrophilidae	-	*Hydrophilidae* Mf.	1,1		1,1
			Elmidae	*Hexacylloepus*	*Hexacylloepus* sp.		2,2	2,2
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.		5,6	5,6
Nematoda	-	-	-	-	*Nematoda* Mf.		1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**4**	**31**	**35**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis del ensamble indica una comunidad dominada por larvas de Diptera, principalmente de la familia Chironomidae, un grupo conocido por su alta tolerancia a condiciones ambientales degradadas y bajos niveles de oxígeno disuelto (Rosenberg & Resh, 1993), lo cual sugiere condiciones tróficas intermedias a eutróficas. Asimismo, se destaca la presencia de representantes de la familia Ceratopogonidae, como *Alluaudomyia* y *Probezzia*, cuyo papel ecológico es relevante en términos de redes tróficas por su función como predadores o hematófagos en ambientes semiacuáticos (Whittaker, 1972). La aparición de *Macrobrachium sp*. (Decapoda: Palaemonidae) evidencia cierta conectividad con hábitats más estables o permanentes como pozas o sectores semilénticos, lo cual podría estar asociado a la dinámica estacional y a la estructura morfológica del sistema de caño (**Figura 3.3.3-101**).

La composición taxonómica, con géneros como *Hexacylloepus* (Elmidae) y *Aphrosylus* (Dolichopodidae), sugiere microhábitats estructuralmente diversos, asociados a zonas con vegetación ribereña, hojarasca y sustratos firmes, propios de la interacción entre los sistemas lóticos y los componentes terrestres adyacentes. Esta interacción también favorece el ingreso de materia orgánica gruesa (CPOM), la cual sirve como fuente de alimento y refugio para varios grupos de macroinvertebrados (Allan & Castillo, 2007).

En cuanto a bioindicación, si bien la presencia de ciertos taxones como Chironomidae puede indicar condiciones de deterioro, la coexistencia con géneros sensibles como Elmidae y representantes de Coleoptera acuáticos (Hydrophilidae) implica que el sistema mantiene aún cierto grado de integridad ecológica, posiblemente favorecida por la heterogeneidad espacial y la influencia de fuentes semipermanentes de agua como madreviejas y zonas de inundación estacional.

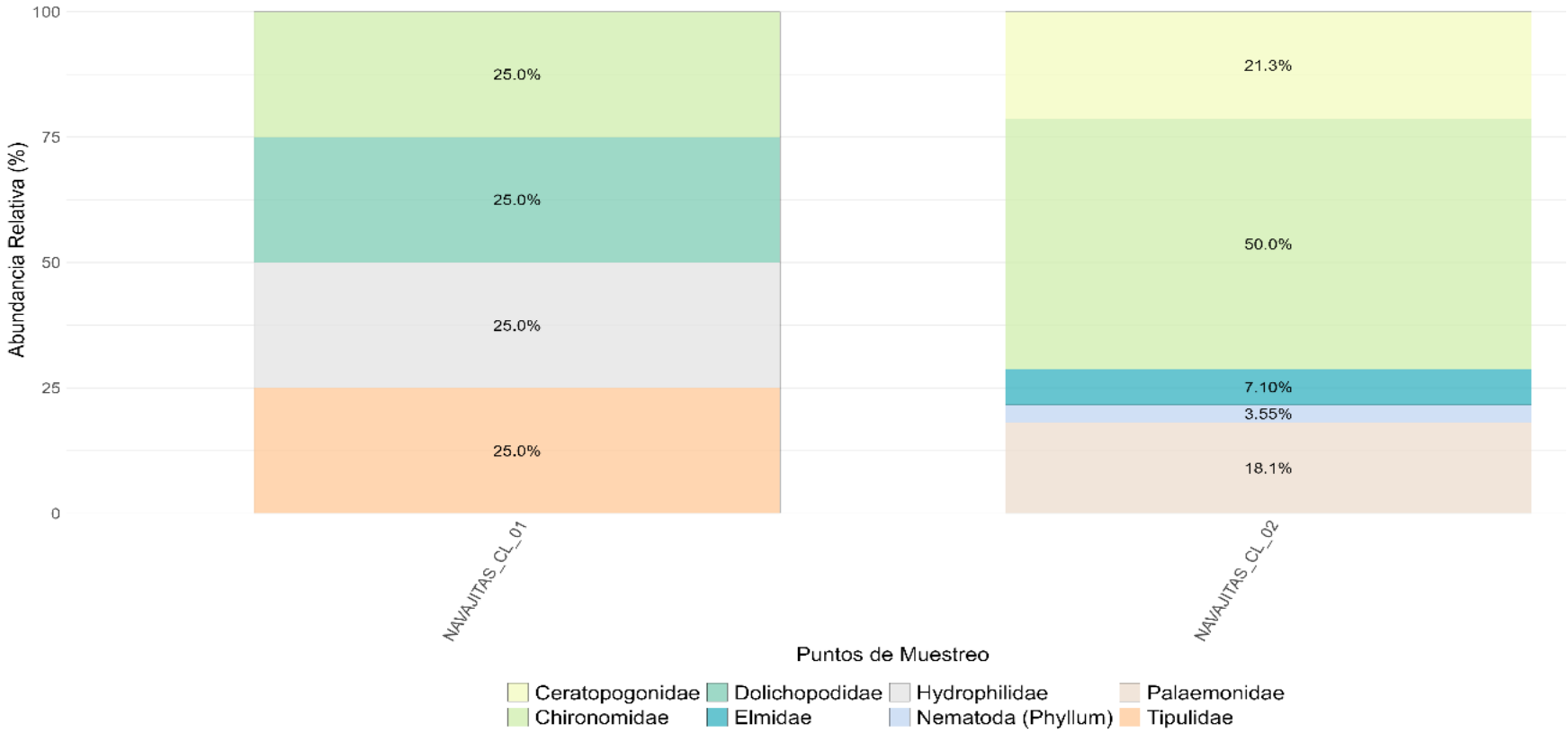


Figura 3.3.3-101 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble registrado en el caño Navajitas evidencia una comunidad con diversidad estructural baja a intermedia, dominada por géneros tolerantes pero con presencia significativa de grupos indicativos de hábitats conservados. Este patrón responde a la interacción de factores físicos, hidrológicos y de conectividad ecológica entre ambientes lóticos, lénticos y terrestres, que en época seca se ven altamente modulados.

Ahora bien, el análisis del índice BMWP/Col aplicado a los puntos de monitoreo del caño Navajitas, refleja condiciones ambientales altamente degradadas. El punto NAVAJITAS_CL_02 presentó un valor de 22, clasificándose en la clase IV (calidad crítica), lo que indica presencia de aguas muy contaminadas (**Tabla 3.3.3-235**). Este valor sugiere que el ensamblaje de macroinvertebrados presente está compuesto predominantemente por taxones tolerantes a condiciones de baja calidad de agua, como Chironomidae y Ceratopogonidae, grupos que suelen prosperar en ambientes eutrofizados o con bajos niveles de oxígeno disuelto (Roldán, 2003; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014).

Tabla 3.3.3-235 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Navajitas época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO NAVAJITAS	NAVAJITAS_CL_02	IV	Critica	22	Aguas muy contaminadas
	NAVAJITAS_CL_01	V	Muy crítica	12	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Por su parte, el punto NAVAJITAS_CL_01 arrojó un valor aún más bajo de 12, correspondiente a la clase V (muy crítica), lo que implica una condición de aguas moderadamente contaminadas, pero con situación ecológica crítica (**Tabla 3.3.3-235**). La diferencia entre ambos puntos puede deberse a la mayor heterogeneidad estructural y vegetación ribereña observada en NAVAJITAS_CL_02, lo que posiblemente permite la presencia de una mayor diversidad de microhábitats y, por ende, una mayor representación de taxa con diferentes niveles de tolerancia.

Los bajos puntajes del índice BMWP/Col reflejan una afectación generalizada de la calidad del agua en esta Microcuenca, probablemente influenciada por procesos de sedimentación, arrastre de materia orgánica y desconexión estacional entre cuerpos de agua lénticos y lóticos, exacerbada durante la época seca.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa en los puntos de monitoreo NAVAJITAS_CL_01 y NAVAJITAS_CL_02, pertenecientes al caño Navajitas, revela diferencias notables en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Donde el punto NAVAJITAS_CL_01, con una abundancia de 4.4 individuos/m², presenta una riqueza de cuatro (4) morfoespecies y un valor del índice de Shannon de 1.386, lo cual indica una diversidad moderada. El índice de Simpson (0.25) y el valor de equitatividad de Pielou (1) sugieren una comunidad equitativamente distribuida, sin predominio marcado de una sola especie. Aunque el número total de individuos es bajo (**Tabla 3.3.3-236**), la equitatividad perfecta sugiere que cada morfoespecie tuvo una

representación similar, lo cual puede reflejar condiciones ambientales homogéneas, con baja perturbación puntual o una alta resiliencia estructural en la comunidad (Magurran, 2004).

En contraste, el punto NAVAJITAS_CL_02 muestra una abundancia significativamente mayor (31 individuos/m²) y una riqueza de 6 morfoespecies, lo que se refleja en un valor más alto del índice de Shannon (1.727). Sin embargo, el índice de Simpson (0.212) y la equitatividad de Pielou (0.964) indican una ligera dominancia de algunas especies, aunque todavía dentro de una comunidad con una estructura diversificada y relativamente balanceada (**Tabla 3.3.3-236**). La mayor diversidad y abundancia en este punto puede estar asociada a una mayor heterogeneidad del hábitat, como presencia de vegetación ribereña, estructura del sustrato y microhábitats, lo cual permite la coexistencia de múltiples taxones con diferentes requerimientos ecológicos (Tomanova et al., 2006).

Tabla 3.3.3-236 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO NAVAJITAS	NAVAJITAS_CL_01	4.4	4	1.386	0.25	1
	NAVAJITAS_CL_02	31	6	1.727	0.212	0.964

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En términos ecológicos, la mayor diversidad en NAVAJITAS_CL_02 puede sugerir una mejor calidad del hábitat o una conectividad más favorable con zonas lénticas cercanas que sirven como refugio o fuente de colonización, lo que coincide con observaciones en sistemas fluviales donde los gradientes físicos y la conectividad hídrica determinan la estructura de las comunidades biológicas (Allan & Castillo, 2007). Sin embargo, ambos puntos presentan estructuras de la comunidades sensibles a alteraciones hidrológicas, lo cual es consistente con los resultados obtenidos a través del índice BMWP/Col y refuerza la necesidad de conservar los corredores riparios y la dinámica hidrológica natural.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

La caracterización de las macrófitas acuáticas en dos puntos de muestreo de la Microcuenca de caño Navajitas, no dio resultados positivos, ya que no se encontraron ejemplares de esta comunidad hidrobiológica.

➢ *Época lluvias*

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos

específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

- ✓ *Perifiton*

  - Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble perifítico de la Microcuenca Caño Navajitas, sistema lótico ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época de lluvias, presenta una comunidad estructurada con una abundancia total de 105.6 Ind/cm² distribuida en dos estaciones NAVAJITAS_CL_01 con una abundancia (51.5 Ind/cm²); NAVAJITAS_CL_02 (54.1 Ind/cm²). La composición taxonómica revela la presencia de tres divisiones dominantes: Heterokontophyta (68.5 Ind/cm²); Charophyta (33.1 Ind/cm²) y Cyanobacteria (4 Ind/cm²), con una riqueza total de 7 géneros. La estación NAVAJITAS_CL_02 muestra mayor diversidad funcional, destacándose la diatomea *Pinnularia* (24.4 Ind/cm²) y una representatividad del (45.1%) y el alga filamentosa *Spirogyra* (19.2 Ind/cm²) y una representatividad (35.5%), indicadoras de aguas con moderado flujo y aportes orgánicos (Round et al., 1990). Por su parte, NAVAJITAS_CL_01 presenta dominancia de *Tabellaria* (21.7 Ind/cm²) y una representatividad del (42.1%), género típico de ambientes lóticos bien oxigenados pero con cierta tolerancia a materia orgánica (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010), junto con *Staurastrum* (9.9 Ind/cm²) y un porcentaje (19.2%), asociado a aguas oligotróficas (Coesel & Meesters, 2007). La marcada diferencia en la composición entre estaciones sugiere microhábitats contrastantes, mientras NAVAJITAS_CL_01 refleja condiciones más parecidas a sistemas lénticos por la presencia de géneros como *Cosmarium* y *Spirulina*, NAVAJITAS_CL_02 responde a características lóticas típicas, evidenciado por la abundancia de *Pinnularia* y *Eunotia* (10.5 Ind/cm²), esta última bioindicadora de aguas ácidas con bajo contenido de nutrientes (Bicudo & Menezes, 2006) (**Tabla 3.3.3-237**) (**Figura 3.3.3-102**).

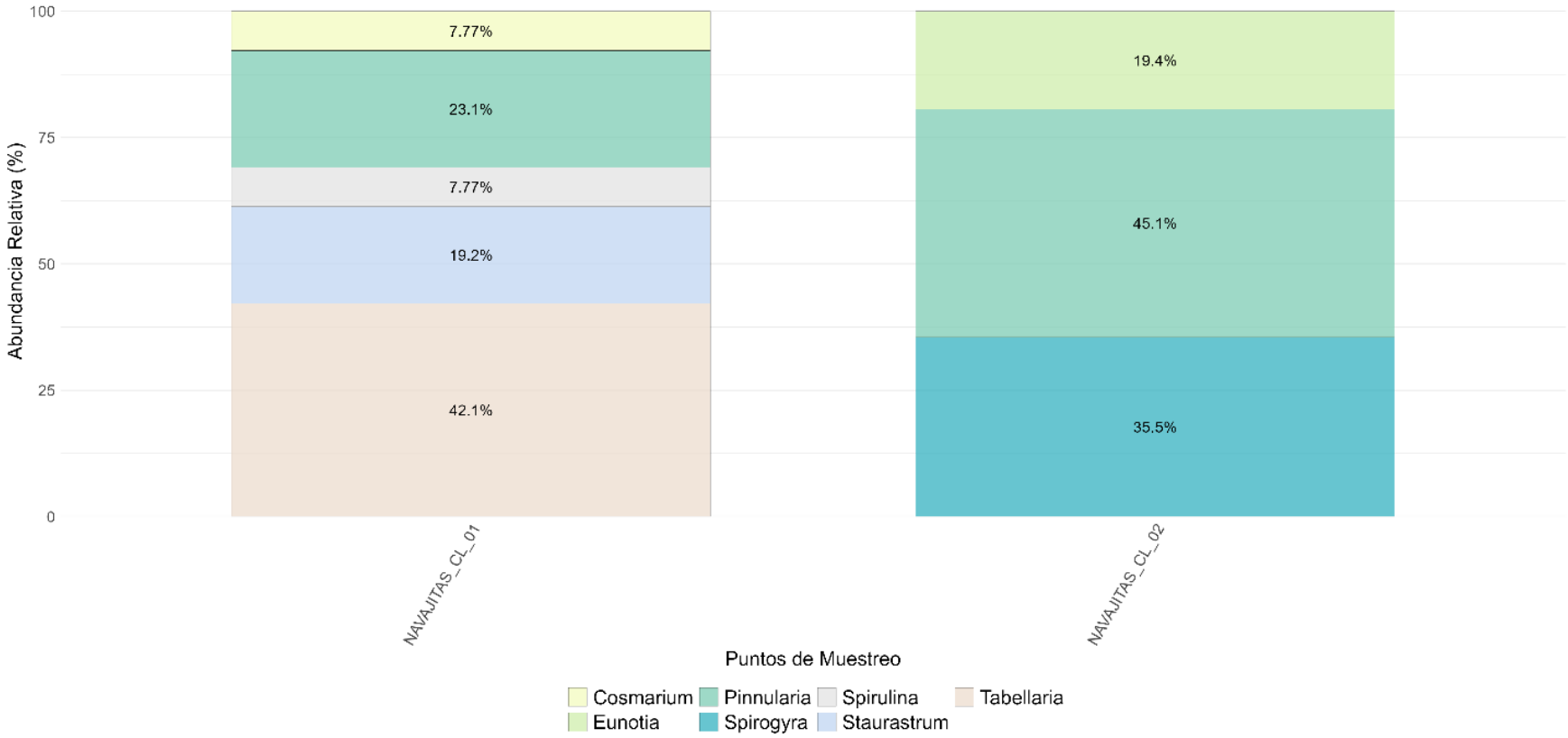


Figura 3.3.3-102 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad perifítica sugiere un gradiente ambiental dentro de la Microcuenca, la coexistencia de *Tabellaria* tolerante a perturbaciones y *Eunotia* sensible a eutrofización, indica zonas con diferente influencia terrestre. La presencia de *Spirogyra*, común en áreas con aportes de nitrógeno (Whitton, 2012), junto con *Spirulina* (4 Ind/cm²), podría señalar puntos con escurrimiento superficial durante las lluvias. La interacción con sistemas lénticos se infiere por la presencia de *Cosmarium* y *Staurastrum*, típicos de ambientes quietos, lo que sugiere conexiones temporales con humedales adyacentes durante la época lluviosa (Bohonak & Jenkins, 2003). La influencia terrestre se manifiesta indirectamente a través de la variación espacial en la abundancia de diatomeas, donde *Pinnularia* en NAVAJITAS_CL_02 podría responder a lavado de sustratos rocosos, mientras que *Tabellaria* en NAVAJITAS_CL_01 reflejaría áreas con mayor sedimentación.

La calificación ecológica integral del Caño Navajitas es moderada-alta, esto puede estar asociado a la elevada riqueza de especies (7 géneros), la presencia de bioindicadores sensibles de *Eunotia* y *Staurastrum* y la ausencia de taxas dominantes asociados a contaminación. No obstante, la aparición de *Spirulina* y la diferencia entre estaciones sugieren presiones diferenciales, posiblemente vinculadas a usos de suelo en la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-237 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Navajitas época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Navajitas		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					NAVAJITAS_CL_01	NAVAJITAS_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	Pinnularia	11,9	24,4	36,3
		Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia		10,5	10,5
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	Tabellaria	21,7		21,7
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	Cosmarium	4		4
				Staurastrum	9,9		9,9
		Spirogyrales	Spirogyraceae	Spirogyra		19,2	19,2
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Spirulinales	Spirulinaceae	Spirulina	4		4
Gran Total					51,5	54,1	105,6

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad para la comunidad perifítica en el Caño Navajitas revelan patrones ecológicos diferenciados entre las dos estaciones monitoreadas NAVAJITAS_CL_01 y NAVAJITAS_CL_02, con implicaciones para la evaluación integral de la Microcuenca. La estación NAVAJITAS_CL_01 presenta mayor riqueza (5 géneros) frente a NAVAJITITAS_CL_02 (3 géneros), aunque ambas comparten valores similares de diversidad Shannon (1.424 vs 1.33) y Simpson (0.278 en ambos casos). Esta aparente contradicción se explica por la distribución equitativa en NAVAJITAS_CL_02 (índice de Pielou = 1), donde tres especies dominan por igual el ensamble, mientras que en NAVAJITAS_CL_01 (Pielou = 0.885) existe una ligera dominancia de *Tabellaria* (21.7 Ind/cm²) sobre otros taxones. La abundancia total es comparable entre estaciones (51.5 vs 54.1 Ind/cm²), pero la composición difiere significativamente, NAVAJITAS_CL_01 alberga una mezcla de diatomeas como *Tabellaria* y *Pinnularia* y desmidiáceas como *Cosmarium* y *Staurastrum*, mientras que NAVAJITAS_CL_02 está dominada por diatomeas como *Pinnularia* y *Eunotia* y el alga filamentosa *Spirogyra* (**Tabla 3.3.3-238**). Esta divergencia

sugiere microambientes contrastantes dentro del mismo sistema lótico, posiblemente influenciados por factores locales como velocidad de corriente, sustrato o aportes diferenciales de nutrientes durante las lluvias (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

Desde la perspectiva de la calidad ecológica, la combinación de estos indicadores permite concluir que la Microcuenca Caño Navajitas presenta una calificación moderada-alta, posiblemente influenciado por la presencia de taxones sensibles como *Eunotia* (indicadora de aguas no contaminadas) en NAVAJITAS_CL_02, la diversidad funcional conservada en NAVAJITAS_CL_01 (con representantes de múltiples grupos tróficos) y la ausencia de dominancia extrema con valores de Simpson menores a 0.2 en ambas estaciones. Sin embargo, la menor riqueza en NAVAJITAS_CL_02, pese a su equitatividad, podría reflejar presiones selectivas, como variaciones en la turbidez o químicos disueltos durante el periodo lluvioso (Biggs B. F., 1996). La interacción con sistemas terrestres parece más marcada en NAVAJITAS_CL_01 por la presencia de *Staurastrum*, asociado a aguas quietas, mientras que NAVAJITAS_CL_02 mantiene características lóticas más definidas.

En conclusión, la Microcuenca muestra una capacidad ecológica robusta pero heterogénea, donde NAVAJITAS_CL_01 actúa como zona de transición con influencia léntica, y NAVAJITAS_CL_02 como tramo típicamente lótico. La calificación final responde a un sistema en buen estado de conservación, pero con vulnerabilidades potenciales asociadas a cambios en el uso del suelo ribereño.

Tabla 3.3.3-238 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Navajitas época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NAVAJITAS_CL_01	51.5	5	1	0.278	0.885
NAVAJITAS_CL_02	54.1	3	1	0.278	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el punto NAVAJITAS_CL_02, correspondiente a un sistema lótico ubicado en la Microcuenca del caño Navajitas, durante la época de lluvias, evidencia una estructura extremadamente simplificada. En total se registró una única morfoespecie perteneciente al phyllum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Tipulidae, identificada como *Tipulidae* Mf*.,* con una abundancia de 1.1 ind/m² (**Tabla 3.3.3-239**).

Desde la perspectiva de la bioindicación, los Tipulidae son considerados indicadores moderados de calidad de agua, ya que algunas especies presentan tolerancia media a baja frente a la contaminación orgánica y a cambios en el oxígeno disuelto (Roldán, 2003). No obstante, la presencia aislada de esta familia no permite derivar conclusiones sólidas sobre el estado ecológico

del sistema, ya que la bioindicación depende de la riqueza, la abundancia relativa y la combinación de múltiples grupos con diferentes rangos de tolerancia (Domínguez & Fernández, 2009).

Tabla 3.3.3-239 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Navajitas época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Navajitas	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						NAVAJITAS_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	-	*Tipulidae* Mf.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En cuanto a la interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres, este registro no evidencia conectividad funcional o estructural con otros hábitats, ya que no se observan especies típicas de ambientes de transición (como Odonata o Hemiptera acuáticos) ni de aporte terrestre. Este aislamiento taxonómico podría responder a condiciones de estrés físico-químico del cuerpo de agua, disturbios hidromorfológicos, escasa cobertura vegetal ribereña o efectos de sedimentación, factores que suelen estar presentes en los sistemas acuáticos de la altillanura intervenida (González-Bergonzoni et al., 2012).

Dada la escasa riqueza (1 morfoespecie), no es posible realizar un análisis del índice BMWP/Col, ya que este se basa en la suma de puntuaciones asignadas a diferentes familias de macroinvertebrados según su sensibilidad a la contaminación. Al estar representada únicamente una familia, el índice carece de fundamento para ser calculado con validez (Roldán, 2003). Asimismo, no se pueden aplicar índices de diversidad alfa como Shannon, Simpson o Pielou, porque su base matemática exige la existencia de al menos dos categorías taxonómicas para estimar la distribución relativa de individuos. En ausencia de riqueza mínima, no existe una comunidad ecológica en términos funcionales, lo cual imposibilita el análisis estructural (Magurran, 2004; Moreno, 2001).

En conclusión, el punto NAVAJITAS_CL_02 del caño Navajitas muestra un ensamble extremadamente pobre en macroinvertebrados bentónicos, lo cual limita seriamente la evaluación ecológica. Esta situación sugiere un entorno potencialmente perturbado o con condiciones ambientales poco favorables para la colonización de comunidades acuáticas diversas. La ausencia de múltiples familias imposibilita el uso de herramientas como el índice BMWP/Col y los índices de diversidad alfa, reflejando un sistema carente de complejidad biológica y estructura ecológica.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y estructura de la comunidad

Durante el monitoreo realizado en temporada de lluvia en la Microcuenca del caño Navajitas, se identificaron un total de ocho morfoespecies de macrófitas acuáticas distribuidas en una sola división taxonómica (Tracheophyta), pertenecientes a cinco órdenes (Polypodiales, Alismatales, Poales, Sapindales y Pandanales) y seis familias, entre ellas Araceae, Cyperaceae y Poaceae, las

cuales suelen dominar en ecosistemas acuáticos y humedales de la región de la Orinoquia (Rangel-Ch, 2012). En el punto NAVAJITAS_CL_02, se registraron tres morfoespecies con una cobertura total del 49,99 %, destacándose *Arundinella* sp. (Poaceae) con la mayor abundancia relativa (46,67 %) y cobertura (23,33 %), lo que indica una preferencia de esta gramínea por ambientes de aguas someras y márgenes inundables (Pott, 2000). También se identificó *Anthurium sp*. (Araceae) con una alta cobertura (19,33 %) y *Cyperus* sp. (Cyperaceae), que, aunque menos abundante, forma parte importante del ensamblaje vegetal. En contraste, el punto NAVAJITAS_CL_01 presentó mayor riqueza específica (cinco morfoespecies) pero con una cobertura total ligeramente menor (48,99 %), destacándose *Carex* sp. (Cyperaceae) como especie dominante con el 68,03 % de abundancia relativa, lo que refleja su alta adaptabilidad a ambientes húmedos con suelos encharcados (Crow, 2000) (**Tabla 3.3.3-240**). La presencia de especies como *Asplundia* sp., *Adiantum* sp. y Protium sp. indica una mezcla de elementos típicos de bordes ribereños y sotobosque húmedo, lo cual es consistente con la transición entre sabanas y bosques de galería que caracteriza la altillanura metaense (IGAC, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta, 2014). En conjunto, la composición florística muestra una comunidad estructuralmente sencilla pero funcionalmente relevante, dominada por especies herbáceas y hemicriptófitas adaptadas a ciclos de inundación, lo que refleja condiciones ambientales propias de ecosistemas lóticos tropicales con estacionalidad marcada.

Tabla 3.3.3-240 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajitas época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Navajitas			
				Punto De Muestreo	NAVAJITAS_CL_02		NAVAJITAS_CL_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Adiantum* sp.			1,33	2,71
	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Araceae* Mf.			3	6,12
				Anthurium sp.	19,33	38,67		
		Poales	Cyperaceae	*Carex* sp.			33,33	68,03
				Cyperus sp.	7,33	14,66		
			Poaceae	*Arundinella* sp.	23,33	46,67		
		Sapindales	Burseraceae	*Protium* sp.			3,33	6,80
		Pandanales	Cyclanthaceae	*Asplundia* sp.			8	16,33
Cobertura Total general					**49,99**	**100**	**48,99**	**100**
Morfoespecies por Punto					**3**		**5**	
Morfoespecies por Microcuenca					**8**			

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Navajitas revela diferencias estructurales entre los dos puntos de muestreo evaluados. En el punto NAVAJITAS_CL_01 se registró una riqueza específica mayor (5 morfoespecies) en comparación con NAVAJITAS_CL_02 (3 morfoespecies), lo que sugiere una mayor heterogeneidad del hábitat en el primer sitio, posiblemente asociada a variaciones en la microtopografía, la cobertura vegetal circundante y el régimen hídrico local (Wetzel R. G., 2001). Sin embargo, el índice de diversidad de Shannon-Wiener fue similar en ambos puntos (1.019 en NAVAJITAS_CL_01 y 1.004 en

NAVAJITAS_CL_02), lo cual indica una distribución relativamente equilibrada de la abundancia entre las especies presentes, aunque con diferencias en la dominancia (**Tabla 3.3.3-241**).

El índice de Simpson, que otorga mayor peso a las especies dominantes, fue más bajo en NAVAJITAS_CL_02 (0.388), señalando una mayor dominancia específica, probablemente atribuida a *Arundinella* sp., que representa el 46,67 % de la cobertura en este punto. En contraste, NAVAJITAS_CL_01 mostró un índice de Simpson más alto (0.493), lo que implica una comunidad menos dominada y con mayor contribución de varias especies a la estructura total. Por su parte, el índice de equidad de Pielou, que evalúa la uniformidad en la distribución de abundancias, fue significativamente mayor en NAVAJITAS_CL_02 (0.914), indicando que, aunque la riqueza fue menor, las especies estuvieron más equitativamente representadas **(Tabla 3.3.3-241**). Este patrón puede reflejar una comunidad en equilibrio, posiblemente favorecida por condiciones ambientales estables o menos disturbios (Magurran A. E., 2004).

En conjunto, estos índices reflejan comunidades estructuralmente distintas: NAVAJITAS_CL_01 con mayor riqueza y complejidad florística, y NAVAJITAS_CL_02 con menor riqueza pero mayor equitatividad. Estas diferencias son indicativas de la variabilidad espacial en la composición de macrófitas acuáticas en ecosistemas lóticos tropicales, lo que resalta la importancia de un enfoque de monitoreo multiescalar y estacional para una adecuada gestión ecológica (Junk W. J., 2011).

Tabla 3.3.3-241 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Navajitas época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
NAVAJITAS_CL_01	48.99	5	1.019	0.493	0.633
NAVAJITAS_CL_02	49.99	3	1.004	0.388	0.914

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

3.3.3.2.17 Microcuenca Piedra Candela

La Microcuenca del caño Piedra Candela, ubicada en el municipio de Puerto López, se encuentra dentro de la región fisiográfica de la altillanura oriental, caracterizada por suelos ácidos, baja fertilidad natural y coberturas dominadas por sabanas naturales, pastizales y áreas intervenidas por actividades agropecuarias (IGAC, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta., 2013). Este caño es un afluente del río Meta y forma parte de la macroMicrocuenca del Orinoco, desempeñando un papel importante en la dinámica hidrológica y ecológica de la región. El monitoreo de comunidades hidrobiológicas realizado en esta Microcuenca se centró en ambientes lóticos, con muestreo en dos puntos específicos: PIEDRA_CANDELA_CL_01 y OCMY10 (ocupación de cauce), sin incluir cuerpos de agua lénticos. La evaluación de estos sistemas lóticos permite conocer el estado ecológico del caño, dado que las comunidades hidrobiológicas, especialmente los macroinvertebrados bentónicos, son bioindicadores sensibles a cambios en la calidad del agua y las condiciones del hábitat (Merritt & Cummins, 2008). Estos estudios son fundamentales para generar líneas base en áreas de alta sensibilidad ambiental y baja intervención antrópica relativa, como las de la altillanura, y permiten

orientar estrategias de manejo y conservación de los recursos hídricos regionales (**Figura 3.3.3-103**).

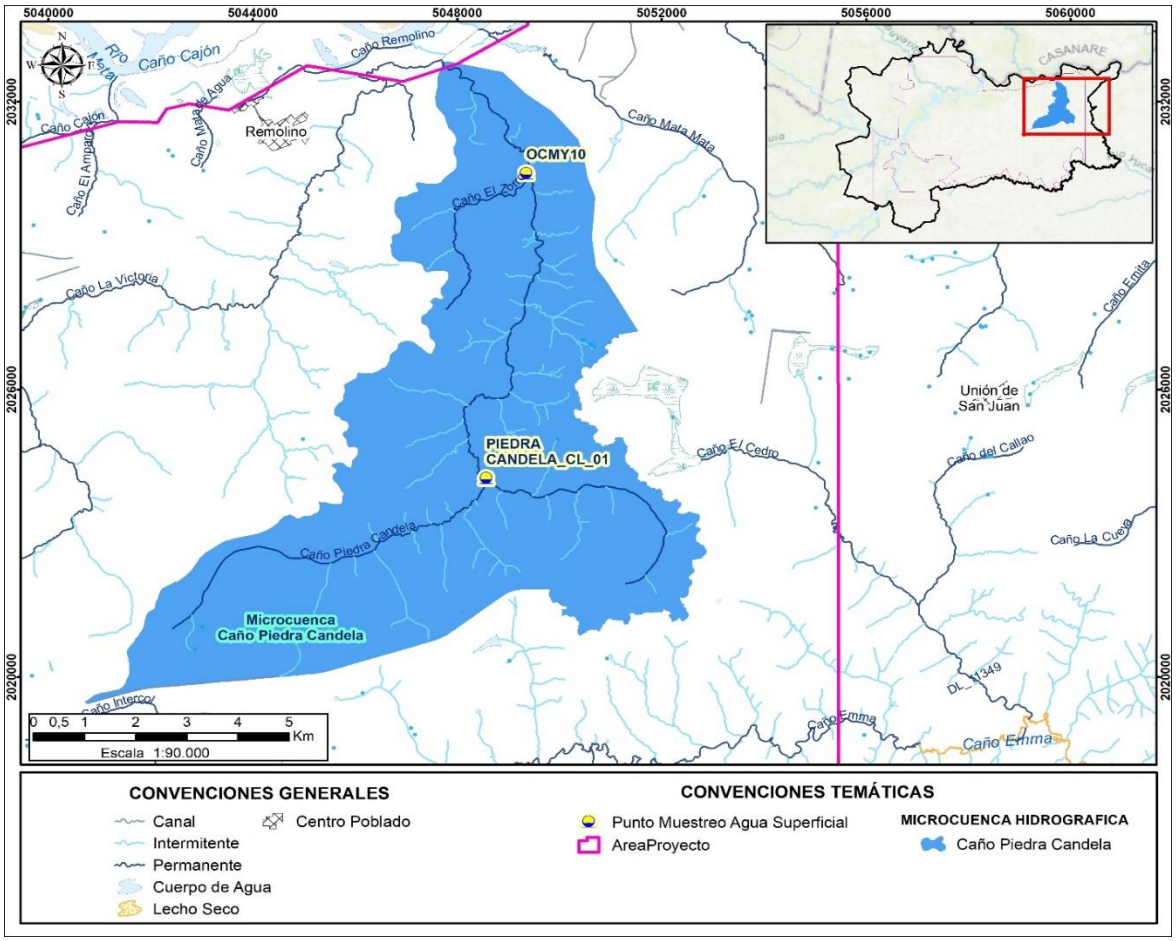


Figura 3.3.3-103 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Piedra Candela

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Piedra Candela, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y

larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico de la Microcuenca Piedra Candela, monitoreado durante la época seca en las estaciones PIEDRA_CANDELA_CL_01 y OCMY10, presenta una comunidad acuática de baja complejidad estructural característica de ambientes lóticos con limitaciones ecológicas. La abundancia total de 29.3 Ind/cm² se distribuye desigualmente entre ambas estaciones PIEDRA_CANDELA_CL_01 (20.3 Ind/cm²) y OCMY10 (9 Ind/cm²), con una riqueza taxonómica notablemente reducida de solo tres géneros pertenecientes a dos divisiones, Heterokontophyta representadas por (*Eunotia* y *Ulnaria*) y Charophyta (*Spirogyra*). La estructura comunitaria muestra un marcado predominio de *Spirogyra* (13.9 Ind/cm²), que representa el (68.5%) de la abundancia para el punto PIEDRA_CANDELA_CL_01, seguido por *Eunotia* (8.4 Ind/cm² de total) y *Ulnaria* (7 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia del (77.8%) (**Tabla 3.3.3-242**) (**Figura 3.3.3-104**) para la estación OCMY10 , patrón que concuerda con lo reportado por (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008) para sistemas lóticos tropicales con limitada disponibilidad de hábitats durante períodos de estiaje.

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad revela condiciones ambientales contrastantes, la presencia de *Eunotia*, reconocido bioindicador de aguas oligotróficas y ligeramente ácidas según (Round et al., 1990), coexiste con la dominancia de *Spirogyra*, alga filamentosa asociada a zonas de flujo reducido y posible acumulación de materia orgánica (Wehr et al., 2015). Esta combinación, documentada por (Donato-Rondón, 2016) en sistemas similares, sugiere un ambiente con microhábitats diferenciados donde persisten áreas bien oxigenadas (favoreciendo diatomeas) junto a zonas de remanso (promoviendo Zygnematophyceae). La ausencia total de Cyanobacteria y la limitada representación de géneros tolerantes a contaminación indican que el sistema no presenta signos evidentes de eutrofización, aunque la baja riqueza específica es de tres géneros, sugiere condiciones restrictivas, posiblemente relacionadas con la escasez de sustratos adecuados o fluctuaciones extremas en el régimen hídrico (Rueda-Delgado et al., 2019).

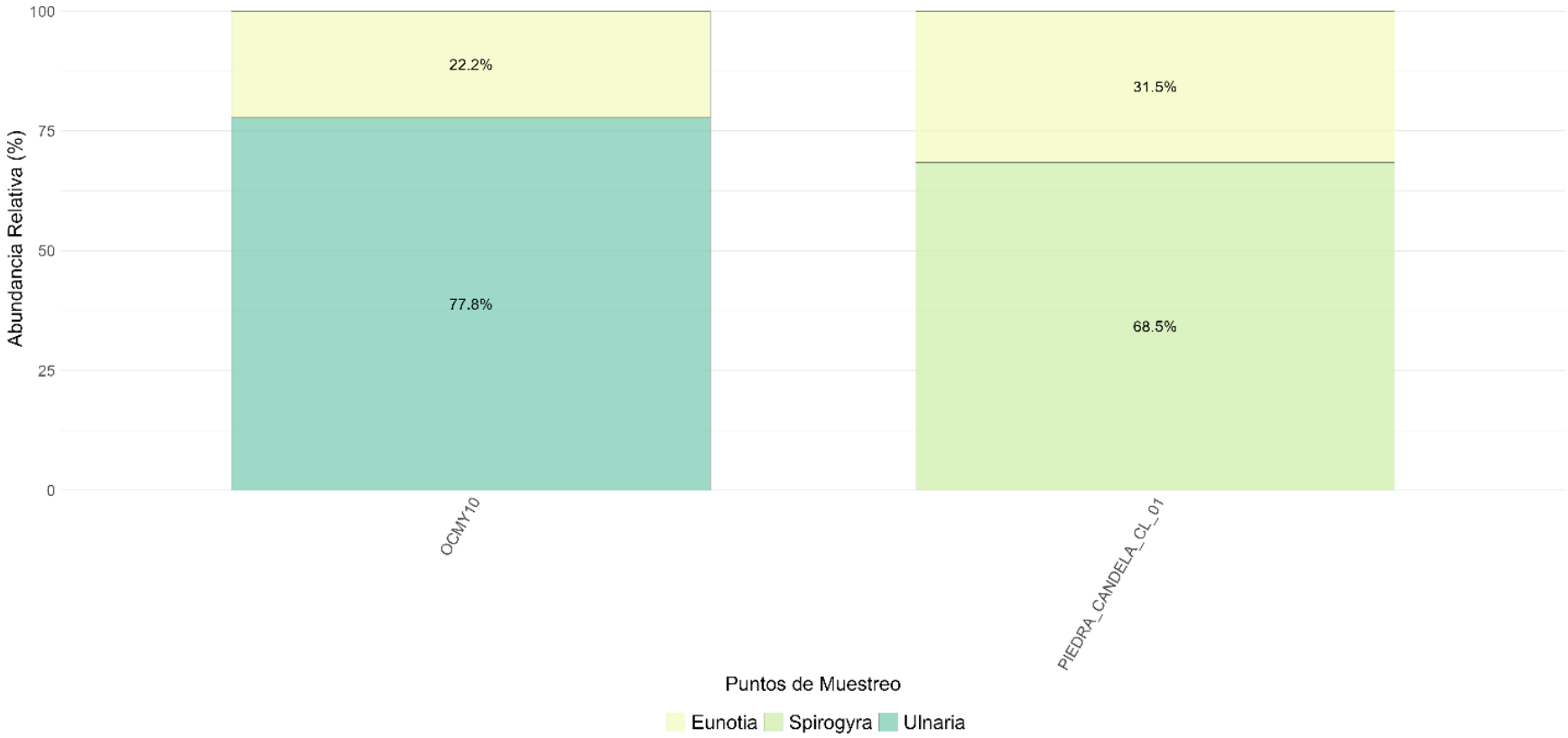


Figura 3.3.3-104 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la distribución diferencial de géneros entre estaciones, *Spirogyra* exclusiva en PIEDRA_CANDELA_CL_01 vs *Ulnaria* en OCMY10, la ausencia de conexión con sistemas lénticos se evidenciada por la falta de desmidiáceas típicas de humedales, y la posible influencia de aportes orgánicos desde la vegetación ribereña (favoreciendo *Eunotia*). Son patrones que coinciden con los descritos por (Donato-Rondón, 2016) para sistemas fluviales de la Orinoquia con limitada conectividad hidrológica durante la época seca.

En conclusión, la Microcuenca de Piedra Candela presenta una condición ecológica moderada-baja, caracterizada por una comunidad extremadamente simplificada, la interacción de bioindicadores sensibles como *Eunotia* con géneros oportunistas como *Spirogyra* y las abundancias totales menores a 30 Ind/cm². Esta evaluación, sugiere que el sistema enfrenta limitaciones ecológicas significativas durante la época seca, probablemente asociadas a factores naturales (estrés hídrico) más que a contaminación antrópica.

Tabla 3.3.3-242 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época seca

División	Clase	Orden	Familia	Taxa	Piedra Candela		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					PIEDRA_CANDELA_CL_01	OCMY10	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	6,4	2	8,4
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		7	7
Charophyta	Zygnematophyceae	Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	13,9		13,9
Gran Total					**20,3**	**9**	**29,3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico correspondiente a la Microcuenca de Piedra Candela, muestreado durante la época seca en la estación PIEDRA_CANDELA_CL_01, evidencia una comunidad altamente simplificada, representada únicamente por una morfoespecie: Chironomidae Mf. del phyllum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera y familia Chironomidae, con una abundancia total de 1,1 individuos/m². En consecuencia, se documentó una sola morfoespecie, una familia, un orden, una clase, y un phyllum, reflejando una riqueza taxonómica mínima (**Tabla 3.3.3-243**).

Tabla 3.3.3-243 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Piedra Candela	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						PIEDRA_CANDELA_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae *Mf.*	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista ecológico y funcional, la presencia exclusiva de Chironomidae —un grupo generalmente tolerante a condiciones de estrés ambiental como baja oxigenación, alta carga orgánica o colmatación del sustrato— indica una probable alteración de las condiciones del hábitat (Roldán, 2003; Tachet et al., 2010). Su dominio exclusivo puede estar asociado a la pérdida de hábitats complejos, baja heterogeneidad estructural del lecho fluvial, impactos antrópicos cercanos o reducción de la conectividad con zonas riparias y humedales circundantes.

Es así como este tipo de ensamblaje evidencia un bajo grado de conectividad biológica, ya que no se observan elementos típicos de zonas de transición, como decápodos, hemípteros acuáticos o formas larvales de grupos con estadios terrestres. Esto refuerza la hipótesis de que el sistema se encuentra funcionalmente aislado o ambientalmente empobrecido.

Adicionalmente, no es posible calcular el índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) debido a que este índice requiere la presencia de múltiples familias de macroinvertebrados para evaluar el estado de calidad del agua con base en su tolerancia a la contaminación (Roldán, 2003). Al contar con una única familia registrada, no se puede obtener un valor representativo ni estadísticamente significativo que permita calificar adecuadamente el estado ecológico del sitio.

En síntesis, la estación PIEDRA_CANDELA_CL_01 en el sistema lótico del río Piedra Candela presenta una comunidad extremadamente empobrecida, lo cual limita el uso de herramientas bioindicadoras estandarizadas y evidencia una condición ecológica posiblemente degradada. Este tipo de hallazgos subraya la necesidad de continuar con un monitoreo detallado, así como de implementar acciones de restauración ecológica enfocadas en recuperar la diversidad estructural y funcional del hábitat acuático.

- Diversidad Alfa

Tampoco es procedente calcular los índices de diversidad alfa (como Shannon, Simpson o Pielou), ya que estos requieren al menos dos morfoespecies o categorías taxonómicas con diferentes abundancias para estimar heterogeneidad, equitatividad o dominancia. En el caso de una única morfoespecie, los valores tienden a cero o no son matemáticamente válidos (Magurran, 2004), y por tanto, cualquier interpretación basada en ellos carece de validez ecológica.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

La caracterización de las macrófitas acuáticas en dos puntos de muestreo de la Microcuenca de caño Piedra Candela, no dio resultados positivos, ya que no se encontraron ejemplares de esta comunidad hidrobiológica.

➢ *Época lluvias*

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifiton*

El ensamble de perifiton en la Microcuenca de Piedra Candela, monitoreado en los puntos PIEDRA_CANDELA_CL_01 y OCMY10 durante la época lluviosa en la altillanura, presenta una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta) con una abundancia total de 110.1 ind/cm². Para el punto PIEDRA_CANDELA_CL_01 el género *Pinnularia* reporto una abundancia y un porcentaje de representatividad de (50.5 ind/cm² y 46.7%) muestra la mayor representación, seguido por *Eunotia* (24.5 ind/cm² y 22.6%) y *Surirella* (15.7 ind/cm² y 14.5%), mientras que *Spirogyra* (10.5 ind/cm²) y *Amphipleura* (7 ind/cm²) completan el ensamble por el contrario el punto OCMY10 solo reporto el género *Eunotia* con una abundancia de 1.9 Ind/cm^2 y una representatividad del (100%) (**Tabla 3.3.3-244**)(**Figura 3.3.3-105**). La marcada diferencia en abundancia entre PIEDRA_CANDELA_CL_01 (108.2 ind/cm²) y OCMY10 (1.9 ind/cm²) sugiere condiciones ambientales contrastantes entre ambos puntos.

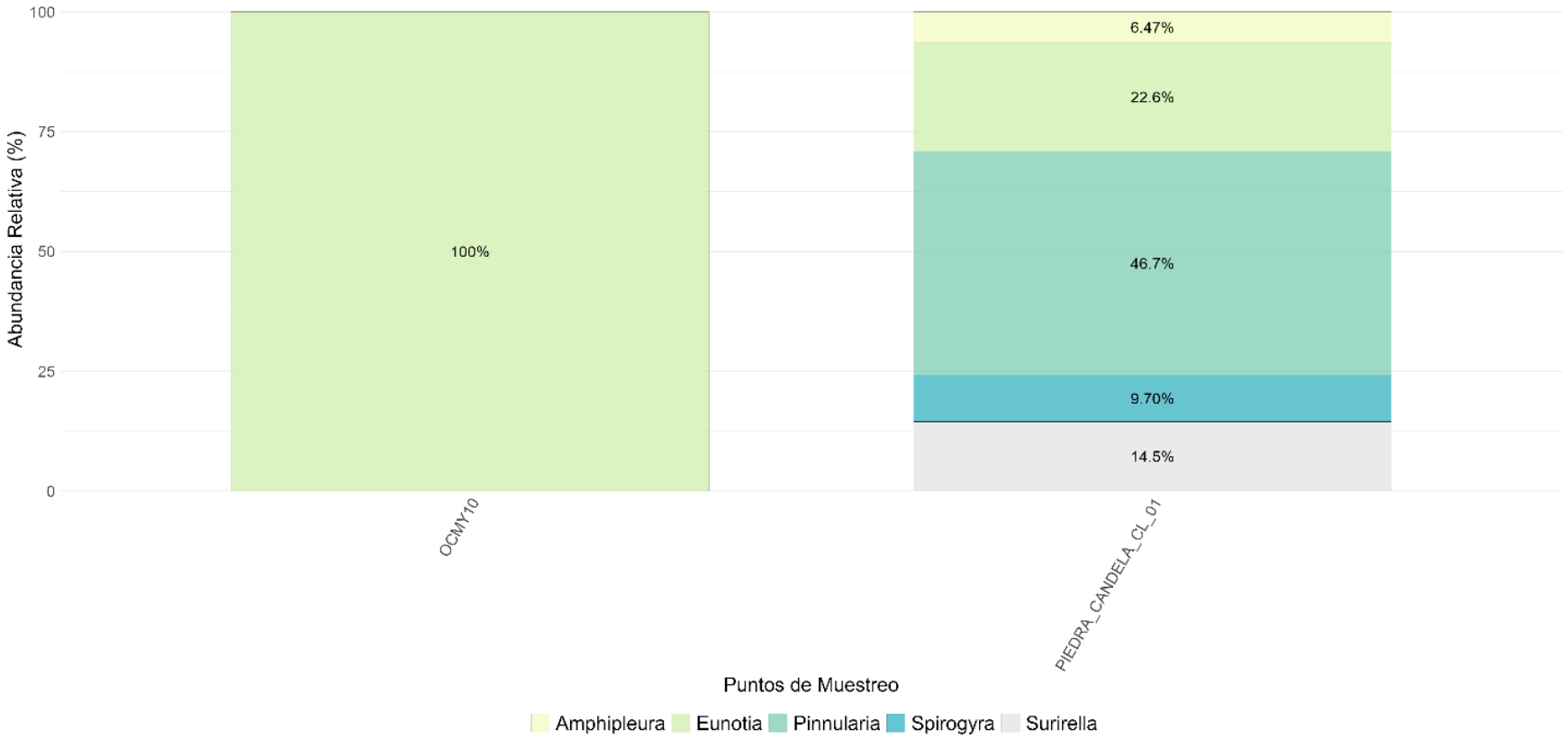


Figura 3.3.3-105 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia dominante de *Pinnularia* y *Surirella*, bioindicadoras de aguas bien oxigenadas con moderado contenido de nutrientes (Round et al., 1990), junto con *Eunotia* (asociada a aguas ácidas y oligotróficas), revela un sistema lótico con características químicas variables. La baja abundancia en OCMY10 podría relacionarse con perturbaciones locales o condiciones hidrodinámicas adversas. La aparición de *Spirogyra*, típica de ambientes lénticos, sugiere una limitada interacción con sistemas de aguas estancadas, posiblemente en zonas de remanso. La riqueza de 5 géneros en PIEDRA_CANDELA_CL_01 indica un ambiente diverso, aunque la dominancia de *Pinnularia*, señala cierta presión selectiva.

Considerando los patrones de distribución y los géneros indicadores, la Microcuenca recibe una calificación ecológica buena, con PIEDRA_CANDELA_CL_01 como zona bien conservada y OCMY10 como área potencialmente impactada que requiere mayor investigación.

Tabla 3.3.3-244 Ensamble Ecológico de la Comunidad el Perifiton Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Piedra Candela		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					PIEDRA_CANDELA_CL_01	OCMY10	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	15,7		15,7
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	50,5		50,5
			Amphipleuraceae	*Amphipleura*	7		7
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	24,5	1,9	26,4
Charophyta	Zygnematophyceae	Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	10,5		10,5
Gran Total					**108,2**	**1,9**	**110,1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en los puntos de monitoreo OCMY10 y PIEDRA_CANDELA_CL_01 revela una marcada diferencia en la estructura de la comunidad de perifiton. El punto PIEDRA_CANDELA_CL_01 presenta características ecológicas destacables, con una alta abundancia (108.2 ind/cm²) y riqueza de 5 géneros, acompañadas de un índice de Shannon de 1.873 que indica una diversidad moderada-alta, un índice de Simpson de 0.164 que muestra baja dominancia de especies, y un índice de Pielou de 1 (**Tabla 3.3.3-245**) que refleja una perfecta equitatividad en la distribución de las especies.

Estos valores sugieren un ambiente acuático bien conservado, con condiciones óptimas para el desarrollo de una comunidad diversa y equilibrada. Por el contrario, el punto OCMY10 muestra valores críticos, con una abundancia mínima (1.9 ind/cm²), riqueza de solo 1 géneros, por lo que no es conveniente el hallar los índices de diversidad (**Tabla 3.3.3-245**).

Esta drástica diferencia entre ambos puntos sugiere que la Microcuenca presenta una calificación ecológica heterogénea, donde PIEDRA_CANDELA_CL_01 representa un sector en excelente estado de conservación (calificación muy buena), mientras que OCMY10 evidencia un área con severos impactos ambientales (calificación pobre). La presencia simultánea de estos extremos en una misma Microcuenca puede estar asociadas a posibles fuentes de contaminación puntual, alteraciones hidrológicas o cambios en las características del sustrato.

En conjunto, considerando la importancia ecológica del punto bien conservado pero la gravedad del impacto en el otro, la Microcuenca recibe una calificación global de regular a buena, con la advertencia de que la situación de OCMY10 podría representar un foco de deterioro que podría expandirse si no se toman medidas correctivas.

Tabla 3.3.3-245 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
PIEDRA_CANDELA_CL_01	108.2	5	1.873	0.164	1.164

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Río Piedra Candela, ubicado en la altillanura colombiana y monitoreado durante la época de lluvias, fue evaluado en dos estaciones de muestreo (PIEDRA_CANDELA_CL_01 y OCMY10). La comunidad registró una abundancia total de 17 ind/m², distribuida en 11 morfoespecies pertenecientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), tres (3) clases, seis (6) órdenes, ocho (8) familias y ocho (8) géneros identificados (*Alluaudomyia*, *Probezzia*, *Aphrosylus*, *Hexacylloepus*, *Microcylloepus*, *Rhagovelia*, *Smicridea* y *Helicopsyche*) (**Tabla 3.3.3-246**).

Tabla 3.3.3-246 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Piedra Candela		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						PIEDRA_CANDELA_CL_01	OCMY10	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae Mf.*	1,1	2,2	3,3
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*		1,1	1,1
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia sp.*		2,2	2,2
				Probezzia	*Probezzia sp.*		1,1	1,1
			Dolichopodidae	Aphrosylus	*Aphrosylus sp.*	1,1		1,1
		Coleóptera	Elmidae	Hexacylloepus	*Hexacylloepus sp.*		1,1	1,1
				Microcylloepus	*Microcylloepus sp.*		2,2	2,2
		Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	*Rhagovelia sp.*		1,1	1,1
		Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	*Smicridea sp.*		1,1	1,1
			Helicopsychidae	Helicopsyche	*Helicopsyche sp.*		1,1	1,1
	Collembola	Collembola	-	-	*Collembola Mf.*	1,1		1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**3**	**13**	**17**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estación OCMY10 presentó la mayor diversidad y abundancia (13 ind/m², 9 morfoespecies), destacándose la presencia de *Microcylloepus* sp. (Elmidae) con 2.2 ind/m² y *Alluaudomyia* sp.

(Ceratopogonidae) con 2.2 ind/m². Esta composición incluyó taxones sensibles como *Hexacylloepus* sp., *Microcylloepus* sp. (ambos Elmidae), *Smicridea* sp. (Hydropsychidae) y *Helicopsyche* sp. (Helicopsychidae), indicadores de buena calidad de agua (Roldán & Ramírez, 2008). En contraste, PIEDRA_CANDELA_CL_01 mostró una comunidad más pobre (3 ind/m², 3 morfoespecies), dominada por *Naididae* Mf. (1.1 ind/m²) y con presencia de *Aphrosylus* sp. (Dolichopodidae) y *Collembola* Mf., sugiriendo condiciones ambientales menos favorables en este sector (**Figura 3.3.3-106**).

Desde la perspectiva de la bioindicación, el ensamble estudiado revela diferencias espaciales significativas. La estación OCMY10, con múltiples taxones sensibles (elémidos, tricópteros) y una estructura comunitaria diversa, indica un ambiente bien conservado con condiciones óptimas para el desarrollo de macroinvertebrados bentónicos (Domínguez & Fernández, 2009). La presencia simultánea de organismos con diferentes requerimientos ecológicos (desde los más sensibles como *Helicopsyche* sp. hasta los más tolerantes como *Chironomidae* Mf.) sugiere una heterogeneidad de microhábitats en este sector del río. Por otro lado, PIEDRA_CANDELA_CL_01, con predominio de oligoquetos (Naididae) y baja diversidad, refleja condiciones más alteradas, posiblemente debido a diferencias en las características del sustrato, calidad del agua o influencia de factores antropogénicos locales (Buss et al., 2015).

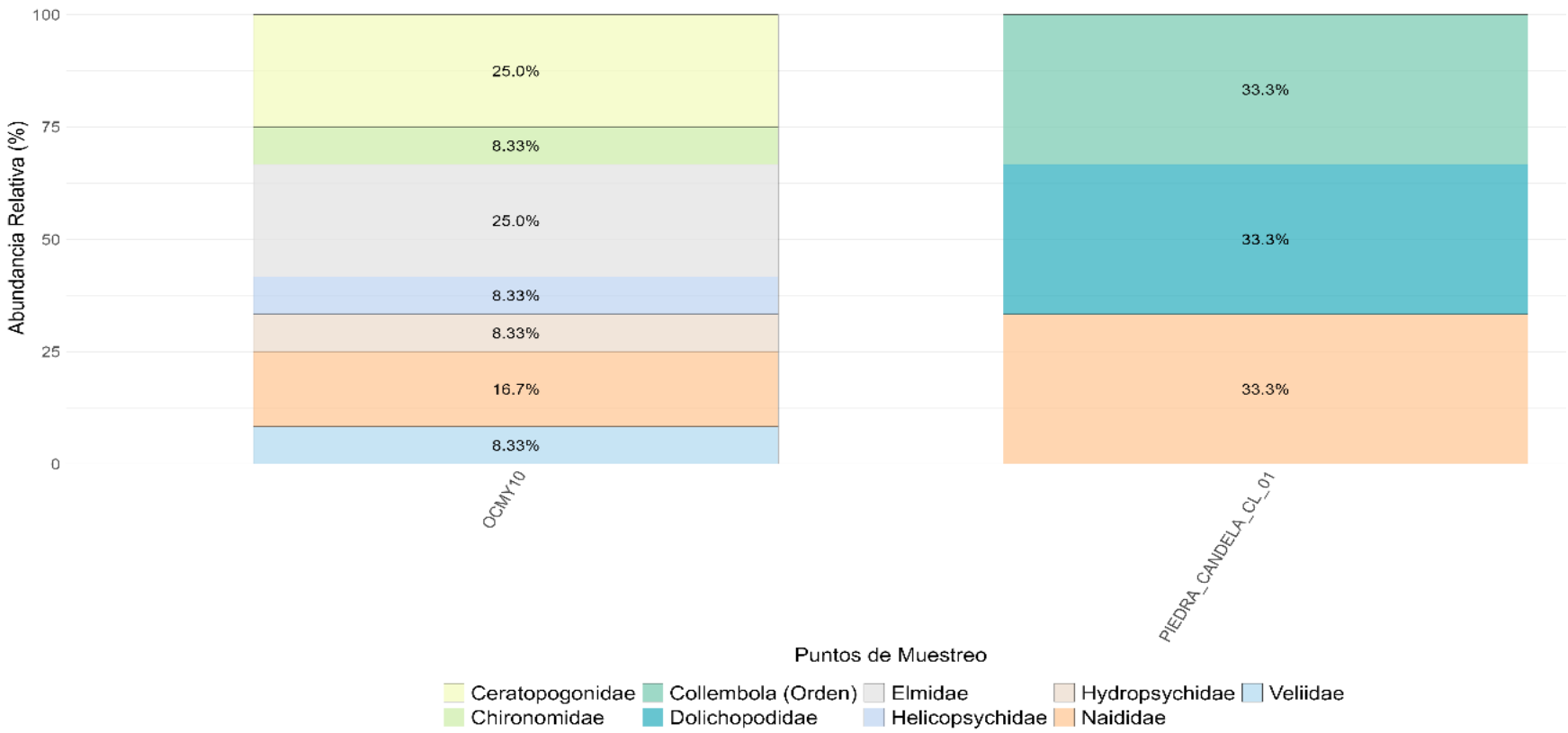


Figura 3.3.3-106 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de las interacciones ecológicas muestra conexiones importantes entre los sistemas lóticos, lénticos y terrestres. Los tricópteros (*Smicridea* sp. y *Helicopsyche* sp.), con sus requerimientos específicos de hábitat, confirman el carácter lótico bien conservado de OCMY10. Los elémidos (*Hexacylloepus* sp. y *Microcylloepus* sp.), característicos de aguas corrientes bien oxigenadas, refuerzan esta interpretación. Los ceratopogónidos (*Alluaudomyia* sp. y *Probezzia* sp.) y el dolichopódido (*Aphrosylus* sp.), cuyos adultos son voladores, representan importantes vínculos tróficos entre los ambientes acuáticos y terrestres (Merritt & Cummins, 2008). La presencia de colémbolos en PIEDRA_CANDELA_CL_01 sugiere influencia terrestre directa en este sector, posiblemente por escorrentía superficial durante las lluvias.

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del Río Piedra Candela muestra marcadas diferencias entre las dos estaciones estudiadas. Mientras OCMY10 presenta una comunidad diversa y estructurada, con presencia de múltiples taxones sensibles que indican buena calidad ambiental, PIEDRA_CANDELA_CL_01 revela condiciones más deterioradas, con predominio de organismos tolerantes y baja diversidad.

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Río Piedra Candela muestra diferencias significativas entre las estaciones monitoreadas. La estación OCMY10 presentó una comunidad relativamente diversa con 9 morfoespecies y abundancia de 13 ind/m², mientras que PIEDRA_CANDELA_CL_01 registró solo 3 morfoespecies y 3 ind/m². Esta variación espacial refleja un gradiente de calidad ambiental a lo largo del río, donde OCMY10 alberga taxones sensibles como tricópteros (*Smicridea* sp., *Helicopsyche* sp.) y elémidos (*Hexacylloepus* sp., *Microcylloepus* sp.), indicadores de buenas condiciones ecológicas. Por el contrario, PIEDRA_CANDELA_CL_01 está dominada por oligoquetos Naididae, organismos tolerantes a ambientes perturbados (**Tabla 3.3.3-247**).

Los resultados del BMWP/Col confirman esta diferencia espacial en la calidad del agua. OCMY10 alcanzó 29 puntos (Clase IV - Crítica), valor cercano al umbral de la Clase III, gracias a la presencia de múltiples taxones sensibles. Este puntaje, aunque clasificado como crítico, sugiere que el sector aún mantiene condiciones aceptables para el desarrollo de comunidades acuáticas diversas. En contraste, PIEDRA_CANDELA_CL_01 obtuvo solo 4 puntos (Clase V - Muy crítica), resultado extremadamente bajo que evidencia un ambiente severamente alterado, con dominancia de organismos tolerantes y ausencia de grupos sensibles.

Tabla 3.3.3-247 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col).

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
PIEDRA CANDELA	OCMY10	IV	Critica	29	Aguas muy contaminadas
	PIEDRA_CANDELA_CL_01	V	Muy crítica	4	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La marcada diferencia entre estaciones puede atribuirse a factores como variaciones en las características físico-químicas del agua, composición del sustrato, influencia antropogénica local o conectividad con sistemas laterales. La presencia simultánea de taxones con diferentes requerimientos ecológicos en OCMY10 sugiere heterogeneidad de microhábitats en este sector,

mientras que la comunidad empobrecida de PIEDRA_CANDELA_CL_01 indica condiciones ambientales homogéneas y adversas.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa revelan diferencias notables entre las dos estaciones monitoreadas en el Río Piedra Candela. La estación OCMY10 presenta valores significativamente más altos en todos los parámetros evaluados, mostrando una comunidad bentónica más diversa y equilibrada. Con una riqueza de 9 morfoespecies y una abundancia total de 13.2 ind/m², esta estación alcanza un índice de Shannon de 2.138, indicando una diversidad moderadamente alta. El valor de Simpson de 0.125 refleja una baja dominancia de especies, mientras que el índice de Pielou de 0.973 sugiere una distribución casi perfectamente equitativa de los individuos entre las especies presentes (**Tabla 3.3.3-248**).

En contraste, la estación PIEDRA_CANDELA_CL_01 muestra valores considerablemente más bajos en todos los índices, correspondientes a una comunidad más pobre y menos diversa. Con solo 3 morfoespecies y una abundancia total de 3.3 ind/m², el índice de Shannon de 1.099 indica una diversidad bastante reducida. El valor de Simpson de 0.333 señala una mayor dominancia de especies en comparación con OCMY10, mientras que el índice de Pielou de 1 (valor máximo teórico) debe interpretarse con moderación debido al bajo número de especies, lo que puede distorsionar este indicador de equitatividad.

Tabla 3.3.3-248 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
PIEDRA CANDELA	OCMY10	13.2	9	2.138	0.125	0.973
	PIEDRA_CANDELA_CL_01	3.3	3	1.099	0.333	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comparación entre ambas estaciones evidencia un gradiente de calidad ambiental a lo largo del río. Los valores más altos de diversidad en OCMY10 coinciden con la presencia de taxones sensibles y una estructura comunitaria más compleja. Por otro lado, los índices más bajos en PIEDRA_CANDELA_CL_01 son consistentes con una comunidad dominada por organismos tolerantes y una menor complejidad ecológica. Esta diferencia en los patrones de diversidad alfa refuerza los resultados obtenidos mediante el BMWP/Col, proporcionando una visión complementaria del estado ecológico del sistema fluvial.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Con base en los resultados obtenidos durante el monitoreo de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Piedra Candela, se observó una baja diversidad florística, compuesta por cuatro morfoespecies pertenecientes a la división Tracheophyta, representando clases como Polypodiidae y Magnoliidae, y distribuidas en cuatro órdenes (Schizaeales, Alismatales, Poales y Malpighiales). Esta composición es típica de cuerpos de agua en regiones de altillanura con baja

intervención antrópica, donde predomina la vegetación adaptada a condiciones de inundación estacional y suelos con baja fertilidad (Junk W. J., 2011). En términos de estructura, se evidenció una mayor cobertura total y riqueza en el punto PIEDRA_CANDELA_CL_01, con una cobertura del 47,01% y presencia de cuatro morfoespecies, en comparación con el punto OCMY10, que presentó solo dos morfoespecies con una cobertura del 9,34%. La familia Araceae fue dominante en ambos puntos, especialmente en OCMY10 donde alcanzó el 71,41% de la abundancia relativa, lo cual es coherente con su conocida capacidad de colonizar hábitats húmedos y su tolerancia a condiciones de estrés hídrico (Pott, 2000) Asimismo, Cyperaceae mostró una representación importante, especialmente en el segundo punto de muestreo, lo cual refuerza su papel como componente estructural clave en zonas de transición entre ambientes acuáticos y terrestres. La presencia puntual de especies como *Lygodium* sp. y representantes de Phyllanthaceae sugiere microhábitats con condiciones particulares de sombra, humedad o alteración intermedia, lo cual podría estar relacionado con diferencias en el uso del suelo o cobertura vegetal circundante (Sculthorpe, The biology of aquatic vascular plants, 1985) (**Tabla 3.3.3-249**). En conjunto, la comunidad de macrófitas identificada refleja un sistema acuático con influencia de procesos naturales de sucesión y una estructura aún no simplificada por actividades antrópicas intensas.

Tabla 3.3.3-249 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Piedra Candela			
				Punto De Muestreo	OCMY10		PIEDRA_CANDELA_CL_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Schizaeales	Lygodiaceae	*Lygodium* sp.			10,67	22,70
	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	Araceae Mf.	6,67	71,41	19,34	41,14
		Poales	Cyperaceae	*Carex* sp.	2,67	28,59	14,33	30,48
		Malpighiales	Phyllanthaceae	Phyllanthaceae Mf.			2,67	5,68
Cobertura Total general					**9,34**	**100**	**47,01**	**100**
Morfoespecies por Punto					**2**		**4**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**			

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante el monitoreo en temporada de lluvias de la Microcuenca del caño Piedra Candela, se identificó una estructura comunitaria de macrófitas acuáticas relativamente simple, pero con un grado de diversidad notable en el punto PIEDRA_CANDELA_CL_01. Este punto presentó una riqueza de 4 morfoespecies y un índice de Shannon-Wiener de 1.514, lo que indica una diversidad moderada, con un grado aceptable de equidad en la distribución de los individuos entre las especies presentes (Magurran A. E., 2004). El valor del índice de Simpson (0.232) sugiere un nivel de dominancia bajo por parte de alguna especie, lo cual es indicativo de una comunidad con cierta estabilidad ecológica (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad. M & T–Manuales y Tesis SEA, 2001). El valor de equitatividad de Pielou (1.092), aunque ligeramente superior al valor teórico máximo de 1, probablemente se deba a la metodología de cálculo basada en morfoespecies con abundancia relativa, y refleja una comunidad con distribución equilibrada de cobertura entre las especies observadas. En contraste, en el punto OCMY10 (ocupación de cauce) no fue posible

calcular los índices de diversidad debido a la presencia de menos de tres morfoespecies, lo cual limita el análisis ecológico cuantitativo de ese sitio. Este tipo de limitación es común en sistemas altamente dinámicos o sujetos a disturbios físicos recientes, donde la baja riqueza específica reduce la capacidad de los índices para reflejar adecuadamente la estructura de la comunidad (Brower, 1998). La mayor diversidad registrada en PIEDRA_CANDELA_CL_01 podría estar asociada a microhábitats más heterogéneos o mayor estabilidad hidrológica durante la temporada de lluvias (**Tabla 3.3.3-250**).

Tabla 3.3.3-250 Índices de diversidad Alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Piedra Candela época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
PIEDRA_CANDELA_CL_01	47.01	4	1.514	0.232	1.092

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

3.3.3.2.18 Microcuenca caño Pirigua

La Microcuenca del caño Pirigua, localizada en el municipio de Cabuyaro, forma parte del piedemonte llanero oriental y se caracteriza por presentar una fisiografía dominada por extensas llanuras aluviales e inundables, propias de la Orinoquia colombiana. Este caño, afluente del río Upía, discurre a través de paisajes de sabana inundable, con una dinámica hidrológica marcada por una fuerte estacionalidad entre épocas de lluvia y sequía, lo que influye notablemente en la estructura y composición de sus comunidades acuáticas (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). En este contexto, se realizó un monitoreo de comunidades hidrobiológicas en diez puntos de muestreo distribuidos a lo largo del caño, de los cuales ocho corresponden a ecosistemas lóticos (cuerpos de agua corriente de los cuales siete son ocupaciones de cauce) y dos a ambientes lénticos (cuerpos de agua de flujo lento o estancado), con el objetivo de evaluar la calidad ecológica del sistema y su biodiversidad acuática. Las comunidades hidrobiológicas, conformadas principalmente por macroinvertebrados bentónicos, peces y perifiton, representan indicadores sensibles a cambios en las condiciones físico-químicas del agua y permiten diagnosticar el estado de salud ecológica de los cuerpos de agua dulce (Mendoza-Callejas, 2020). El monitoreo de estos componentes resulta fundamental para la gestión ambiental y conservación de los ecosistemas acuáticos del caño Pirigua, en una región con alta presión por actividades agropecuarias y cambios en el uso del suelo.

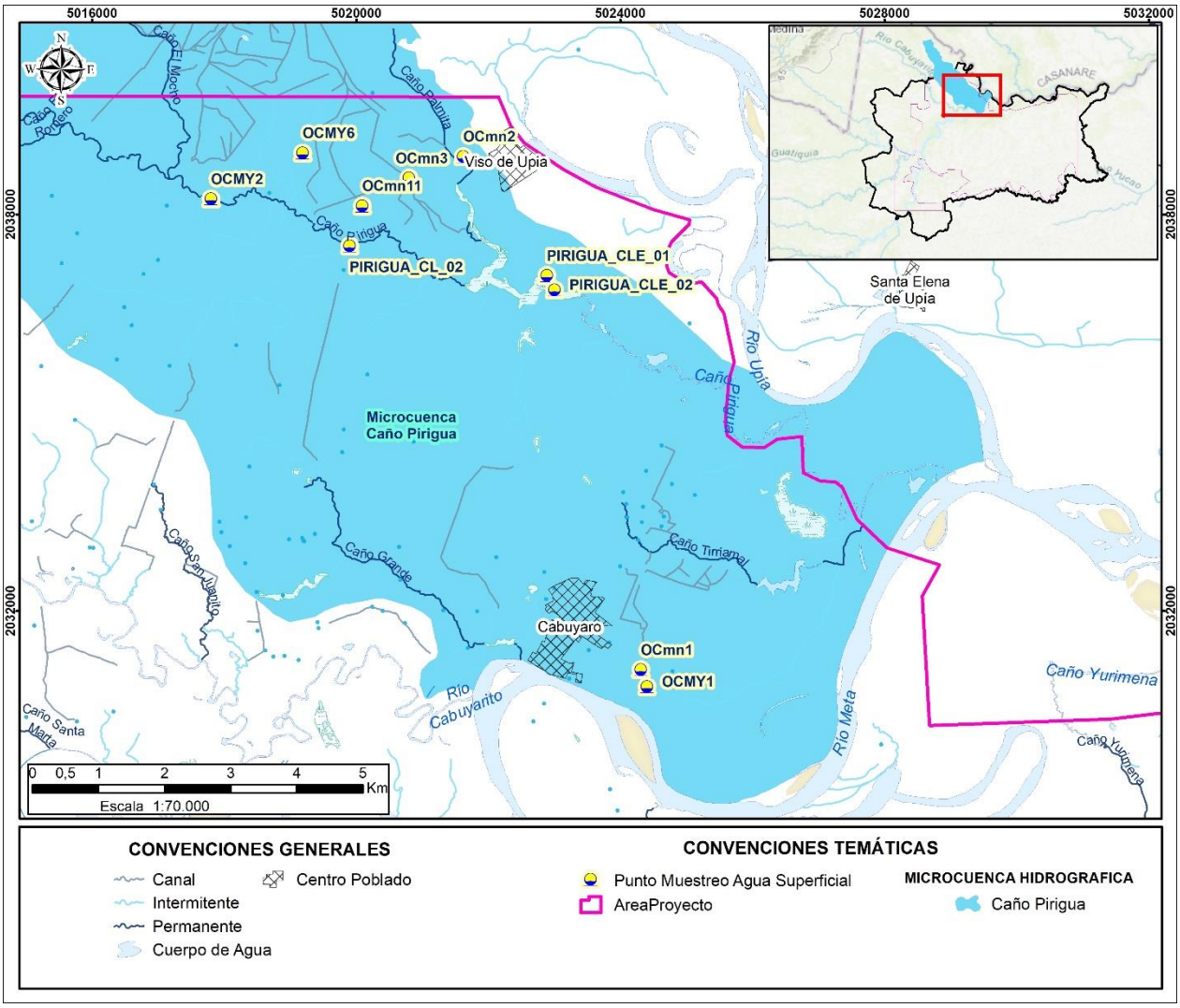


Figura 3.3.3-107 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Pirigua

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Pirigua, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia.**

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del fitoplancton en el sistema léntico estudiado, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época seca, presenta una comunidad diversa dominada por organismos de las divisiones Euglenophyta, Chlorophyta, Heterokontophyta, Cyanobacteria y Charophyta. Las estaciones analizadas, PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02, pertenecen a la Microcuenca del Caño Pirigua (**Tabla 3.3.3-251**), donde se observaron diferencias significativas en la abundancia de morfoespecies.

La estación PIRIGUA_CLE_02 registró una mayor abundancia total (2.258 Ind/mL) y una riqueza de 12 géneros en comparación con PIRIGUA_CLE_01 reporto un a abundancia de 0.063 Ind/mL y una riqueza de cinco géneros (**Tabla 3.3.3-251**). El punto PIRIGUA_CLE_02 reporto el géneros *Trachelomonas* (Euglenophyta) la morfoespecie más abundante con 1.723 Ind/mL y un porcentaje de abundancia del (76.3%) (**Figura 3.3.3-108**) (**Tabla 3.3.3-251**), seguida por *Aulacoseira* (Heterokontophyta) con 0.254 Ind/mL y un porcentaje de abundancia de (11,2%) (**Figura 3.3.3-108**) (**Tabla 3.3.3-251**). Otras morfoespecies como *Euglena*, *Strombomonas*, *Lepocinclis* y *Phacus* (Euglenophyta) (**Tabla 3.3.3-251**) también contribuyeron a la riqueza del ensamble, aunque con abundancias menores. La riqueza de morfoespecies fue notable, con representantes de múltiples géneros, lo que sugiere una adaptación a las condiciones oligotróficas y variables típicas de los sistemas lénticos en época seca (Reynolds, 2006). Por el contrario, PIRIGUA_CLE_01 reporta el género *Trachelomonas* con una abundancia de 0,044 Ind/mL siendo la más abundante y con un porcentaje de abundancia de 69,8% seguido a este género reporto *Phacus* con una abundancia de 0,007 Ind/mL y un porcentaje de abundancia del (11.1%) (**Figura 3.3.3-108**).

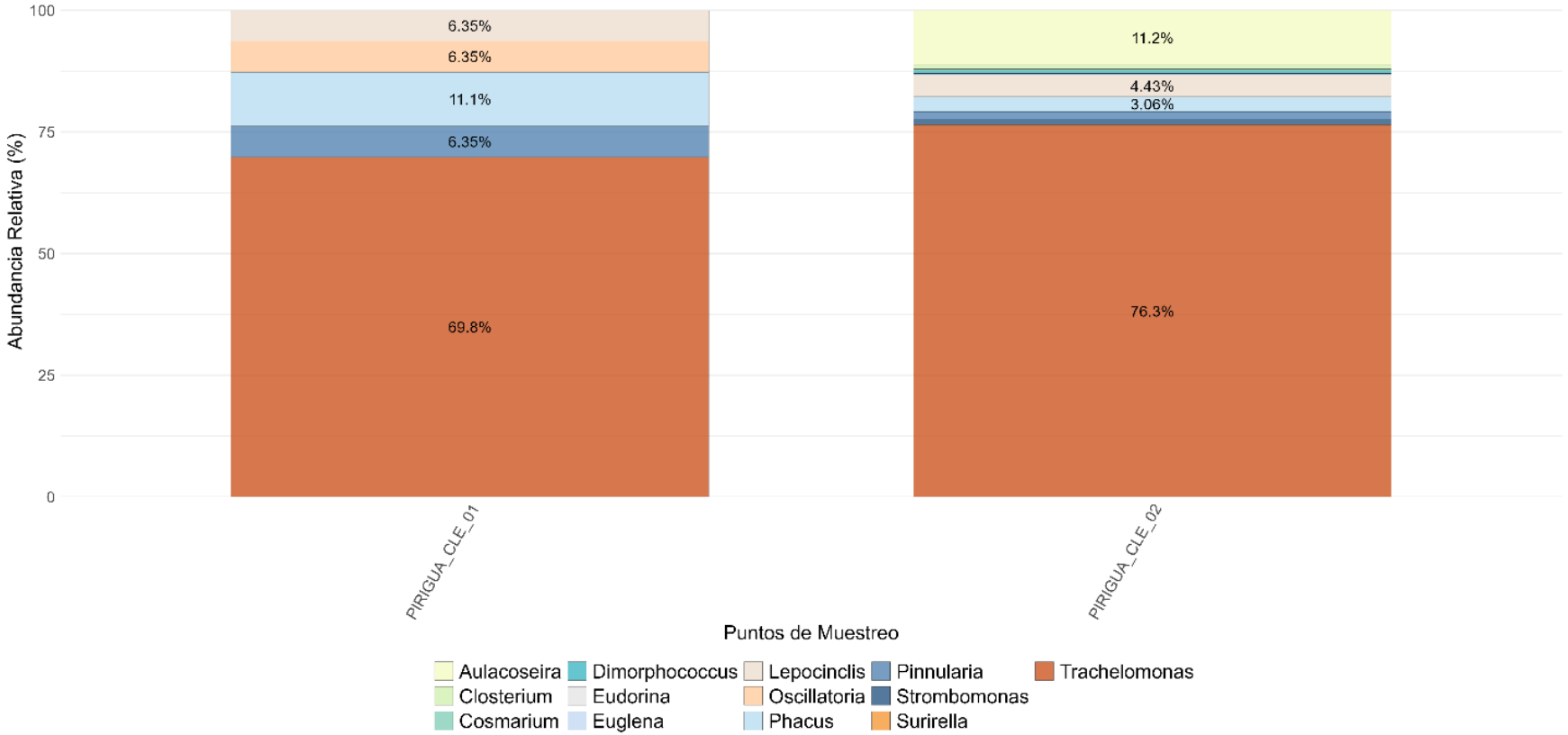


Figura 3.3.3-108 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de Euglenophyta y Cyanobacteria (*Oscillatoria*) en bajas abundancias puede indicar condiciones de estrés de contaminación orgánica moderada (Bellinger & Sigee, 2015). Por otro lado, la dominancia de *Trachelomonas* y *Aulacoseira* sugiere una preferencia por aguas con moderada conductividad y nutrientes, común en sistemas lénticos de altillanura. La interacción entre géneros refleja una competencia por recursos limitados, donde Euglenophyta aprovecha su capacidad mixotrófica, mientras que Chlorophyta (*Eudorina*, *Dimorphococcus*) y Charophyta (*Closterium*, *Cosmarium*) ocupan nichos específicos vinculados a la disponibilidad de luz y nutrientes (Padisák et al., 2009).

La conexión entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres en la Microcuenca del Caño Pirigua es crítica para entender la dinámica del fitoplancton. Durante la época seca, la reducción del flujo de agua en sistemas lóticos adyacentes puede limitar el intercambio de especies, aumentando el aislamiento y la especialización local del ensamble léntico. Además, la interacción con el entorno terrestre, a través de la entrada de materia orgánica y sedimentos, influye en la turbidez y la disponibilidad de nutrientes, favoreciendo a morfoespecies tolerantes como *Pinnularia* (Heterokontophyta) y *Lepocinclis* (Euglenophyta) (Wetzel R. G., 2001).

En conclusión, el ensamble fitoplanctónico en el sistema léntico de la altillanura estudiado refleja adaptaciones a condiciones de época seca, con dominancia de Euglenophyta y Heterokontophyta, y una riqueza moderada influenciada por la bioindicación y las interacciones ecológicas. La baja abundancia en PIRIGUA_CLE_01 sugiere una mayor limitación de recursos o diferencias en las condiciones locales, mientras que la interacción con sistemas lóticos y terrestres destaca la importancia de considerar escalas espaciales y temporales más amplias para la conservación de estos ecosistemas.

Tabla 3.3.3-251 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Pirigua		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					PIRIGUA_CLE_02	PIRIGUA_CLE_01	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	1,723	0,044	1,767
				Euglena	0,004		0,004
				Strombomonas	0,027		0,027
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,1	0,004	0,104
				Phacus	0,069	0,007	0,076
Chlorophyta	Chlorophyceae	Volvocales	Volvocaceae	*Eudorina*	0,004		0,004
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Dimorphococcus*	0,012		0,012
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,034	0,004	0,038
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	0,004		0,004
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,254		0,254
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*		0,004	0,004
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,019		0,019
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,008		0,008
Gran Total					**2,258**	**0,063**	**2,321**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad para la comunidad de fitoplancton en los puntos PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02 muestran diferencias significativas en los índices ecológicos, lo que sugiere un escenario heterogéneo dentro de la Microcuenca. En el punto PIRIGUA_CLE_01, se registra una baja abundancia (0.063 Ind/mL) y riqueza de cinco géneros, acompañadas de un índice de Shannon moderado (1.037), lo que indica una diversidad limitada. El índice de Simpson (0.5) refleja una dominancia notable de ciertas especies, mientras que el índice de Pielou (0.644) sugiere una distribución relativamente equitativa a pesar de la baja riqueza (**Tabla 3.3.3-252**). Por el contrario, el punto PIRIGUA_CLE_02 presenta una abundancia moderada (2.258 Ind/mL), probablemente asociada a condiciones particulares como eutrofización o blooms algales, junto con una mayor riqueza (12 géneros). Sin embargo, el índice de Shannon (1.228) no es alto, lo que podría indicar la presencia de especies dominantes. Esto se confirma con el índice de Simpson (0.487), que también señala una dominancia significativa, y el índice de Pielou (0.494) (**Tabla 3.3.3-252**), que evidencia una distribución menos equitativa de las especies.

En conjunto, estos datos revelan una calificación ecológica contrastante para la Microcuenca. Mientras que PIRIGUA_CLE_01 presenta una comunidad empobrecida pero equilibrada, PIRIGUA_CLE_02 muestra una alta abundancia, pero con desequilibrios en la estructura de la comunidad, posiblemente debido a perturbaciones ambientales. Esta diferencia sugiere que la Microcuenca enfrenta desafíos ecológicos, como fluctuaciones en la calidad del agua o presiones antropogénicas, que afectan la estabilidad del fitoplancton. La calificación global podría considerarse de regular a preocupante, dependiendo de la persistencia de estas condiciones.

Tabla 3.3.3-252 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
PIRIGUA_CLE_01	0.063	5	1.037	0.5	0.644
PIRIGUA_CLE_02	2.258	12	1.228	0.487	0.494

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico en el sistema léntico de la Microcuenca del Caño Pirigua, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época seca reporta un total de 0,105 Ind/mL y una riqueza total de siete géneros, este ensamble presenta una comunidad dominada por taxones de los filos Amoebozoa y Rotifera, con una abundancia total mayor en la estación PIRIGUA_CLE_01 (0.032 Ind/mL) que en PIRIGUA_CLE_02 (0.0084 Ind/mL). Entre las morfoespecies identificadas, destacan *Arcella* (Arcellidae, Amoebozoa) con una abundancia combinada de 0.0404 Ind/mL, seguida por Brachionus (Brachionidae, Rotifera) con 0.0322 Ind/mL y Lecane (Lecanidae, Rotifera) con 0.0124 Ind/mL. Otras especies como *Difflugia, Keratella, Polyarthra* y *Filinia* registraron abundancias mínimas menores a 0.01 Ind/mL, lo que sugiere una riqueza moderada, pero con dominancia de pocos taxones adaptados a condiciones de estrés hídrico típicas de la época seca (Segers, 2008). El punto PIRIGUA_CLE_01 reporto a *Arcella* con una abundancia de (0,032

Ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (38.1%), seguido a esta morfoespecie esta *Brachionus* con una abundancia de (0.028 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-253**) y un porcentaje de abundancia del (33.3%) (**Figura 3.3.3-109**) el resto de las morfoespecies reportaron porcentajes de abundancia menores a (9.52%). En la estación PIRIGUA_CLE_02 reporto dos géneros con abundancias de 0.0084 Ind/mL *Arcella* y *Lecane* y un porcentaje de abundancia del (40%) y *Brachionus* reporto una abundancia de (0,0042 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (20%) (**Figura 3.3.3-109**) (**Tabla 3.3.3-253**) .

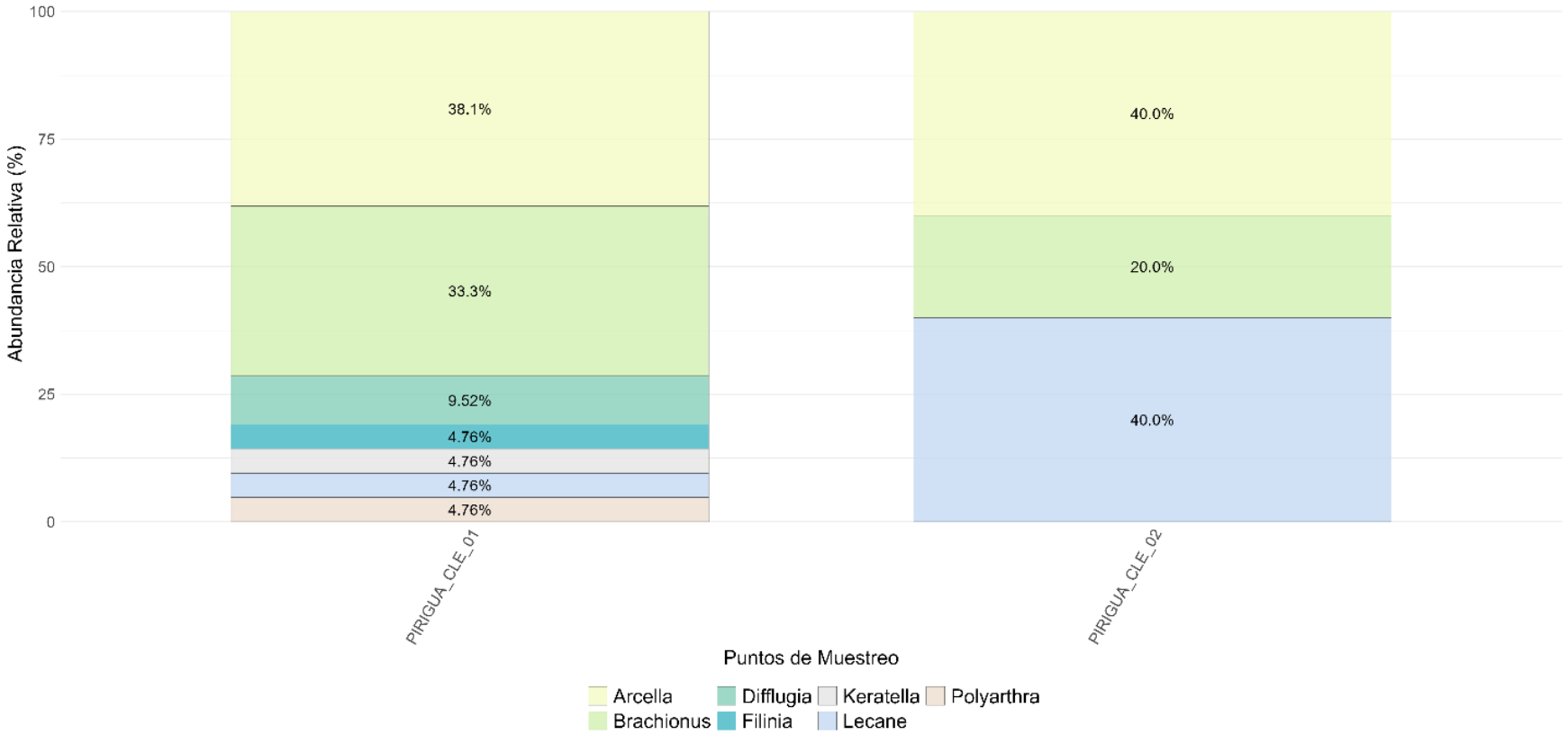


Figura 3.3.3-109 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de *Brachionus* y *Keratella* (Rotifera) puede asociarse a aguas con moderada productividad y cierto grado de perturbación, ya que estos géneros son comunes en ambientes eutróficos o con fluctuaciones en la disponibilidad de recursos (Sládeček, 1983). Por otro lado, *Arcella* y *Difflugia* (Amoebozoa), organismos bentónicos y tolerantes a bajas concentraciones de oxígeno, indican condiciones de sedimentación y posible entrada de materia orgánica desde el entorno terrestre, reforzando la conexión entre el sistema léntico y su Microcuenca adyacente (Foissner W. , Soil protozoa as bioindicators in ecosystems under human influence, 1999). La baja abundancia general sugiere un impacto significativo de la estacionalidad, donde la reducción del nivel de agua limita los recursos para el zooplancton.

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres en esta Microcuenca se evidencia en la composición del ensamble. La mayor abundancia en PIRIGUA_CLE_01 podría reflejar una mayor influencia de aportes terrestres o lóticos durante períodos previos, mientras que PIRIGUA_CLE_02, con menor abundancia, podría representar un ambiente más aislado. La presencia de *Polyarthra* (Synchaetidae), un rotífero filtrador, y *Filinia* (Flosculariaceae), asociado a columnas de agua estables, sugiere microhábitats diferenciados dentro del mismo sistema, posiblemente vinculados a la heterogeneidad espacial generada por la interacción con vegetación acuática o aportes de materia orgánica (Wallace R. L. et al., 2016).

En conclusión, el zooplancton de la Microcuenca Caño Pirigua en época seca refleja una comunidad adaptada a condiciones restrictivas, con dominancia de taxones resistentes como *Arcella* y *Brachionus*, y una riqueza limitada por la estacionalidad. Las diferencias entre estaciones señalan microambientes influenciados por conexiones con sistemas terrestres y lóticos, aunque el aislamiento predominante en la época seca reduce la diversidad.

Tabla 3.3.3-253 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Pirigua		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					PIRIGUA_CLE_02	PIRIGUA_CLE_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0084	0,032	0,0404
			Difflugiidae	*Difflugia*		0,008	0,008
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Brachionidae	*Brachionus*	0,0042	0,028	0,0322
				Keratella		0,004	0,004
			Lecanidae	*Lecane*	0,0084	0,004	0,0124
			Synchaetidae	*Polyarthra*		0,004	0,004
		Flosculariaceae	Filiniidae	*Filinia*		0,004	0,004
Gran Total					**0,021**	**0,084**	**0,105**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad para la comunidad de zooplancton en los puntos PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02 muestran características ecológicas diferenciadas que permiten evaluar el estado de la Microcuenca. En PIRIGUA_CLE_01 se registró una abundancia moderada (0.084 Ind/mL) acompañada de una riqueza de siete morfoespecies, valores que sugieren condiciones

ambientales aceptables para el desarrollo del zooplancton. El índice de Shannon (1.674) indica una diversidad media-alta, mientras que el bajo valor de Simpson (0.247) revela una baja dominancia de especies específicas. Este patrón se complementa con un alto índice de Pielou (0.86) (**Tabla 3.3.3-254**), que demuestra una distribución muy equitativa de las especies presentes, característica de comunidades zooplanctónicas bien estructuradas y estables. En contraste, el punto PIRIGUA_CLE_02 presenta valores notablemente inferiores, con una abundancia baja (0.021) y solo tres morfoespecies registradas. Aunque el índice de Shannon (1.055) sugiere cierta diversidad considerando la escasa riqueza, el valor de Simpson (0.36) indica mayor dominancia que en el punto anterior. Sin embargo, el índice de Pielou (0.96) (**Tabla 3.3.3-254**) muestra una equitatividad casi perfecta entre las pocas especies presentes, lo que podría interpretarse como una comunidad empobrecida pero equilibrada en sus proporciones internas.

La evaluación conjunta de ambos puntos sugiere que la Microcuenca presenta una calidad ecológica heterogénea. PIRIGUA_CLE_01 representa un ambiente favorable para el zooplancton, con buena diversidad y estructura comunitaria, mientras que PIRIGUA_CLE_02 evidencia condiciones limitantes que restringen el desarrollo de esta comunidad. Esta diferencia podría deberse a diferencias locales en la disponibilidad de recursos, calidad del agua o presión de depredación. Considerando ambos puntos, la calificación ecológica global de la Microcuenca sería de regular a buena, con la advertencia de que existen microambientes con condiciones restrictivas que merecerían atención particular.

Tabla 3.3.3-254 Índices de Diversidad Ecológica para la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
PIRIGUA_CLE_01	0.084	7	1.674	0.247	0.86
PIRIGUA_CLE_02	0.021	3	1.055	0.36	0.96

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

El ensamble perifítico en el sistema lótico de la Microcuenca del Caño Pirigua, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época seca, presenta una comunidad diversa dominada por diatomeas (Bacillariophyceae), cianobacterias (Cyanophyceae) y algas rojas (Rhodophyta), con una abundancia total de 253.8 Ind/cm² distribuida heterogéneamente entre las estaciones y una riqueza total de 12 géneros. La estación PIRIGUA_CL_02 registró la mayor abundancia (128.4 Ind/cm²) y una riqueza de tres géneros, principalmente debido a la dominancia de *Phormidium* (Oscillatoriaceae, Cyanobacteria) con 122.8 Ind/cm² y un porcentaje de abundancia(95.64%) (**Tabla 3.3.3-255**) (**Figura 3.3.3-110**), lo que sugiere condiciones potencialmente eutróficas o con alta disponibilidad de nutrientes (Whitton, 2012). Otras estaciones como OCMY2 y OCmn2 mostraron predominio de diatomeas como *Eunotia* (Eunotiaceae) con 34.6 Ind/cm² en total, *Pinnularia* (Pinnulariaceae) con 23.9 Ind/cm² y *Gomphonema* (Gomphonemataceae) con 16.1 Ind/cm², indicadores de aguas bien oxigenadas y con baja a moderada conductividad (Round et al., 1990). La presencia de *Audouinella* (Rhodophyta) en OCmn11 (14.6 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (42.9%) (**Tabla 3.3.3-255**) (**Figura 3.3.3-110**) apunta a microhábitats específicos con posible influencia de sustratos rocosos o vegetación sumergida (Biggs B. F., 1996).

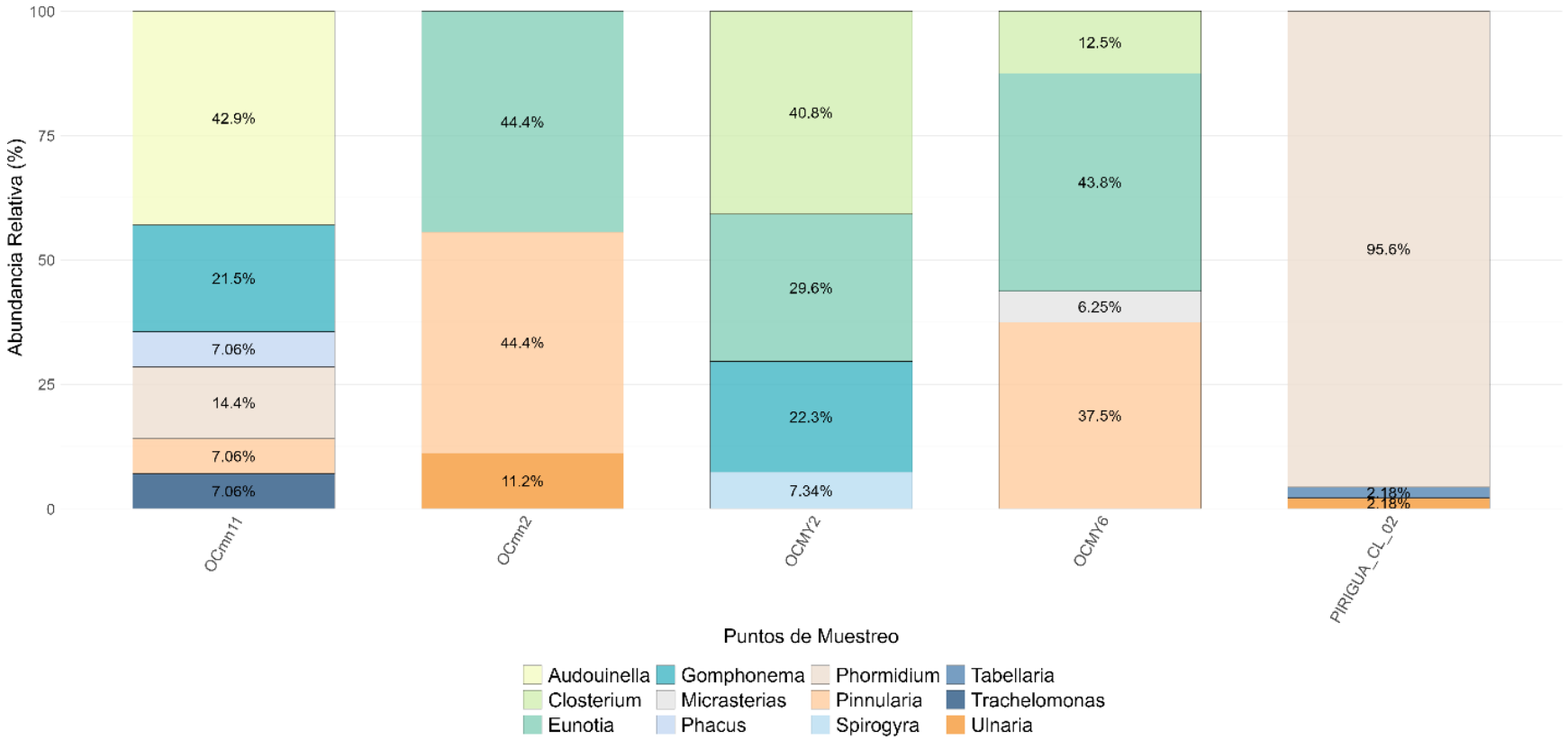


Figura 3.3.3-110 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la composición del perifiton refleja gradientes ambientales claros. La alta abundancia de *Phormidium* en PIRIGUA_CL_02 podría asociarse a contaminación orgánica o enriquecimiento de nutrientes como el fósforo, típico de zonas con aportes antropogénicos o escorrentía terrestre (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). Por el contrario, la predominancia de diatomeas como *Eunotia* y *Pinnularia* en OCMY2 y OCmn2 sugiere aguas limpias y ligeramente ácidas, comunes en sistemas lóticos de altillanura con baja perturbación. La interacción entre géneros evidencia nichos diferenciados, mientras *Phormidium* compite por luz y nutrientes en condiciones eutróficas, diatomeas como *Gomphonema* y *Ulnaria* colonizan sustratos estables en aguas más turbulentas (Passy, 2007).

La conexión entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres en la Microcuenca del Caño Pirigua es crítica para entender la dinámica del perifiton. Durante la época seca, la reducción del caudal puede favorecer la acumulación de nutrientes y materia orgánica desde el entorno terrestre, beneficiando a cianobacterias y algas filamentosas. Además, la presencia de *Spirogyra* (Charophyta) y *Micrasterias* (Desmidiaceae) en bajas abundancias sugiere intercambios esporádicos con humedales o charcas adyacentes (sistemas lénticos), donde estos taxones son comunes (Wetzel R. G., 2001). La heterogeneidad espacial observada como por ejemplo la alta abundancia de *Audouinella* en OCmn11, podría reflejar la influencia de microhábitats con sombra o mayor estabilidad hidrológica, vinculados a la vegetación ribereña.

En Conclusión, la comunidad perifitica en la Microcuenca del Caño Pirigua en época seca muestra una comunidad estructurada por condiciones locales de nutrientes, sustrato y conectividad hidrológica. La dominancia de *Phormidium* en PIRIGUA_CL_02 señala un posible impacto antrópico o natural, mientras que las diatomeas en otras estaciones reflejan ambientes mejor conservados. La interacción con sistemas terrestres y lénticos explica la diversidad de nichos, aunque el aislamiento estacional limita la riqueza total.

Tabla 3.3.3-255 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Pirigua					Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY2	OCMY6	OCmn2	PIRIGUA_CL_02	OCmn11	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	8,8				7,3	16,1
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		8,4	13,1		2,4	23,9
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	11,7	9,8	13,1			34,6
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*				2,8		2,8
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*			3,3	2,8		6,1
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Micrasterias*		1,4				1,4
			Closteriaceae	*Closterium*	16,1	2,8				18,9
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	2,9					2,9
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*				122,8	4,9	127,7

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Pirigua					Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY2	OCMY6	OCmn2	PIRIGUA_CL_02	OCmn11	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Phacus*					2,4	2,4
			Euglenaceae	*Trachelomonas*					2,4	2,4
Rhodophyta	Florideophyceae	Acrochaetiales	Audouinellaceae	*Audouinella*					14,6	14,6
Gran Total					**39,5**	**22,4**	**29,5**	**128,4**	**34**	**253,8**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en las estaciones de la Microcuenca muestran variaciones significativas que podrían reflejar diferencias en las condiciones ecológicas. Las estaciones OCMY2, OCMY6 y OCmn11 presentan valores de Shannon entre 1.163 y 1.537 (**Tabla 3.3.3-256**), lo que indica una diversidad moderada, acompañada de una uniformidad relativamente alta (Pielou entre 0.839 y 0.858) (**Tabla 3.3.3-256**), sugiriendo un equilibrio en la distribución de especies. En contraste, la estación PIRIGUA_CL_02 muestra un valor de Shannon muy bajo (0.209) y una uniformidad extremadamente reducida (0.19) (**Tabla 3.3.3-256**), lo que apunta a una posible dominancia de pocas especies, típico de ambientes perturbados o con estrés ambiental. Por otro lado, OCmn2 presenta un valor de Pielou de 1, lo que indica una gran distribución de los las a abundancias. En términos generales, la Microcuenca parece presentar zonas con diversidad aceptable, pero la estación PIRIGUA_CL_02 destaca como un posible impacto.

Tabla 3.3.3-256 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY2	39.5	4	1.24	0.316	0.894
OCMY6	22.4	4	1	0.352	0.839
OCmn11	34	6	2	0.265	0.858
OCmn2	29.5	3	1	0.333	1
PIRIGUA_CL_02	128.4	3	0.209	0.916	0.19

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el sistema lótico del caño Pirigua, evidencia una comunidad moderadamente diversa y estructurada, con un total de seis (6) morfoespecies, correspondientes a dos (2) phyllum (Arthropoda y Mollusca), dos (2) clases (Insecta y Gastropoda), cinco (5) órdenes (Diptera, Hemiptera, Trichoptera, Basommatophora y Littorinimorpha), seis (6) familias y cinco (5) géneros, alcanzando una abundancia total de 173 individuos/m² distribuidos en tres estaciones de muestreo: OCMY6, OCmn2 y OCmn11 (**Tabla 3.3.3-257**).

Tabla 3.3.3-257 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Pirigua			Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY6	OCmn2	OCmn11	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	7,8	20	30	57,8
			Ceratopogonidae	Stilobezzia	*Stilobezzia sp.*		70		70
		Hemiptera	Corixidae	Centrocorisa	*Centrocorisa sp.*	1,1			1,1
		Trichoptera	Hydroptilidae	Oxyethira	*Oxyethira sp.*	1,1			1,1
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	Physa	*Physa sp.*	3,3			3,3
		Littorinimorpha	Cochliopidae	Aroapyrgus	*Aroapyrgus sp.*		40		40
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**13**	**130**	**30**	**173**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El grupo más representativo en términos de abundancia y riqueza fue Arthropoda, particularmente los insectos del orden Diptera, con dominio claro de la familia Chironomidae, que presentó una abundancia acumulada de 57,8 individuos/m², seguida de *Stilobezzia sp.* (Ceratopogonidae), con 70 individuos/m² (**Figura 3.3.3-111**), lo que indica una comunidad dominada por taxones comúnmente asociados a hábitats lóticos con cierta tolerancia a condiciones ambientales variables (Bonada et al., 2006; Roldan G. , 2003). La alta presencia de chironómidos es particularmente significativa, ya que estos organismos, si bien pueden encontrarse en ecosistemas saludables, en altas densidades son frecuentemente asociados con ambientes empobrecidos en oxígeno o con acumulación de materia orgánica (Rosenberg & Resh, 1993). Asimismo, la presencia de *Stilobezzia sp.*, un género de Ceratopogonidae predador, podría reflejar la existencia de cadenas tróficas simplificadas pero funcionales en los microhábitats bentónicos del caño.

En cuanto a Hemiptera, se registró una única morfoespecie del género *Centrocorisa sp.* (Corixidae), que si bien no fue abundante (1,1 individuos/m²) (**Figura 3.3.3-111**), representa un grupo adaptado a condiciones lénticas y lóticas de baja corriente, lo que podría sugerir sectores del caño con aguas más remansadas o estructuras vegetales sumergidas que actúan como refugio. De manera similar, el hallazgo de *Oxyethira sp.* (Hydroptilidae, Trichoptera), con baja densidad (1,1 individuos/m²), es indicativo de ambientes bien oxigenados con sustratos rocosos o vegetación sumergida, dado que estos microtricópteros son comúnmente asociados con hábitats estructuralmente complejos y de buena calidad (Merritt & Cummins, 2008).

Por parte del phyllum Mollusca, la presencia de *Physa sp.* (Physidae) con 3,3 individuos/m² y de *Aroapyrgus sp.* (Cochliopidae) con 40 individuos/m² refleja un componente bioindicador importante. *Physa* es un género ampliamente conocido por su tolerancia a ambientes eutrofizados y con carga orgánica, mientras que *Aroapyrgus*, propio de aguas tranquilas y con vegetación macrófita, puede señalar condiciones de mesotrofia o moderada calidad del hábitat (Brown, 1994). Esta interacción taxonómica entre insectos, hemípteros y moluscos, sugiere un sistema lótico influenciado por la conectividad entre zonas remansadas y sectores con mayor flujo, lo cual permite la coexistencia de morfoespecies con diferentes requerimientos ecológicos.

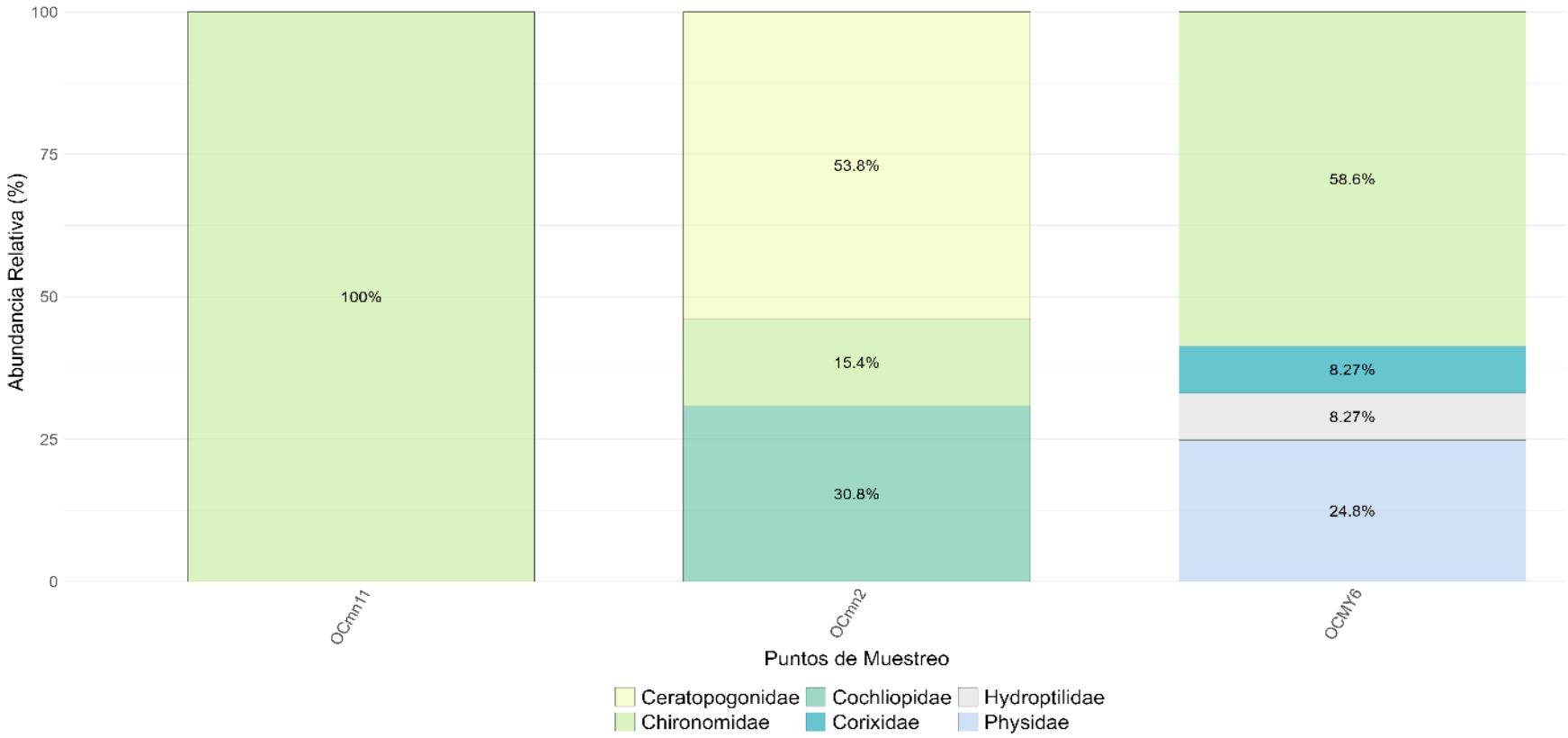


Figura 3.3.3-111 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis integral del ensamble también debe considerar la interacción entre ecosistemas lóticos, lénticos y terrestres, pues en regiones de altillanura las fluctuaciones hidrológicas estacionales promueven el intercambio de materia orgánica, nutrientes y organismos entre estos compartimentos. Es probable que la abundancia de ceratopogónidos esté relacionada con fuentes externas de materia orgánica o con condiciones temporales de eutrofización leve. A su vez, la entrada de hojas, ramas y otros aportes alóctonos desde el entorno terrestre actúa como soporte trófico para muchas larvas bentónicas, reforzando la importancia de los corredores riparios en el mantenimiento de la diversidad funcional del sistema (Allan & Castillo, 2007).

En conclusión, el ensamble registrado en el caño Pirigua evidencia una comunidad representativa de sistemas lóticos de altillanura durante la estación seca, donde coexisten grupos tolerantes y algunos indicadores de condiciones moderadas de calidad de agua. La diversidad funcional, aunque limitada en riqueza taxonómica, es suficiente para sostener procesos ecológicos esenciales en el ecosistema. La presencia de géneros como Chironomidae, *Stilobezzia*, *Oxyethira*, *Physa* y *Aroapyrgus* subraya la necesidad de proteger la integridad hidrológica y estructural de estos sistemas, particularmente frente a amenazas como el cambio de uso del suelo, la deforestación y la contaminación difusa.

Los resultados del índice BMWP en el caño Pirigua, evidencian una calidad ecológica comprometida en todos los puntos evaluados. El punto OCMY6 presentó un valor de 18, clasificado como calidad crítica, lo que indica aguas muy contaminadas; mientras que los puntos OCmn2 y OCmn11 obtuvieron valores de 7 y 2 respectivamente, ambos clasificados como muy críticos, lo que corresponde a aguas fuertemente contaminadas en situación crítica (**Tabla 3.3.3-258**). Estos bajos puntajes reflejan la dominancia de morfoespecies tolerantes a condiciones adversas y sugieren la presencia de altos niveles de materia orgánica, baja oxigenación y posibles presiones antrópicas en la Microcuenca, comprometiendo la integridad ecológica del sistema lótico evaluado (Roldan G. , 2003).

Tabla 3.3.3-258 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Pirigua época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO PIRIGUA	OCMY6	IV	Critica	18	Aguas muy contaminadas
	OCmn2	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCmn11	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa en el caño Pirigua, monitoreado durante la época seca, señala una estructura de la comunidad dominada por unos pocos taxones con escasa equidad y riqueza, lo que sugiere un estado ecológico alterado. El punto OCMY6, con una riqueza de 4 morfoespecies y una abundancia total de 13,3 individuos/m², presenta un valor de diversidad de Shannon de 1,314, un índice de Simpson de 0,333 y un valor de equidad de Pielou de 0,948, lo cual indica una comunidad relativamente diversa y equitativa pese a la baja abundancia. Este

comportamiento puede estar asociado a una heterogeneidad moderada del hábitat que permite la coexistencia de varias especies con densidades similares (Magurran A. E., 2004) (**Tabla 3.3.3-259**).

En contraste, el punto OCmn2, con una abundancia mucho mayor (130 individuos/m²) pero una riqueza menor (3 morfoespecies), presenta un índice de Shannon de 1,091 y un valor de equidad de 0,993, lo que indica una comunidad dominada por unas pocas especies, pero con una distribución bastante equitativa entre ellas (**Tabla 3.3.3-259**). Sin embargo, este tipo de configuración suele reflejar condiciones ambientales alteradas, donde solo unos pocos taxones tolerantes pueden proliferar en grandes cantidades (Roldan G. , 2003).

Tabla 3.3.3-259 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO PIRIGUA	OCMY6	13.3	4	1.314	0.333	0.948
	OCmn11	30	1	0	1	
	OCmn2	130	3	1.091	0.396	0.993

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Por último, el punto OCmn11, con una riqueza de solo una morfoespecie y una abundancia de 30 individuos/m², reporta un valor nulo en el índice de Shannon (0), mientras que el índice de Simpson se mantiene en 1, reflejando una completa dominancia de un solo taxón. Este resultado señala una comunidad ecológicamente empobrecida y homogénea, posiblemente causada por condiciones de estrés severo, como baja oxigenación, carga orgánica elevada o alteraciones del sustrato (Merritt & Cummins, 2008) (**Tabla 3.3.3-259**).

En conjunto, los valores de diversidad alfa del caño Pirigua evidencian una comunidad de macroinvertebrados bentónicos con baja complejidad ecológica, dominada por pocos grupos tolerantes, lo cual coincide con los resultados del índice BMWP y sugiere una calidad ecológica reducida para este sistema lótico. Estos indicadores resaltan la necesidad de evaluar con mayor detalle los factores antrópicos y naturales que inciden en la degradación de estos hábitats acuáticos.

- ✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

Para el caso de los puntos ubicados en sistemas lenticos correspondientes a PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02, no registraron individuos para esta comunidad. En relación con que no se encontraron suficientes individuos de macrófitas que permitieran realizar un monitoreo robusto y adecuado para este grupo.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y estructura de la comunidad

Con base en la información presentada en la tabla, se evidencia una baja diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Pirigua durante la temporada seca, con un total de ocho

morfoespecies distribuidas en dos puntos de muestreo: OCmn2 y OCmn11. Estas especies corresponden a la división Tracheophyta, con representación de las clases Polypodiidae y Magnoliidae, abarcando órdenes como Polypodiales, Myrtales, Alismatales, Poales y Asterales, e incluyendo familias relevantes como Thelypteridaceae, Onagraceae, Araceae, Cyperaceae, Poaceae y Asteraceae. La cobertura vegetal más alta se observó en el punto OCmn2, con un 100,66 %, dominado por Ludwigia sp. (73,33 %), seguido de Struchium sp. (13,33 %) y Thelypteris sp. (7,33 %), lo que sugiere una comunidad estructurada principalmente por especies emergentes adaptadas a márgenes húmedos y fluctuaciones de nivel hídrico. En OCmn11, la cobertura fue de 67 %, con mayor dominancia de Leersia sp. (42 %), una gramínea palustre, y Cyperus odoratus (17 %), ambas características de ambientes lóticos con suelos temporalmente anegados (**Tabla 3.3.3-260**).

Tabla 3.3.3-260 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Pirigua											
				Punto De Muestreo	OCmn2		OCmn11		PIRIGUA_CL_02	OCMY1	OCmn3	OCmn1	OCMY2	OCMY6	PIRIGUA_CLE_02	PIRIGUA_CLE_01
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Thelypteridaceae	Thelypteris sp.	7,33	7,28			No se encontraron morfoespecies	seco	seco	seco	No se encontraron morfoespecies	No se encontraron morfoespecies	No se encontraron morfoespecies	No se encontraron morfoespecies
	Magnoliidae	Myrtales	Onagraceae	Ludwigia sp.	73,33	72,85										
				Ludwigia decurrens			8	11,94								
		Alismatales	Araceae	Philodendron sp.	1,67	1,66										
		Poales	Cyperaceae	Cyperus sp.	5	4,97										
				Cyperus odoratus			17	25,37								
			Poaceae	Leersia sp.			42	62,69								
		Asterales	Asteraceae	Struchium sp.	13,33	13,24										
Cobertura Total general					**100,66**	**100**	**67**	**100**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Punto					**5**		**3**		**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**8**											

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Respecto a la comparación por tipo de cuerpo de agua, los ecosistemas lóticos evaluados (OCmn2, OCmn11, OCMY1, OCmn3, OCmn1, OCMY2, OCMY6 y PIRIGUA_CL_02) presentaron morfoespecies exclusivamente en OCmn2 y OCmn11, lo que puede estar relacionado con condiciones de mayor humedad residual, estabilidad del cauce o menor alteración antrópica en estos puntos. Los otros sitios lóticos se encontraban secos o sin presencia de morfoespecies durante el muestreo, lo que refleja una fuerte influencia estacional sobre la presencia de vegetación acuática. Esta variabilidad puede responder al régimen de caudales intermitente típico de la llanura aluvial del Meta, donde los cursos de agua menores pueden secarse completamente durante el periodo seco (Junk W. J., 2011). En estos cuerpos de agua, predominan las monocotiledóneas de rápido crecimiento, como *Cyperus* sp. y *Leersia* sp., indicadoras de ambientes alterados o en recuperación (**Tabla 3.3.3-260**).

En contraste, los cuerpos de agua lénticos (PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02) no presentaron registro de macrófitas acuáticas durante la temporada seca (**Tabla 3.3.3-260**). Este patrón podría deberse a la desecación total o a condiciones fisicoquímicas no favorables, como bajos niveles de nutrientes o alta exposición al sol y viento, que limitan el establecimiento de vegetación flotante o sumergida en épocas de estiaje. Si bien los sistemas lénticos suelen tener mayor complejidad estructural y diversidad de macrófitas durante temporadas húmedas, su vulnerabilidad a la desecación puede reducir drásticamente la presencia de estas comunidades en periodos seco (Padial, Effects of structural heterogeneity provided by aquatic macrophytes on the invertebrate fauna associated with stems and leaves, 2008).

En síntesis, la estructura de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Pirigua se encuentra condicionada por la estacionalidad climática y la tipología del cuerpo de agua, con mayor riqueza y cobertura en cuerpos lóticos residuales que retienen humedad. La baja diversidad general observada resalta la importancia de realizar muestreos complementarios en temporada de lluvias para capturar el espectro florístico completo y evaluar con mayor precisión la dinámica ecosistémica y el estado de conservación de estos ambientes acuáticos.

- Diversidad Alfa

Con base en los índices ecológicos presentados para los puntos OCmn2 y OCmn11, únicos sitios con suficiente riqueza para el cálculo de diversidad durante la temporada seca en la Microcuenca del caño Pirigua, se observan diferencias importantes en la estructura de las comunidades de macrófitas acuáticas. Aunque el punto OCmn2 presenta una mayor riqueza (5 morfoespecies) y abundancia total (100,66 % de cobertura), su índice de diversidad de Shannon-Wiener (H' = 0,895) es levemente inferior al de OCmn11 (H' = 0,9), lo cual indica una comunidad más diversa en términos de número de especies en OCmn2, pero con una distribución menos equitativa en sus abundancias relativas. Esto se corrobora con el valor del índice de equitatividad de Pielou (J'), que fue mayor en OCmn11 (0,819) en comparación con OCmn2 (0,556), sugiriendo que, aunque OCmn2 tiene más especies, en este sitio una o dos especies dominan claramente, reduciendo la uniformidad de la comunidad (Magurran A. E., 2004) (**Tabla 3.3.3-261**).

El índice de Simpson, que refleja la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes, fue más alto en OCmn2 (0,563), indicando menor dominancia

específica y mayor diversidad en términos funcionales. En cambio, OCmn11, con un valor de Simpson de 0,469, muestra una comunidad más dominada, lo cual puede ser explicado por la alta cobertura de especies como *Leersia* sp. y *Cyperus odoratus* en este punto (**Tabla 3.3.3-261**). Este patrón es consistente con estudios que han mostrado que, en ambientes acuáticos con condiciones más homogéneas o perturbadas, una o pocas especies oportunistas pueden dominar la comunidad vegetal (Esteves F. , 1998), (Padial, Effects of structural heterogeneity provided by aquatic macrophytes on the invertebrate fauna associated with stems and leaves, 2008).

Tabla 3.3.3-261 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn11	67	3	0.9	0.469	0.819
OCmn2	100.66	5	0.895	0.563	0.556

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La variación entre estos dos puntos lóticos podría responder a diferencias microambientales como la profundidad, el tipo de sustrato, o la permanencia del agua, factores que influyen directamente en el establecimiento y la distribución de las macrófitas (Junk W. J., 2011). Además, la presencia de mayor diversidad en OCmn2 podría estar asociada a una mayor heterogeneidad ambiental o a menor presión antrópica, lo cual favorece una mayor coexistencia de especies. Estos resultados reflejan cómo, incluso dentro de una misma categoría de cuerpo de agua (ocupaciones de cauce), las condiciones locales pueden influir de manera significativa sobre la estructura ecológica de las comunidades hidrobiológicas.

- *Época lluvias*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico del sistema léntico de la Microcuenca Caño Pirigua, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época lluviosa, presenta una estructura comunitaria diversa, pero con marcadas variaciones espaciales entre las estaciones analizadas (OCmn1, PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02). La abundancia total en la Microcuenca (1.802 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-262**) se distribuye desigualmente, siendo PIRIGUA_CLE_01 la estación más productiva (0.933 ind/mL), seguida de PIRIGUA_CLE_02 (0.801 ind/mL) y OCmn1 (0.068 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-262**). La riqueza de morfoespecies es notable, con representantes de cinco divisiones: Charophyta (*Closterium, Cosmarium*), Chlorophyta (*Scenedesmus, Pandorina*), Cyanobacteria (*Phormidium*), Euglenophyta (*Euglena, Trachelomonas*) y Heterokontophyta-Bacillariophyceae (*Pinnularia, Nitzschia*), evidenciando un sistema con múltiples nichos ecológicos.

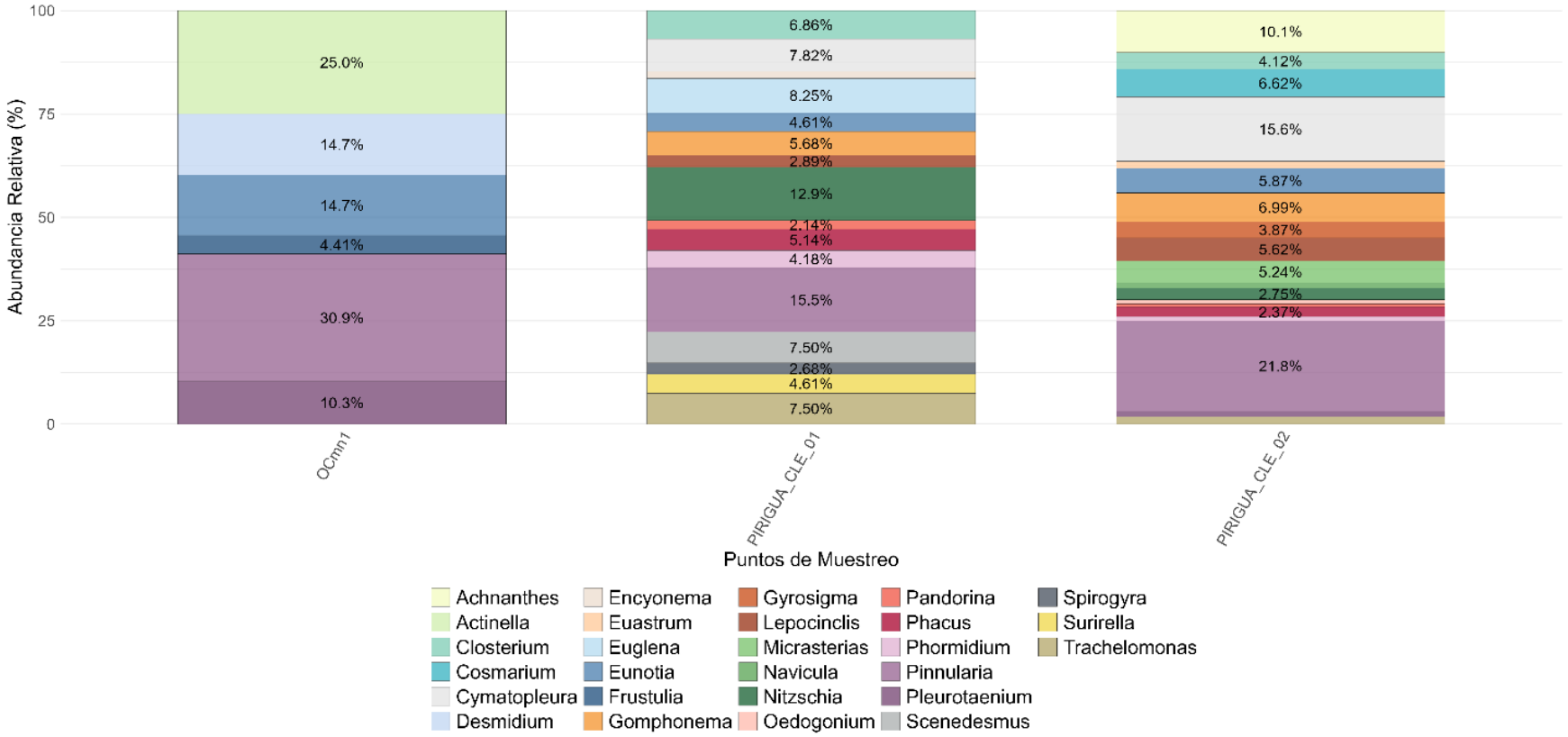


Figura 3.3.3-112 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la composición taxonómica revela condiciones ambientales particulares. La predominancia de diatomeas como *Pinnularia* (0.341 ind/mL y 15.54%) y *Nitzschia* (0.142 ind/mL y 12.86%) en PIRIGUA_CLE_01 sugiere aguas con moderado contenido de nutrientes y posible influencia de materia orgánica, características de sistemas mesotróficos (Round et al., 1990). La presencia significativa de Euglenophyta (*Euglena*: 0.077 ind/mL y 8.25% ; *Trachelomonas*: 0.084 ind/mL y 7.50%) en la misma estación refuerza esta interpretación, ya que estos organismos son indicadores de enriquecimiento orgánico (Wołowski et al., 2013). En contraste, la mayor abundancia de desmidios (Charophyta) en PIRIGUA_CLE_02 (*Cosmarium* 0.053 ind/mL y 6.61%); (*Micrasterias* 0.042 ind/mL y 5.24%) (**Tabla 3.3.3-262**) (**Figura 3.3.3-112**) apunta a aguas más limpias y pobres en nutrientes, típicas de ambientes oligotróficos (Coesel & Meesters, 2007). Esta divergencia entre estaciones podría reflejar microambientes distintos dentro del mismo sistema léntico.

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres se manifiesta en varios aspectos. Primero, la presencia de géneros típicamente bentónicos como *Gomphonema* y *Encyonema* en la columna de agua (0.109 y 0.016 ind/mL respectivamente) sugiere procesos de resuspensión de sedimentos, probablemente asociados al aumento del flujo durante las lluvias (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). Luego, la aparición de Cyanobacteria (*Phormidium* 0.047 ind/mL) podría indicar aportes terrestres de nutrientes por escorrentía, aunque en concentraciones no alarmantes y la distribución diferencial de especies entre estaciones con la presencia de *Desmidium* solo en OCmn1 (**Tabla 3.3.3-262**); *Scenedesmus* solo en PIRIGUA_CLE_01 (**Tabla 3.3.3-262**) refleja la heterogeneidad espacial típica de sistemas influenciados por múltiples factores hidrológicos y terrestres (Reynolds, 2006).

La estructura trófica del fitoplancton muestra interesantes patrones: las diatomeas dominan en abundancia (46.5% del total), seguidas por Euglenophyta (16.6%) y Charophyta (13.4%), mientras que Cyanobacteria representan solo el 2.6%, lo que descarta problemas significativos de eutrofización. La baja presencia de Chlorophyta (5.8%), a excepción de *Scenedesmus* (0.07 ind/mL), sugiere limitaciones en la disponibilidad de ciertos nutrientes como fósforo (Huszar et al., 2000). La interacción de especies indicadoras de diferentes condiciones tróficas como *Nitzschia* y *Cosmarium* apunta a un sistema en transición entre estados tróficos, posiblemente influenciado por las recientes lluvias.

En conclusión, la Microcuenca de Caño Pirigua presenta una calificación ecológica buena, con tendencia a muy buena en algunas zonas. La diversidad fitoplanctónica, la ausencia de dominancia de grupos como cianobacterias toxigénicas y la presencia de especies sensibles como los desmidios, indican un sistema acuático bien conservado. No obstante, las señales de enriquecimiento orgánico en PIRIGUA_CLE_01 (Euglenophyta) merecen atención, ya que podrían reflejar impactos locales.

Tabla 3.3.3-262 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Pirigua			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					OCmn1	PIRIGUA_CLE_01	PIRIGUA_CLE_02	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		0,064	0,033	0,097
			Desmidiaceae	*Cosmarium*			0,053	0,053
				Desmidium	0,01			0,01
				Euastrum			0,014	0,014
				Micrasterias			0,042	0,042
				Pleurotaenium	0,007		0,011	0,018
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*		0,025		0,025
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*			0,008	0,008
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*		0,07		0,07
		Volvocales	Volvocaceae	*Pandorina*		0,02	0,006	0,026
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*		0,039	0,008	0,047
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Euglena*		0,077		0,077
				Trachelomonas		0,07	0,014	0,084
			Phacaceae	*Lepocinclis*		0,027	0,045	0,072
				Phacus		0,048	0,019	0,067
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*			0,081	0,081
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*		0,12	0,022	0,142
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*		0,016		0,016
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*		0,053	0,056	0,109
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Actinella*	0,017			0,017
				Eunotia	0,01	0,043	0,047	0,1
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia*	0,003			0,003
			Naviculaceae	*Gyrosigma*			0,031	0,031
				Navicula			0,011	0,011
			Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,021	0,145	0,175	0,341
		Surirellales	Surirellaceae	*Cymatopleura*		0,073	0,125	0,198
				Surirella		0,043		0,043
Gran Total					**0,068**	**0,933**	**0,801**	**1,802**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad en las tres estaciones de muestreo (OCmn1, PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02) revela patrones ecológicos significativos en la Microcuenca de Caño Pirigua. La estación OCmn1 presenta los valores más bajos en todos los parámetros abundancia (0.068 ind/mL), riqueza (6 géneros), Shannon (1.811), Simpson (0.182) y Pielou (1). Esta condición contrasta marcadamente con las otras dos estaciones, donde PIRIGUA_CLE_01 muestra mayor abundancia (0.933 ind/mL) pero menor riqueza (16 género) comparada con PIRIGUA_CLE_02 (0.801 ind/mL; 19 género). Los índices de Shannon (2.705 y 2.58 respectivamente) y Simpson (0.08 y 0.107) (**Tabla 3.3.3-263**) indican una alta diversidad y baja dominancia en estas estaciones, siendo particularmente notable la mayor equitatividad en PIRIGUA_CLE_01 (Pielou = 0.976) frente a PIRIGUA_CLE_02 (0.876).

Estos resultados sugieren que la Microcuenca presenta una heterogeneidad espacial marcada, donde OCmn1 representa un ambiente limitante, posiblemente por factores físicos o químicos locales, mientras que PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02 albergan comunidades fitoplanctónicas diversas y equilibradas. La combinación de alta riqueza (hasta 19 géneros),

valores de Shannon menores a 2.5 y baja dominancia de Simpson menor 0.11 (**Tabla 3.3.3-263**), en las estaciones principales indica un sistema léntico en buen estado ecológico, con condiciones que favorecen la coexistencia de múltiples especies. La ligera diferencia en equitatividad entre estaciones (0.976 vs 0.876) (**Tabla 3.3.3-263**) podría reflejar variaciones en la disponibilidad de recursos o perturbaciones recientes.

Considerando los tres puntos de muestreo en conjunto, la Microcuenca recibe una calificación ecológica buena, con tendencia a muy buena en sus áreas principales (PIRIGUA_CLE_01 y 02). La presencia de puntos con baja diversidad (OCmn1) no compromete la evaluación general, pero sugiere la necesidad de investigar los factores limitantes en esta zona específica. La alta diversidad fitoplanctónica en la mayor parte del sistema indica una base trófica robusta y condiciones ambientales favorables para la comunidad acuática.

Tabla 3.3.3-263 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn1	0.068	6	1.811	0.182	1
PIRIGUA_CLE_01	0.933	16	2705	0.08	0.976
PIRIGUA_CLE_02	0.801	19	2.58	0.107	0.876

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico de la Microcuenca Caño Pirigua, monitoreado durante la época de lluvias en la altillanura, presenta una comunidad caracterizada por baja abundancia total (0.126 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-264**) pero moderada diversidad, distribuida heterogéneamente entre las estaciones OCmn1 (0.0287 ind/mL), PIRIGUA_CLE_01 (0.0374 ind/mL) y PIRIGUA_CLE_02 (0.0598 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-264**). La riqueza taxonómica incluye representantes de cuatro filos: Amoebozoa (*Arcella*, *Difflugia*), Cercozoa (Euglypha, *Trinema*), Nematoda y Rotifera (*Lecane*), con un total de siete morfoespecies identificadas. La estación PIRIGUA_CLE_02 destaca como la más diversa, albergando todas las morfoespecies registradas, mientras que OCmn1 muestra la comunidad más limitada (5 morfoespecies especies).

Desde la perspectiva de bioindicación, la composición taxonómica revela condiciones particulares. La predominancia de protozoos testados reportan abundancias en totales de (*Arcella* 0.045 ind/mL; *Difflugia* 0.020 ind/mL) sugiere un ambiente con moderado contenido de materia orgánica y posible influencia de sustratos vegetales en descomposición, típico de humedales con vegetación riparia (Foissner & Berger, 1996). La presencia constante de rotíferos *Lecane* 0.0201 ind/mL y nematodos 0.0096 ind/mL, aunque en bajas densidades, indica una red trófica incipiente con disponibilidad de recursos fitoplanctónicos y bacterianos (Wallace R. L. et al., 2016). La aparición de *Euglypha* y *Trinema* (Cercozoa), organismos bacterívoros especializados, refuerza la hipótesis de un sistema con predominio de descomposición microbiana sobre la producción primaria (Lahr et al., 2019).

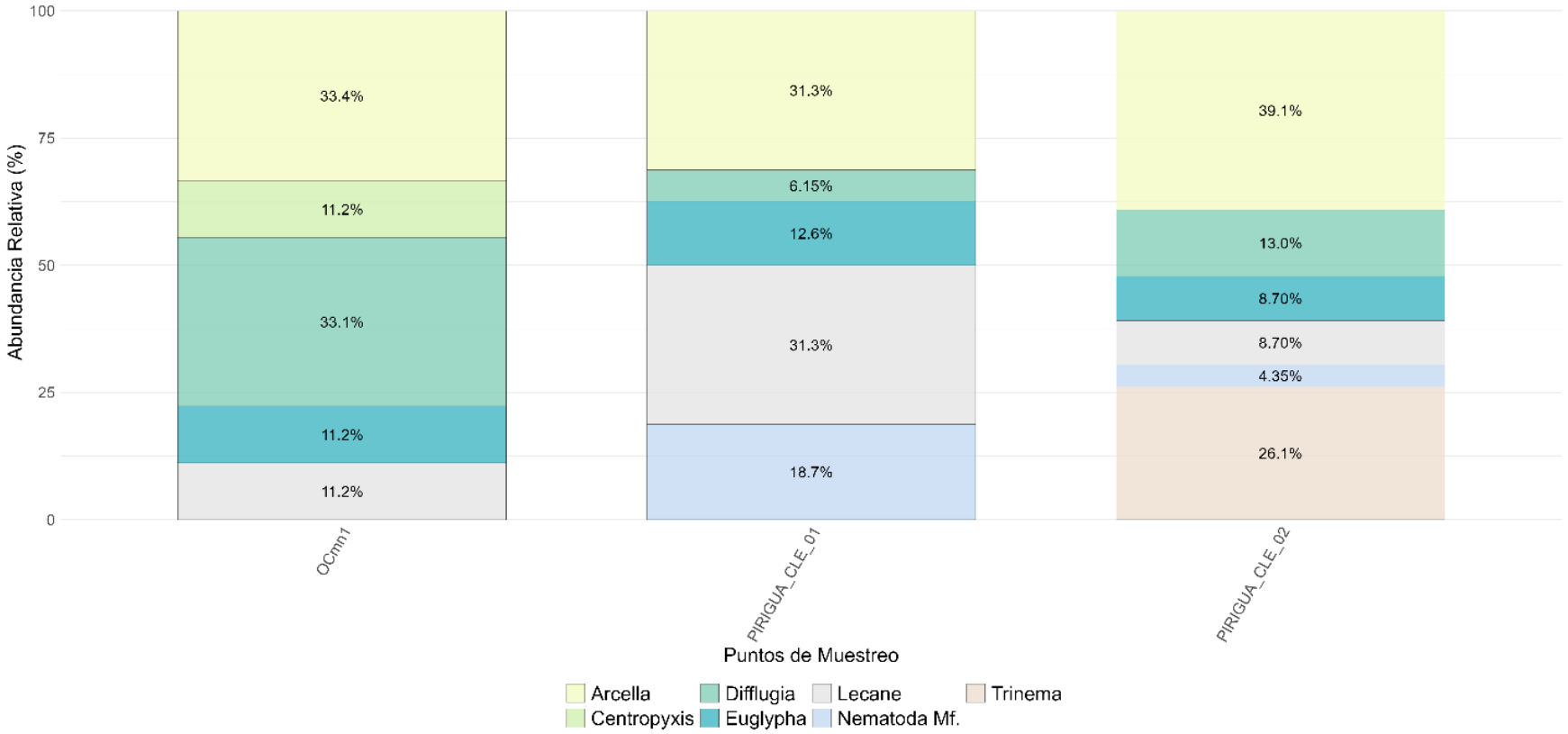


Figura 3.3.3-113 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres se manifiesta en varios aspectos. La distribución diferencial de morfoespecies como *Centropyxis* con una abundancia de (0,0032 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia (11.15%) exclusiva de OCmn1 y *Trinema* con una abundancia (0.0156 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia (26.087%) presente solo en PIRIGUA_CLE_02, sugiere microhábitats distintos influenciados por aportes locales. La mayor abundancia de *Arcella* (0.023 Ind/mL y 39.13%) y *Difflugia* (0.008 Ind/mL) (13.053%) en PIRIGUA_CLE_02 (**Figura 3.3.3-113**) (**Tabla 3.3.3-264**), podría relacionarse con mayor disponibilidad de detritos vegetales arrastrados por escorrentía terrestre durante las lluvias (Smith, 2003). La ausencia de crustáceos planctónicos (cladóceros, copépodos) y la escasez de rotíferos indican limitada conectividad con sistemas lóticos permanentes, característica de ambientes lénticos temporales o aislados (Pace & Orcutt, 1981).

Ecológicamente, la estructura comunitaria muestra un gradiente espacial interesante: mientras OCmn1 presenta dominancia de protozoos testados, PIRIGUA_CLE_02 exhibe mayor equilibrio entre grupos de protozoos, rotíferos/nematodos. Esta variación podría reflejar diferencias en la productividad primaria local o en el aporte de alóctonos. La baja abundancia general menor a 0.1 Ind/mL por estación, es característica de sistemas oligotróficos con limitada transferencia energética hacia niveles tróficos superiores (Reynolds, 2006).

En conclusión, la Microcuenca de Caño Pirigua presenta una calificación ecológica moderada para su comunidad zooplanctónica. La presencia de especies indicadoras sensibles (*Trinema*, *Lecane*) y la diversidad moderada sugieren condiciones ambientales aceptables, pero la baja abundancia general y ausencia de grupos clave de microcrustáceos, revelan limitaciones en la base trófica.

Tabla 3.3.3-264 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Pirigua			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					OCmn1	PIRIGUA_CLE_01	PIRIGUA_CLE_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0096	0,0117	0,0234	0,0447
			Centropyxidae	*Centropyxis*	0,0032			0,0032
			Difflugiidae	*Difflugia*	0,0095	0,0023	0,0078	0,0196
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0032	0,0047	0,0052	0,0131
			Trinematidae	*Trinema*			0,0156	0,0156
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.		0,007	0,0026	0,0096
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Lecanidae	*Lecane*	0,0032	0,0117	0,0052	0,0201
Gran Total					**0,0287**	**0,0374**	**0,0598**	**0,1259**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad en las tres estaciones de monitoreo (OCmn1, PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02) revela un patrón ecológico consistente, pero con variaciones significativas en la comunidad zooplanctónica de este sistema léntico. Los valores de abundancia muestran un gradiente ascendente desde OCmn1 (0.0287 ind/mL) hasta PIRIGUA_CLE_02 (0.0598 ind/mL), siendo PIRIGUA_CLE_01 intermedio (0.0374 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-265**).

Los índices de diversidad Shannon, aunque moderados (1.677-1.813) (**Tabla 3.3.3-265**), presentan valores consistentes entre estaciones, indicando comunidades con estructura similar en cuanto a distribución de especies. Sin embargo, los valores de Simpson (0.18-0.219) revelan una ligera dominancia de ciertas especies, particularmente en PIRIGUA_CLE_01 donde este índice alcanza su máximo (0.219) (**Tabla 3.3.3-265**). Este dato es especialmente relevante al considerar que todas las estaciones muestran índices de Pielou iguales a 1, lo que técnicamente indica perfecta equitatividad.

Desde una perspectiva ecológica, estos resultados pintan un escenario de comunidad zooplanctónica en desarrollo, característico de sistemas lénticos jóvenes o con limitaciones nutricionales. La baja abundancia general menor a 0.06 ind/mL en todas las estaciones, es un fenómeno particular, ya que es menor a lo esperado en sistemas oligotróficos bien establecidos. Esta condición podría explicarse por el carácter temporal del hábitat durante la época de lluvias, las limitaciones en la productividad primaria que restringen la base trófica, o las condiciones físico-químicas particulares que inhiben el desarrollo de poblaciones zooplanctónicas.

La calificación ecológica global para la Microcuenca de Caño Pirigua, considerando estos parámetros de diversidad zooplanctónica, sería moderada a baja. Si bien la presencia de múltiples especies y los valores de equitatividad sugieren condiciones ambientales estables, la baja abundancia plantea pone en duda la funcionalidad trófica del sistema y esto se puede soportar por la ausencia de grupos importantes como cladóceros y copépodos, normalmente indicadores de sistemas acuáticos bien consolidados.

Tabla 3.3.3-265 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn1	0.0287	5	1677	0.21	1
PIRIGUA_CLE_01	0.0374	5	1.63	0.219	1
PIRIGUA_CLE_02	0.0598	6	1813	0.18	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Ictioplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio del ictioplancton en el sistema lótico de la Microcuenca Caño Pirigua, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época de lluvias, revela una comunidad extremadamente limitada en la estación OCmn11, donde se registró únicamente 0.0087 individuos de larvas de peces (**Tabla 3.3.3-266**) no identificadas a nivel de especie (Clase Actinopteri). Esta baja abundancia, que representa el total registrado para toda la Microcuenca, sugiere condiciones críticamente adversas para el reclutamiento y desarrollo larval de peces durante el periodo de muestreo.

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de larvas de peces sin identificación específica impide realizar inferencias ecológicas detalladas, pero la extrema baja densidad menor a 0.01

individuos, señala un severo deterioro en las condiciones necesarias para el éxito reproductivo de los peces. Estudios como los de (King, 2004) demuestra que densidades inferiores a 0.1 ind/m^3 en sistemas tropicales suelen asociarse con alteraciones hidrológicas extremas, falta de conectividad con áreas de desove, o condiciones químicas incompatibles con el desarrollo embrionario y larval. La época de lluvias, que normalmente favorece la reproducción íctica en sistemas lóticos (Welcomme, FAO Fisheries Technical Paper 262, 1985), parece no haber generado las condiciones mínimas necesarias en este caso.

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres evidencia que hay problemas en la funcionalidad ecológica. La ausencia casi total de ictioplancton sugiere una desconexión entre las áreas potenciales de desove (que podrían incluir lagunas marginales o tributarios) y la zona de muestreo. En sistemas bien conservados de altillanura, las crecientes pluviales generan pulsos de inundación que permiten el transporte larval hacia áreas de crianza, proceso que aparentemente no ocurrió efectivamente en Caño Pirigua. La falta de larvas de especies típicamente asociadas a vegetación inundada (como muchas Characiformes) lo menciona (Petry et al., Fish assemblages in tropical floodplain lagoons: Evaluating the role of connectivity in a dry year, 2003).

Ecológicamente, la Microcuenca recibe una calificación crítica (muy pobre) en lo que respecta a su comunidad de ictioplancton. Es importante mencionar que este análisis arroja una inferencia del estado ecológico del punto de monitoreo mas no de la Microcuenca ya que como se ha venido mencionado un punto de monitoreo no es significativo, para poder calificar ecológicamente la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-266 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Pirigua	Abundancia Total Microcuenca (Ind)
					OCmn11	
Chordata	Actinopteri	-	-	Larva de pez	0,0087	0,0087
Gran Total					**0,0087**	**0,0087**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

- ✓ *Perifiton*

El ensamble perifítico de la Microcuenca Caño Pirigua, monitoreado durante la época de lluvias en la altillanura, presenta una comunidad altamente diversa y estructurada, con una abundancia total de 1285.3 ind/cm² distribuida heterogéneamente entre las siete estaciones analizadas (OCMY2, OCMY6, OCmn2, PIRIGUA_CL_02, OCmn11, OCmn3 y OCMY1). La estación OCMY2 destaca como la más productiva (534.6 ind/cm²), seguida por OCMY6 (363.5 ind/cm²), mientras que OCmn2 muestra la menor abundancia (46.6 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-267**). La composición taxonómica

abarca cinco divisiones principales: Heterokontophyta-Bacillariophyceae (diatomeas), Chlorophyta, Charophyta, Cyanobacteria y Euglenophyta, con un total de 28 géneros identificados, evidenciando una notable riqueza de morfoespecies en este sistema fluvial.

La estructura comunitaria está dominada por diatomeas pennadas, particularmente *Pinnularia* (259.6 ind/cm²) y *Achnanthes* (131.7 ind/cm²), que en conjunto representan el 30.4% de la abundancia total. Estos géneros, característicos de aguas bien oxigenadas con moderado contenido de nutrientes (Round et al., 1990), sugieren condiciones mesotróficas en la Microcuenca. La significativa presencia de Euglenophyta (*Trachelomonas* 81.6 ind/cm² y *Euglena* 32 ind/cm²), especialmente en OCMY2 y OCMY6, indica aportes orgánicos desde el sistema terrestre, probablemente por escorrentía durante las lluvias (Wołowski et al., 2013). Las Cyanobacteria, representadas principalmente por *Phormidium* (38.6 ind/cm²) y *Oscillatoria* (12.6 ind/cm²), muestran una distribución espacial irregular, con mayor abundancia en OCMY2 y PIRIGUA_CL_02 (**Tabla 3.3.3-267**), lo que podría señalar microhábitats con condiciones de menor flujo y mayor retención de nutrientes (Komárek, 2013).

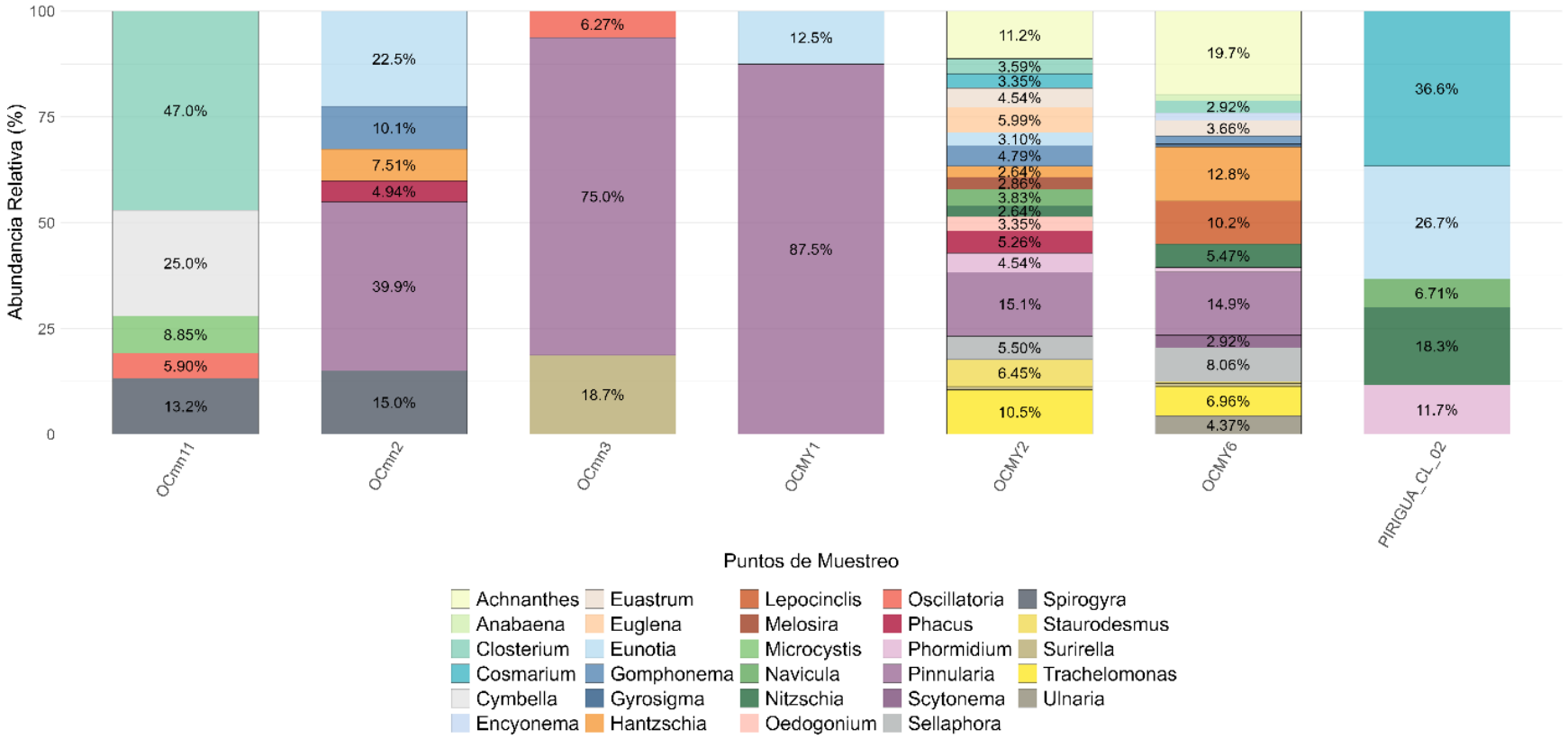


Figura 3.3.3-114 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad revela un gradiente ecológico interesante. La predominancia de diatomeas como *Gomphonema* (36.9 ind/cm²) y *Eunotia* (56.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-267**) en múltiples estaciones sugiere aguas ligeramente ácidas con buena calidad (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010), mientras que la presencia de desmidios (Charophyta) como *Cosmarium* (50.1 ind/cm²) y *Closterium* (85.6 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-267**) en OCMY2 y PIRIGUA_CL_02 indica áreas con menor influencia antropogénica (Coesel & Meesters, Desmids of the Lowlands, 2007). La aparición esporádica de *Microcystis* (10.5 ind/cm² y un porcentaje de abundancia 8.853%) representada únicamente en OCmn11 (**Figura 3.3.3-114**) (**Tabla 3.3.3-267**), género potencialmente toxico, merece atención aunque su baja abundancia no representa aún riesgo ecológico significativo (Huszar et al., 2000).

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta claramente en la distribución espacial de las morfoespecies. La mayor abundancia de diatomeas móviles COMO *Navicula* (26.4 ind/cm²) en estaciones con probable mayor corriente (OCMY2, PIRIGUA_CL_02) contrasta con la predominancia de formas sésiles como *Ulnaria* (15.9 ind/cm² y 4.37%) en áreas de flujo reducido (OCMY6). La presencia de *Spirogyra* (22.7 ind/cm²) y *Oedogonium* (17.9 ind/cm² y 13.24%) (**Figura 3.3.3-114**) (**Tabla 3.3.3-267**), algas filamentosas típicas de zonas marginales, evidencia la influencia de hábitats de transición agua-tierra (Wehr et al., 2015). La distribución diferencial de Euglenophyta (abundante en OCMY2) frente a Cyanobacteria (más presente en PIRIGUA_CL_02) refleja probablemente variaciones locales en el aporte de materia orgánica versus nutrientes inorgánicos.

Ecológicamente, la Microcuenca muestra una estructura trófica compleja y bien establecida. La alta diversidad (28 géneros), la ausencia de dominancia extrema, con el género más abundante, *Pinnularia*, representa solo el 20.2% del total y la coexistencia de especies con diferentes requerimientos ecológicos con ejemplares como *Achnanthes* y *Euglena* indican un sistema con múltiples microhábitats y buena resiliencia. No obstante, las variaciones espaciales en abundancia (de 46.6 a 534.6 ind/cm² entre estaciones) sugieren una heterogeneidad ambiental marcada, posiblemente relacionada con diferencias en velocidad de corriente, aportes laterales o características del sustrato.

En conclusión, la Microcuenca de Caño Pirigua recibe una calificación ecológica muy buena para su comunidad perifítica. La alta diversidad, la presencia de especies indicadoras de buena calidad (desmidios, diatomeas sensibles) y la estructura equilibrada de la comunidad reflejan un sistema lótico bien conservado y la ausencia de especies fuertemente dominantes y la amplia gama de grupos taxonómicos presentes sugieren que el sistema mantiene condiciones adecuadas para el desarrollo de una comunidad perifítica diversa y funcional.

Tabla 3.3.3-267 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Pirigua época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Pirigua							Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY2	OCMY6	OCmn2	PIRIGUA_CL_02	OCmn11	OCmn3	OCMY1	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*		6,6						6,6
				Cymbella					29,6			29,6
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	25,6	6,6	4,7					36,9
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	3,8	2,7				16,7		23,2
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	80,6	54,3	18,6			67	39,1	259,6
			Naviculaceae	*Gyrosigma*		2,7						2,7
				Navicula	20,5			5,9				26,4
			Sellaphoraceae	*Sellaphora*	29,4	29,3						58,7
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	16,6		10,5	23,5			5,6	56,2
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		15,9						15,9
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	60,1	71,6						131,7
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia*	14,1	46,4	3,5					64
				Nitzschia	14,1	19,9		16,1				50,1
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*	15,3							15,3
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	17,9							17,9
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	17,9			32,2				50,1
				Euastrum	24,3	13,3						37,6
				Staurodesmus	34,5	1,3						35,8
			Closteriaceae	*Closterium*	19,2	10,6			55,8			85,6
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*			7		15,7			22,7
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena*		5,3						5,3
			Scytonemataceae	*Scytonema*		10,6						10,6
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*					7	5,6		12,6
				Phormidium	24,3	4		10,3				38,6
		Chroococcales	Microcystaceae	*Microcystis*					10,5			10,5
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Phacus*	28,1		2,3					30,4
				Lepocinclis		37,1						37,1
			Euglenaceae	*Trachelomonas*	56,3	25,3						81,6
				Euglena	32							32
Gran Total					**534,6**	**363,5**	**46,6**	**88**	**118,6**	**89,3**	**44,7**	**1285,3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad para la comunidad perifítica en la Microcuenca de Caño Pirigua revelan una marcada heterogeneidad espacial entre las siete estaciones monitoreadas. La estación OCMY2 emerge como el punto de mayor diversidad, con valores excepcionales de riqueza (19 especies), Shannon (2.804) y equitatividad (Pielou = 0.952), acompañados de la mayor abundancia registrada (534.6 ind/cm²). Esta condición contrasta drásticamente con OCMY1, que muestra los valores más bajos en todos los parámetros (riqueza = 2; Shannon = 0.9; abundancia = 44.7 ind/cm²), sugiriendo condiciones ambientales restrictivas en esta zona del sistema. Las estaciones intermedias (OCMY6, PIRIGUA_CL_02, OCmn11, OCmn2 y OCmn3) presentan patrones variables, donde OCMY6 destaca por su alta diversidad (Shannon = 2.477) y OCmn3 por su baja riqueza (3 géneros) a pesar de una abundancia moderada (89.3 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-268**).

Los índices de Simpson, que oscilan entre 0.074 (OCMY2) y 0.469 (OCMY1), confirman esta variabilidad, mostrando desde comunidades muy equilibradas (valores bajos de Simpson) hasta aquellas con cierta dominancia de especies. Particularmente llamativos son los valores de Pielou en OCMY1 y OCmn3 (ambos = 1) (**Tabla 3.3.3-268**), que técnicamente indican perfecta equitatividad pero que, en contexto con su baja riqueza, probablemente reflejan condiciones ecológicas ideales.

Ecológicamente, estos resultados pintan un panorama complejo para la Microcuenca. Mientras OCMY2 y OCMY6 representan áreas de alta diversidad y productividad perifítica, características de microhábitats bien conservados con condiciones estables, las estaciones con baja diversidad (OCMY1, OCmn3) sugieren zonas con limitaciones ambientales severas, posiblemente relacionadas con las condiciones físico-químicas extremas, las perturbaciones recientes, o la disponibilidad limitada de sustratos adecuados. La presencia simultánea de puntos con diversidad intermedia en PIRIGUA_CL_02 (Shannon = 1.533) (**Tabla 3.3.3-268**) indica un gradiente ecológico a lo largo del sistema.

En conjunto, la Microcuenca recibe una calificación ecológica buena, con tendencia a muy buena en sus áreas mejor conservadas (OCMY2, OCMY6). Sin embargo, la marcada heterogeneidad y la presencia de puntos críticos (OCMY1) señalan que el ecosistema presenta factores limitantes para que se reporte una baja diversidad. La capacidad del sistema para albergar puntos con valores excepcionales de diversidad con valores de (Shannon mayores a 2.5) (**Tabla 3.3.3-268**) sugiere un potencial ecológico elevado con gran variabilidad.

Tabla 3.3.3-268 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Pirigua época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY1	44.7	2	0.9	0.469	1
OCMY2	534.6	19	2.804	0.074	0.952
OCMY6	363.5	18	2.477	0.109	0.857
OCmn11	118.6	5	1.365	0.308	0.848
OCmn2	46.6	6	1.58	0.243	0.882
OCmn3	89.3	3	1.212	0.328	1
PIRIGUA_CL_02	88	5	1.533	0.245	0.953

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y Estructura de la comunidad

En el caño Pirigua, afluente de llanura del alto río Meta, alberga un ensamblaje bentónico de 56 ind/m² distribuido en 14 morfoespecies, agrupadas en tres (3) phylum (Annelida, Arthropoda y Mollusca), cuatro (4) clases, 11 órdenes y 14 familias; se reconocen 10 géneros. El punto con mayor densidad fue OCmn11 (37 ind/m²), seguido de OCMY6 (6 ind/m²) y OCmn3 (4 ind/m²), mientras que OCMY1 y PIRIGUA_CL_02 aportaron 6 y 3 ind/m² respectivamente (**Tabla 3.3.3-269**).

Tabla 3.3.3-269 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Pirigua						Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY6	OCmn2	OCmn11	OCmn3	OCMY1	PIRIGUA_CL_02	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*			2,2		1,1		3,3
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*		3,3	16,6	2,2	3,3	1,1	26,5
			Ceratopogonidae	Stilobezzia	*Stilobezzia*						1,1	1,1
			Tipulidae	Molophilus	*Molophilus sp.*				1,1			1,1
				Tipula	*Tipula sp.*	1,1					1,1	2,2
		Coleóptera	Hydrophilidae	Berosus	*Berosus sp.*			1,1				1,1
		Trichoptera	Odontoceridae	Marilia	*Marilia sp.*		1,1					1,1
		Ephemeroptera	Baetidae	-	*Baetidae Mf.*			2,2				2,2
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	Planorbella	*Planorbella sp.*					1,1		1,1
			Physidae	-	*Physidae Mf.*			2,2				2,2
		Littorinimorpha	Cochliopidae	Aroapyrgus	*Aroapyrgus sp.*			4,4				4,4
		Neotaenioglossa	Thiaridae	Melanoides	*Melanoides sp.*			5,6				5,6
		Architaenioglossa	Ampullariidae	Pomacea	*Pomacea sp.*				1,1			1,1
	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	Pisidium	*Pisidium sp.*		1,1	2,2				3,3
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**6**	**37**	**4**	**6**	**3**	**56**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad está fuertemente dominada por las larvas depositívoras de *Chironomidae Mf.* (26,5 ind/m², 47 % del total), lo que refleja fondos finos, alta carga orgánica y episodios de hipoxia típicos de las sabanas inundables tras los pulsos de crecida (Roldán 2003; Rosenberg & Resh 1993). A esta comunidad tolerante se suman oligoquetos Naididae (2,2 ind m²) y sanguijuelas Glossiphoniidae (3,3 ind m²), organismos que habitan en sedimentos ricos en detrito. La heterogeneidad microambiental se evidencia con la presencia de elmídidos (*Berosus sp.*, 1,1 ind/m²) y tricópteros (*Marilia* sp., 1,1 ind/m²), indicadores de corrientes internas más oxigenadas sobre raíces y hojarasca. El hallazgo de *Baetidae* Mf. (2,2 ind/m²) y de odonatos en estadios juveniles sugiere filtraciones de agua clara que enlazan el canal principal con remansos vegetados, favoreciendo la inmigración de taxa algo más sensibles (**Figura 3.3.3-115**).

Los moluscos añaden complejidad trófica: *Melanoides* sp. (5,6 ind/m²) y *Aroapyrgus* sp. (4,4 ind/m²) actúan como raspadores en el perifíton, mientras *Planorbella* sp., *Physidae* Mf. y

Pomacea sp. se alimentan de biofilm y devoran restos vegetales; estos gasterópodos, frecuentes en aguas meso- a eutróficas, enlazan la producción primaria de macrófitas con niveles tróficos superiores (Merritt & Cummins 2008). El bivalvo *Pisidium sp.* (3,3 ind/m²) filtra microalgas y materia orgánica en suspensión, reforzando la retención de nutrientes en la planicie inundable.

En cuanto a la interacción entre hábitats, el ensamblaje revela la conectividad funcional típica de los llanos donde durante la crecida, el caudal lótico inyecta oxígeno y propágulos hacia los sectores lénticos ribereños, mientras la vegetación marginal provee detrito y refugio a larvas y adultos, creando una combinación de microflujos que sostiene depredadores aéreos como los tipúlidos y ceratopogónidos (Allan & Castillo 2007; Junk et al. 1989). La fase adulta alada de muchos insectos, a su vez, exporta biomasa y nutrientes al bosque de galería, cerrando el ajuste con el sistema terrestre.

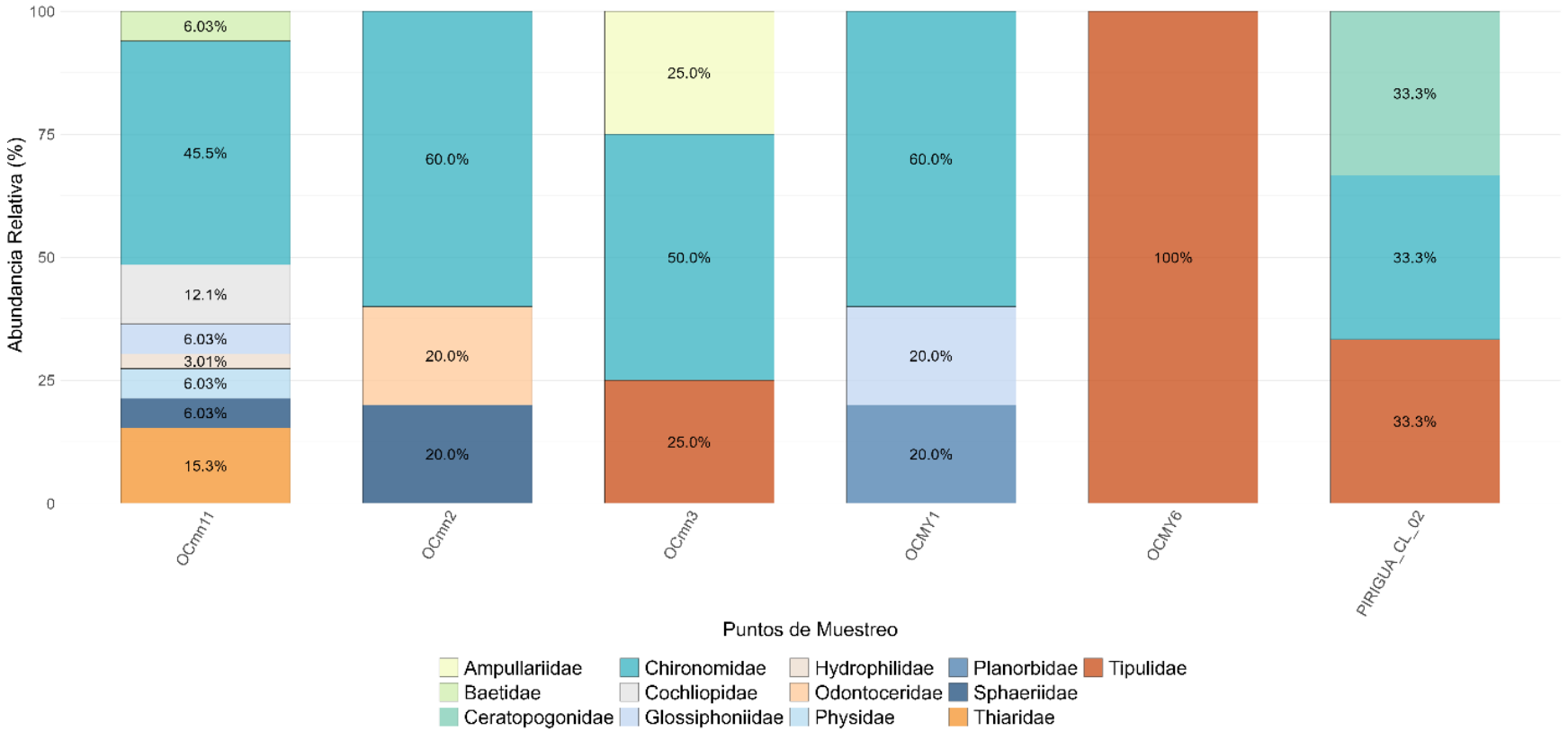


Figura 3.3.3-115 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Aunque se evidencia heterogeneidad en esta comunidad, la fuerte dominancia de quirónomidos y oligoquetos —más la relativa ausencia de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera— indica un estado meso- a eutrófico con señales de estrés por carga orgánica.

En conclusión, el caño Pirigua exhibe un ensamblaje dominado por depositívoros tolerantes pero enriquecido por moluscos y algunos insectos moderadamente sensibles, lo que denota un equilibrio dinámico entre condiciones eutróficas y microhábitats oxigenados. Su integridad dependerá de mantener la conectividad hidrológica y controlar las fuentes de materia orgánica que, de incrementarse, podrían desplazar los taxones más exigentes y empobrecer la estructura de la comunidad.

Los valores del índice BMWP/Col obtenidos para la Microcuenca del caño Pirigua confirman un deterioro ecológico muy crítico. El sitio con mejor desempeño, OCmn11, alcanzó 32 puntos (clase IV, "aguas muy contaminadas"); aunque supera a los demás, sigue indicando que la comunidad bentónica carece de familias sensibles que eleven la puntuación—predominan taxones de tolerancia media-alta como Planorbidae, Thiaridae y Chironomidae. En el extremo opuesto, OCMY6 obtuvo solo 3 puntos, mientras PIRIGUA_CL_02, OCMY1 y OCmn3 oscilaron entre 10 y 11 puntos; estas estaciones se calsifican en clase V ("aguas fuertemente contaminadas, situación crítica") y reflejan la ausencia de familias indicadoras de buena calidad (EPT, Elmidae, Odontoceridae), así como la dominancia de quirónomidos y oligoquetos (**Tabla 3.3.3-270**).

La diferencia entre OCmn11 y OCmn2, se explica por la adición de familias con puntajes intermedios como Baetidae y Elmidae, que elevan el índice sin lograr sacarlo de la categoría crítica. Los muy bajos valores de OCMY6 y PIRIGUA_CL_02 revelan microhábitats dominados casi exclusivamente por Chironomidae y Glossiphoniidae, señal de hipoxia, sedimentos finos y altas cargas orgánicas. Este gradiente sugiere que, a pesar de la heterogeneidad hidráulica típica del flood-plain, la presión antrópica—descarga difusa de nutrientes, ganadería ribereña y aporte de sedimentos—mantiene la mayoría del cauce en condiciones de estrés, limitando la recolonización de taxones sensibles.

Tabla 3.3.3-270 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO PIRIGUA	OCmn11	IV	Critica	32	Aguas muy contaminadas
	OCmn2	IV	Critica	20	Aguas muy contaminadas
	OCmn3	V	Muy crítica	11	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCMY1	V	Muy crítica	11	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	PIRIGUA_CL_02	V	Muy crítica	10	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCMY6	V	Muy crítica	3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En síntesis, el BMWP/Col ratifica que la calidad del agua en el caño Pirigua varía de muy contaminada a fuertemente contaminada, con algunos microambientales menos impactados (OCmn11).

- Diversidad Alfa

En el caño Pirigua, cinco de los seis puntos muestreados presentan riqueza ≥ 3 morfoespecies y, por tanto, permiten interpretar la diversidad alfa; OCMY6 (riqueza = 1) se descarta, pues una sola especie no constituye comunidad en sentido ecológico. El sitio más diverso es OCmn11, con 36,5 ind/m² y ocho (8) morfoespecies; el índice de Shannon de 1,913 y Simpson (1 − λ) de 0,194 indican una comunidad relativamente compleja aunque aún dominada por quirónomidos, mientras que Pielou (0,92) sugiere una distribución de abundancias cercana a la equidad esperada para su riqueza. Le sigue OCMY1, donde 5,5 ind/m² repartidos en tres taxones ofrecen H′ = 1,332 y D = 0,28; pese a la baja densidad muestra que las tres especies están numéricamente bien representadas (**Tabla 3.3.3-271**).

Tabla 3.3.3-271 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Pirigua época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO PIRIGUA	OCMY1	5.5	3	1.332	0.28	1.212
	OCMY6	1.1	1	-	-	-
	OCmn11	36.5	8	1.913	0.194	0.92
	OCmn2	5.5	3	0.95	0.44	0.865
	OCmn3	4.4	3	1.04	0.375	0.947
	PIRIGUA_CL_02	3.3	3	1.099	0.333	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los puntos OCmn2 y OCmn3 comparten baja densidad (4,4 − 5,5 ind/m²) y riqueza de tres morfoespecies; en ambos, Shannon (0,95 − 1,04) y Simpson (0,44 − 0,375) revelan dominancia intermedia y distribución algo menos equitativa (J′ ≈ 0,87 − 0,95) que en OCmn11. PIRIGUA_CL_02 (3,3 ind/m², tres morfoespecies) exhibe valores similares (H′ = 1,099; D = 0,333) y la mejor equitatividad corregida (J′ ≈ 0,91). En conjunto, el gradiente de diversidad muestra que los microhábitats con mayor flujo y sustrato heterogéneo (OCmn11) sostienen comunidades más ricas y balanceadas, mientras los remansos con sedimento fino albergan densidades bajas dominadas por taxa tolerantes. La exclusión de OCMY6, donde solo se halló *Chironomidae* Mf., subraya la importancia de la heterogeneidad hidrológica para evitar disminuciones drásticas en la diversidad.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de Caño Pirigua, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época de lluvias en las estaciones PIRIGUA_CLE_02 y OCmn1, presentó una comunidad compuesta por tres (3) morfoespecies distribuidas en tres (3) phyllum (Annelida, Arthropoda y Mollusca), tres (3) clases, tres (3)

órdenes, tres (3) familias y un (1) género identificado (*Melanoides*), con una abundancia total de ochenta (80) ind/m². La estación PIRIGUA_CLE_02 registró mayor abundancia (50 ind/m²), siendo *Glossiphoniidae Mf.* el grupo más abundante en el sistema (30 ind/m²), seguido por Chironomidae Mf. (10 ind/m²) y *Melanoides* sp. (10 ind/m², presente solo en PIRIGUA_CLE_02) (**Tabla 3.3.3-272**).

Tabla 3.3.3-272 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Pyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Pirigua		Total General
						PIRIGUA_CLE_02	OCmn1	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae* Mf.	30	10	40
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.	10	20	30
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Thiaridae	Melanoides	*Melanoides* sp.	10		10
Total general						**50**	**30**	**80**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad muestra características de un ambiente con moderada a fuerte perturbación, evidenciada por la dominancia de Glossiphoniidae (sanguijuelas) y Chironomidae, ambos grupos considerados tolerantes a condiciones de estrés ambiental (Roldán & Ramírez, 2008). La presencia de *Melanoides* sp. (Thiaridae), gasterópodo frecuente en ambientes lénticos con cierta carga orgánica, refuerza esta interpretación. La ausencia de taxones sensibles como Ephemeroptera, Trichoptera o coleópteros Elmidae sugiere que el sistema, a pesar de estar en época de lluvias, no alcanza condiciones óptimas para el desarrollo de comunidades más diversas (Domínguez & Fernández, 2009). La interacción con sistemas terrestres parece limitada, evidenciada por la falta de taxones típicamente asociados a interfaces tierra-agua, mientras que la conexión con sistemas lóticos queda sugerida únicamente por la posible movilidad de los gasterópodos *Melanoides* sp. durante crecientes (Merritt & Cummins, 2008) (**Figura 3.3.3-116**).

La estructura de la comunidad presenta predominio de organismos tolerantes y baja riqueza específica (3 morfoespecies), lo cual podría estar influenciado por múltiples factores: la acumulación de materia orgánica en descomposición, condiciones de hipoxia temporal en el fondo, o posibles presiones antropogénicas en la Microcuenca. La diferencia en composición entre estaciones (ausencia de *Melanoides* sp. en OCmn1) sugiere heterogeneidad espacial en las condiciones del hábitat, posiblemente relacionada con variaciones en la cobertura de macrófitas, profundidad del agua o características del sustrato (Wantzen et al., 2008). La mayor abundancia de Glossiphoniidae en PIRIGUA_CLE_02 (30 vs 10 ind/m²) podría indicar zonas con mayor acumulación de materia orgánica o condiciones más favorables para estos organismos.

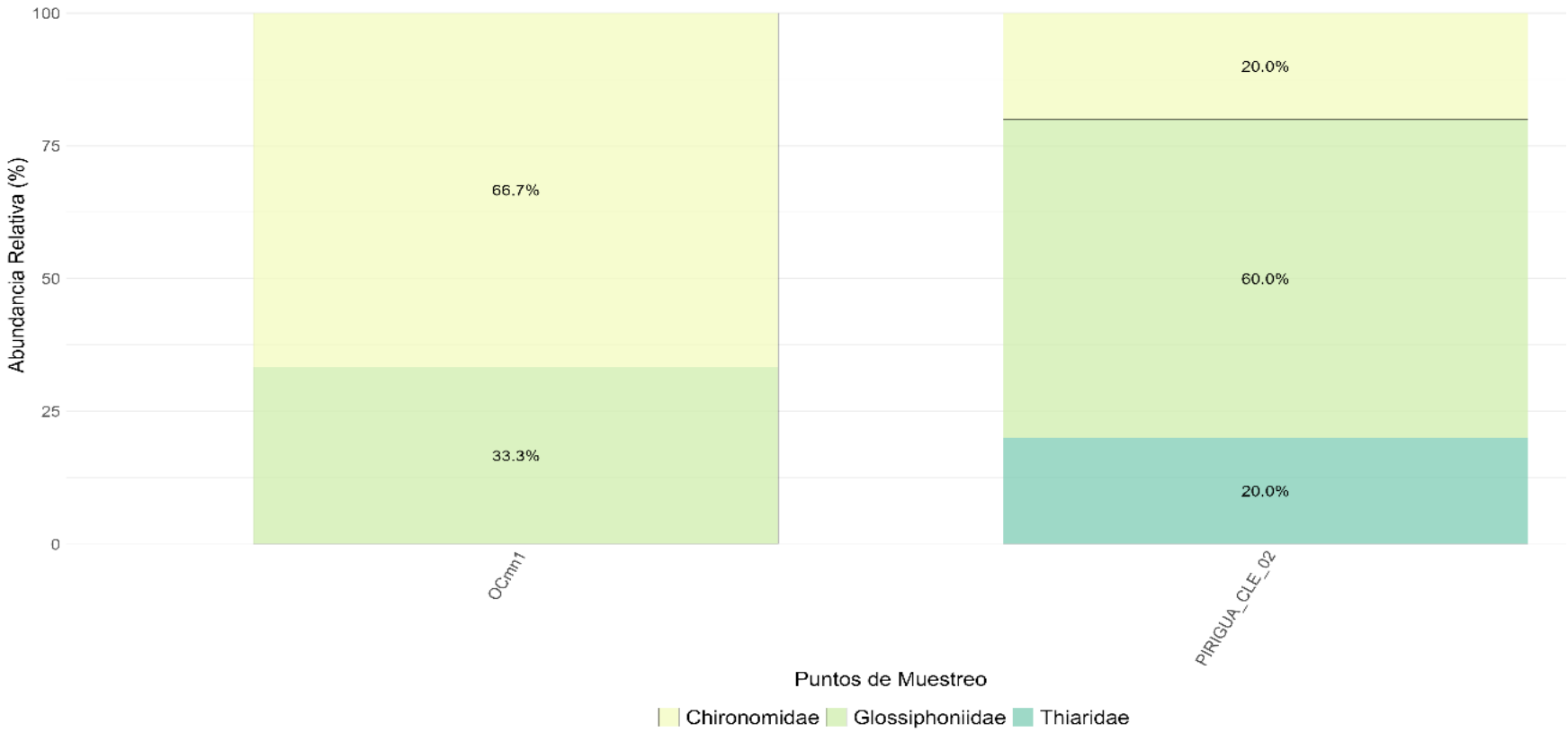


Figura 3.3.3-116 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble estudiado en Caño Pirigua durante la época de lluvias muestra una comunidad acuática caracterizada por baja diversidad y dominancia de grupos tolerantes, lo que sugiere condiciones ambientales subóptimas a pesar de ser el período húmedo. La ausencia de taxones sensibles y la limitada representación de grupos con diferentes requerimientos ecológicos reflejan un sistema con capacidad reducida para albergar comunidades diversas.

Los resultados del índice BMWP/Col en Caño Pirigua revelan condiciones ambientales críticas durante la época de lluvias, con valores de 11 para PIRIGUA_CLE_02 y 6 para OCmn1, clasificando ambas estaciones como "Clase V - Muy críticas" (aguas fuertemente contaminadas). Estos resultados extremadamente bajos reflejan una grave afectación ecológica del sistema, confirmando los hallazgos del análisis comunitario que mostraba dominancia de grupos tolerantes (Glossiphoniidae y Chironomidae) y ausencia total de taxones sensibles (Roldán, 2003). La puntuación superior en PIRIGUA_CLE_02 se explica únicamente por la presencia de Thiaridae (*Melanoides* sp.), que aporta 3 puntos al índice, mientras que OCmn1 solo registró Glossiphoniidae (1 punto) y Chironomidae (2 puntos), alcanzando casi el mínimo teórico del BMWP/Col (Alba-Tercedor, 1996) (**Tabla 3.3.3-273**).

Tabla 3.3.3-273 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Pirigua época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CLE_02	V	Muy crítica	11	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCmn1	V	Muy crítica	6	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La clasificación como "aguas fuertemente contaminadas" en ambas estaciones coincide con la estructura de la comunidad observada, caracterizada por la dominancia absoluta de Glossiphoniidae (40 ind/m² totales), la presencia mínima de otros taxones (solo Chironomidae y Thiaridae) y las abundancias relativamente altas pero concentradas en especies tolerantes (Domínguez & Fernández, 2009).

La diferencia entre estaciones es insignificante en términos de calidad ecológica, ya que ambos valores caen en la misma categoría muy crítica. Esta homogeneidad en la mala calidad del agua a lo largo del sistema sugiere que los factores de estrés afectan todo el cuerpo de agua durante la época lluviosa, posiblemente relacionados con el aporte continuo de contaminantes desde la Microcuenca, condiciones crónicas de hipoxia/anoxia, acumulación de materia orgánica en descomposición y posible contaminación por metales pesados u otros tóxicos.

- Diversidad alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para las estaciones del Caño Pirigua revelan una estructura de la comunidad altamente perturbada, aunque con diferencias notables entre los puntos de muestreo. En la estación OCmn1 se registró un índice de Shannon de 1.099 con solo dos morfoespecies (riqueza = 2) en 30 ind/m², mientras que PIRIGUA_CLE_02 mostró un Shannon menor (0.95) pero con tres morfoespecies (riqueza = 3) y mayor abundancia (50 ind/m²)

(**Tabla 3.3.3-274**). Estos valores de Shannon, inferiores a 1.5, son característicos de sistemas acuáticos con diversidad biológica reducida y estrés ambiental (Magurran, 2004).

La estación OCmn1 presenta un valor atípico de Pielou (1.586), teóricamente imposible pues el máximo es 1, lo que sugiere un artefacto matemático producto de la combinación de muy baja riqueza (2 especies) con distribución extremadamente desigual de abundancias (Chironomidae = 20 ind/m² vs Glossiphoniidae = 10 ind/m²). Este resultado debe interpretarse con cautela, indicando más un desbalance que una verdadera equitatividad (Moreno et al., 2011). En contraste, PIRIGUA_CLE_02 muestra un Pielou de 0.865, relativamente alto pero que refleja la dominancia de Glossiphoniidae (30 ind/m²) sobre Chironomidae (10 ind/m²) y *Melanoides* sp. (10 ind/m²) (Krebs, 2014) (**Tabla 3.3.3-274**).

Tabla 3.3.3-274 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Pirigua época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO PIRIGUA	OCmn1	30	2	1.099	0.333	1.586
	PIRIGUA_CLE_02	50	3	0.95	0.44	0.865

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El índice de Simpson confirma mayor dominancia en PIRIGUA_CLE_02, concordante con el predominio marcado de Glossiphoniidae en esta estación. Esta diferencia inter-estaciones sugiere que OCmn1 tiene una comunidad más "desbalanceada" (Pielou >1) y PIRIGUA_CLE_02 presenta mayor dominancia ecológica (Simpson más alto). Ambas comparten baja diversidad efectiva (Shannon <1.1) (Krebs, 2014).

Es así como los resultados reflejan comunidades empobrecidas en ambas estaciones, estructuras diferentes, posible efecto de microhábitats distintos (presencia/ausencia de *Melanoides*) y condiciones ambientales que favorecen claramente a Glossiphoniidae.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvia, la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Pirigua mostró una alta diversidad florística, con 30 morfoespecies registradas pertenecientes a la división Tracheophyta, abarcando varias clases como Polypodiidae y Magnoliidae, y órdenes como Poales, Myrtales, Asterales, Alismatales, entre otros (**Tabla 3.3.3-275**). La familia Poaceae se destacó como una de las más diversas y abundantes, especialmente en los cuerpos de agua lénticos, seguida por Cyperaceae y Onagraceae, lo cual concuerda con estudios previos que han documentado el dominio de estas familias en sistemas acuáticos tropicales por su alta capacidad adaptativa y reproducción vegetativa eficiente (Esteves F. A., 2011), (Junk W. J., 2011).

Toda la flora estuvo representada por la división Tracheophyta, con predominio de la clase Magnoliidae. La clase Polypodiidae solo estuvo representada por *Salvinia* sp. en OCmn1, una especie flotante común en aguas poco profundas (**Tabla 3.3.3-275**).

Poales fue el orden con mayor diversidad y cobertura, seguido por Myrtales y Asterales. Este patrón es característico de ecosistemas de planicie inundable como los llanos orientales, donde las Poaceae dominan las zonas de encharcamiento estacional (Junk et al., 1989) (**Tabla 3.3.3-275**).

Se identificaron al menos 12 familias. Panicum sp. y Paspalum sp. (Poaceae) fueron recurrentes y dominantes, seguidas por *Ludwigia* sp. (Onagraceae) y *Blumea* sp. (Asteraceae), especies con amplia tolerancia ecológica y rápido crecimiento, lo cual les confiere ventajas competitivas en ambientes fluctuantes (**Tabla 3.3.3-275**).

Los puntos OCmn2, OCmn11, OCmn1, OCmn3, OCMY1, OCMY2, OCMY6 y PIRIGUA_CL_02, correspondientes a ocupaciones de cauce, mostraron una composición variable. OCmn2 registró 4 morfoespecies, con predominancia de *Blumea* sp. (28.63%) y Onagraceae Mf. (60.48%), mientras que OCmn11 presentó también 4 morfoespecies dominadas por *Urochloa* sp. (92.58%). Estos datos reflejan una comunidad estructurada por especies pioneras y tolerantes a condiciones de arrastre y fluctuación del caudal, típicas de ambientes lóticos (Thomaz, 2003). OCMY6 fue el sitio con mayor cobertura total (118%) y riqueza (5 morfoespecies), destacándose la dominancia de gramíneas como *Panicum* sp. (66.10%) y otras Poaceae, lo que sugiere condiciones favorables de sedimentación y estabilidad del lecho durante el periodo lluvioso (**Tabla 3.3.3-275**).

En los sitios PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02, cuerpos de agua lenticos, se registraron 3 y 6 morfoespecies respectivamente, con coberturas totales del 100% y 35.01%. PIRIGUA_CLE_02 fue el más diverso, con representación de familias como Myrtaceae, Polygonaceae, Poaceae y Sapotaceae, reflejando una estructura más compleja posiblemente influenciada por condiciones de mayor retención hídrica, colonización sucesional y menor disturbio mecánico (Padial, Effects of structural complexity, predators and prey availability on the habitat use by small fish in lake, 2008). El predominio de *Paspalum* sp., *Panicum* sp., y Poaceae Mf. en ambos cuerpos de agua refleja el éxito ecológico de estas especies en hábitats con niveles estables de agua y abundante luz, características de cuerpos de agua estáticos o de bajo flujo (**Tabla 3.3.3-275**).

En conclusión, la comunidad de macrófitas acuáticas de la Microcuenca del caño Pirigua en temporada de lluvias evidencia una notable heterogeneidad estructural, con diferencias claras entre cuerpos de agua lóticos y lénticos, influenciadas por el régimen hidrológico, la estabilidad del sustrato y la disponibilidad de nutrientes y luz. Esta diversidad y cobertura reflejan la importancia ecológica de estos sistemas acuáticos como hábitats de alta productividad y biodiversidad dentro de la región de los llanos orientales colombianos.

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño Pirigua, los índices de diversidad de macrófitas acuáticas evidenciaron una estructura comunitaria variable entre los distintos puntos de muestreo, reflejando diferencias en la composición y equitatividad de las especies presentes. Los valores más altos del índice de Shannon se registraron en OCmn3 (1.39) y PIRIGUA_CLE_02 (1.084), lo que indica una comunidad relativamente diversa y estructurada, posiblemente por la mayor riqueza específica (5 y 6 morfoespecies, respectivamente) y distribución más equitativa de

las abundancias (Pielou de 0.864 y 0.605). Esto concuerda con lo planteado por (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001), quien señala que una alta riqueza y equitatividad se asocia con hábitats más estables y menos perturbados (**Tabla 3.3.3-276**).

Por otro lado, los puntos OCmn11 y OCMY2 mostraron índices de Shannon bajos (0.328 y 0.379, respectivamente), con valores altos de Simpson (0.861 y 0.848), lo cual sugiere dominancia de una o pocas especies en estas localidades. Esta condición puede deberse a presiones ambientales o antropogénicas que favorecen especies oportunistas o resistentes (Esteves, 2011). De forma intermedia se ubicaron puntos como OCmn2 (H’ = 0.968; J’ = 0.698) y OCMY1 (H’ = 0.727; J’ = 0.662), que, aunque no presentaron la mayor riqueza, evidencian comunidades moderadamente diversas y equitativas. El caso de PIRIGUA_CL_02, a pesar de tener solo 3 morfoespecies, mostró un Shannon de 0.897 y una equitatividad alta (J’ = 0.816), indicando una comunidad balanceada en la distribución de abundancias (Magurran A. E., 2004) (**Tabla 3.3.3-276**).

Tabla 3.3.3-275 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Pirigua																	
				Punto De Muestreo	OCmn2		OCmn11		PIRIGUA_CL_02		OCMY1		OCmn3		OCmn1		OCMY2		OCMY6	PIRIGUA_CLE_02		PIRIGUA_CLE_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia* sp.											33	27,97							
	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	Araceae Mf.					52	79,58													
			Alismataceae	*Limnocharis* sp.									25	26,60									
		Apiales	Araliaceae	*Dendropanax* sp.					1,67	2,56													
		Asterales	Asteraceae	*Blumea* sp.	23,67	28,63																	
				Elephantopus sp.													61,67	90,69					
		Caryophyllales	Polygonaceae	*Persicaria* sp.													2,33	3,43					
		Commelinales	Pontederiaceae	*Heteranthera* sp.									24	25,53									
		Ericales	Sapotaceae	*Pouteria* sp.																3,67	10,48		
		Fabales	Fabaceae	*Centrosema* sp.			2,33	3,99															
				Fabaceae Mf.																1,67	4,77		
				Mimosa sp.			0,33	0,57															
		Lamiales	Acanthaceae	Acanthaceae Mf.							1	4,84											
			Plantaginaceae	*Bacopa* sp.																		0,33	4,71
		Malpighiales	Malpighiaceae	Malpighiaceae Mf.							4,67	22,59											
			Salicaceae	*Salix* sp.													1	1,47					
		Myrtales	Myrtaceae	*Psidium* sp.																0,67	1,91		
				Myrtaceae Mf.																3,33	9,51		
			Onagraceae	*Ludwigia* sp.			1,67	2,86					0,33	0,35	1	0,85							
				Onagraceae Mf.	50	60,48																	
		Poales	Cyperaceae	*Carex* sp.	3	3,63											2,33	3,43					
				Cyperus sp.					11,67	17,86					6	5,08							
				Cyperaceae Mf.																		6	85,71
			Poaceae	*Cenchrus* sp.									27,67	29,44									
				Digitaria sp.									17	18,09									
				Urochloa sp.			54	92,58															
				Panicum sp.							15	72,57			78	66,10				23,67	67,61		
				Paspalum sp.																2	5,71		
				Poaceae Mf.																		0,67	9,57
		Vitales	Vitaceae	Vitaceae Mf.	6	7,26											0,67	0,99					
Cobertura Total general					**82,67**	**100**	**58,33**	**100**	**65,34**	**100**	**20,67**	**100**	**94**	**100**	**118**	**100**	**68**	**100**	**0**	**35,01**	**100**	**7**	**100**
Morfoespecies por Punto					**4**		**4**		**3**		**3**		**5**		**4**		**5**		**0**	**6**		**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**30**																		

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Es importante destacar que en el punto OCMY6 no se pudo calcular ningún índice de diversidad, debido a la baja riqueza (<3 especies) (**Tabla 3.3.3-276**), lo que impide aplicar métricas que requieren una distribución significativa entre múltiples taxones. Este tipo de situaciones puede estar relacionado con ambientes alterados, condiciones físico-químicas restrictivas o momentos puntuales de colonización (Junk W. J., 2011). En conjunto, los resultados reflejan cómo la diversidad de macrófitas acuáticas responde a factores locales como la heterogeneidad del hábitat, la conectividad hidrológica y el tipo de cuerpo de agua (lótico o léntico), siendo los ambientes lóticos generalmente más estructurados en términos de diversidad.

Tabla 3.3.3-276 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Pirigua época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY1	20.67	3	0.727	0.569	0.662
OCMY2	68	5	0.379	0.848	0.235
OCmn11	58.33	4	0.328	0.861	0.237
OCmn2	82.67	4	0.968	0.457	0.698
PIRIGUA_CLE_01	7	3	0.501	0.746	0.456
PIRIGUA_CLE_02	35.01	6	1.084	0.496	0.605
PIRIGUA_CL_02	65.34	3	0.897	0.573	0.816
OCmn3	94	5	1.39	0.255	0.864

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación entre los índices de diversidad de macrófitas acuáticas obtenidos durante las temporadas seca y de lluvia en la Microcuenca del caño Pirigua revela diferencias significativas en la estructura y composición de la comunidad vegetal, influenciadas por las condiciones hidrológicas y ecológicas propias de cada época del año.

Durante la temporada seca, solo se obtuvieron datos de diversidad para los puntos OCmn11 y OCmn2, ya que el resto de los sitios presentaron caudales reducidos o estaban secos, o bien registraron una riqueza de especies inferior a tres, lo que impidió calcular los índices. En estos puntos, los valores del índice de Shannon fueron relativamente bajos (0.9 y 0.895), con riqueza específica limitada (3 y 5 morfoespecies, respectivamente). Sin embargo, el valor de equitatividad (Pielou) fue más alto en OCmn11 (0.819), lo que sugiere una distribución más equitativa de las especies presentes, a pesar de la baja riqueza. Esta baja diversidad general podría explicarse por la disminución del nivel del agua, la fragmentación del hábitat acuático y el aumento del estrés hídrico, lo cual limita la colonización y persistencia de muchas especies macrófitas (Thomaz, 2003).

En contraste, durante la temporada de lluvias, la mayoría de los puntos evaluados presentaron condiciones más favorables para el establecimiento de macrófitas, registrando mayor abundancia, riqueza y diversidad específica. Puntos como OCmn3 y PIRIGUA_CLE_02 alcanzaron valores de

Shannon superiores a 1 (1.39 y 1.084, respectivamente), reflejando comunidades más estructuradas y menos dominadas por una sola especie, producto probablemente del incremento en la disponibilidad de hábitat, conectividad hidrológica y recursos (Esteves F. A., 2011). Además, se observó una mayor heterogeneidad en los índices de diversidad entre los puntos, lo que indica una mayor variabilidad espacial, posiblemente vinculada a las diferencias en las características físicas de los microhábitats, como profundidad, velocidad de flujo y cobertura vegetal.

Desde el punto de vista ecológico, esta variabilidad temporal es coherente con el modelo del pulso de inundación propuesto por (Junk et al., 1989), según el cual las crecientes estacionales en ecosistemas fluviales como el caño Pirigua promueven el intercambio de materia y organismos entre el cauce y sus planicies inundables, aumentando así la diversidad biológica. Durante la temporada de lluvias, las condiciones hidrogeomorfológicas favorecen la dispersión, germinación y crecimiento de un mayor número de especies de macrófitas, muchas de las cuales son adaptadas a fluctuaciones del régimen hídrico (Cronk, 2001). Por el contrario, en la temporada seca, el estrés hídrico y la reducción del hábitat disponible restringen la diversidad y favorecen especies resistentes o con adaptaciones específicas a condiciones de bajo nivel de agua.

En resumen, la comparación muestra que la diversidad de macrófitas acuáticas en el caño Pirigua es altamente sensible a las condiciones estacionales, siendo mayor durante la temporada de lluvias. Esto resalta la importancia de mantener la integridad del régimen hidrológico natural en estos ecosistemas para conservar su biodiversidad y funcionalidad ecológica.

3.3.3.2.19 Microcuenca caño Santoya

La Microcuenca del caño Santoya, ubicada en el municipio de Puerto López, forma parte del sistema hidrográfico de la altillanura colombiana y actúa como afluente del río Meta. Esta región se caracteriza fisiográficamente por presentar relieves planos a suavemente ondulados, con suelos de baja fertilidad, alta acidez y baja capacidad de retención de nutrientes, propios de los paisajes de altillanura (IGAC, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta., 2013). Ecológicamente, la Microcuenca se inserta en un mosaico de ecosistemas de sabanas naturales y áreas intervenidas por actividades agropecuarias, lo que ha generado una presión creciente sobre sus cuerpos de agua. El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se llevó a cabo en cuatro puntos estratégicos, dos en sistemas lóticos (SANTOYA_CL_01 y SANTOYA_CL_02) y dos en sistemas lénticos (SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02), con el fin de caracterizar la biodiversidad acuática y evaluar el estado ecológico de estos ambientes.

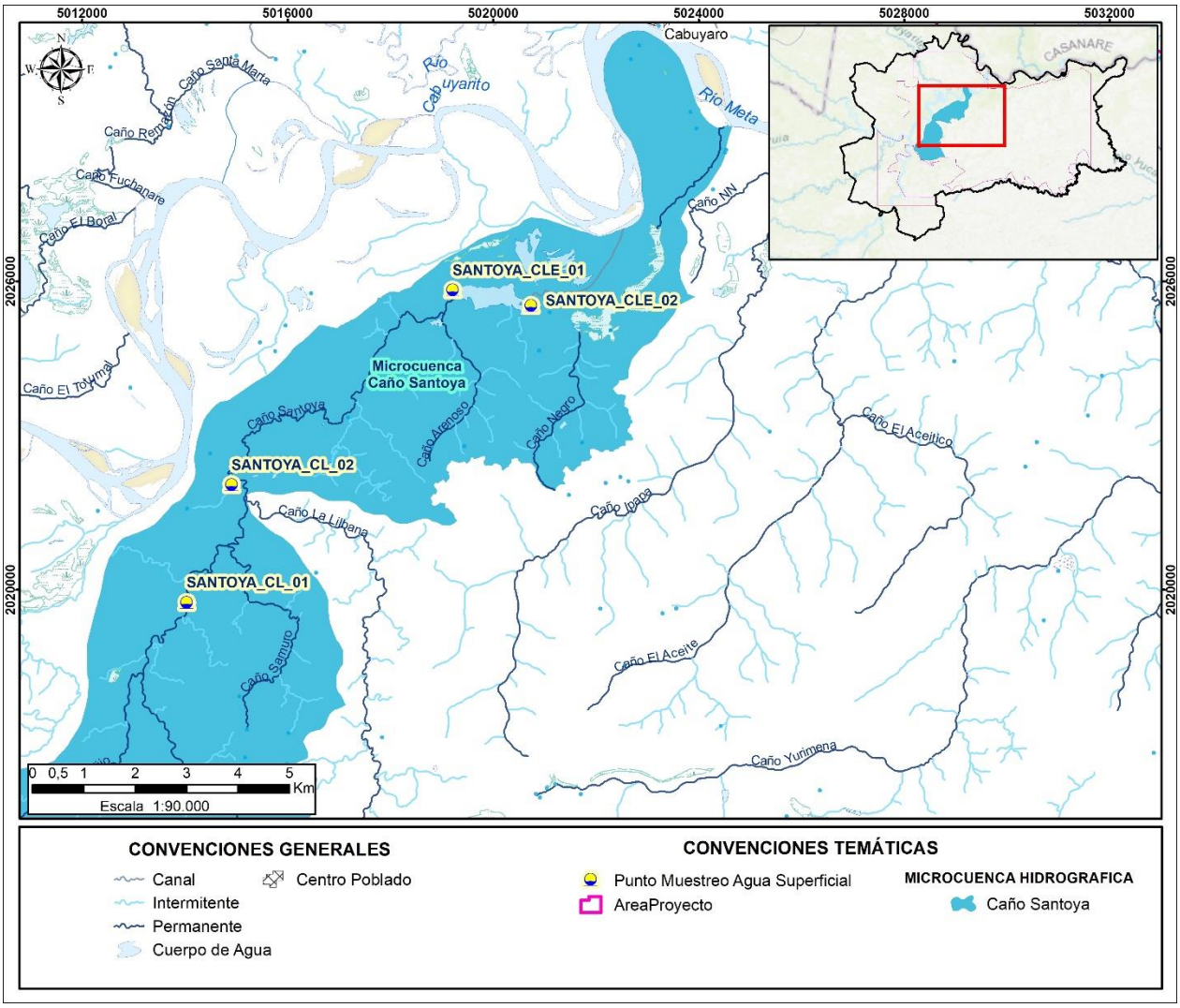


Figura 3.3.3-117 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca del caño Santoya

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Microcuenca del caño Santoya, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del fitoplancton en el sistema léntico de los puntos estudiado, ubicados en la altillanura y monitoreado durante la época seca, está compuesto por una comunidad diversa que refleja las condiciones ambientales específicas de este hábitat. Los datos recopilados en las estaciones SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02, pertenecientes a la Microcuenca de Caño Santoya, muestran una riqueza de morfoespecies distribuida en tres divisiones principales: Euglenophyta, Heterokontophyta (específicamente Bacillariophyceae y Coscinodiscophyceae) y Charophyta. La abundancia total en la Microcuenca fue de 0.294 ind/mL y una riqueza total de 12 géneros, con abundancias desiguales entre las estaciones 0.214 ind/mL en SANTOYA_CLE_01 y una riqueza de nueve géneros y SANTOYA_CLE_02 reporto una abundancia de 0.08 ind/mL y una riqueza de siete géneros (**Tabla 3.3.3-277**), lo que sugiere variabilidad espacial en la distribución del fitoplancton.

Entre los géneros más abundantes destacan *Aulacoseira* con una abundancia total para la Microcuenca de (0.159 ind/mL) y por estaciones para SANTOYA_CLE_01 reporto una abundancia de 0.1007 Ind/mL y un porcentaje de abundancia del (50,0%) y SANTOYA_CLE_02 reporto una abundancia de 0.052 Ind/mL y un porcentaje de abundancia de (65.0%) , seguido a este, se reportó el género *Pinnularia* con una abundancia para la Microcuenca de (0.058 ind/mL) para la estación SANTOYA_CLE_01 se reportó una abundancia de (0.043 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (20.1%) y SANTOYA_CLE_02 02 reporto una abundancia de (0.015 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (18.8%) y el género *Tabellaria* reporto una abundancia para la Microcuenca de (0.014 ind/mL) y por estaciones para SANTOYA_CLE_01 reporto una abundancia de (0.01 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (4.67%) y SANTOYA_CLE_02 reporto una abundancia de 0.004 Ind/mL y un porcentaje de abundancia de (5.0%) (**Figura 3.3.3-118**) (**Tabla 3.3.3-277**), todos pertenecientes a Bacillariophyceae, un grupo común en sistemas lénticos y frecuentemente asociado a aguas con baja turbulencia y alta transparencia (Round et al., 1990). La presencia de *Trachelomonas* (Euglenophyta) en la estación SANTOYA_CLE_02, aunque con baja abundancia (0.001 ind/mL), puede indicar condiciones de enriquecimiento orgánico, ya que este género es típico de ambientes eutróficos (Wetzel R. G., 2001). Por otro lado, la escasa representación de *Cosmarium* (Charophyta) sugiere limitaciones en la disponibilidad de nutrientes específicos, como fosfatos, común en épocas secas (Reynolds, 2006).

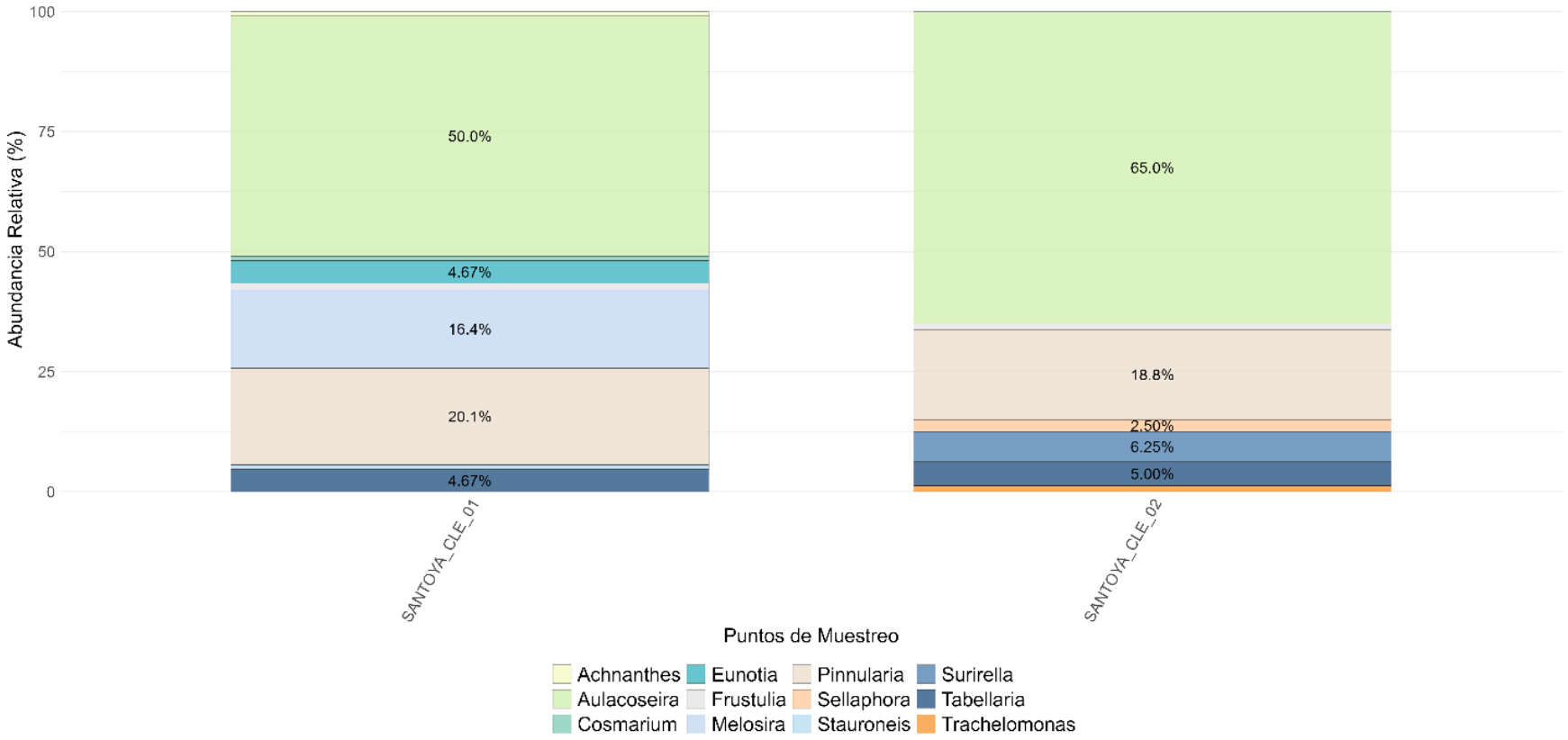


Figura 3.3.3-118 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La bioindicación revela que la comunidad fitoplanctónica está adaptada a un sistema léntico con influencias terrestres y potenciales conexiones con sistemas lóticos. Por ejemplo, la alta abundancia de diatomeas pennadas (*Pinnularia*, *Stauroneis*) sugiere sustratos estables y posible aporte de materia orgánica desde la vegetación riparia (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la presencia de géneros como *Eunotia* y *Frustulia*, asociados a suelos ácidos y lixiviados, comunes en altillanuras (Bicudo & Menezes, 2006). Además, la baja diversidad en SANTOYA_CLE_02 podría reflejar un mayor aislamiento o estrés hídrico durante la época seca.

En conclusión, el ensamble fitoplanctónico en la Microcuenca Caño Santoya refleja un sistema léntico con características oligotróficas a mesotróficas, influenciado por conexiones con hábitats terrestres y posibles flujos lóticos intermitentes. La dominancia de diatomeas sugiere estabilidad ambiental, mientras que la presencia de euglenoides y desmidias indica microhábitats con condiciones variables.

Tabla 3.3.3-277 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					SANTOYA_CLE_01	SANTOYA_CLE_02	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*		0,001	0,001
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	0,01	0,004	0,014
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,043	0,015	0,058
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	0,002		0,002
			Amphipleuraceae	*Frustulia*	0,003	0,001	0,004
			Sellaphoraceae	*Sellaphora*		0,002	0,002
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,01		0,01
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		0,005	0,005
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	0,002		0,002
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,107	0,052	0,159
		Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*	0,035		0,035
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,002		0,002
Gran Total					**0,214**	**0,08**	**0,294**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de diversidad para la comunidad de fitoplancton en los puntos evaluados (SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02) muestran diferencias notables en los índices ecológicos. En el punto SANTOYA_CLE_01, se observa una mayor abundancia (0.214 Ind/mL) y riqueza de nueve géneros, junto con un índice de Shannon relativamente alto (1.452), lo que sugiere una diversidad moderada. El índice de Simpson (0.32) indica una dominancia intermedia, mientras que el índice de Pielou (0.661) (**Tabla 3.3.3-278**) refleja una equitatividad aceptable en la distribución de las especies. Por otro lado, el punto SANTOYA_CLE_02 presenta valores más bajos en abundancia (0.08) y riqueza de siete géneros, con un índice de Shannon menor (1.119), lo que apunta a una diversidad más reducida. El índice de Simpson (0.465) sugiere una mayor dominancia de ciertas especies, y el índice de Pielou (0.575) (**Tabla 3.3.3-278**) indica una distribución menos equitativa.

En conjunto, estos resultados revelan que la Microcuenca presenta una heterogeneidad ecológica, con áreas que mantienen una diversidad y equitatividad aceptables para SANTOYA_CLE_01 y otras con condiciones menos favorables para SANTOYA_CLE_02. La calificación ecológica global de la Microcuenca podría considerarse moderada, ya que, aunque existen puntos con valores alentadores, la presencia de zonas con diversidad reducida y mayor dominancia de especies sugiere posibles presiones ambientales o alteraciones en el ecosistema.

Tabla 3.3.3-278 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Santoya época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
SANTOYA_CLE_01	0.214	9	1.452	0.32	0.661
SANTOYA_CLE_02	0.08	7	1.119	0.465	0.575

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Zooplancton*

El ensamble zooplanctónico en el sistema léntico de la Microcuenca de Caño Santoya, monitoreado durante la época seca en las estaciones SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02, presenta una comunidad de baja riqueza específica, pero con características bioindicadoras relevantes. La abundancia total en la Microcuenca fue de 0.0147 ind/mL, distribuida de manera desigual entre las estaciones, la estación SANTOYA_CLE_01 reporto una abundancia de 0.0052 ind/mL y una riqueza de una sola morfoespecies *Chaetonus* y la estación SANTOYA_CLE_02 reporto una abundancia de 0.0095 ind/mL y una riqueza de dos morfoespecies. Las morfoespecies identificadas incluyen *Difflugia* (Amoebozoa, Difflugiidae) con una abundancia de (0.0076 ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (20%) en y *Chaetonotus* (Gastrotricha, Chaetonotidae) con una abundancia de 0.0076 ind/mL y un porcentaje de abundancia del (80%) (**Figura 3.3.3-119**) (**Tabla 3.3.3-279**). La ausencia de *Difflugia* en SANTOYA_CLE_01 y su presencia exclusiva en SANTOYA_CLE_02 podrían reflejar diferencias microambientales, como la disponibilidad de sustratos orgánicos o la influencia de aportes terrestres (Foissner et al., 2007).

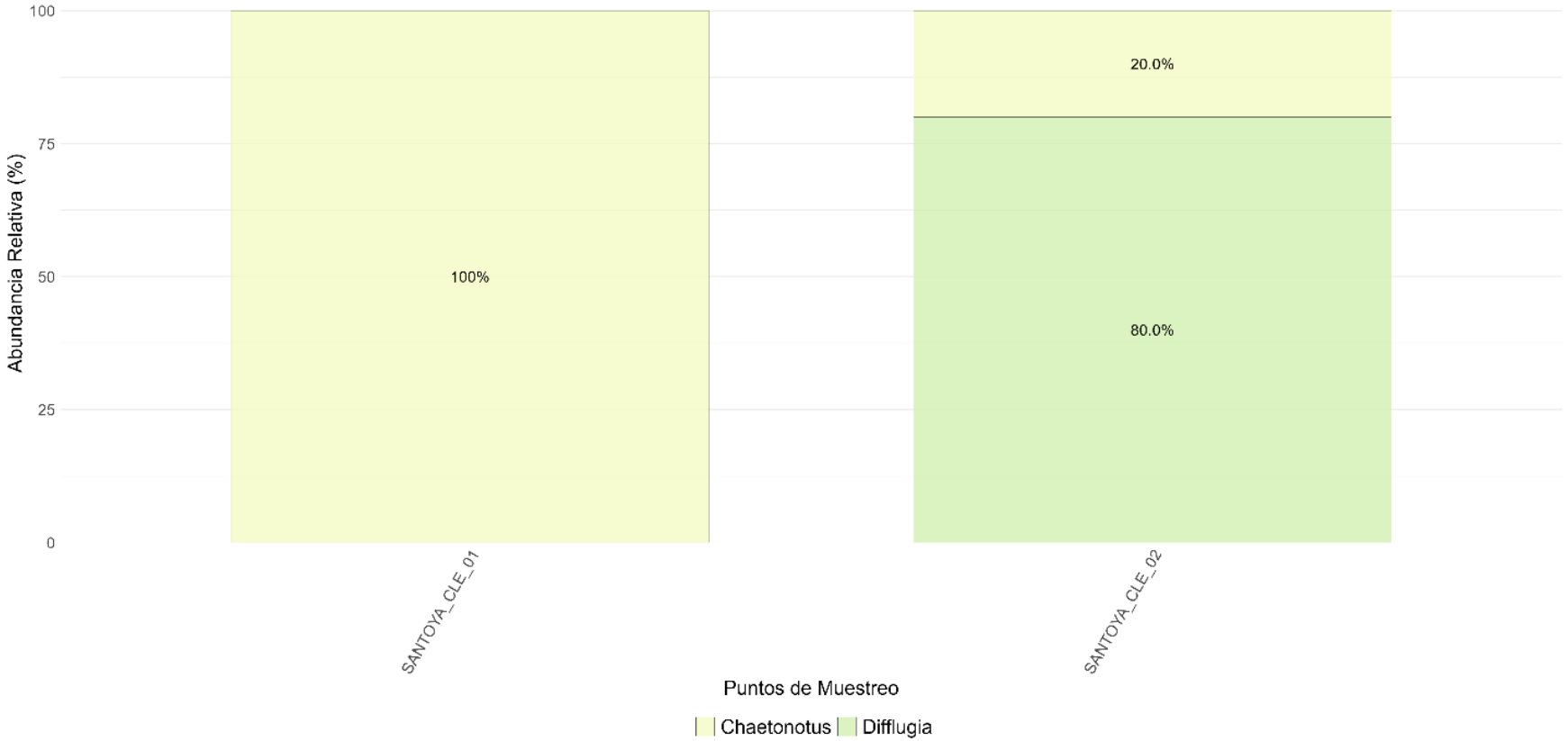


Figura 3.3.3-119 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Santoya época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de *Difflugia*, un protozoo tecado común en ambientes lénticos con sedimentos ricos en materia orgánica, sugiere condiciones de estabilidad y posible acumulación de detritos, típica de sistemas con baja circulación durante la época seca (Ogden & Hedley, 1980). Por otro lado, *Chaetonotus*, un gastrotrico frecuente en zonas litorales con vegetación acuática, indica microhábitats con alta disponibilidad de biofilm y restos vegetales, asociados a interacciones con sistemas terrestres adyacentes (Kånneby & Kisielewski, 2016). La baja abundancia general del zooplancton menor a 0.01 ind/mL por estación, podría atribuirse a las condiciones restrictivas de la época seca, como la disminución del volumen de agua y la posible limitación de recursos tróficos, lo que afecta la densidad de organismos filtradores y depredadores (Dumont, 1994).

La interacción con sistemas lóticos y terrestres se infiere indirectamente. La ausencia de rotíferos o cladóceros, comunes en sistemas conectados a flujos lóticos, sugiere un aislamiento relativo del cuerpo de agua durante la época seca. Sin embargo, la presencia de *Chaetonotus* podría indicar aportes de materia orgánica desde la vegetación riparia, típica de zonas de altillanura con suelos ácidos y escurrimientos estacionales (Donato-Rondón, 2016). Además, la dominancia de protozoos y microinvertebrados sobre crustáceos refleja una red trófica simplificada, característica de sistemas lénticos pequeños con influencia terrestre (Wallace R. L. et al., 2016).

En conclusión, el ensamble zooplanctónico en la Microcuenca del Caño Santoya durante la época seca está dominado por organismos adaptados a condiciones de baja energía y alta dependencia de recursos orgánicos terrestres. La escasa riqueza y abundancia reflejan las limitaciones impuestas por el clima seco y el posible aislamiento del sistema. Estos resultados resaltan la sensibilidad del zooplancton a las variaciones estacionales y la importancia de conservar los hábitats ribereños para mantener la conectividad ecológica entre sistemas acuáticos y terrestres en regiones de altillanura. Sin embargo, es importante mencionar que este ensamble no la robustes necesaria para poder realizar conclusiones certeras sobre el estado del sistema.

Tabla 3.3.3-279 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Santoya época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					SANTOYA_CLE_01	SANTOYA_CLE_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Difflugiidae	*Difflugia*		0,0076	0,0076
Gastrotricha	-	Chaetonotida	Chaetonotidae	*Chaetonotus*	0,0052	0,0019	0,0071
Grand Total					**0,0052**	**0,0095**	**0,0147**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

No se realizó el análisis de índice ecológico en esta comunidad debido a que los datos de abundancia y riqueza registrados en los puntos de monitoreo no permiten un análisis estadísticamente significativo, lo que imposibilita extraer conclusiones confiables.

✓ *Ictioplancton*

- Composición y ensamble de la comunidad

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble perifítico en el sistema lótico de la Microcuenca de Caño Santoya, monitoreado durante la época seca en las estaciones SANTOYA_CL_01 y SANTOYA_CL_02, presenta una comunidad dominada por diatomeas y cianobacterias, con una abundancia total de 45 ind/cm^2, distribuida de manera desigual entre las estaciones con abundancias y riquezas respectivas 41.5 ind/ cm^2 y una riqueza de tres morfoespecies en SANTOYA_CL_01 y 3.5 ind/ cm^2 y una riqueza de una morfoespecies en SANTOYA_CL_02 (**Tabla 3.3.3-280**). En total la riqueza de morfoespecies es baja, con solo tres géneros identificados *Pinnularia* (Bacillariophyceae), *Eunotia* (Bacillariophyceae) y *Spirulina* (Cyanophyceae). La marcada diferencia en abundancia entre las estaciones sugiere condiciones microambientales heterogéneas, posiblemente relacionadas con variaciones en el flujo de agua, disponibilidad de sustratos o aportes de nutrientes. *Eunotia* destaca como el género más abundante (30.8 ind/ cm^2) para ambas estaciones, especialmente en SANTOYA_CL_01 (27.3 ind/ cm^2) y un porcentaje de abundancia del (65.8%), lo que indica su adaptación a aguas ácidas y bajas en nutrientes, típicas de sistemas lóticos en altillanuras con influencia de suelos ricos en hierro y aluminio (Quesada et al., 2011). La presencia de *Pinnularia* con una abundancia de 13 ind/cm^2 y una porcentaje de abundancia de (31.3%) exclusivamente en SANTOYA_CL_01 (**Tabla 3.3.3-280**), sugiere sustratos estables y bien iluminados, mientras que *Spirulina* con 1.2 ind/ cm^2 y un porcentaje de abundancia de (2.89%) (**Figura 3.3.3-120**) (**Tabla 3.3.3-280**) refleja condiciones locales de mayor conductividad o materia orgánica disuelta (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008).

Desde la perspectiva de la bioindicación, la dominancia de *Eunotia* y *Pinnularia* diatomeas pennadas asociadas a aguas oligotróficas y ligeramente ácidas, confirma que el sistema lótico estudiado presenta bajas concentraciones de nutrientes y una posible influencia de materia

orgánica externa derivada de la vegetación riparia (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La escasa presencia de *Spirulina* (Cyanobacteria) en SANTOYA_CL_01 podría indicar microhábitats con deposición de sedimentos finos o aportes puntuales de nutrientes, aunque su baja abundancia menor a 3% del total, descarta un estado eutrófico. La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la composición de las diatomeas, cuyas preferencias ecológicas de *Eunotia* en aguas ácidas, reflejan la lixiviación de suelos ricos en hierro, comunes en altillanuras (Morales & Vis, 2007). Sin embargo, si infiere en la fata de interacción con ecosistemas leníticos, debido a la ausencia de géneros pertenecientes a estos sistemas como por ejemplo el género *Aulacoseira.*

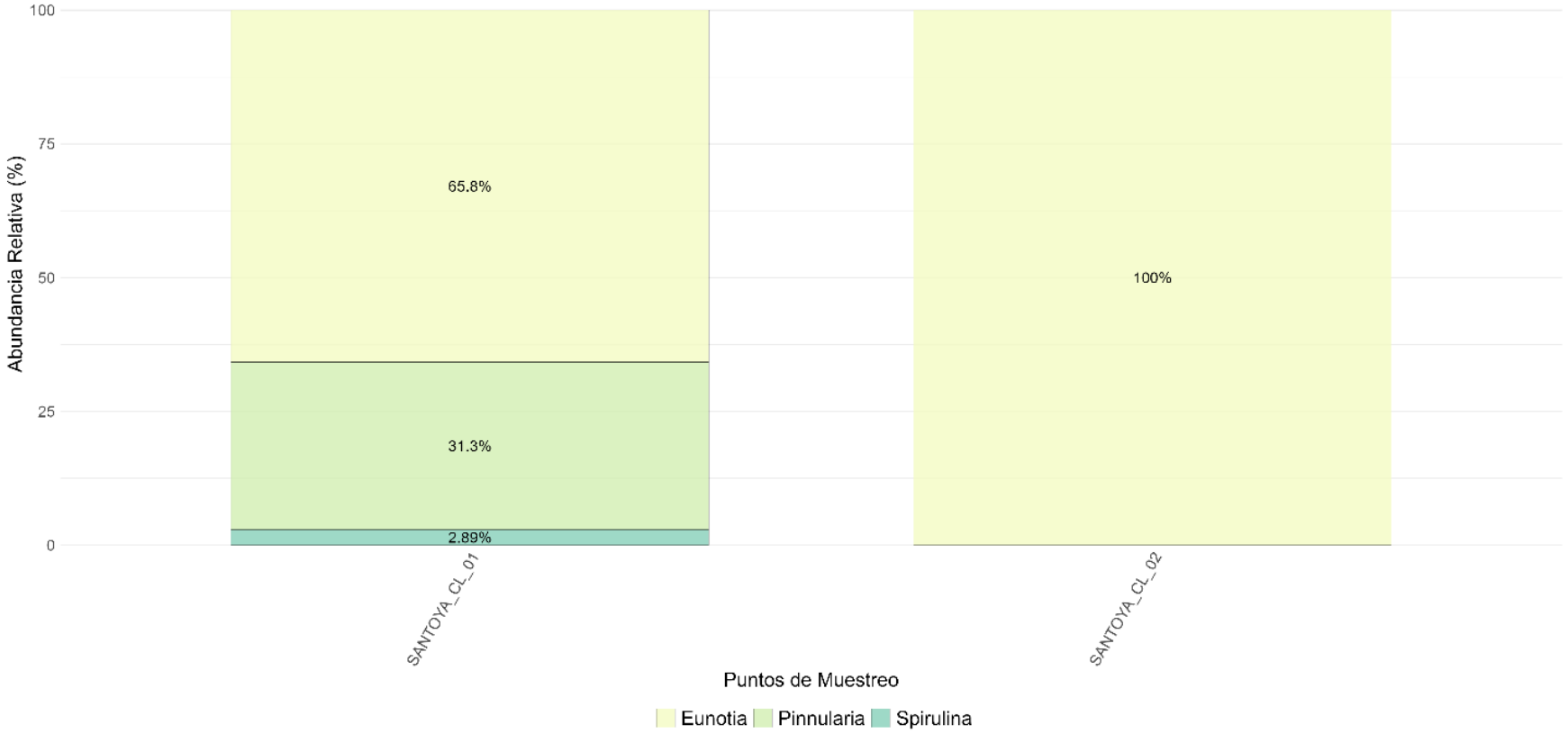


Figura 3.3.3-120 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el perifiton en la Microcuenca del Caño Santoya durante la época seca está estructurado por diatomeas adaptadas a condiciones oligotróficas y ácidas, con una clara influencia de los suelos y la vegetación terrestre circundante. La baja diversidad y la distribución desigual de abundancias entre las estaciones de muestreo reflejan la estacionalidad hidrológica y la heterogeneidad espacial del sistema lótico. Estos resultados resaltan la importancia de conservar los corredores riparios para mantener la integridad ecológica del perifiton, especialmente en regiones de altillanura donde la época seca acentúa la vulnerabilidad de los sistemas. Es importante mencionar que el ensamble arrojado para esta comunidad no son resultados robustos para tener conclusiones sobre la calidad del ecosistema.

Tabla 3.3.3-280 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					SANTOYA_CL_01	SANTOYA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	13		13
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	27,3	3,5	30,8
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina*	1,2		1,2
Gran Total					**41,5**	**3,5**	**45**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad en las estaciones SANTOYA_CL_01 y SANTOYA_CL_02 revelan condiciones ecológicas contrastantes en la Microcuenca. La estación SANTOYA_CL_01 presenta una abundancia moderada (41.5) pero una riqueza baja (tres géneros), con un índice de Shannon de 0.741, lo que indica una diversidad relativamente baja, y un índice de Simpson de 0.531, que sugiere una dominancia intermedia de especies. La uniformidad, medida por el índice de Pielou (0.674), refleja una distribución desigual pero no extrema de las especies. Por otro lado, la estación SANTOYA_CL_02 muestra valores preocupantes ya que reporta una abundancia muy baja (3.5), con un solo género (riqueza = 1), un índice de Shannon de 0 (ausencia de diversidad) y un índice de Simpson de 1 (dominancia absoluta de una especie) (**Tabla 3.3.3-281**). Estos resultados sugieren que SANTOYA_CL_02 podría estar experimentando un impacto ambiental severo, como contaminación o alteración del hábitat, que ha llevado a la casi exclusión de otras especies. En comparación, SANTOYA_CL_01, aunque con diversidad limitada, mantiene cierta estructura ecológica. Sin embargo, es importante mencionar que las conclusiones referenciadas en este análisis no cumplen con la robustes necesaria para poder inferir en conclusiones certeras.

Tabla 3.3.3-281 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
SANTOYA_CL_01	41.5	3	0.741	0.531	0.674
SANTOYA_CL_02	3.5	1	0	1	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico de Caño Santoya, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época seca en la estación SANTOYA_CL_02, presentó una comunidad notablemente limitada compuesta por 4 morfoespecies pertenecientes a un solo phylum (Arthropoda), una clase (Insecta), dos (2) órdenes (Diptera y Coleóptera), tres (3) familias (Ceratopogonidae, Dytiscidae y Elmidae) y dos (2) géneros identificados (*Alluaudomyia* y *Stegoelmis*), con una abundancia total extremadamente baja de 4 ind/m². La comunidad estuvo representada por *Alluaudomyia* sp. (Ceratopogonidae) con 1,1 ind/m², *Dytiscidae* Mf. con 1,1 ind/m², *Elmidae Mf.* con 1,1 ind/m² y *Stegoelmis* sp. con 1,1 ind/m², mostrando una distribución perfectamente equitativa en términos de abundancia pero con una riqueza específica muy reducida (**Tabla 3.3.3-282**).

Tabla 3.3.3-282 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Santoya	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						SANTOYA_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Alluaudomyia	Alluaudomyia sp.	1,1	1,1
		Coleóptera	Dytiscidae	-	Dytiscidae Mf.	1,1	1,1
			Elmidae		Elmidae Mf.	1,1	1,1
				Stegoelmis	Stegoelmis sp.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**4**	**4**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de Elmidae (familia considerada como sensible a perturbaciones en sistemas lóticos) y *Stegoelmis* sp. (género de coleóptero acuático frecuentemente asociado a aguas bien oxigenadas) podría sugerir que algunas condiciones de calidad del agua se mantienen favorables (Roldan & Ramirez, 2008) (**Figura 3.3.3-121**). Sin embargo, la abundancia extremadamente baja de todos los taxones (1,1 ind/m² cada uno) y la ausencia total de grupos EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), tradicionalmente considerados los mejores indicadores de calidad en ríos y quebradas (Domínguez & Fernández, 2009), plantea serias dudas sobre la capacidad real del sistema para mantener comunidades bentónicas diversas durante la época seca. La interacción con sistemas lénticos parece limitada, evidenciada por la ausencia de taxones típicamente lénticos, mientras que la conexión con sistemas terrestres queda sugerida por la presencia de Dytiscidae, familia que incluye especies con capacidad de dispersión aérea. La marcada pobreza de la comunidad (tanto en riqueza como en abundancia) podría atribuirse a múltiples factores: condiciones naturales extremas propias de la época seca en la altillanura (disminución crítica del caudal, aumento de temperatura del agua, posible hipoxia), efectos de perturbaciones antropogénicas, o una combinación de ambos.

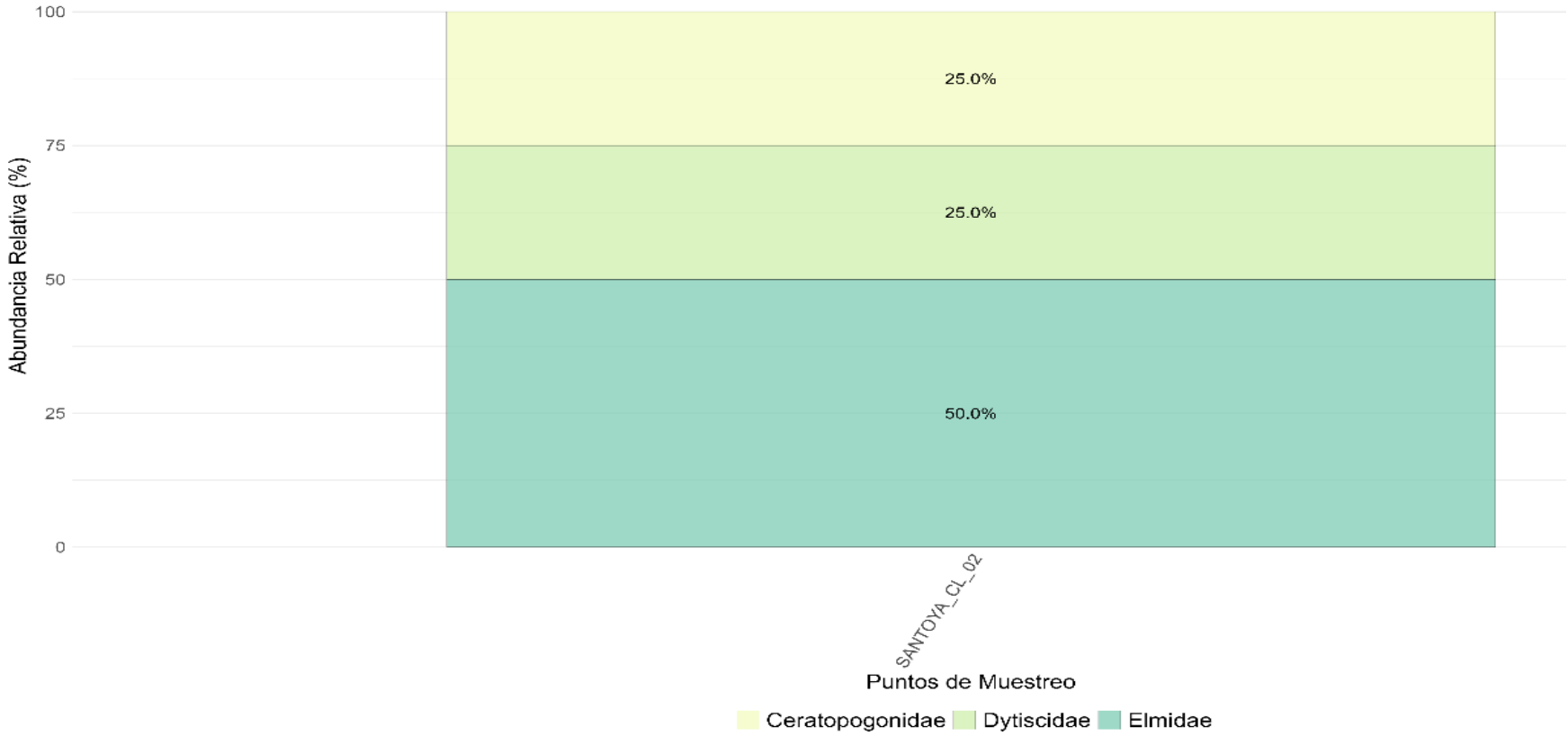


Figura 3.3.3-121 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La equitatividad observada en la distribución de abundancias podría reflejar más una condición de estrés generalizado que afecta por igual a todas las especies presentes que una situación ecológicamente equilibrada. En conclusión, el ensamble bentónico de Caño Santoya durante la época seca muestra características de un sistema ecológicamente limitado, con una comunidad extremadamente empobrecida que sugiere condiciones ambientales críticas, aunque la presencia de algunos taxones sensibles como Elmidae indica que ciertos parámetros de calidad del agua podrían mantenerse aceptables. Estos resultados destacan la necesidad de ampliar el esfuerzo de muestreo (tanto espacial como temporalmente) y complementar con análisis fisicoquímicos para determinar con precisión las causas de esta condición, así como implementar programas de monitoreo continuo que permitan evaluar la dinámica temporal de esta comunidad acuática, particularmente en la transición a la época húmeda cuando las condiciones hidrológicas podrían favorecer una mayor diversidad biológica.

En concordancia con lo anterior, el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) aplicado a la estación SANTOYA_CL_02 en Caño Santoya arrojó un valor de 12, clasificando la calidad del agua como "Clase V - Muy crítica", lo que corresponde a "aguas fuertemente contaminadas en situación crítica" (**Tabla 3.3.3-283**). Este resultado debe interpretarse en el contexto de los hallazgos ecológicos previos que mostraron una comunidad extremadamente pobre (4 ind/m² totales) compuesta por Ceratopogonidae (*Alluaudomyia sp.*), Dytiscidae, Elmidae y *Stegoelmis sp.* La puntuación extremadamente baja del BMWP se explica principalmente por la ausencia total de familias con alta puntuación en el índice (como Ephemeroptera o Trichoptera), la presencia de Ceratopogonidae que recibe la puntuación más baja (1 punto), y la muy escasa abundancia de Elmidae (familia que normalmente recibe alta puntuación pero que aquí aparece con solo 1,1 ind/m²). La aparente contradicción entre la presencia de esta familia (considerados bioindicadores de buena calidad) y el resultado del BMWP se resuelve al considerar que el índice valora principalmente la presencia/ausencia de familias sensibles más que su abundancia relativa, y que un solo taxón sensible no puede compensar la ausencia de otros grupos indicadores y la presencia de taxones tolerantes (Alba-Tercedor, 1996).

Tabla 3.3.3-283 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Santoya época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02	V	Muy crítica	12	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta clasificación "muy crítica" coincide con la evaluación ecológica previa que señalaba una comunidad extremadamente limitada, aunque esta interpretación pude variar al descartar que se trate de condiciones naturales propias de la época seca, ya que el BMWP está diseñado precisamente para distinguir entre condiciones naturales extremas y contaminación antropogénica (Roldan G. , 2003). La presencia aislada de Elmidae y *Stegoelmis sp.* (ambos sensibles a contaminación orgánica) en mínimas abundancias sugiere que podrían estar sobreviviendo en microhábitats preservados dentro de un sistema mayoritariamente deteriorado.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la estación SANTOYA_CL_02 en el sistema lótico de Caño Santoya revelan un patrón ecológico particular que requiere interpretación cuidadosa. La comunidad presenta una riqueza de cuatro (4) morfoespecies con una abundancia total de 4.4 ind/m², mostrando un valor de Shannon de 1.386 que indicaría una diversidad moderada, acompañado de un índice de Simpson de 0.25 (baja dominancia) y un índice de Pielou de 1 (equitatividad perfecta) (**Tabla 3.3.3-284**). Sin embargo, estos resultados aparentemente positivos deben contextualizarse considerando la abundancia absoluta extremadamente baja del sistema.

La aparente buena diversidad (Shannon = 1.386) y equitatividad perfecta (Pielou = 1) resultan de la distribución uniforme de las cuatro (4) morfoespecies, cada una representada por exactamente 1.1 ind/m². Esta situación idealizada matemáticamente (distribución perfectamente equitativa) contrasta con la realidad ecológica de una comunidad con densidad total crítica (4.4 ind/m²), donde la probabilidad de interacciones biológicas significativas es mínima. El valor de Simpson (0.25), que indica baja dominancia, confirma esta distribución equilibrada pero no refleja la precariedad numérica de la comunidad.

Tabla 3.3.3-284 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02	4.4	4	1.386	0.25	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad en SANTOYA_CL_02 muestra características de un sistema bajo estrés severo donde, aunque se mantienen múltiples morfoespecies (posiblemente en microhábitats residuales), sus poblaciones son numéricamente insostenibles. La equitatividad perfecta probablemente refleja una condición artificial creada por el efecto de umbral en conteos de muy baja abundancia más que un equilibrio ecológico real. Esta situación es típica de ecosistemas acuáticos en fase de deterioro avanzado o en recuperación incipiente (Rosenberg & Resh, 1993).

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos asociados a macrófitas en el sistema léntico del Caño Santoya, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época seca, reveló una comunidad compuesta por tres (3) morfoespecies pertenecientes a dos (2) phyllum: *Annelida* y *Arthropoda*. Estas se distribuyen en dos (2) clases (Clitellata e Insecta), tres (3) órdenes (Tubificida, Lumbriculida y Coleóptera), tres (3) familias (Naididae, Lumbriculidae y Hydrophilidae) y un género correspondiente a *Tropisternus*. La abundancia total registrada en la Microcuenca fue de 7 individuos/m², distribuidos entre las estaciones SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02, siendo el punto 01 dominado por *Naididae* Mf. con 3,3 individuos/m², mientras que la estación 02 presentó *Lumbriculidae Mf.* (2,2 individuos/m²) y *Tropisternus* sp. (1,1 individuos/m²) (**Tabla 3.3.3-285**).

Tabla 3.3.3-285 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						SANTOYA_CLE_01	SANTOYA_CLE_02	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae* Mf.	3,3		3,3
		Lumbriculida	Lumbriculidae		*Lumbriculidae* Mf.		2,2	2,2
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Hydrophilidae	Tropisternus	*Tropisternus* sp.		1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**3**	**3**	**7**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el enfoque de bioindicación, tanto los Naididae como los Lumbriculidae son considerados organismos tolerantes a condiciones de baja calidad del agua, como altos niveles de materia orgánica, bajo contenido de oxígeno disuelto y sedimentos finos, por lo que su presencia puede ser indicativa de un sistema con condiciones tróficas medias o alteradas (Roldan G. , 1992; Wetzel R. G., 2001). Estas familias cumplen un rol funcional importante como detritívoros, participando activamente en la descomposición de materia orgánica en ambientes lénticos y contribuyendo al reciclaje de nutrientes (Brinkhurst & Jamieson, 1971). Por su parte, *Tropisternus* (Hydrophilidae), un coleóptero acuático asociado a ambientes con alta cobertura vegetal sumergida y flotante, es considerado un depredador oportunista y también detritívoro, cuya presencia puede reflejar una cierta estabilidad del hábitat vegetal y disponibilidad de microhábitats (Archangelsky, 1997).

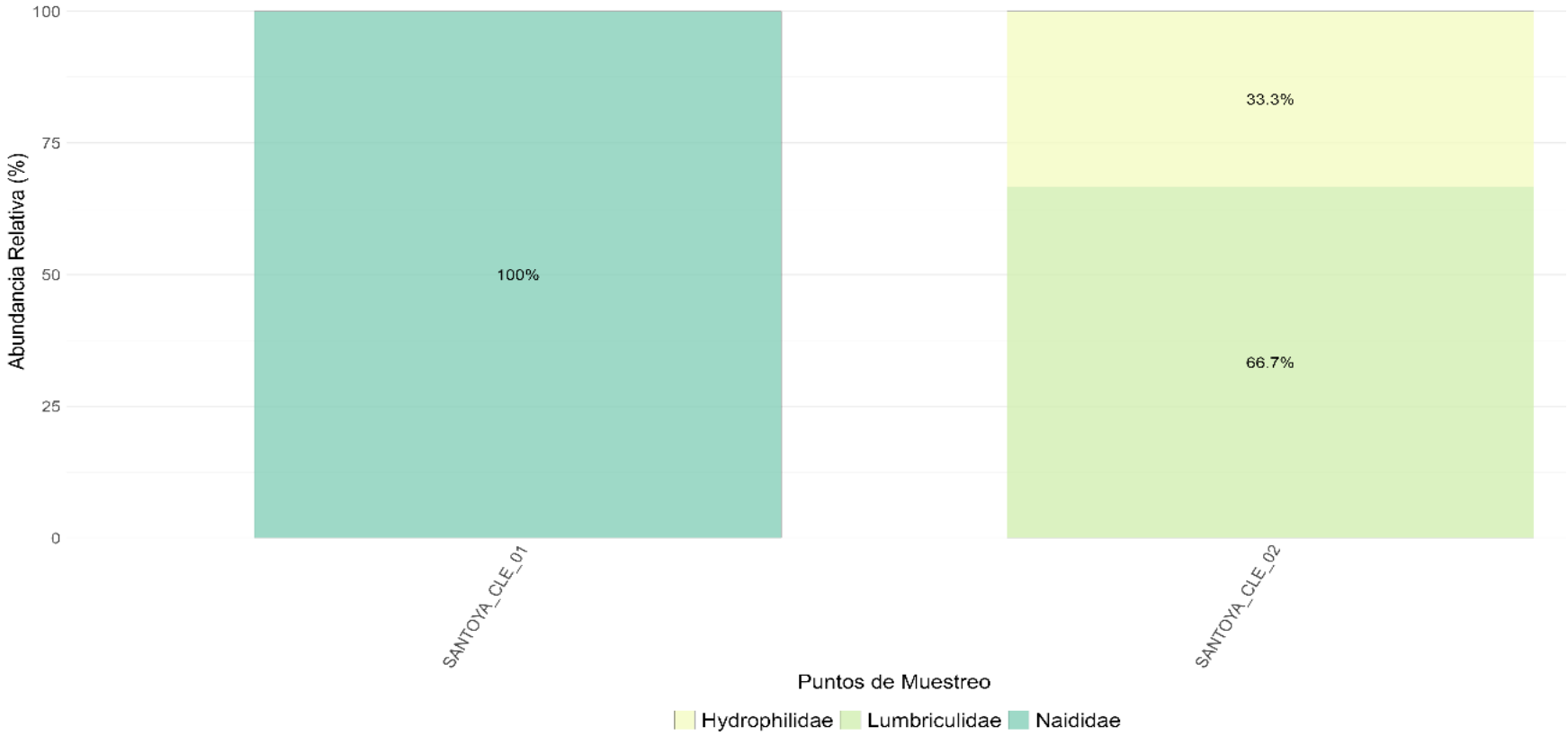


Figura 3.3.3-122 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estructura de esta comunidad parece estar fuertemente influenciada por la vegetación acuática del sistema léntico, actuando como refugio y fuente alimenticia. Las macrófitas generan una complejidad estructural que favorece la permanencia de taxones especializados en este tipo de microambientes, pero la baja riqueza y abundancia sugieren condiciones ambientales limitantes o efectos de presión antrópica, como sedimentación, actividades ganaderas cercanas o alteraciones del régimen hidrológico (Bouchard, 2004).

En cuanto a la interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres, es importante considerar que los organismos registrados, especialmente los oligoquetos (Naididae y Lumbriculidae), pueden colonizar diferentes tipos de hábitats conectados por flujos de agua estacionales. Sin embargo, su dominancia en un sistema como este indica poca conectividad funcional con hábitats de mayor calidad ecológica, y más bien una dinámica interna restringida al aporte de materia orgánica de origen terrestre (hojarasca, residuos ganaderos, etc.) y macrófitas acuáticas.

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos asociado a macrófitas en el Caño Santoya durante la época seca representa una comunidad simplificada y dominada por taxones tolerantes, lo que sugiere condiciones ambientales subóptimas y posiblemente influenciadas por factores antrópicos locales. Esta composición refleja tanto la baja heterogeneidad ecológica del hábitat como la importancia funcional de los detritívoros y coleópteros acuáticos en estos ambientes lénticos marginales de la altillanura.

En relación con el análisis del índice BMWP/Col, este arrojo solo resultados para SANTOYA_CLE_02, en el cual solo se logró evaluar a la familia Hydrophiliidae, puesto que las otras no se encuentran reportadas para la evaluación de este indicador. Debido a esto, el índice arrojo valores bajos (3) asociados con calidad del agua Muy Crítica, la cual tiene un significado de aguas fuertemente contaminadas.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para el sistema léntico del Caño Santoya, ubicado en la altillanura y monitoreado en época seca, muestra limitaciones significativas para una evaluación ecológica robusta del ensamblaje comunitario de macroinvertebrados bentónicos asociados a macrófitas. En la estación SANTOYA_CLE_01, con una riqueza de una sola morfoespecie y una abundancia de 3,3 individuos/m², no es posible aplicar adecuadamente los índices de diversidad, dado que estos requieren al menos dos categorías para calcular la heterogeneidad estructural de una comunidad. La diversidad de Shannon y el índice de equitatividad de Pielou se tornan inoperables en estos casos, y aunque el índice de Simpson presenta un valor de 1, este resultado no refleja diversidad sino dominancia absoluta de una sola categoría, por lo cual no es interpretable desde el enfoque ecológico de comunidades (Magurran A. E., 2004).

Tabla 3.3.3-286 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CLE_01	3.3	1	-	-	-
	SANTOYA_CLE_02	3.3	2	0.637	0.556	0.919

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Por otro lado, la estación SANTOYA_CLE_02, con dos (2) morfoespecies y una abundancia total también de 3,3 individuos/m², permite un análisis limitado, pero más representativo. Los valores de Shannon (0.637) y Simpson (0.556) indican una diversidad baja, aunque no nula, y la equitatividad de Pielou (0.919) sugiere que las dos especies presentes tienen abundancias relativamente equilibradas (**Tabla 3.3.3-286**).

En términos generales, estos valores refuerzan la conclusión de que la comunidad de macroinvertebrados en el Caño Santoya es muy pobre tanto en riqueza como en diversidad funcional, y que no constituye una comunidad ecológica desarrollada en el sentido estricto del concepto, sino más bien un conjunto de taxones tolerantes que persisten bajo condiciones ambientales posiblemente degradadas o marginales. La baja riqueza y abundancia limitan no solo el análisis cuantitativo de la diversidad, sino también la interpretación funcional de los procesos ecológicos, afectando negativamente la resiliencia del sistema y su capacidad de prestar servicios ecosistémicos relacionados con el control biológico, la filtración de materia orgánica y el soporte trófico para otros organismos acuáticos.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

La caracterización de las macrófitas acuáticas en cuatro puntos de muestreo de la Microcuenca de caño Santoya en temporada seca, no dio resultados positivos, ya que no se encontraron ejemplares de esta comunidad hidrobiológica, lo que podría estar relacionado en los puntos lóticos con condiciones físicas desfavorables como una mayor velocidad de corriente o una menor cobertura vegetal ribereña, lo cual limita el establecimiento de macrófitas (Bove et al., 2018[56]) y además a factores locales como profundidad, disponibilidad de luz, y actividades antrópicas cercanas.

➢ *Época lluvias*

✓ *Fitoplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico del sistema léntico de Caño Santoya, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época de lluvias, presenta una comunidad notablemente limitada en términos de riqueza y abundancia. En las estaciones SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02 se registraron únicamente tres morfoespecies *Aulacoseira* (0.095 ind/mL), *Eunotia* (0.004 ind/mL) y *Pinnularia* (0.004 ind/mL), con una abundancia total en la Microcuenca de apenas 0.103 ind/mL. La estación SANTOYA_CLE_01 mostró mayor productividad (0.075 ind/mL) y se reportaron dos géneros *Aulacoseira* con un porcentaje de abundancia (94.7%) y *Pinnuaria* con un porcentaje de abundancia del 5.33% que SANTOYA_CLE_02 (0.028 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-287**), siendo *Aulacoseira* el género dominante en ambas (92.2% de la abundancia total) y reportando un porcentaje de abundancia para el punto de (85.7%) y *Eunotia* con un porcentaje del (14.3%)

[56] Bove, C. P., Paz, C. P., & Ferreira, L. V. (2018). Aquatic macrophytes in Amazonian floodplain lakes: Environmental drivers and community structure. Hydrobiologia, 805(1), 123–139. https://doi.org/10.1007/s10750-017-3291-1

(**Figura 3.3.3-123**). Esta composición extremadamente simplificada, con solo diatomeas representadas (Heterokontophyta-Bacillariophyceae y Coscinodiscophyceae), sugiere condiciones ambientales restrictivas para el desarrollo fitoplanctónico durante el periodo de estudio.

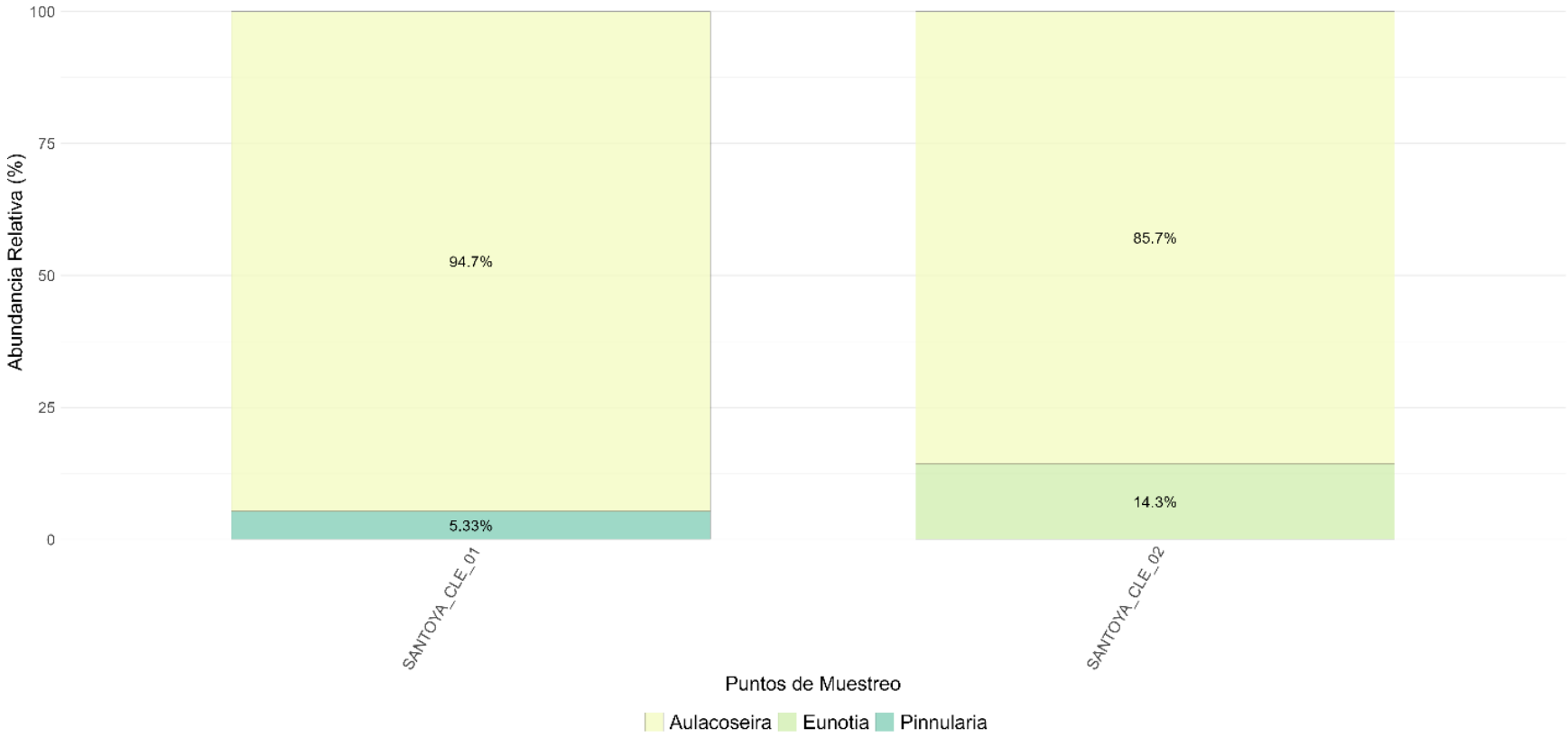


Figura 3.3.3-123 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la predominancia de *Aulacoseira*, un género típico de aguas turbulentas y ricas en sílice (Reynolds, 2006), resulta inusual en un sistema léntico, lo que podría indicar que la influencia significativa de aguas de escorrentía cargadas de sedimentos durante las lluvias o la resuspensión intensa de fondos por acción del viento. La presencia de *Eunotia* (indicadora de aguas ácidas y bajos nutrientes según (Round et al., 1990) y *Pinnularia* (asociada a sustratos bentónicos) en microhábitats específicos sugiere una heterogeneidad ambiental. La completa ausencia de clorofitas, cianobacterias y otros grupos fitoplanctónicos típicos de sistemas lénticos tropicales, muestra condiciones limitantes severas, posiblemente relacionadas con bajas concentraciones de fósforo disponible o alta turbidez persistente.

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres parece estar dominada por aportes de sedimentos desde la Microcuenca, como lo evidencia la predominancia de diatomeas céntricas (*Aulacoseira*) típicamente alóctonas. La ausencia de especies indicadoras de conexión con humedales adyacentes con ejemplares como desmidios o de origen terrestre con especies como cianobacterias del suelo, sugiere una limitada integración ecológica horizontal durante el periodo de muestreo. Esta condición contrasta con lo esperado en épocas lluviosas, cuando normalmente aumenta la conectividad entre hábitats acuáticos (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013). La baja abundancia de todos los géneros con abundancia menores a (0.1 ind/mL) podría explicarse por la dilución por altos caudales, la limitación por luz debido a turbidez extrema o el lavado continuo del fitoplancton desde el sistema léntico hacia cauces principales.

Ecológicamente, la Microcuenca de Caño Santoya recibe una calificación pobre en lo que respecta a su comunidad fitoplanctónica. Esta evaluación se basa en la baja riqueza específica, la baja densidad, y la ausencia completa de grupos funcionales clave. La condición observada podría representar un estado transitorio durante eventos lluviosos extremos o en el escenario más preocupante, señalar un deterioro avanzado de la base trófica acuática.

Tabla 3.3.3-287 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Santoya época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					SANTOYA_CLE_01	SANTOYA_CLE_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*		0,004	0,004
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,004		0,004
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,071	0,024	0,095
Gran Total					0,075	0,028	0,103

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en las estaciones SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02 revelan una comunidad fitoplanctónica críticamente limitada en el sistema léntico de la Microcuenca del Caño Santoya durante la época de lluvias. Ambas estaciones presentan valores excepcionalmente bajos en todos los parámetros evaluados, una riqueza mínima de solo 2 géneros en cada punto, valores de Shannon extremadamente reducidos (0.206 en SANTOYA_CLE_01 y 0.41 en

SANTOYA_CLE_02), y altos índices de Simpson (0.9 y 0.755 respectivamente) que indican una marcada dominancia de una especie sobre la otra. Los índices de Pielou (0.297 y 0.592) (**Tabla 3.3.3-288**) confirman una distribución muy desigual de individuos entre las especies presentes, siendo especialmente notable en SANTOYA_CLE_01 donde la equitatividad es mínima.

Estas condiciones se ven agravadas por las bajas abundancias totales registradas (0.075 ind/mL y 0.028 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-288**), valores reportados que son más bajos que lo esperado incluso en sistemas oligotróficos bien conservados.

La evaluación ecológica integrada de la Microcuenca, considerando ambos puntos de muestreo, resulta profundamente preocupante. Los patrones observados (diversidad mínima, dominancia extrema y abundancias críticamente bajas) son característicos de sistemas acuáticos bajo estrés ambiental, ya sea por limitaciones nutricionales extremas, condiciones físico-químicas incompatibles con el desarrollo algal, o perturbaciones antropogénicas agudas. La época de lluvias, que normalmente estimula la productividad en sistemas lénticos tropicales, parece no haber generado el pulso de nutrientes esperado, lo que podría sugerir problemas de conectividad con áreas fuente o procesos de dilución extrema. En conclusión, la calificación ecológica global para la Microcuenca es pobre a muy pobre y la persistencia de este estado comprometería gravemente la base trófica del ecosistema acuático en su conjunto. Es importante mencionar que de acuerdo a este análisis no se puede concluir con certeza debido a que los datos totales de abundancia y riqueza no son robustos.

Tabla 3.3.3-288 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Santoya época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
SANTOYA_CLE_01	0.075	2	0.206	0.9	0.297
SANTOYA_CLE_02	0.028	2	0.41	0.755	0.592

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad zooplanctónica en el sistema léntico de la Microcuenca Caño Santoya, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época de lluvias, revela una situación ecológica crítica en las estaciones SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02. La abundancia total registrada en la Microcuenca fue de apenas 0.0073 ind/mL, distribuida en solo dos morfoespecies de protozoos testados *Euglypha* (0.0036 ind/mL) presente exclusivamente en SANTOYA_CLE_01 y *Trinema* (0.0037 ind/mL) únicamente en SANTOYA_CLE_02 (**Tabla 3.3.3-289**). Esta densidad zooplanctónica es aproximadamente 100 veces menor que los valores mínimos reportados para sistemas lénticos tropicales funcionales (Pace & Orcutt, 1981), lo que indica un colapso casi total de este componente ecológico fundamental.

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia exclusiva de protozoos testados (Cercozoa: Euglyphida), organismos característicos de ambientes con alta carga orgánica particulada

(Foissner W. , 1999), sugiere un sistema dominado por procesos de descomposición más que por producción primaria. La completa ausencia de rotíferos, cladóceros y copépodos, grupos zooplanctónicos clave en sistemas lénticos saludables (Wallace R. L. et al., 2016) evidencia una ruptura grave en la red trófica acuática. La distribución complementaria de las dos morfoespecies encontradas (*Euglypha* en una estación, *Trinema* en otra) podría indicar microhábitats diferenciados, pero la baja abundancia impide hacer inferencias ecológicas robustas.

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres parece ser limitada. La ausencia de especies indicadoras de conectividad hidrológica (como larvas de crustáceos típicamente transportadas por flujos de agua) sugiere un aislamiento preocupante del cuerpo de agua. La época de lluvias, que normalmente estimula el intercambio biológico entre hábitats acuáticos en la altillanura (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013), no parece haber generado esta conectividad esencial. La presencia de protozoos bacterívoros (*Euglypha*, *Trinema*) en lugar de consumidores de fitoplancton refleja una base trófica alterada, posiblemente dominada por detritos terrestres más que por producción algal autóctona.

La calificación ecológica global para la Microcuenca de Caño Santoya, considerando su comunidad zooplanctónica, es muy pobre (crítica). Esto es debido posiblemente a la baja densidad menor a (0.01 ind/mL), la baja riqueza con solo 2 géneros en toda la Microcuenca, y la ausencia completa de grupos funcionales clave. La condición actual sugiere un ecosistema acuático al borde del colapso funcional, incapaz de sostener poblaciones de consumidores secundarios.

Tabla 3.3.3-289 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Santoya época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					SANTOYA_CLE_01	SANTOYA_CLE_02	
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0036		0,0036
			Trinematidae	*Trinema*		0,0037	0,0037
Gran Total					0,0036	0,0037	0,0073

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En

primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

- ✓ *Perifíton*

  - Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en el sistema lótico de la Microcuenca del Caño Santoya, monitoreado durante la época de lluvias en la altillanura, revela una estructura comunitaria moderadamente diversa entre las estaciones SANTOYA_CL_01 y SANTOYA_CL_02, con una abundancia total en la Microcuenca de 111.1 ind/cm². La estación SANTOYA_CL_02 presentó mayor riqueza (5 géneros y abundancia total de 74 ind/cm²) comparada con SANTOYA_CL_01 (37.1 ind/cm², 3 géneros), siendo *Closterium* (Charophyta) el taxón dominante en toda la Microcuenca (47.3 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-290**). La composición taxonómica incluye representantes de tres divisiones Heterokontophyta-Bacillariophyceae (diatomeas), Charophyta (algas verdes conjugadas) y Euglenophyta, mostrando una estructura trófica básica pero funcional.

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad sugiere condiciones mesotróficas con influencia orgánica moderada. La predominancia de *Closterium* con una abundancia y un porcentaje de abundancia respectivo para los puntos SANTOYA_CL_01 y SANTOYA_CL_02 de (16.6 Ind/cm^2 y 44.7%); (30.7 Ind/cm^2 y 41.5%) y otros desmidios como *Cosmarium* (20.9 ind/cm² y un porcentaje de abundancia 28.2%) y *Euastrum* (9.8 ind/cm² y 13.2%) ambos reportados únicamente en la estación SANTOYA_CL_02, indica aguas pobres en nutrientes inorgánicos, pero con posible aporte de materia orgánica disuelta (Coesel & Meesters, 2007). La presencia de *Lepocinclis* (Euglenophyta: 11.5 ind/cm² y 31%) exclusivamente en SANTOYA_CL_01 señala un microhábitat con mayor influencia orgánica (Whitton, 2012), mientras que la distribución diferencial de diatomeas *Pinnularia* 13.2 ind/cm² en ambas estaciones; *Tabellaria* (8.4 ind/cm² y 11.4%) (**Tabla 3.3.3-290**) (**Figura 3.3.3-124**) solo en SANTOYA_CL_02 refleja variaciones en las condiciones de sustrato y turbidez (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La ausencia de cianobacterias filamentosas y diatomeas contaminantes como ejemplares del género *Nitzschia* spp sugiere que no existen problemas de eutrofización.

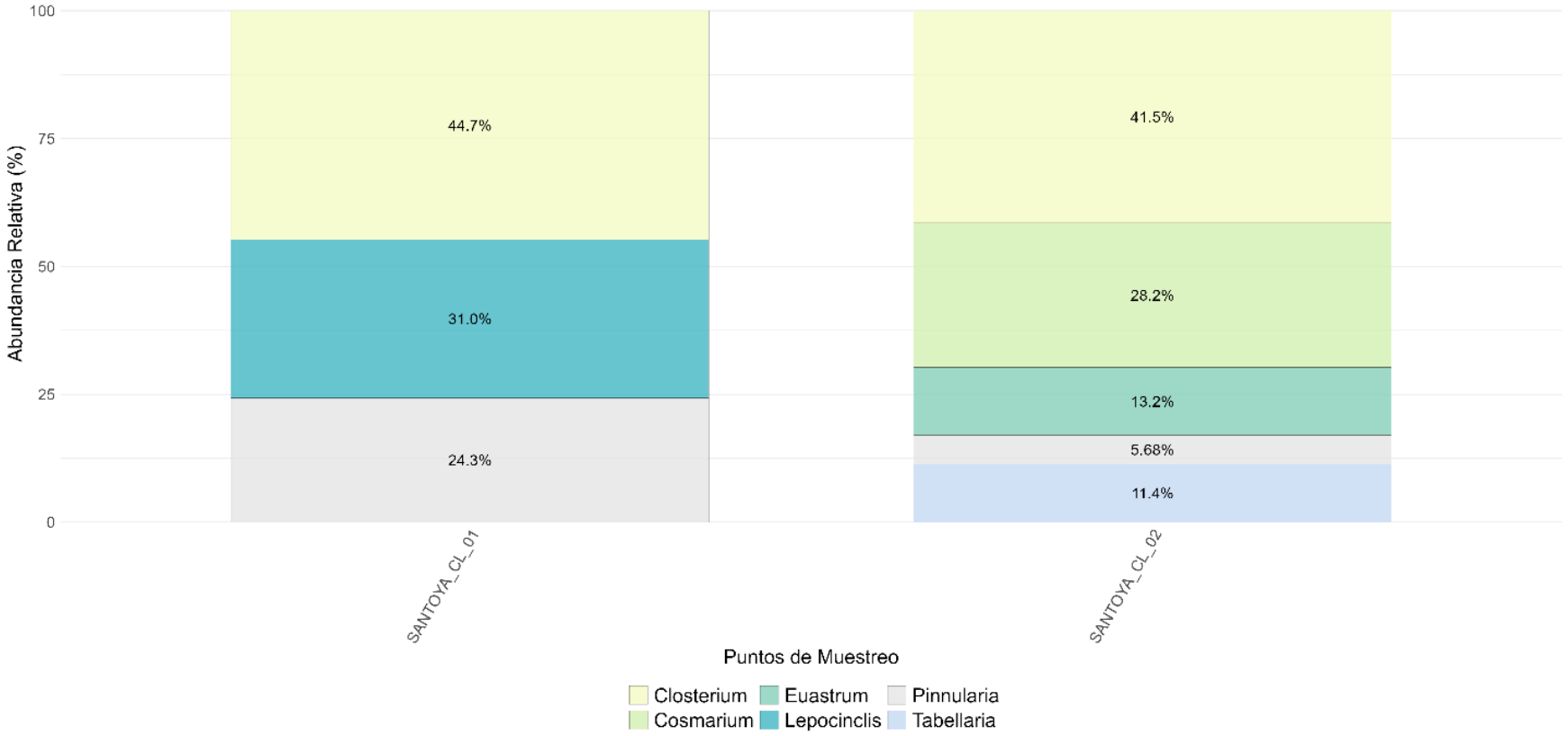


Figura 3.3.3-124 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres muestra patrones interesantes. La mayor abundancia y diversidad en SANTOYA_CL_02 podría relacionarse con el mayor aporte de nutrientes desde áreas terrestres adyacentes o el mejor desarrollo de macrófitas que proveen sustrato para el perifiton. La presencia exclusiva de *Tabellaria* (diatomea típica de aguas ácidas) en esta estación sugiere influencia de escorrentía desde suelos lateríticos característicos de la altillanura (Round et al., 1990). La distribución complementaria de *Lepocinclis* (SANTOYA_CL_01) y desmidios (SANTOYA_CL_02) indica microambientes diferenciados posiblemente asociados a gradientes de sombra, flujo o calidad orgánica del agua.

Ecológicamente, la Microcuenca recibe una calificación moderada a buena. Esta puede estar atribuido a la presencia de especies indicadoras de buena calidad (desmidios), la ausencia de taxa contaminantes y la estructura equilibrada de la comunidad (ningún género supera el 50% de dominancia).

Tabla 3.3.3-290 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Santoya época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					SANTOYA_CL_01	SANTOYA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	9	4,2	13,2
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		8,4	8,4
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		20,9	20,9
				Euastrum		9,8	9,8
			Closteriaceae	*Closterium*	16,6	30,7	47,3
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Lepocinclis*	11,5		11,5
Gran Total					37,1	74	111,1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en las estaciones SANTOYA_CL_01 y SANTOYA_CL_02 revelan una comunidad perifítica con características ecológicas contrastantes entre ambos puntos de muestreo para la Microcuenca. La estación SANTOYA_CL_02 presenta valores superiores en todos los parámetros evaluados, como mayor abundancia (74 ind/cm² frente a 37.1 ind/cm²), mayor riqueza (5 especies vs 3) y mejores índices de diversidad (Shannon = 1.395 comparado con 1.205), indicando un ambiente más favorable para el desarrollo del perifiton. Los valores de Simpson (0.287 en SANTOYA_CL_02 y 0.337 en SANTOYA_CL_01) reflejan una dominancia moderada de algunas especies en ambas estaciones, aunque más acentuada en SANTOYA_CL_01, donde el índice de Pielou (1) sugiere una distribución perfecta en todos los ejemplares reportados. En contraste, SANTOYA_CL_02 muestra una equitatividad más equilibrada (Pielou = 0.867) (**Tabla 3.3.3-291**), acorde con lo esperado en comunidades acuáticas bien estructuradas.

La evaluación ecológica integrada de la Microcuenca muestra una situación intermedia, con calificación moderada. Mientras SANTOYA_CL_02 representa un ambiente con condiciones aceptables para el desarrollo del perifiton (moderada diversidad y estructura comunitaria equilibrada), SANTOYA_CL_01 evidencia limitaciones ambientales que restringen la comunidad a

menor abundancia y diversidad. Esta disparidad podría relacionarse con diferencias en la disponibilidad de sustratos adecuados, una calidad del agua con posible mayor turbidez o limitación de nutrientes en SANTOYA_CL_01 o las condiciones de flujo y sombreado.

Considerando ambos puntos, la Microcuenca muestra una capacidad moderada para sustentar comunidades perifíticas, con áreas de mejor calidad ecológica (SANTOYA_CL_02) y zonas que requieren atención (SANTOYA_CL_01).

Tabla 3.3.3-291 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Santoya época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
SANTOYA_CL_01	37.1	3	1.205	0.337	1
SANTOYA_CL_02	74	5	1.395	0.287	0.867

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico de Caño Santoya, monitoreado durante la época de lluvias en la estación SANTOYA_CL_02, presentó una comunidad compuesta por tres (3) morfoespecies pertenecientes a un (1) phylum (Arthropoda), una (1) clase, dos (2) órdenes, tres (3) familias y dos (2) géneros identificados (*Stilobezzia* y *Limnocoris*), con una abundancia total de 9 ind/m². La comunidad estuvo dominada por *Chironomidae Mf.* (5,6 ind/m²), que representó el 62,2% de la abundancia total, seguida por *Limnocoris sp.* (2,2 ind/m²) y *Stilobezzia sp.* (1,1 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-292**). Esta estructura caracterizada por baja riqueza específica y marcada dominancia de Chironomidae (grupo considerado tolerante a condiciones de estrés ambiental), sugiere un sistema con limitaciones importantes para el desarrollo de comunidades acuáticas diversas, incluso durante el período de lluvias (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 3.3.3-292 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Santoya	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						SANTOYA_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	5,6	5,6
			Ceratopogonidae	Stilobezzia	*Stilobezzia*	1,1	1,1
		Hemiptera	Naucoridae	Limnocoris	*Limnocoris*	2,2	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**9**	**9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de *Limnocoris* sp. (Naucoridae), hemíptero depredador asociado a aguas bien oxigenadas, indica que algunas zonas del sistema mantienen condiciones ambientales aceptables (Domínguez & Fernández, 2009). Sin embargo, la baja abundancia de este taxón (2,2 ind/m²) y la dominancia de Chironomidae (organismo típico de

ambientes con cierta carga orgánica) sugieren que el sistema podría estar experimentando presiones ambientales moderadas. La interacción con sistemas terrestres parece limitada, evidenciada por la ausencia de taxones típicamente asociados a interfaces tierra-agua, mientras que la conexión con sistemas lénticos queda sugerida por la presencia de *Stilobezzia* sp. (Ceratopogonidae), que puede colonizar diversos tipos de hábitats acuáticos (Merritt & Cummins, 2008) (**Figura 3.3.3-125**).

La marcada pobreza de la comunidad (solo 3 morfoespecies y 9 ind/m² totales) durante la época de lluvias, cuando normalmente se esperaría mayor diversidad y abundancia, podría atribuirse a múltiples factores: condiciones naturales restrictivas propias de la altillanura, efectos de perturbaciones antropogénicas, o una combinación de ambos. La relativa abundancia de Chironomidae (5,6 ind/m²) podría estar relacionada con la acumulación de materia orgánica fina transportada por las lluvias, mientras que la presencia aislada de *Limnocoris* sp. sugiere la existencia de microhábitats preservados con mejores condiciones de oxigenación (Domínguez & Fernández, 2009).

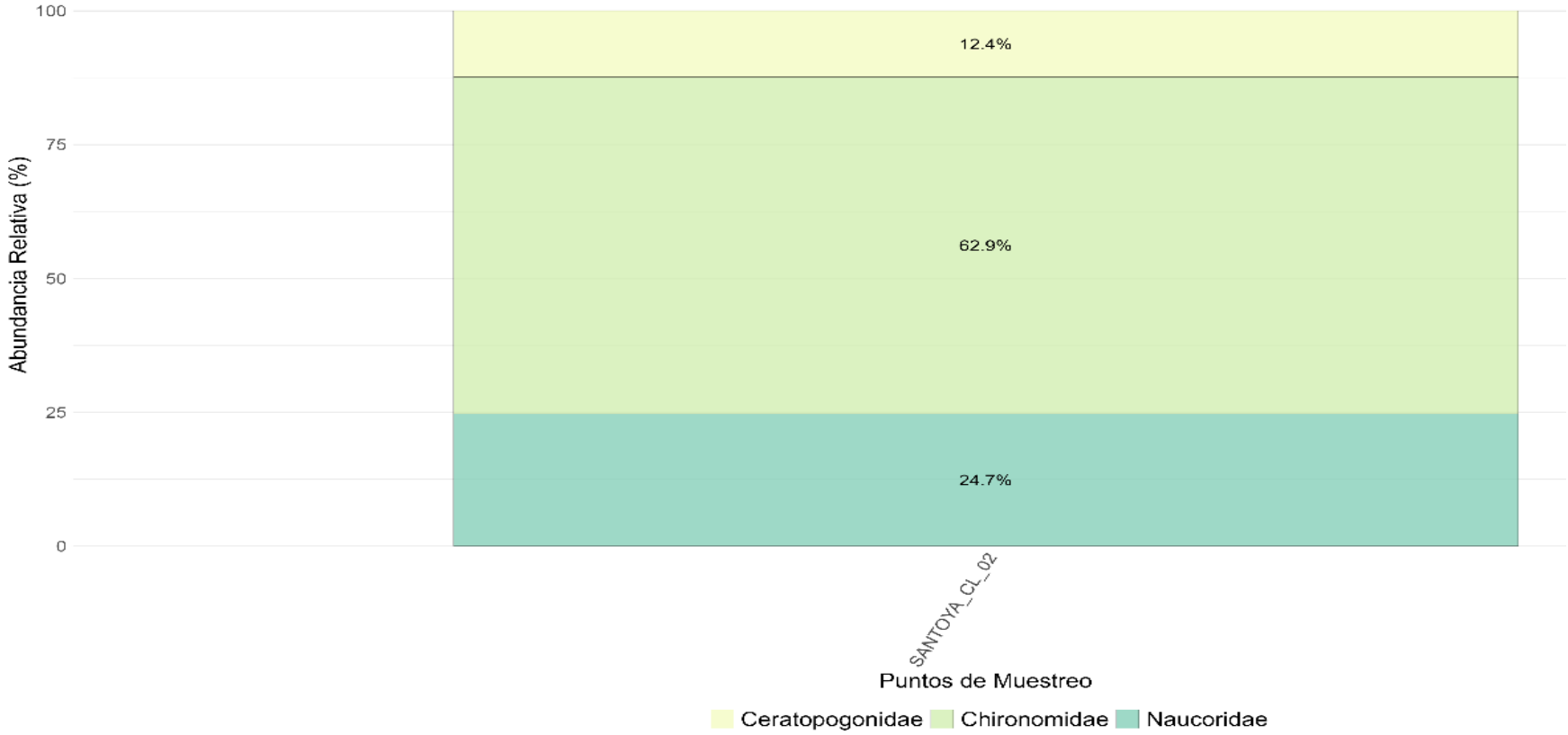


Figura 3.3.3-125 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble bentónico de Caño Santoya durante la época de lluvias muestra características de un sistema ecológicamente limitado, con una comunidad acuática simplificada dominada por organismos tolerantes, aunque con presencia marginal de algunos taxones indicadores de mejor calidad ambiental.

El índice BMWP/Col aplicado a la estación SANTOYA_CL_02 en Caño Santoya arrojó un valor crítico de 15 puntos, clasificando la calidad del agua como "Clase V - Muy crítica" (aguas fuertemente contaminadas en situación crítica). Este resultado refleja una condición ambiental severa que coincide con los hallazgos del análisis comunitario, donde se observó predominio de Chironomidae (5.6 ind/m²) junto con baja riqueza taxonómica (3 morfoespecies) (Roldán, 2003). La puntuación extremadamente baja se explica principalmente por la ausencia total de grupos sensibles (EPT) y la composición de la comunidad: Chironomidae (2 puntos), Ceratopogonidae (1 punto) y Naucoridae (6 puntos), siendo este último el único que aporta una puntuación significativa al índice (Roldan G. , 2003) (**Tabla 3.3.3-293**).

Tabla 3.3.3-293 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Santoya época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02	V	Muy crítica	15	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de *Limnocoris sp.* (Naucoridae), que recibe 6 puntos en el BMWP/Col, evitó que el valor fuera aún más bajo, confirmando su importancia como indicador de microhábitats preservados. Sin embargo, su baja abundancia relativa (2.2 ind/m² vs 5.6 ind/m² de Chironomidae) no logra compensar el impacto negativo de los grupos tolerantes que dominan la comunidad (Alba-Tercedor, 1996). Esta situación es particularmente poco común por ocurrir en época de lluvias, cuando normalmente se esperaría una mejoría en las condiciones ecológicas del sistema. La clasificación como "aguas fuertemente contaminadas" sugiere la presencia de factores de estrés persistentes, los cuales podrían estar relacionados con el aporte continuo de contaminantes desde la Microcuenca, la alteración física del hábitat acuático, la acumulación de materia orgánica en descomposición y la posible contaminación por sustancias tóxicas (IDEAM, Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente, 2019).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la estación SANTOYA_CL_02 en Caño Santoya revelan una estructura de la comunidad empobrecida, caracterizada por baja diversidad y moderada dominancia ecológica durante la época de lluvias. El índice de Shannon (H' = 0.9) indica una diversidad baja, consistente con la presencia de solo tres (3) morfoespecies en una abundancia total de 8.9 ind/m² (**Tabla 3.3.3-294**), lo que refleja condiciones ambientales restrictivas incluso en el periodo húmedo (Magurran, 2004).

El índice de Simpson (D = 0.469) muestra una dominancia moderada, donde existe un 46.9% de probabilidad de que dos organismos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie,

resultado que concuerda con la marcada predominancia de Chironomidae (5.6 ind/m²) sobre *Limnocoris sp.* (2.2 ind/m²) y *Stilobezzia sp.* (1.1 ind/m²). El valor de equitatividad de Pielou (J' = 0.819), aunque relativamente alto, debe interpretarse con cautela dado el bajo número de especies presentes (**Tabla 3.3.3-294**), siendo más indicativo de una distribución uniforme de pocos individuos entre pocas morfoespecies que de un verdadero equilibrio en la comunidad (Moreno et al., 2011).

Tabla 3.3.3-294 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Santoya época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02	8.9	3	0.9	0.469	0.819

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la teoría de comunidades, estos resultados sugieren un sistema con capacidad limitada para albergar especies diversas, condiciones ambientales que favorecen claramente a los quironómidos, presión selectiva que restringe el establecimiento de taxones más sensibles y un posible efecto de perturbaciones recientes o crónicas (Krebs, 2014).

La combinación de estos índices con los resultados del BMWP/Col (15 puntos, Clase V) revela una situación ecológica crítica donde la baja diversidad (Shannon = 0.9) coincide con mala calidad del agua, la estructura de la comunidad simple está dominada por morfoespecies tolerantes, los pocos taxones sensibles presentes (*Limnocoris sp.*) no logran mejorar significativamente la condición general del sistema.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de Caño Santoya, en las estaciones SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02, presentó una comunidad notablemente reducida compuesta por dos (2) morfoespecies pertenecientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases, dos (2) órdenes, dos (2) familias, con una abundancia total de 100 ind/m². La estación SANTOYA_CLE_02 mostró mayor riqueza (2 morfoespecies) y abundancia (80 ind/m²) que SANTOYA_CLE_01 (1 morfoespecie, 20 ind/m²), siendo Chironomidae Mf. el grupo más abundante en el sistema (50 ind/m² exclusivamente en SANTOYA_CLE_02), seguido por Glossiphoniidae Mf. (con 20 ind/m² en SANTOYA_CLE_01 y 30 ind/m² en SANTOYA_CLE_02) (**Tabla 3.3.3-295**).

Tabla 3.3.3-295 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época lluvias

Pyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Santoya		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						SANTOYA_CLE_01	SANTOYA_CLE_02	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*	20	30	50
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*		50	50
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**20**	**80**	**100**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad muestra características de un ambiente altamente perturbado, evidenciado por la dominancia exclusiva de grupos tolerantes como Glossiphoniidae (sanguijuelas) y Chironomidae, ambos considerados indicadores de condiciones de estrés ambiental y frecuentemente asociados a sistemas con elevada carga orgánica (Roldán & Ramírez, 2008). La marcada diferencia entre estaciones, donde SANTOYA_CLE_01 está dominada completamente por Glossiphoniidae (20 ind/m²) y SANTOYA_CLE_02 combina Glossiphoniidae (30 ind/m²) con Chironomidae (50 ind/m²), podría reflejar variaciones espaciales en la calidad del agua o en las características del sustrato dentro del mismo sistema (**Figura 3.3.3-126).**

La interacción con sistemas terrestres parece mínima, evidenciada por la falta de taxones típicamente asociados a interfaces tierra-agua, mientras que la conexión con sistemas lóticos es igualmente limitada, como lo sugiere la ausencia de organismos característicos de aguas corrientes (Merritt & Cummins, 2008). La estructura de la comunidad observada, con predominio absoluto de organismos tolerantes y baja riqueza específica (2 morfoespecies), podría estar influenciada por múltiples factores: acumulación significativa de materia orgánica en descomposición, condiciones de hipoxia en el fondo, presencia de contaminantes, o una combinación de estos elementos (Wantzen et al., 2008). La mayor abundancia de Chironomidae en SANTOYA_CLE_02 (50 ind/m²) en comparación con SANTOYA_CLE_01 (ausencia) podría indicar zonas con mayor aporte de materia orgánica fina o condiciones más favorables para el desarrollo de estas larvas.

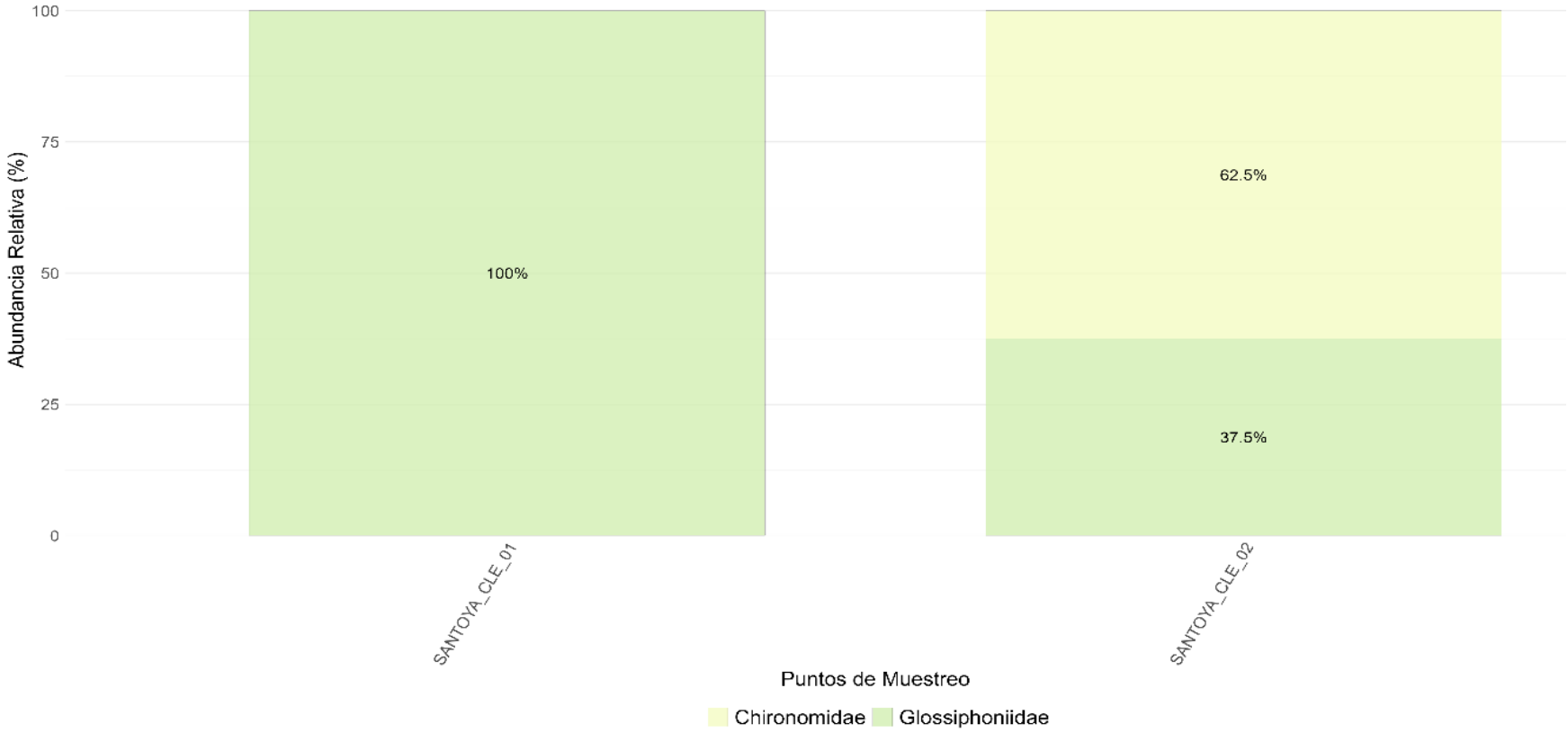


Figura 3.3.3-126 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble estudiado en Caño Santoya durante la época de lluvias muestra una comunidad acuática críticamente simplificada, dominada exclusivamente por grupos tolerantes y con ausencia total de taxones indicadores de buena calidad ambiental. Estos resultados son particularmente peculiares por ocurrir en el período húmedo, cuando normalmente se esperaría una mayor diversidad biológica, sugiriendo que el sistema enfrenta presiones ambientales. La marcada diferencia entre estaciones indica heterogeneidad espacial en las condiciones del hábitat, pero en ningún caso se alcanzan características ecológicas aceptables.

Los resultados del índice BMWP/Col en Caño Santoya durante la época de lluvias muestran valores extremadamente bajos (4 y 6 puntos) que clasifican ambas estaciones como "Clase V - Muy críticas" (aguas fuertemente contaminadas en situación crítica). Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela debido a la limitación fundamental de contar con solo dos familias identificadas en todo el sistema (Glossiphoniidae y Chironomidae), lo que reduce significativamente la capacidad de evaluación del índice (Roldán, 2003). La puntuación de 4 en SANTOYA_CLE_01 resulta de la presencia exclusiva de Glossiphoniidae, mientras que los 6 puntos en SANTOYA_CLE_02 se explican por la combinación de Glossiphoniidae y Chironomidae, valores que representan el rango mínimo posible del índice para estas condiciones de muestreo (Roldan G. , 2003) (**Tabla 3.3.3-296**).

Tabla 3.3.3-296 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Santoya época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CLE_01	V	Muy crítica	4	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	SANTOYA_CLE_02	V	Muy crítica	6	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos valores críticos, aunque técnicamente correctos en su cálculo, carecen de poder discriminativo real debido a la ausencia de taxones con puntuaciones altas o medias en el BMWP, la simplificación de la comunidad (solo dos familias presentes) y la imposibilidad de evaluar adecuadamente la calidad del agua con tan limitada información biológica (Alba-Tercedor, 1996).

La aplicación del BMWP/Col en este contexto particular presenta importantes limitaciones metodológicas debido a que no se diferencia adecuadamente entre condiciones naturalmente extremas y contaminación antropogénica, la escasez de taxones impide una evaluación representativa del sistema y los valores obtenidos (4-6) están cerca del mínimo teórico posible, perdiendo resolución analítica.

- Diversidad alfa

Los índices de diversidad alfa revelan patrones ecológicos contrastantes entre las estaciones evaluadas en Caño Santoya durante la época de lluvias. En SANTOYA_CLE_01 se registró una comunidad biológica extremadamente simplificada, con ausencia total de diversidad (Shannon no calculable) al presentar un solo taxón (Glossiphoniidae Mf. con 20 ind/m²), lo que representa un caso característico de sistemas bajo severo estrés ambiental (Magurran, 2004)

(**Tabla 3.3.3-297**). Esta condición de comunidad singular refleja un ecosistema con capacidad mínima para sostener interacciones biológicas, donde factores limitantes como hipoxia extrema, contaminación específica o aislamiento ecológico podrían estar impidiendo el establecimiento de otras especies (Krebs, 2014).

Tabla 3.3.3-297 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Santoya época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CLE_01	20	1	-	-	-
	SANTOYA_CLE_02	80	2	0.637	0.556	0.919

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estación SANTOYA_CLE_02 mostró una diversidad baja (Shannon = 0.637) con dos morfoespecies (Glossiphoniidae Mf. = 30 ind/m² y Chironomidae Mf. = 50 ind/m²), donde el índice de Simpson (0.556) indica una dominancia moderada del grupo Chironomidae sobre Glossiphoniidae. El valor de Pielou (0.919), cercano a 1, sugiere una distribución relativamente equitativa de las abundancias entre las dos especies presentes, aunque este resultado debe interpretarse con precaución dado el mínimo número de taxones involucrados (Moreno et al., 2011) (**Tabla 3.3.3-297**). Esta aparente equitatividad en realidad enmascara una comunidad críticamente pobre donde la "diversidad" se reduce a la coexistencia de dos taxones tolerantes, las interacciones ecológicas posibles son mínimas y la estructura trófica es extremadamente simple.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y estructura de la comunidad

Con base en los resultados obtenidos en el monitoreo de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Santoya durante la temporada de lluvias, se evidenció una baja riqueza de morfoespecies, con un total de tres registradas para toda la Microcuenca, distribuidas únicamente en los puntos SANTOYA_CL_01 (lótico), SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02 (lénticos). La división Tracheophyta fue la única representada, con especies pertenecientes a las clases Polypodiidae y Magnoliidae, lo cual refleja la dominancia de plantas vasculares con diferentes adaptaciones ecológicas a los cuerpos de agua de la altillanura.

En términos taxonómicos, la clase Magnoliidae fue dominante, con representantes de las órdenes Poales y Ericales, siendo Cyperaceae la familia más abundante en cobertura, acorde con su alta representatividad en humedales de sabana (Irgang, 1996).

En el punto lótico SANTOYA_CL_01 se registró la mayor diversidad y cobertura total (6%), con tres morfoespecies: *Adiantum* sp. (Pteridaceae), *Scleria* sp. (Cyperaceae) y *Pouteria* sp. (Sapotaceae), con abundancias relativas del 11,17%, 55,5% y 33,33% respectivamente. Estas especies representan diferentes hábitos de crecimiento: *Adiantum* sp. como helecho ribereño, *Scleria* sp. como ciperácea típica de zonas húmedas y *Pouteria* sp. como especie arbórea o

arbustiva adaptada a suelos encharcables, evidenciando una complejidad estructural asociada a la heterogeneidad del hábitat lótico (Esteves F. A., 2011) (**Tabla 3.3.3-298**).

En contraste, en el punto SANTOYA_CL_02 no se encontraron morfoespecies, lo que podría estar relacionado con condiciones físicas desfavorables como una mayor velocidad de corriente o una menor cobertura vegetal ribereña, lo cual limita el establecimiento de macrófitas (Bove, 2018). En los sistemas lénticos, se identificó una morfoespecie en SANTOYA_CLE_01 y dos en SANTOYA_CLE_02, aunque la cobertura registrada fue baja (1% y 2% respectivamente) (**Tabla 3.3.3-298**). Esta escasa representación en ambientes lénticos podría atribuirse a factores locales como profundidad, disponibilidad de luz, y actividades antrópicas cercanas, aunque típicamente los sistemas lentos albergan mayor diversidad de macrófitas debido a sus condiciones estables (Chambers, 2008).

Tabla 3.3.3-298 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Santoya época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Santoya				
				Punto De Muestreo	SANTOYA_CL_01		SANTOYA_CL_02	SANTOYA_CLE_01	SANTOYA_CLE_02
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Adiantum* sp.	0,67	11,17	No se encontraron morfoespecies	No se encontraron morfoespecies	No se encontraron morfoespecies
	Magnoliidae	Poales	Cyperaceae	*Scleria* sp.	3,33	55,50			
		Ericales	Sapotaceae	*Pouteria* sp.	2	33,33			
Cobertura Total general					**6**	**100**	**0**	**1**	**2**
Morfoespecies por Punto					**3**				
Morfoespecies por Microcuenca					**3**				

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En general, los resultados indican una baja diversidad florística, pero con diferenciación clara entre hábitats lóticos y lénticos. El punto SANTOYA_CL_01 destaca como un sitio clave para la conservación de macrófitas en la Microcuenca, probablemente asociado a una mayor complejidad estructural y conectividad ecológica. Este patrón es coherente con lo reportado para otros sistemas acuáticos de la altillanura, donde los pulsos hidrológicos, la acidez del suelo y la variabilidad del régimen hídrico limitan la colonización por especies hidrófilas (IGAC, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta., 2013).

- Diversidad Alfa

Los resultados de los índices de diversidad obtenidos para el punto de muestreo SANTOYA_CL_01 en la Microcuenca del caño Santoya indican una comunidad de macrófitas acuáticas con una riqueza de 3 morfoespecies y una abundancia total de 6 individuos. El índice de Shannon-Wiener (H’ = 0,937) sugiere una diversidad baja a moderada, indicando que, aunque hay pocas especies, estas presentan una distribución relativamente balanceada en términos de abundancia (Magurran A. E., 2004). Este resultado se complementa con un índice de equitatividad de Pielou (J = 0,853), el cual muestra una alta equidad en la distribución de los individuos entre las especies presentes, es decir, no hay una dominancia marcada. El índice de Simpson (D = 0,432), por su parte, refuerza esta interpretación, revelando una comunidad donde la probabilidad de que dos individuos

seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie es baja, lo que indica diversidad funcional en el hábitat (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001) (**Tabla 3.3.3-299**).

No obstante, los índices de diversidad no pudieron calcularse para los puntos SANTOYA_CL_02, SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02 debido a la ausencia total de ejemplares en campo. Esta limitación metodológica imposibilita realizar inferencias concluyentes sobre la diversidad de macrófitas a nivel de Microcuenca, ya que la caracterización se basa únicamente en un punto de muestreo. La falta de registros en los otros sitios puede atribuirse a factores como condiciones hidromorfológicas inadecuadas, perturbaciones antrópicas o escasa disponibilidad de microhábitats adecuados para el establecimiento de macrófitas, especialmente en sistemas lóticos de sabana con pulsos de inundación y suelos de baja fertilidad, típicos de la altillanura (Junk W. J., 2011). Este contexto destaca la importancia de realizar monitoreos multitemporales y más amplios espacialmente para comprender con mayor precisión la estructura y funcionalidad de estas comunidades.

Tabla 3.3.3-299 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Santoya época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
SANTOYA_CL_01	6	3	0.937	0.432	0.853

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

3.3.3.2.20 Microcuenca caño Venturosa

La Laguna Venturosa, ubicada en el municipio de Puerto López, se localiza dentro de la vasta llanura de inundación característica de la Orinoquia, región reconocida por su alta biodiversidad y complejos sistemas hidrológicos (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). Esta laguna forma parte de la Microcuenca del caño Venturosa y constituye un ecosistema léntico de gran importancia ecológica, al actuar como refugio para diversas comunidades hidrobiológicas y servir de amortiguador hídrico durante los períodos de creciente. El monitoreo de comunidades hidrobiológicas se llevó a cabo en tres puntos de muestreo, todos ubicados dentro del cuerpo lagunar, por lo que se enfocó exclusivamente en ambientes lénticos, sin incluir puntos de caracterización lóticos en el caño o sus afluentes. Las condiciones fisiográficas de la zona, marcadas por su baja pendiente, suelos mal drenados y una estacionalidad hídrica pronunciada, influyen directamente en la dinámica ecológica del sistema, generando hábitats variados que favorecen la diversidad biológica (Rodríguez N. F., 2019).

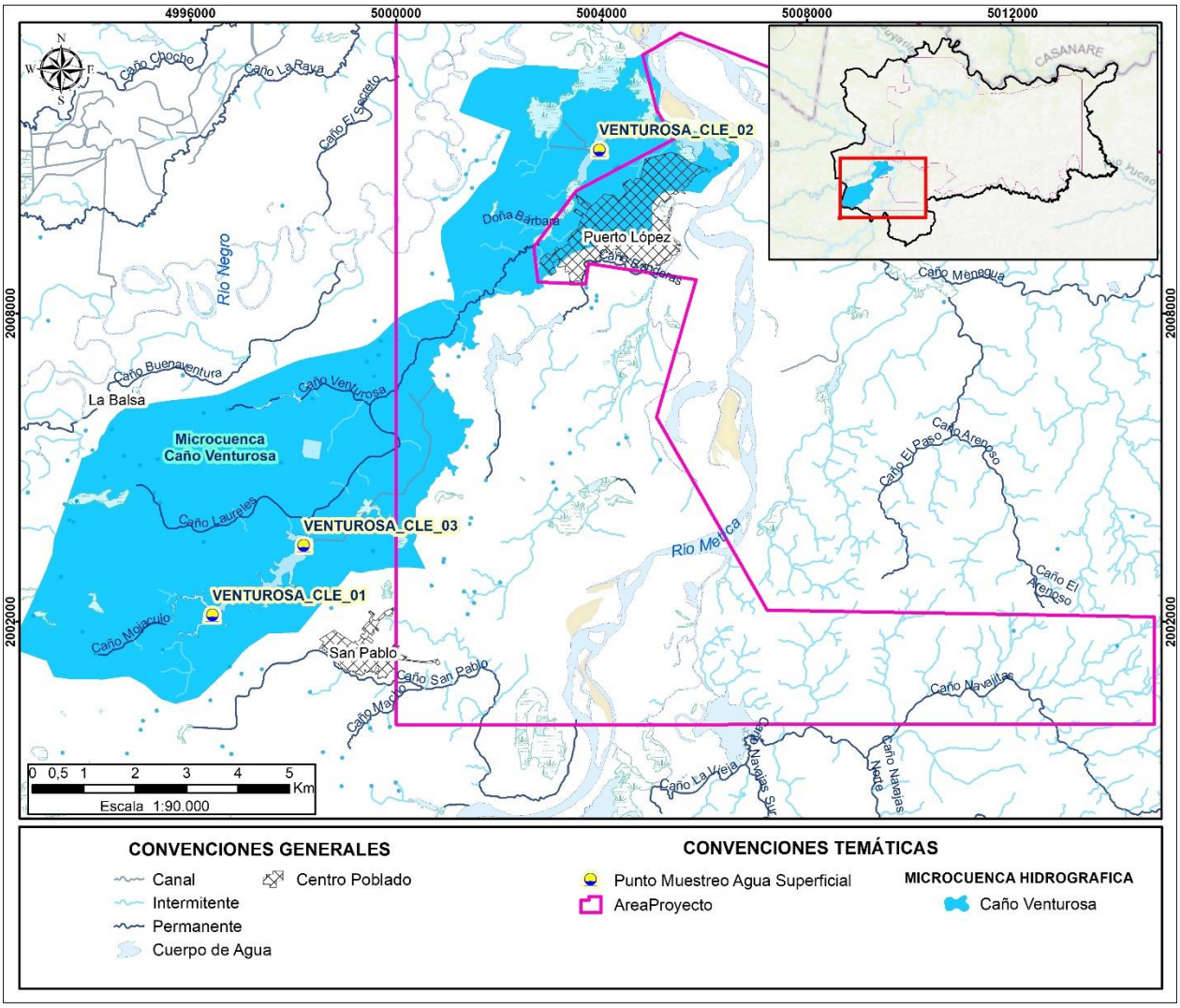


Figura 3.3.3-127 Localización de los puntos de muestreo Laguna Venturosa

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en la Laguna Venturosa, Laguna Venturosa, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico en el sistema léntico de la Microcuenca del Caño Venturosa, monitoreado durante la época seca en una altillanura, en las estaciones VENTUROSA_CLE_01, VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03, presenta una comunidad diversa con una abundancia total de 0.537 ind/mL y un riqueza total de 18 géneros , distribuida heterogéneamente entre las estaciones VENTUROSA_CLE_01 con una abundancia de 0.217 ind/mL; VENTUROSA_CLE_02 con una abundancia de 0.089 ind/mL y VENTUROSA_CLE_03 con una abundancia de 0.231 ind/mL. La riqueza taxonómica abarca cinco divisiones, destacando Heterokontophyta (diatomeas) como el grupo dominante (0.294 ind/mL, 54.7% del total), seguido de Cyanobacteria (0.077 ind/mL, 14.3%) y Euglenophyta (0.084 ind/mL, 15.6%) (**Tabla 3.3.3-300**) (**Figura 3.3.3-128**). Entre los géneros más significativos, *Eunotia* (Bacillariophyceae) muestra la mayor abundancia total con (0.103 ind/mL), con valores elevados en VENTUROSA_CLE_01 (0.055 ind/mL) y un porcentaje de abundancia del (25.3%) y VENTUROSA_CLE_03 (0.04 ind/mL) con un porcentaje de abundancia del (25.5%), lo que sugiere su adaptación a aguas ácidas típicas de suelos lateríticos de altillanura, con posible influencia de lixiviados orgánicos (Bellinger & Sigee, 2015). Por su parte, *Navicula* (0.059 ind/mL)y un porcentaje de abundancia de (25.5%) y *Encyonema* (0.054 ind/mL) con un porcentaje del (23.4%) en la estación VENTUROSA_CLE_03 indican microhábitats con sustratos estables y moderada disponibilidad de nutrientes, mientras que la presencia de *Oscillatoria* (0.027 ind/mL) con un porcentaje de abundancia del (30.3%) y *Phormidium* (0.032 ind/mL) con un porcentaje de abundancia del (14.7%) (**Figura 3.3.3-128**) en VENTUROSA_CLE_01 y VENTUROSA_CLE_03 (**Tabla 3.3.3-300**) refleja condiciones locales de enriquecimiento orgánico, aunque sin alcanzar niveles eutróficos (Paerl & Huisman, 2008).

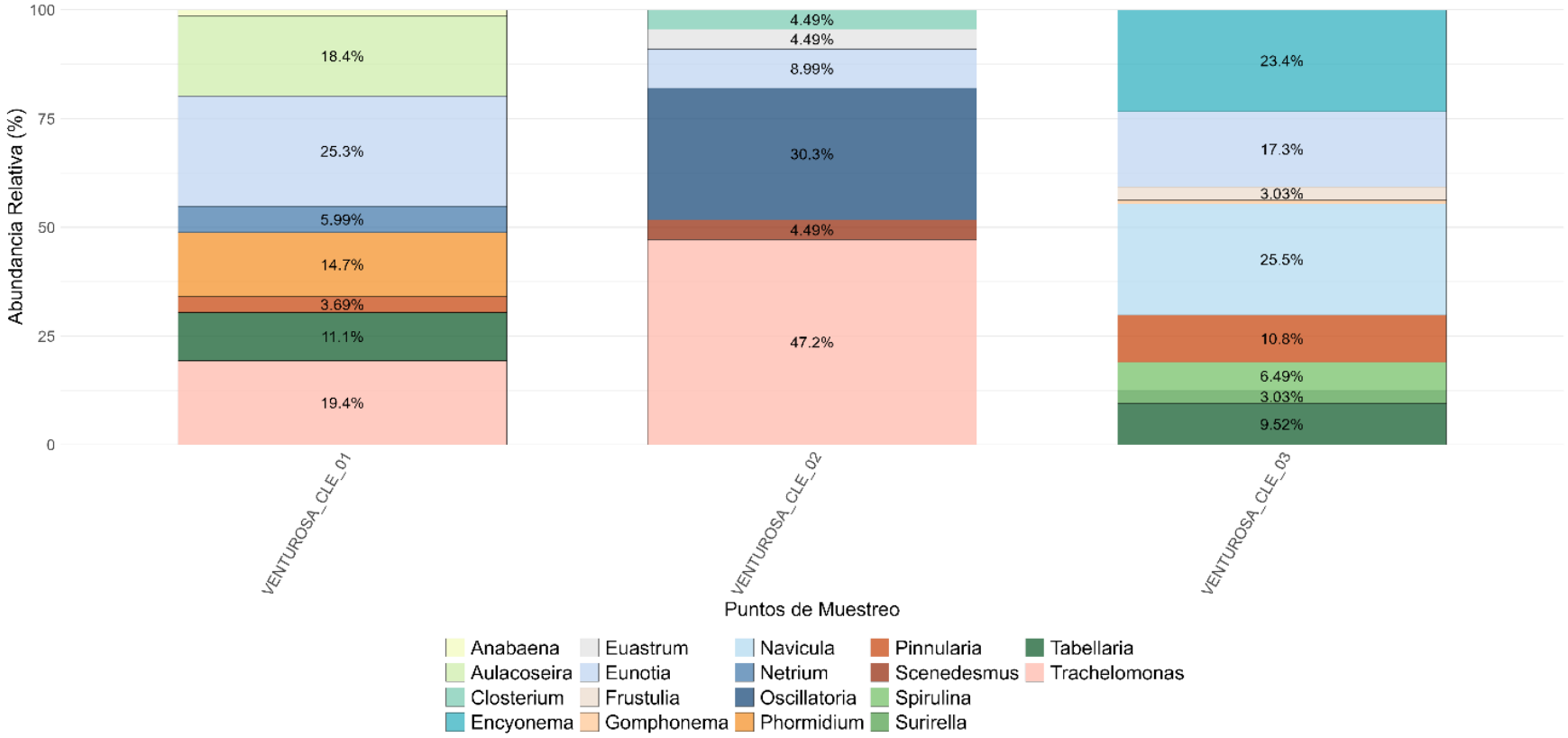


Figura 3.3.3-128 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La bioindicación revela un sistema léntico con características oligo-mesotróficas, donde la dominancia de diatomeas acidófilas como *Eunotia* y *Frustulia*, confirma la influencia de suelos ácidos y pobres en nutrientes, característicos de la altillanura (Whitton, 2012). La baja representación de Chlorophyta con *Scenedesmus* (0.004 ind/mL) y Charophyta con *Closterium* y *Euastrum* y cada una con una mis abundancia de (0.004 ind/mL cada uno) sugiere limitaciones en fósforo disponible en el punto VENTUROSA_CLE_02, mientras que la distribución desigual de *Aulacoseira* (0.04 ind/mL) solo en VENTUROSA_CLE_01 (**Tabla 3.3.3-300**) podría asociarse a pulsos de mezcla vertical ocasional en zonas más profundas (Reynolds, 2006).

La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la correlación entre géneros como *Trachelomonas* (Euglenophyta) y la materia orgánica disuelta de origen ripariano, mientras que la ausencia de conexiones con sistemas lóticos se infiere de la falta de diatomeas adaptadas a corrientes como el ejemplar del género *Gomphonema* con solo 0.002 ind/mL en el punto VENTUROSA_CL_03 (**Tabla 3.3.3-300**).

En conclusión, el fitoplancton de la Microcuenca Caño Venturosa refleja un sistema léntico con marcada influencia de las condiciones geoquímicas de la altillanura, donde la época seca caracteriza por la heterogeneidad espacial y la dependencia de aportes terrestres. La conservación de la vegetación riparia que es clave para mantener la estabilidad de este ensamble, particularmente frágil ante cambios en el régimen hídrico o en la calidad del agua.

Tabla 3.3.3-300 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Venturosa			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					VENTUROSA_CLE_02	VENTUROSA_CLE_03	VENTUROSA_CLE_01	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,042		0,042	0,084
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	0,004			0,004
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		0,022	0,024	0,046
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		0,025	0,008	0,033
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		0,007		0,007
			Naviculaceae	*Navicula*		0,059		0,059
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,008	0,04	0,055	0,103
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*		0,054		0,054
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*		0,002		0,002
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		0,007		0,007
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*			0,04	0,04
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	0,027			0,027
				Phormidium			0,032	0,032
		Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina*		0,015		0,015
		Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena*			0,003	0,003
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,004			0,004
			Desmidiaceae	*Euastrum*	0,004			0,004
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*			0,013	0,013
Gran Total					**0,089**	**0,231**	**0,217**	**0,537**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de los índices ecológicos en las tres estaciones de monitoreo (VENTUROSA_CLE_01, VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03) revela una comunidad fitoplanctónica con características ecológicas diferenciadas pero que en conjunto sugieren un ambiente acuático en buen estado de conservación. La estación VENTUROSA_CLE_03 destaca como la más diversa, con una abundancia de 0.231 ind/mL y 9 géneros, presentando valores de Shannon (1.907) que indican una alta diversidad, complementado por un bajo índice de Simpson (0.176) que muestra mínima dominancia de especies particulares y una equitatividad considerable (Pielou = 0.868), reflejando una distribución equilibrada de los individuos entre las especies presentes. Condiciones similares se observan en VENTUROSA_CLE_01, aunque con menor riqueza (ocho géneros), mantiene valores de Shannon (1.938) y Simpson (0.163) comparables, junto con una excelente equitatividad (0.932), características típicas de ambientes bien conservados con disponibilidad adecuada de recursos y condiciones ambientales estables. La estación VENTUROSA_CLE_02 muestra parámetros ligeramente inferiores, con abundancia de 0.089 ind/mL y seis géneros, presentando diversidad media (Shannon = 1.362), mayor dominancia relativa (Simpson = 0.322) y equitatividad aceptable (0.760) (**Tabla 3.3.3-301**), lo que podría sugerir condiciones microambientales más restrictivas o diferentes dinámicas ecológicas en esta zona específica.

La evaluación integrada de los tres puntos de muestreo permite concluir que la Microcuenca en su conjunto presenta una condición ecológica buena, donde predominan comunidades fitoplanctónicas diversas y equilibradas, con solo áreas puntuales que muestran parámetros ligeramente reducidos. La consistencia en los altos valores de diversidad y equitatividad en dos de las tres estaciones sugiere que el sistema mantiene condiciones adecuadas para el desarrollo de comunidades fitoplanctónicas complejas, lo que es indicativo de buena calidad del agua y disponibilidad de nichos ecológicos. Las diferencias observadas en VENTUROSA_CLE_02, aunque notables, no son lo suficientemente marcadas como para indicar problemas graves, sino más bien variaciones naturales en sistemas acuáticos o efectos de factores locales específicos. Este patrón espacial de diversidad fitoplanctónica es característico de ambientes lénticos bien conservados, donde se mantiene la heterogeneidad ambiental necesaria para sustentar diferentes comunidades.

Tabla 3.3.3-301 Índices Ecológicos e la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Laguna Venturosa época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
VENTUROSA_CLE_01	0.217	8	1.938	0.163	0.932
VENTUROSA_CLE_02	0.089	6	1.362	0.322	0.76
VENTUROSA_CLE_03	0.231	9	1.907	0.176	0.868

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico en el sistema léntico de Caño Venturosa, monitoreado durante la época seca en altillanuras, en las estaciones VENTUROSA_CLE_01, VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03, presenta una comunidad de baja diversidad taxonómica, pero con patrones

ecológicos significativos. La abundancia total en la Microcuenca fue de 0.0225 ind/mL y una riqueza total de cinco morfoespecies, con distribuciones heterogéneas entre estaciones VENTUROSA_CLE_01 (0.0097 ind/mL) con dos morfoespecies, VENTUROSA_CLE_02 (0.0036 ind/mL) con una sola morfoespecies y VENTUROSA_CLE_03 (0.0092 ind/mL) con tres morfoespecies (**Tabla 3.3.3-302**).

El grupo más abundante fueron los nematodos representada en la Microcuenca con Nematoda Mf y una abundancia total de 0.0096 ind/mL, seguido de protozoos testados como *Difflugia*: 0.0024 ind/mL, *Euglypha* 0.0046 ind/mL y rotíferos con *Lecane* 0.0036 ind/mL (**Tabla 3.3.3-302)**. El punto VENTUROSA_CLE_01 reporto la morfoespecie *Difflugia* con una abundancia de 0,0024 Ind/mL y un porcentaje de abundancia del (24.7%) (**Figura 3.3.3-129**) (**Tabla 3.3.3-302**), la exclusividad de esta morfoespecie sugiere microhábitats con acumulación de detritos orgánicos, característicos de zonas marginales con influencia terrestre (Foissner W. , Soil protozoa as bioindicators in ecosystems under human influence, 1999), que reporto la mayor abundancia con Nematoda Mf con una abundancia del 0,0073 Ind/mL y un porcentaje de abundancia del (75.3%) (**Figura 3.3.3-129**) (**Tabla 3.3.3-302**), lo indica condiciones de sedimentos finos y posible descomposición de materia orgánica (Zullini & Alvarado, 2012). Por el contrario, VENTUROSA_CLE_02 reporto una sola morfoespecie *Lecane* con una abundancia total de 0.0036 Ind/mL y un porcentaje de representatividad del (100%) (**Figura 3.3.3-129**), esto indica que la exclusividad de este género y la ausencia de cladóceros o copépodos reflejan las limitaciones tróficas impuestas por la época seca en sistemas lénticos de altillanura (Dumont, 1994) y finalmente la estación VENTUROSA_CLE_03 reporto los géneros *Euglypha*, *Amobea* y *Menaroda* siendo esta ultima la estación más diversa.

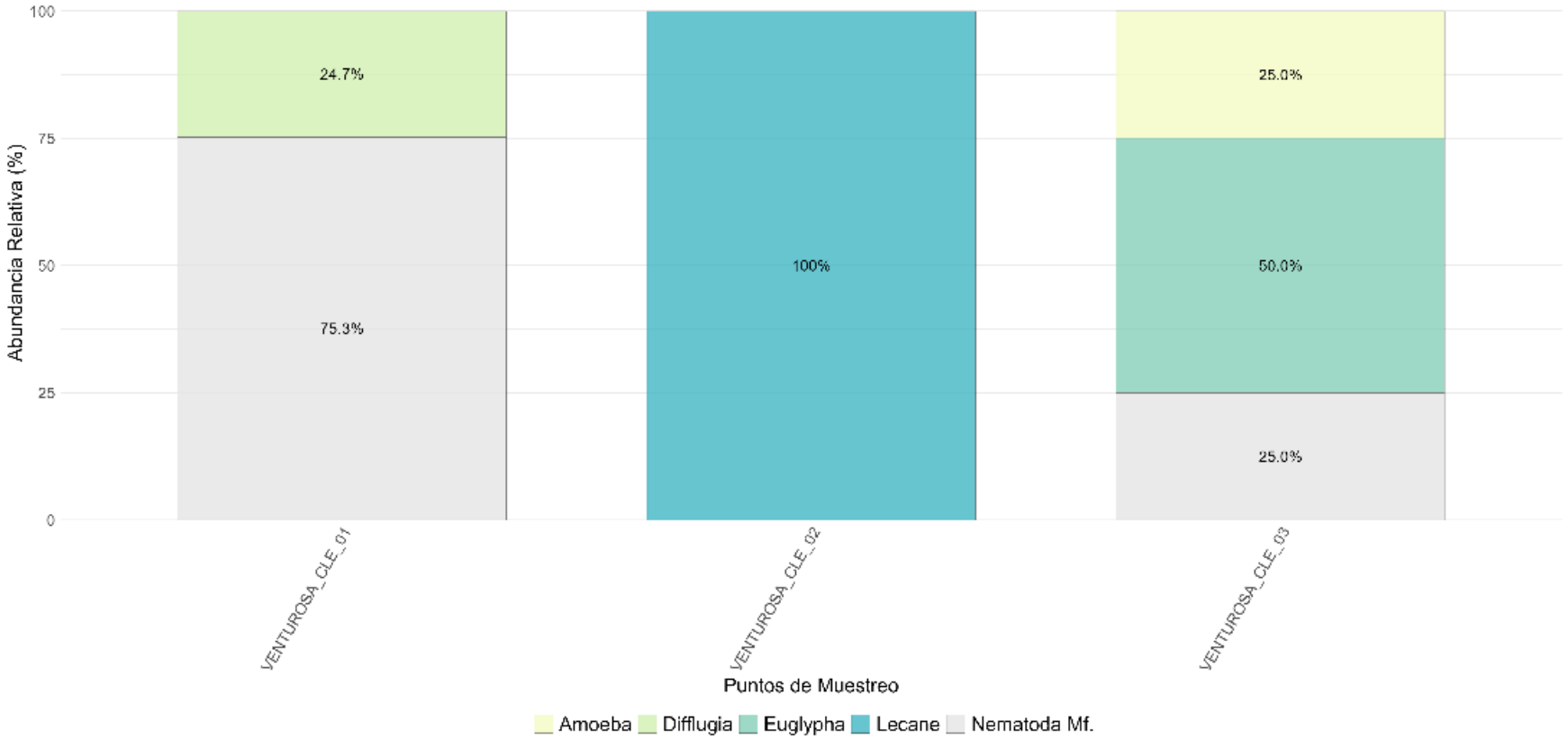


Figura 3.3.3-129 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad zooplanctónica señala un sistema con baja productividad primaria, evidenciada por la mínima presencia de filtradores como rotíferos; la influencia de aportes orgánicos externos, sugerida por protozoos testados como *Euglypha* y *Difflugia* asociados a hojarasca en descomposición (Schröder, 2003); y las condiciones de variables en sedimentos que favorecen el desarrollo de nematodos ya que son quimioautótrofos (Zullini & Alvarado, 2012).

La interacción con sistemas terrestres se manifiesta en la correlación entre la distribución de *Difflugia* y áreas ribereñas con vegetación densa, mientras que la ausencia de especies reófilas como *Brachionus* confirma el aislamiento del sistema durante la época seca. La notable diferencia en abundancia de nematodos entre VENTUROSA_CLE_01 (0.0073 ind/mL) y VENTUROSA_CLE_02 ausentes, sugiere gradientes locales en la disponibilidad de detritos, posiblemente vinculados a la geomorfría del lecho (zonas más profundas en contraste con las zonas marginales).

En conclusión, el zooplancton de la Microcuenca Caño Venturosa durante la época seca está estructurado por organismos tolerantes a condiciones de estrés hídrico y baja disponibilidad trófica, con una clara dependencia de los aportes orgánicos terrestres. La conservación de la vegetación riparia y el mantenimiento de pulsos de inundación estacionales son críticos para preservar la funcionalidad ecológica de este ensamble en ambientes de altillanura.

Tabla 3.3.3-302 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Laguna Venturosa época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Venturosa			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					VENTUROSA_CLE_02	VENTUROSA_CLE_03	VENTUROSA_CLE_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Difflugiidae	*Difflugia*			0,0024	0,0024
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Lecanidae	*Lecane*	0,0036			0,0036
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*		0,0046		0,0046
Protozoa	Tubulinea	Euamoebida	Amoebidae	*Amoeba*		0,0023		0,0023
Nematoda	-	-	-	*Nematoda Mf.*		0,0023	0,0073	0,0096
Grand Total					**0,0036**	**0,0092**	**0,0097**	**0,0225**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices ecológicos en las tres estaciones de muestreo (VENTUROSA_CLE_01, VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03) revela una comunidad zooplanctónica con marcadas diferencias estructurales que reflejan condiciones ambientales heterogéneas. La estación VENTUROSA_CLE_01 presenta una abundancia de 0.0097 ind/mL con 2 morfoespecies, mostrando valores de Shannon (0.562) y Simpson (0.625) que indican una baja diversidad y moderada dominancia de especies, aunque con una equitatividad relativamente alta (Pielou = 0.811) que sugiere una distribución equilibrada entre los pocos organismos presentes. La situación más crítica se observa en VENTUROSA_CLE_02, que con una abundancia de apenas 0.0036 ind/mL y una única morfoespecie registrada (riqueza = 1), presenta los valores mínimos en los índices de Shannon (0) y Simpson (1) (**Tabla 3.3.3-303**), reflejando una comunidad extremadamente pobre y dominada por una sola especie, condición típica de ambientes altamente

perturbados o con fuertes limitaciones ecológicas. En contraste, VENTUROSA_CLE_03 muestra mejores condiciones, con una abundancia similar a la primera estación (0.0092 ind/mL) pero mayor riqueza (tres morfoespecies), valores de Shannon (1.04) que indican diversidad moderada, baja dominancia (Simpson = 0.375) y alta equitatividad (Pielou = 0.947) (**Tabla 3.3.3-303**), características de una comunidad más equilibrada y diversificada.

Considerando en conjunto la Microcuenca, se observa un gradiente ecológico que va desde condiciones críticas (VENTUROSA_CLE_02) hasta ambientes con comunidades zooplanctónicas mejor estructuradas (VENTUROSA_CLE_03), pasando por situaciones intermedias (VENTUROSA_CLE_01). Esta variabilidad espacial sugiere que el sistema presenta una calidad ecológica general regular, donde coexisten zonas con serios problemas de biodiversidad con otras que mantienen cierta resiliencia. La marcada diferencia entre estaciones cercanas podría deberse a factores locales como variaciones en la calidad del agua, disponibilidad de recursos tróficos, o diferentes grados de conectividad con otros cuerpos de agua. La presencia de una estación con un solo taxón (VENTUROSA_CLE_02) es particularmente preocupante, ya que indica condiciones ambientales extremas que podrían estar relacionadas con contaminación, hipoxia, o aislamiento severo. Es importante mencionar que, aunque autores como (Magurran, 2004) y (Moreno, 2001) señalan que un análisis estadístico básico puede realizarse con un mínimo de tres morfoespecies, y en este caso se cumplen, pero por puntos separados no, se analiza en conjunto y aún sigue persistiendo valores bajos de riqueza y abundancia, lo que no ayuda a que las conclusiones cuenten con robustes.

Tabla 3.3.3-303 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Laguna Venturosa época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
VENTUROSA_CLE_01	0.0097	2	0.562	0.625	0.811
VENTUROSA_CLE_02	0.0036	1	0	1	
VENTUROSA_CLE_03	0.0092	3	1.04	0.375	0.947

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton en sistemas lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de Caño Venturosa, con la estación VENTUROSA_CLE_01, estuvo compuesto por tres (3) morfoespecies distribuidas en dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases (Clitellata e Insecta), tres (3) órdenes (Tubificida, Diptera y Coleóptera), tres (3) familias (Naididae, Ceratopogonidae y Hydrophilidae) y un género identificado (*Berosus*), con una abundancia total de 10 ind/m². La comunidad estuvo dominada por *Naididae* Mf. (7,8 ind/m²), que representó el 78% de la abundancia total, seguida de *Ceratopogonidae* Mf. y *Berosus* sp., cada una con 1,1 ind/m² (11%, respectivamente) (**Tabla 3.3.3-304**).

Tabla 3.3.3-304 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Venturosa	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						VENTUROSA_CLE_01	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	*Naididae Mf.*	7,8	7,8
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae		*Ceratopogonidae* Mf.	1,1	1,1
		Coleóptera	Hydrophilidae	Berosus	*Berosus* sp.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**10**	**10**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta estructura de la comunidad, caracterizada por baja riqueza específica y marcada dominancia de oligoquetos Naididae (familia considerada tolerante a condiciones de contaminación orgánica), sugiere un ambiente con importantes limitaciones para el desarrollo de comunidades acuáticas diversas (Roldan & Ramirez, 2008). La presencia de *Berosus* sp. (Hydrophilidae), coleóptero acuático que habita tanto sistemas lénticos como lóticos, indica cierta conexión ecológica con otros ambientes acuáticos, aunque su baja abundancia sugiere que estas interacciones podrían estar limitadas durante la época seca (Merritt & Cummins, 2008). La ausencia de grupos sensibles como Ephemeroptera o Trichoptera, y la escasa representación de coleópteros (solo 1,1 ind/m² de Hydrophilidae), refuerzan la hipótesis de condiciones ambientales restrictivas (Domínguez & Fernández, 2009).

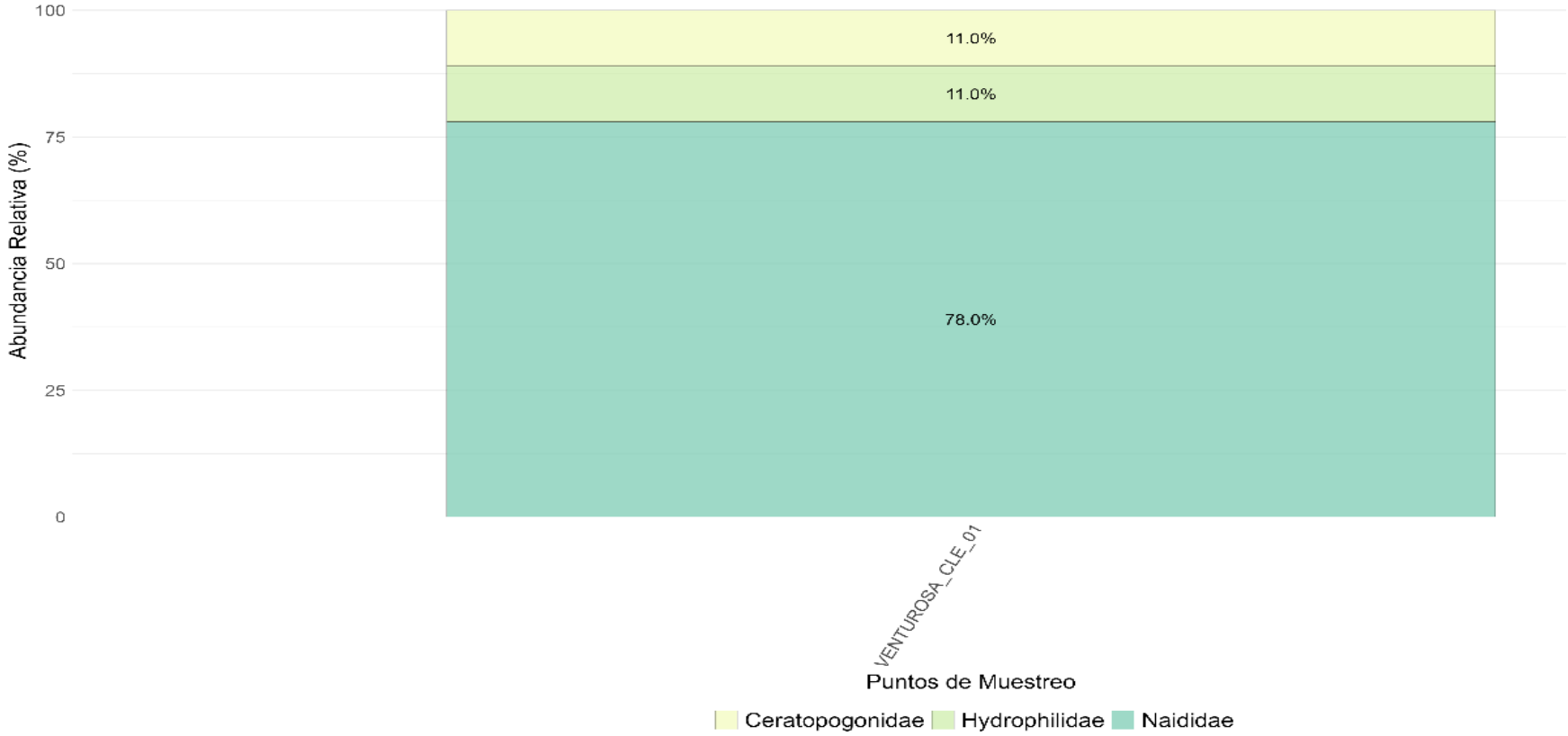


Figura 3.3.3-130 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción con sistemas terrestres parece mínima, evidenciada por la falta de taxones típicamente asociados a interfaces ecológicas tierra-agua. La marcada dominancia de Naididae, familia conocida por su tolerancia a condiciones de bajo oxígeno y alta carga orgánica, podría estar indicando procesos de eutrofización incipiente o acumulación de materia orgánica en descomposición, situación frecuente en sistemas lénticos durante períodos de estiaje (Wantzen K. M. et al., 2008).

La baja diversidad observada (3 morfoespecies) y la abundancia total reducida (10 ind/m²) son características de sistemas acuáticos tropicales sometidos a estrés ambiental, ya sea por condiciones naturales extremas propias de la época seca o por impactos antropogénicos locales. En conclusión, el ensamble estudiado en Caño Venturosa durante la época seca muestra características de un sistema ecológicamente limitado, con una comunidad acuática simplificada dominada por organismos tolerantes, lo que refleja probablemente las condiciones ambientales restrictivas del período de estiaje en la altillanura. La presencia minoritaria de *Berosus sp.* sugiere cierta conectividad residual con otros sistemas acuáticos, mientras que la dominancia de Naididae señala posibles procesos de acumulación de materia orgánica.

Con respecto al índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) aplicado a la estación VENTUROSA_CLE_01 arrojó un valor de 8, clasificando la calidad del agua como "Clase V - Muy crítica", lo que corresponde a "aguas fuertemente contaminadas en situación crítica". Este resultado debe interpretarse en el contexto de la composición de la comunidad observada, donde se registraron solamente tres familias de macroinvertebrados: Naididae (7,8 ind/m²), Ceratopogonidae (1,1 ind/m²) y Hydrophilidae (1,1 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-305**).

Tabla 3.3.3-305 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Laguna Venturosa época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_01	V	Muy crítica	8	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La puntuación extremadamente baja se explica por la presencia de Naididae y Ceratopogonidae, familias que recibe la puntuación más baja en el BMWP por su alta tolerancia a la contaminación orgánica (Roldan G. , 1996), y la escasa representación de Hydrophilidae, que aunque recibe 6 puntos (valor intermedio), su baja abundancia no logra compensar la dominancia de familias tolerantes.

Desde la perspectiva de la bioindicación, este resultado confirma las observaciones ecológicas previas que señalaban un sistema con predominio de organismos tolerantes a condiciones de estrés, la ausencia de grupos sensibles (EPT) el marcado desequilibrio en la estructura de la comunidad Esta clasificación del índice sugiere la presencia de una alta carga orgánica (como indican los Naididae dominantes), posibles condiciones de hipoxia y la alteración significativa de las condiciones naturales del hábitat acuático.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la comunidad de macroinvertebrados en la estación VENTUROSA_CLE_01 revelan una estructura de la comunidad notablemente limitada, consistente con las condiciones críticas identificadas mediante el BMWP/Col. El índice de Shannon (H' = 0.684) indica una baja diversidad biológica, valor característico de sistemas acuáticos bajo estrés ambiental (Magurran A. E., 2004). Este resultado concuerda con la riqueza observada de solo tres (3) morfoespecies y una abundancia total de diez (10) ind/m². El índice de Simpson (D = 0.63) muestra una dominancia moderadamente alta, donde existe un sesenta y tres por ciento (63%) de probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, reflejando la marcada predominancia de Naididae Mf. (7,8 ind/m²) sobre los demás taxones (**Tabla 3.3.3-306**).

El índice de Pielou (J' = 0.623) sugiere una distribución desigual de las abundancias entre las especies presentes, aunque menos extrema que en otros sistemas críticos analizados (**Tabla 3.3.3-306**). Esta relativa equitatividad se explica porque las tres morfoespecies estuvieron presentes (Naididae, Ceratopogonidae y Berosus sp.), dos de ellas mostraron idéntica abundancia (1,1 ind/m²) y el taxon dominante (Naididae) no alcanzó una supremacía absoluta.

Tabla 3.3.3-306 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_01	10	3	0.684	0.63	0.623

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva ecológica, estos valores indica un sistema con capacidad limitada para albergar comunidades diversas, condiciones ambientales que favorecen claramente a los oligoquetos Naididae y la presencia residual de otros grupos (Ceratopogonidae y Hydrophilidae) en microhábitats preservados.

La combinación de estos índices (Shannon < 1, Simpson > 0.5, Pielou < 0.7) es típica de sistemas lénticos eutrofizados con ambientes con contaminación orgánica moderada y comunidades en proceso de deterioro ecológico (Wetzel R. G., 2001).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada seca, la comunidad de macrófitas acuáticas en la laguna Venturosa, ubicada en el área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, mostró una composición florística representada por cuatro morfoespecies, distribuidas en tres familias y dos divisiones taxonómicas principales: Tracheophyta y Polypodiidae. Dentro de Tracheophyta, se identificaron especies pertenecientes al orden Poales, con representantes de las familias Cyperaceae y Poaceae, siendo esta última dominante. La Poaceae morfoespecie no identificada se presentó con la mayor cobertura relativa en los puntos de muestreo VENTUROSA_CLE_01 (49,33%) y VENTUROSA_CLE_03 (23,34%), representando el 90,8% y 100% de la abundancia relativa en

esos puntos, respectivamente. Por su parte, *Paspalum fasciculatu*m, otra especie de Poaceae, alcanzó una cobertura de 8,67% en VENTUROSA_CLE_02, siendo dominante allí con un 70,26% de la abundancia relativa. La especie *Eleocharis* sp. (Cyperaceae) se encontró exclusivamente en VENTUROSA_CLE_01 con una cobertura baja (5%), mientras que *Salvinia auriculata*, perteneciente a la clase Polypodiidae y orden Salviniales (familia Salviniaceae), fue registrada solo en VENTUROSA_CLE_02 con 3,67% de cobertura. La riqueza de morfoespecies fue baja, con un máximo de dos morfoespecies por punto de muestreo y un total de cuatro para toda la Microcuenca. Esta baja diversidad podría estar asociada a condiciones hidrológicas propias de la temporada seca y a la dinámica ecológica de los sistemas lénticos en llanuras de inundación, donde factores como la disponibilidad de luz, la profundidad del agua, la calidad del sustrato y la competencia interespecífica influyen notablemente en la distribución y cobertura de las macrófitas (Sánchez, 2011), (Junk W. J., 2011) (**Tabla 3.3.3-307**). En este contexto, las Poaceae parecen ser altamente adaptables a las condiciones temporales de sequía y dominan la estructura de la comunidad en términos de cobertura, lo que sugiere su papel funcional como formadoras de hábitat y su influencia en los procesos ecológicos locales.

Tabla 3.3.3-307 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Laguna Venturosa época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Venturosa					
				Punto De Muestreo	VENTUROSA_CLE_01		VENTUROSA_CLE_02		VENTUROSA_CLE_03	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Cyperaceae	Eleocharis sp.	5	9,20				
			Poaceae	Paspalum fasciculatum			8,67	70,26		
				Poaceae Mf.	49,33	90,80			23,34	100,00
	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	Salvinia auriculata			3,67	29,74		
Cobertura Total general					**54,33**	**100**	**12,34**	**100**	**23,34**	**100**
Morfoespecies por Punto					**2**		**2**		**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Con base en la información presentada para los puntos de muestreo en la laguna Venturosa durante la temporada seca, se observa que no fue posible calcular índices de diversidad clásicos como Shannon-Wiener o Simpson, debido al número reducido de morfoespecies registradas en cada sitio (dos especies en CLE_01 y CLE_02, y solo una en CLE_03). La validez de estos índices depende de una riqueza mínima y una distribución proporcional de abundancias entre especies; por lo tanto, cuando el número de especies es muy bajo, su aplicación resulta limitada o no representativa (Magurran A. E., 2004). En estos casos, la diversidad alfa tiende a ser poco informativa, ya que no refleja adecuadamente la heterogeneidad de la comunidad. Esta baja riqueza específica puede estar relacionada con factores ecológicos locales, como las condiciones hidrológicas extremas durante la temporada seca, la homogeneidad del hábitat o la dominancia de especies altamente competitivas como ciertas Poaceae, que limitan el establecimiento de otras especies (Wetzel R. G., 2001). Además, la naturaleza léntica y la ubicación de la laguna en una llanura de inundación pueden favorecer la proliferación de pocas especies oportunistas adaptadas a condiciones fluctuantes, lo cual reduce la diversidad observable en periodos de bajo nivel hídrico.

- *Época lluvias*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico de la Microcuenca Venturosa, monitoreado durante la época lluviosa, presenta una comunidad diversa con una abundancia total de 0.383 Ind/mL distribuida en tres estaciones de muestreo VENTUROSA_CLE_01 (0.124 Ind/mL); VENTUROSA_CLE_02 (0.151 Ind/mL) y VENTUROSA_CLE_03 (0.108 Ind/mL). La composición taxonómica incluye representantes de tres divisiones principales Charophyta (0.086 Ind/mL), Euglenophyta (0.151 Ind/mL) y Heterokontophyta (0.146 Ind/mL), con una riqueza total de 8 morfoespecies. La estación VENTUROSA_CLE_02 se destaca por la dominancia absoluta de *Trachelomonas* (0.151 Ind/mL y 100%) indicador de aguas con aportes orgánicos y condiciones de mezcla vertical limitada (Wetzel R. G., 2001). Por su parte, VENTUROSA_CLE_01 y VENTUROSA_CLE_03 muestran una mayor diversidad, con presencia de diatomeas como *Eunotia* y *Pinnularia*, desmidiáceas como *Cosmarium* y *Closterium* y otras especies características de aguas ácidas y oligotróficas (Round et al., 1990). La distribución desigual de las especies sugiere microambientes diferenciados, mientras VENTUROSA_CLE_01 alberga una comunidad bentónica con ejemplares *Frustulia* y *Surirella*, VENTUROSA_CLE_03 presenta mayor influencia de especies planctónicas con ejemplares como *Cosmarium*, *Eunotia*, posiblemente debido a diferencias en la profundidad o en los aportes de nutrientes durante las lluvias (**Tabla 3.3.3-308**) (**Figura 3.3.3-131**).

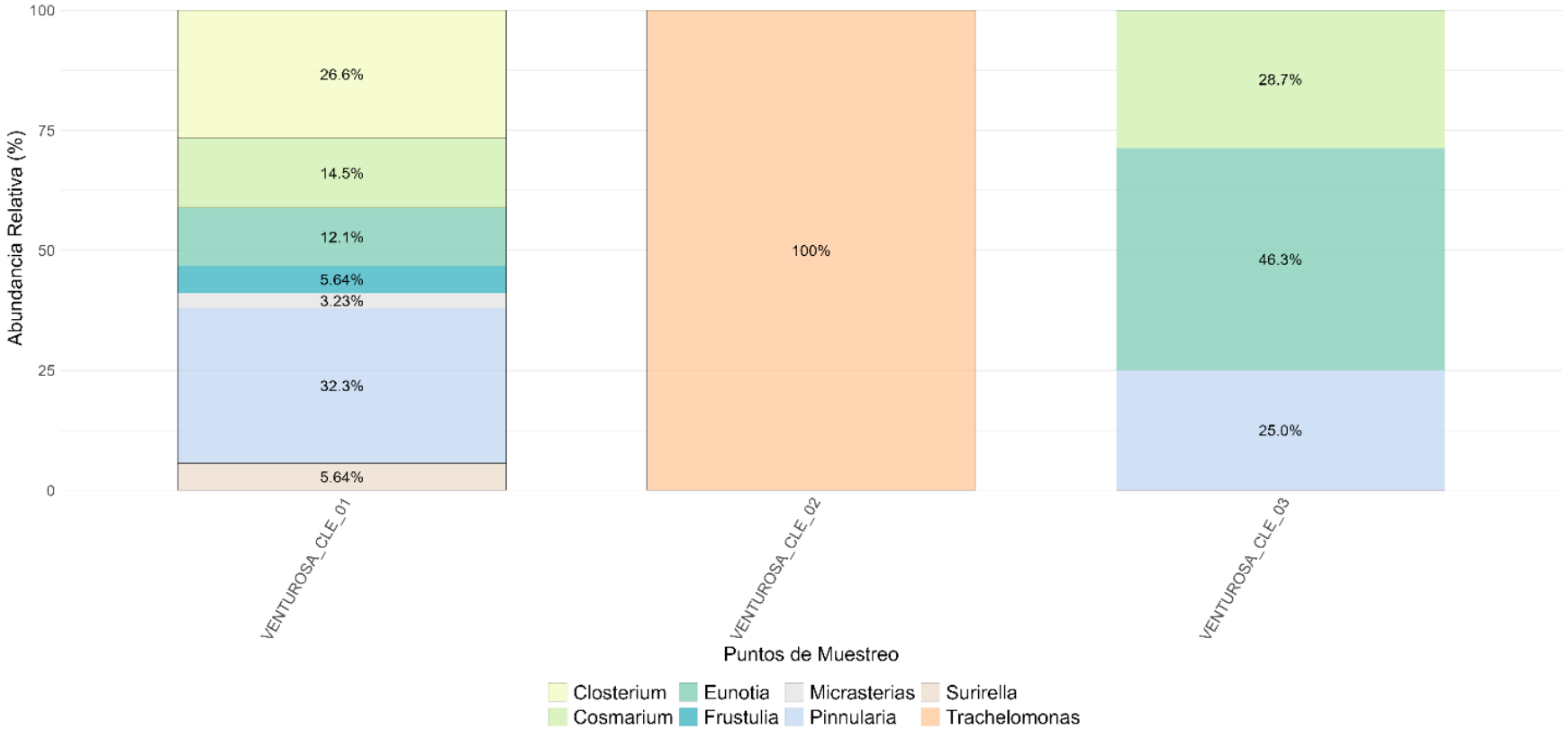


Figura 3.3.3-131 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de diatomeas como *Eunotia* y *Pinnularia* (0.065 y 0.067 Ind/mL respectivamente) (**Tabla 3.3.3-308**), esto sugiere aguas con bajo contenido de nutrientes y pH ligeramente ácido, típicas de sistemas poco impactados (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). Sin embargo, la marcada dominancia de *Trachelomonas* en VENTUROSA_CLE_02 podría reflejar un enriquecimiento localizado de materia orgánica, posiblemente asociado a escorrentías terrestres durante las lluvias (Bicudo & Menezes, 2006). La interacción con sistemas lóticos parece limitada, ya que no se observan especies típicas de corrientes rápidas, aunque la presencia de *Pinnularia* en múltiples estaciones podría indicar un flujo intermitente de agua desde áreas adyacentes. La influencia terrestre se manifiesta indirectamente a través de la presencia de *Trachelomonas*, cuya proliferación suele estar vinculada al lavado de sustratos orgánicos desde la vegetación riparia (Reynolds, 2006).

La calificación ecológica integral de la Microcuenca Venturosa durante la época lluviosa es moderada-alta y puede estar asociada a la presencia de especies indicadoras de buena calidad de agua con géneros como *Eunotia* y *Cosmarium*, la diversidad fitoplanctónica relativamente alta de 8 morfoespecies y la ausencia de cianobacterias, que sugeriría eutrofización. No obstante, la dominancia de *Trachelomonas* sugiere que hay puntos donde hay aportes de entrada carga de materia orgánica.

Tabla 3.3.3-308 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Laguna Venturosa época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Venturosa			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					VENTUROSA_CLE_01	VENTUROSA_CLE_02	VENTUROSA_CLE_03	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,033			0,033
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,018		0,031	0,049
				Micrasterias	0,004			0,004
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*		0,151		0,151
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,015		0,05	0,065
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia*	0,007			0,007
			Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,04		0,027	0,067
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	0,007			0,007
Gran Total					0,124	0,151	0,108	0,383

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad para la comunidad fitoplanctónica en la Microcuenca Venturosa, evaluados en tres puntos de muestreo VENTUROSA_CLE_01, VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03, revelan patrones contrastantes en la estructura de la comunidad. El punto VENTUROSA_CLE_01 presentó la mayor riqueza (7 géneros) y una abundancia de 0.124 Ind/mL, acompañada de un índice de Shannon (1.707) y un valor de Pielou (0.877) relativamente altos, lo que indica una diversidad moderada y una distribución equitativa de las especies. Este perfil sugiere un ambiente con condiciones estables y heterogéneas, capaz de albergar una comunidad fitoplanctónica diversa. Por otro lado, VENTUROSA_CLE_02 mostró una baja riqueza de 1 género, *Trachelomonas* y un índice de Shannon de 0, reflejando una dominancia absoluta de esta especie, posiblemente asociada a condiciones locales específicas, como un aporte orgánico

puntual o una alteración temporal. Finalmente, VENTUROSA_CLE_03 registró una riqueza intermedia (3 morfoespecies) y un índice de Shannon de 1.377, con un valor de Pielou de 1, lo que señala una distribución perfectamente equitativa entre las especies presentes, aunque con una abundancia total menor (0.108 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-309**).

La variabilidad observada entre los puntos sugiere que la Microcuenca Venturosa presenta microambientes diferenciados, donde factores como la disponibilidad de nutrientes, la conectividad con otros sistemas o las condiciones hidrológicas locales influyen en la estructura de la comunidad fitoplanctónica. La presencia simultánea de puntos con alta diversidad (VENTUROSA_CLE_01) y otros con dominancia de una sola especie (VENTUROSA_CLE_02) podría indicar una dinámica ecológica compleja, con zonas bien conservadas y otras potencialmente afectadas por fluctuaciones ambientales. En conjunto, la Microcuenca muestra una calificación ecológica moderada a buena, con áreas de alta integridad biológica (respaldada por la diversidad en VENTUROSA_CLE_01 y VENTUROSA_CLE_03) y otras que requieren atención por su baja diversidad (VENTUROSA_CLE_02).

Tabla 3.3.3-309 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Laguna Venturosa época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
VENTUROSA_CLE_01	0.124	7	1.707	0.213	0.877
VENTUROSA_CLE_02	0.151	1	0	1	
VENTUROSA_CLE_03	0.108	3	1377	0.281	1253

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico de la Microcuenca Venturosa, monitoreado durante la época de lluvias, presenta una comunidad de baja abundancia total (0.033 Ind/mL) compuesta por tres morfoespecies de protozoos testados *Arcella* (0.0136 Ind/mL en VENTUROSA_CLE_02 y un 100% de representatividad), *Centropyxis* (0.0047 Ind/mL en VENTUROSA_CLE_01 y un 100% de representatividad) y *Euglypha* (0.0147 Ind/mL en VENTUROSA_CLE_03 y un 100% de representatividad) (**Tabla 3.3.3-310**) (**Figura 3.3.3-132**). Esta distribución espacial diferenciada, donde cada estación presenta una única especie dominante, sugiere una alta especialización de microhábitats dentro del sistema léntico. La presencia de estos taxones, todos ellos pertenecientes a grupos de protozoos bentónicos (Foissner W. , 1999), indica que pese a ser un muestreo de zooplancton, probablemente se capturaron organismos resuspendidos desde el bentos, debido a la mayor turbulencia del agua característica de la época lluviosa (Lansac-Tôha et al., 2009). La particular ausencia de rotíferos o microcrustáceos, típicos componentes del zooplancton en sistemas lénticos tropicales (Elmoor-Loureiro, 2022), podría deberse a factores como la baja productividad primaria del sistema o condiciones químicas restrictivas.

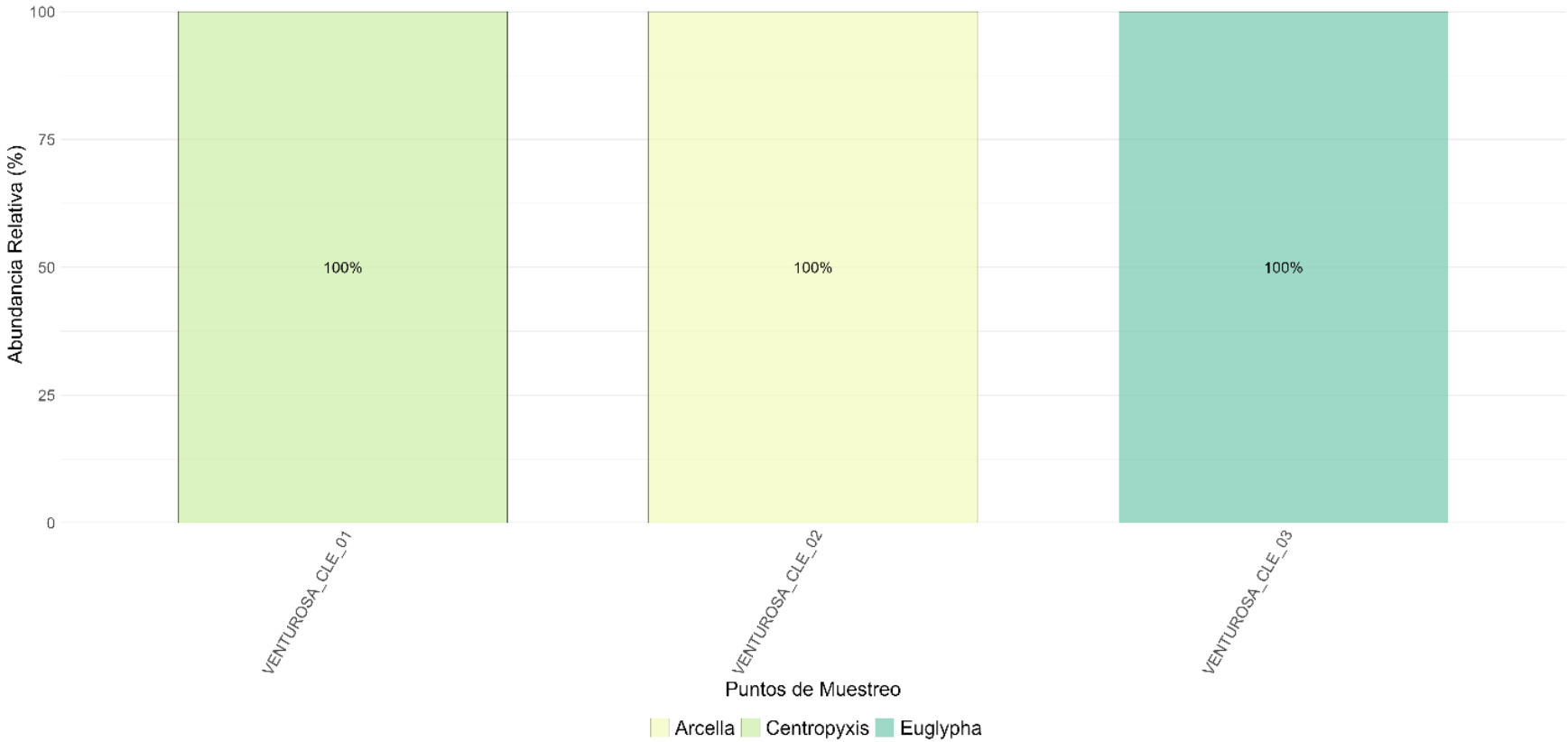


Figura 3.3.3-132 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Laguna Venturosa época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad observada sugiere características particulares del sistema, *Centropyxis* en VENTUROSA_CLE_01 es frecuente en ambientes con moderado contenido orgánico, mientras que *Euglypha* en VENTUROSA_CLE_03, con sus frústulas silíceas, indicaría aguas con bajo contenido de nutrientes pero con disponibilidad de sílice. La presencia de *Arcella* exclusivamente en VENTUROSA_CLE_02 podría reflejar zonas con mayor acumulación de detritos vegetales (Smith, 2003). La marcada segregación espacial de especies sugiere una limitada conectividad entre los puntos muestreados durante la época de lluvias, posiblemente debido a que los aportes de agua no generan una mezcla homogénea en todo el sistema.

Considerando las interacciones con otros sistemas, la escasa diversidad zooplanctónica podría indicar un bajo intercambio biológico con sistemas lóticos adyacentes durante la época lluviosa, contrario a lo esperado. Esto podría deberse a barreras físicas o diferencias en la calidad del agua entre los sistemas (Bohonak & Jenkins, 2003). La influencia terrestre parece manifestarse principalmente a través del lavado de sustratos orgánicos que favorecen a especies como *Arcella*, pero sin generar un enriquecimiento significativo de la comunidad acuática.

En conclusión, la Microcuenca Venturosa durante la época lluviosa presenta una calificación ecológica moderada-baja, caracterizada por una comunidad zooplanctónica extremadamente pobre en diversidad y abundancia, una dominancia de protozoos bentónicos resuspendidos que reflejan condiciones oligotróficas, y una aparente desconexión entre los microhábitats dentro del mismo sistema léntico.

Tabla 3.3.3-310 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Laguna Venturosa época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Venturosa			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					VENTUROSA_CLE_01	VENTUROSA_CLE_02	VENTUROSA_CLE_03	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*		0,0136		0,0136
			Centropyxidae	*Centropyxis*	0,0047			0,0047
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*			0,0147	0,0147
Grand Total					0,0047	0,0136	0,0147	0,033

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. La conexión

de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

Para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la época de lluvias en la Microcuenca del caño Venturosa no registro organismos, lo cual puede asociase con múltiples factores ecológicos y antropogénicos interrelacionados. Las intensas precipitaciones característicamente arrastran sedimentos y contaminantes acumulados en la Microcuenca, generando condiciones de turbidez extrema y bajos niveles de oxígeno disuelto que imposibilitan el establecimiento de comunidades bentónicas (Wantzen et al., 2008). Adicionalmente, la escorrentía superficial puede transportar pesticidas, metales pesados u otros tóxicos desde zonas agrícolas y urbanas adyacentes, creando un ambiente químico hostil incluso en período húmedo (Allan & Castillo, 2007). La alteración física del hábitat por deforestación ribereña reduce la disponibilidad de microhábitats estables y materia orgánica de calidad, mientras que la ausencia de taxones sensibles sugiere una desconexión crónica con sistemas fuente debido a barreras antropogénicas o degradación histórica del cauce (Galeano-Rendón & Mancera-Rodríguez, 2018). Esta combinación de factores -contaminación difusa, pérdida de conectividad ecológica y alteración hidromorfológica- explicaría la incapacidad del sistema para recuperar su comunidad bentónica incluso en condiciones climáticas favorables.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de Caño Venturosa, monitoreado durante la época de lluvias en las estaciones VENTUROSA_CLE_01 y VENTUROSA_CLE_03, presentó una comunidad compuesta por cuatro (4) morfoespecies distribuidas en dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases, tres (3) órdenes, cuatro (4) familias y dos (2) géneros identificados (*Triplectides* y *Chimarra*), con una abundancia total de 120 ind/m². La estación VENTUROSA_CLE_03 mostró mayor abundancia (70 ind/m²) que VENTUROSA_CLE_01 (50 ind/m²), siendo *Chironomidae* Mf. el taxa más abundante en el sistema (60 ind/m²), seguido por *Glossiphoniidae* Mf. (40 ind/m², exclusivo de VENTUROSA_CLE_03) y los tricópteros *Triplectides* sp. y *Chimarra* sp. (10 ind/m² cada uno, presentes solo en VENTUROSA_CLE_01) (**Tabla 3.3.3-311**).

Tabla 3.3.3-311 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época lluvias

Pyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Venturosa		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						VENTUROSA_CLE_01	VENTUROSA_CLE_03	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae* Mf.		40	40
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.	30	30	60
		Trichoptera	Leptoceridae	Triplectides	*Triplectides* sp.	10		10
			Philopotamidae	Chimarra	*Chimarra* sp.	10		10

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad muestra características contrastantes entre estaciones. VENTUROSA_CLE_01 presenta una composición más diversa con la presencia de tricópteros (*Triplectides* sp. y *Chimarra* sp.), considerados buenos indicadores de calidad de agua debido a su sensibilidad a la contaminación orgánica (Roldán & Ramírez, 2008). Sin embargo, la dominancia de Chironomidae (30 ind/m²) sugiere condiciones ambientales subóptimas en esta estación. Por otro lado, VENTUROSA_CLE_03 muestra una comunidad más simple pero numéricamente dominada por Glossiphoniidae (40 ind/m²) y Chironomidae (30 ind/m²), grupos considerados tolerantes a condiciones de estrés, lo que indicaría un mayor grado de perturbación en este punto del sistema (Domínguez & Fernández, 2009) (**Figura 3.3.3-133**). Ésta marcada diferencia en la composición comunitaria entre estaciones separadas por pocos metros sugiere una heterogeneidad microambiental significativa dentro del mismo cuerpo de agua.

La interacción con sistemas terrestres y lóticos se evidencia a través de distintos mecanismos. Los tricópteros adultos tienen capacidad de dispersión aérea, lo que permite su recolonización desde otros sistemas acuáticos cercanos (Merritt & Cummins, 2008). La presencia exclusiva de Glossiphoniidae en VENTUROSA_CLE_03 podría estar asociada a condiciones locales de mayor acumulación de materia orgánica o características específicas del sustrato. La distribución desigual de los organismos entre estaciones sugiere que factores como la profundidad del agua, el tipo de vegetación acuática presente y la conectividad con otros sistemas están generando microhábitats diferenciados que favorecen el establecimiento de distintas comunidades (Wantzen et al., 2008).

La estructura trófica de la comunidad muestra una base dominada por organismos recolectores (Chironomidae) y depredadores (Glossiphoniidae), con la importante adición de tricópteros filtradores (*Chimarra* sp.) y recolectores-raspadores (*Triplectides* sp.) en VENTUROSA_CLE_01. Esta diferencia en los grupos funcionales entre estaciones indica variaciones en los recursos alimenticios disponibles y en las condiciones del hábitat, siendo VENTUROSA_CLE_01 aparentemente más favorable para el desarrollo de una red trófica más compleja.

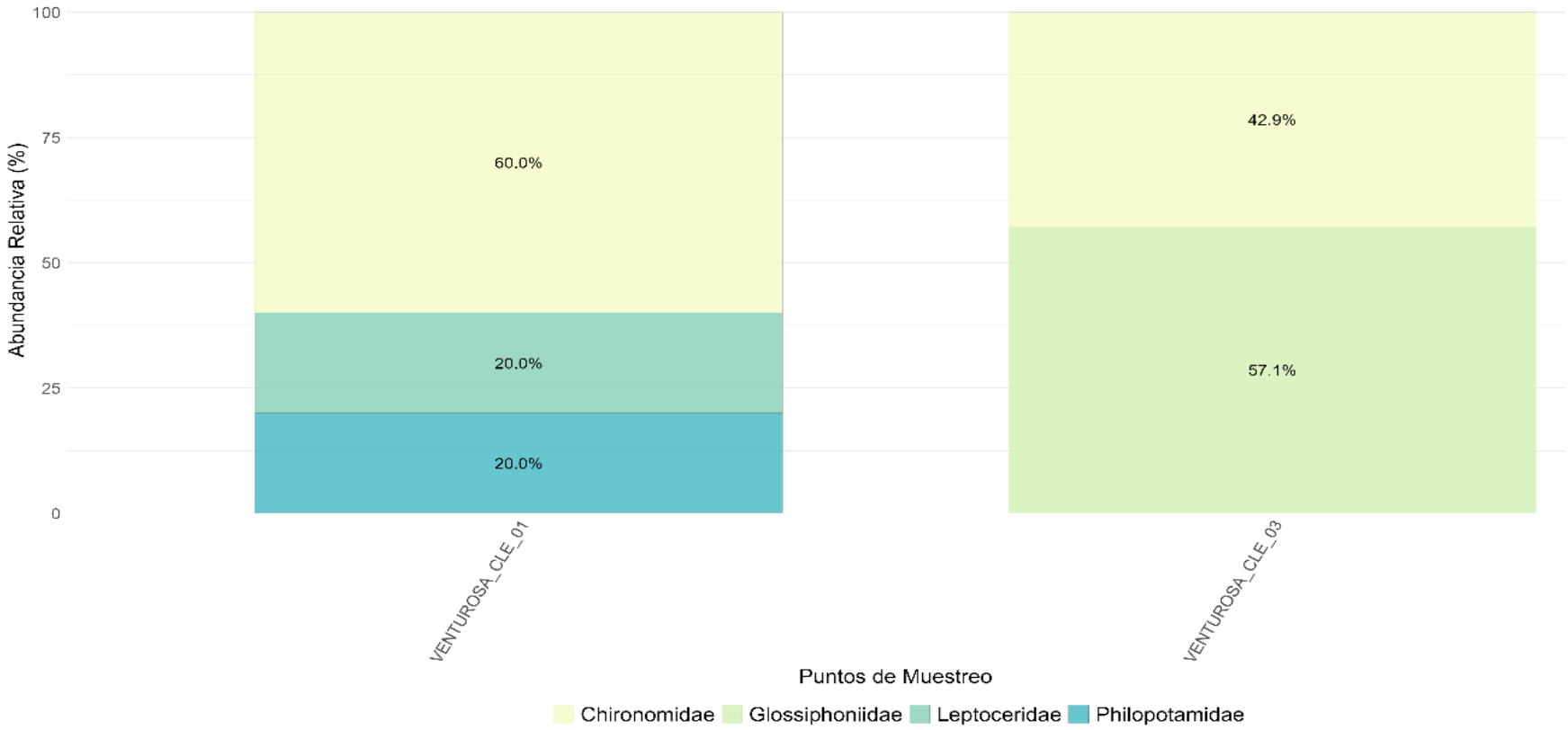


Figura 3.3.3-133 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble estudiado en Caño Venturosa durante la época de lluvias muestra una comunidad acuática con distribución espacial heterogénea, donde coexisten áreas con cierta diversidad biológica y presencia de taxones sensibles (VENTUROSA_CLE_01) con zonas dominadas por organismos tolerantes (VENTUROSA_CLE_03). Esta variabilidad sugiere la existencia de microambientes diferenciados dentro del sistema, posiblemente relacionados con gradientes de calidad de agua, características del sustrato o influencia diferencial de los aportes de la Microcuenca. Los resultados destacan la importancia de las macrófitas como hábitat para la comunidad acuática y la importancia de mantener la conectividad ecológica del sistema con otros cuerpos de agua en el paisaje, particularmente para favorecer la persistencia de los taxones más sensibles como los tricópteros.

Los resultados del índice BMWP/Col revelan diferencias significativas en la calidad del agua entre las estaciones evaluadas en Caño Venturosa durante la época de lluvias. La estación VENTUROSA_CLE_01 obtuvo una puntuación de 19 (Clase IV - Crítica), clasificada como "aguas muy contaminadas", mientras que VENTUROSA_CLE_03 mostró un valor considerablemente más bajo de 6 (Clase V - Muy crítica), indicando "aguas fuertemente contaminadas en situación crítica". Reflejando así la variabilidad espacial en las condiciones ecológicas del sistema identificada en el análisis comunitario previo (Domínguez & Fernández, 2009) (**Tabla 3.3.3-312**).

Tabla 3.3.3-312 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Laguna Venturosa época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_03	V	Muy crítica	6	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	VENTUROSA_CLE_01	IV	Critica	19	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La puntuación relativamente más alta en VENTUROSA_CLE_01 se explica por la presencia de taxones sensibles como Chimarra sp. (Philopotamidae) y *Triplectides* sp. (Leptoceridae), compensando parcialmente la presencia de Chironomidae. Por el contrario, la puntuación extremadamente baja en VENTUROSA_CLE_03 resulta de la composición exclusiva por Glossiphoniidae y Chironomidae, familias con las menores puntuaciones en el índice (Roldán, 2003). Esta diferencia entre estaciones confirma que VENTUROSA_CLE_01 mantiene microhábitats capaces de sustentar organismos sensibles y VENTUROSA_CLE_03 representa una zona con condiciones ambientales más deterioradas, teniendo así que la calidad del agua varía espacialmente en distancias relativamente cortas.

- Diversidad alfa

Los resultados de los índices de diversidad alfa para los puntos muestreados en el Caño Venturosa muestran diferencias en la estructura de las comunidades evaluadas. En el punto VENTUROSA_CLE_01, se registró una abundancia de 50 individuos distribuidos en 3 morfoespecies, mientras que en VENTUROSA_CLE_03 hubo una mayor abundancia (70 individuos) pero menor riqueza, con solo 2 morfoespecies. Esto sugiere que, aunque el segundo punto tiene más individuos, su diversidad podría estar dominada por una o dos taxa.

El índice de Shannon (H'), que considera tanto la riqueza como la equitatividad, fue mayor en VENTUROSA_CLE_01 (1.332) que en VENTUROSA_CLE_03 (0.956), lo que indica una distribución más equilibrada de las especies en el primer punto. Por otro lado, el índice de Simpson (1-D) mostró un valor más alto en VENTUROSA_CLE_03 (0.429 frente a 0.28), lo que sugiere una menor dominancia de especies en este sitio en comparación con VENTUROSA_CLE_01, donde una especie podría estar ejerciendo mayor predominio (**Tabla 3.3.3-313**).

Tabla 3.3.3-313 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Laguna Venturosa época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_01	50	3	1.332	0.28	1.212
	VENTUROSA_CLE_03	70	2	0.956	0.429	1.379

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, VENTUROSA_CLE_01 presenta mayor riqueza y diversidad según el índice de Shannon, pero con posible dominancia de alguna especie (Simpson bajo). Por su parte, VENTUROSA_CLE_03 tiene menor riqueza pero una distribución aparentemente más uniforme, aunque los valores anómalos de Pielou obligan a una revisión de los datos. Para una interpretación más precisa, sería necesario corregir los cálculos de equitatividad y analizar si existen especies dominantes que expliquen las diferencias en los patrones de diversidad.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvia, la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Venturosa, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, presentó una estructura moderadamente diversa, compuesta por cuatro morfoespecies distribuidas en dos divisiones taxonómicas: Tracheophyta y Polypodiidae. Dentro de Tracheophyta, se registraron representantes de las clases Magnoliidae y Commelinales, correspondientes a las familias Poaceae, Cyperaceae y Pontederiaceae, mientras que Polypodiidae estuvo representada por la familia Salviniaceae con *Salvinia* sp. La mayor cobertura en el punto VENTUROSA_CLE_02 fue aportada por *Eichhornia* sp. (38%) y *Salvinia* sp. (1,33%), alcanzando una abundancia relativa de 96,62% y 3,38%, respectivamente. En VENTUROSA_CLE_03, *Eriochloa* sp. (Poaceae) dominó con una cobertura del 54,33%, seguido por *Eleocharis* sp. (Cyperaceae) con 21,67%. Por su parte, el punto VENTUROSA_CLE_01 presentó exclusivamente *Eleocharis* sp. con una cobertura del 52%, lo que indica una dominancia total de esta especie en ese sitio. La riqueza por punto varió entre una y dos morfoespecies, reflejando una comunidad con baja diversidad alfa, pero con variabilidad espacial en la composición entre puntos. Esta estructura comunitaria está influenciada por el régimen hidrológico propio de las llanuras de inundación, donde las fluctuaciones en el nivel del agua durante la temporada de lluvias permiten la expansión de especies flotantes y emergentes, como *Eichhornia* y *Salvinia*, que colonizan rápidamente áreas nuevas o temporalmente inundadas (Junk et al., 1989). A su vez, gramíneas como *Eriochloa* y *Eleocharis* muestran adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten persistir tanto en condiciones de anegamiento como en suelos expuestos, contribuyendo a la estabilidad funcional del ecosistema acuático.

Tabla 3.3.3-314 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Laguna Venturosa época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Venturosa					
				Punto De Muestreo	VENTUROSA_CLE_02		VENTUROSA_CLE_03		VENTUROSA_CLE_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia* sp.	1,33	3,38				
	Magnoliidae	Commelinales	Pontederiaceae	*Eichhornia* sp.	38	96,62				
		Poales	Cyperaceae	*Eleocharis* sp.			21,67	28,51	52	100,00
			Poaceae	*Eriochloa* sp.			54,33	71,49		
Cobertura Total general					**39,33**	**100**	**76**	**100**	**52**	**68**
Morfoespecies por Punto					**2**		**2**		**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvia en la laguna Venturosa, no fue posible calcular índices clásicos de diversidad biológica como Shannon-Wiener o Simpson, debido al bajo número de morfoespecies registradas por punto de muestreo (dos especies en los puntos VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03, y solo una en VENTUROSA_CLE_01). Estos índices requieren una riqueza y equitatividad mínimas para generar valores interpretables, y su uso con comunidades extremadamente simplificadas puede llevar a conclusiones poco representativas de la realidad ecológica (Magurran A. E., 2004). La dominancia de pocas especies, como *Eichhornia* sp. y *Eleocharis* sp., sugiere una estructura comunitaria controlada por especies oportunistas o adaptadas a las condiciones hidrológicas particulares de la temporada húmeda, en las que el pulso de inundación genera hábitats homogéneos y con recursos ampliamente disponibles, favoreciendo el crecimiento de especies con alta capacidad de colonización (Junk et al., 1989). Así, en contextos de baja riqueza florística como el presente, se recomienda complementar el análisis con enfoques funcionales, estructurales o de cobertura relativa para obtener una comprensión más completa del ecosistema, en lugar de depender exclusivamente de métricas tradicionales de diversidad (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001). La baja diversidad observada podría indicar un sistema estable, pero con limitada heterogeneidad ecológica durante este periodo, reflejando un ensamblaje biológico condicionado por los patrones hidrológicos del sistema de llanura de inundación.

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación entre las temporadas seca y de lluvia en la laguna Venturosa evidencia cambios notables en la composición y estructura de la comunidad de macrófitas acuáticas, que reflejan la influencia del régimen hidrológico sobre los ecosistemas de llanura de inundación. Durante la temporada seca, se registraron cuatro morfoespecies distribuidas en tres familias (Poaceae, Cyperaceae y Salviniaceae), con dominancia marcada de especies graminoides como Poaceae Mf. y Paspalum fasciculatum, alcanzando coberturas de hasta el 49,33% en algunos puntos. En contraste, en temporada de lluvia, también se observaron cuatro morfoespecies, pero con un cambio en la composición: emergieron especies como Eichhornia sp. (Pontederiaceae) y Eriochloa

sp. (Poaceae), adaptadas a condiciones más inundadas, y la cobertura general fue más heterogénea (p. ej., 54,33% de Eriochloa sp. en CLE_03 y 38% de Eichhornia sp. en CLE_02).

Desde una perspectiva ecológica, estos cambios están fuertemente determinados por el pulso de inundación, un factor clave en los ecosistemas de planicie aluvial como los Llanos Orientales de Colombia. Según el concepto del pulso de inundación (Junk et al., 1989), la dinámica estacional del nivel del agua crea condiciones ambientales variables que determinan la disponibilidad de hábitats, la conectividad entre cuerpos de agua y la colonización de nuevas áreas por especies acuáticas. En época seca, el hábitat acuático se reduce, favoreciendo especies adaptadas a suelos temporalmente húmedos o encharcados, como muchas Poaceae y Cyperaceae, que muestran estructuras rizomatosas y resistencia a la desecación (Esteves F. A., 2011). En temporada de lluvias, el aumento del espejo de agua y la mayor disponibilidad de nutrientes favorecen especies flotantes y de crecimiento rápido, como *Eichhornia*, lo que puede explicar su alta cobertura y dominancia en ese periodo.

Ambas temporadas mostraron una baja riqueza específica por punto (máximo de dos morfoespecies), lo que limitó el cálculo de índices clásicos de diversidad, reflejando una comunidad simplificada, posiblemente controlada por unas pocas especies clave. Esta baja diversidad puntual puede atribuirse a factores como la homogeneidad del hábitat, la competencia interespecífica o la presión ambiental estacional. No obstante, el recambio de especies entre temporadas sugiere una diversidad beta relevante, lo que destaca la importancia de monitoreos multitemporales en estos ecosistemas (Henry-Silva & Camargo, 2008). Así, el régimen hidrológico de la laguna Venturosa, al estar ubicada en una llanura de inundación, resulta determinante en la estructuración temporal de la comunidad de macrófitas acuáticas.

3.3.3.2.21 Microcuenca caño Yarico

La Microcuenca del caño Yarico, ubicada en el municipio de Cabuyaro, se caracteriza por pertenecer a la llanura aluvial, con fisiografía predominantemente plana, sujeta a procesos de inundación estacional y con una cobertura vegetal dominada por pastos naturales, sabanas y fragmentos de bosque ripario (IGAC., 2020), (IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2021). Esta región presenta un régimen climático bimodal, con una temporada de lluvias entre abril y noviembre y una temporada seca entre diciembre y marzo, siendo estas condiciones determinantes para la dinámica ecológica e hidrológica de la Microcuenca (IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2021). En este contexto, se desarrolló el monitoreo de comunidades hidrobiológicas en seis puntos de muestreo dentro de la Microcuenca del caño Yarico, de los cuales cuatro corresponden a ambientes lóticos (YARICO_CL_01, YARICO_CL_03, OCMY5 y PMASup_DS_18) y dos a ambientes lénticos (YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02). Es importante resaltar que los puntos OCMY5 y PMASup_DS_18 corresponden a ocupaciones de cauce; además, estos puntos han sido denominados en los documentos del proyecto Gangotri como YARICO_CL_02 y OC18, respectivamente. No obstante, para efectos del monitoreo en temporada seca del Bloque CPO-5, se optó por utilizar una nomenclatura diferenciada. La información referente a la temporada de lluvias se retoma del monitoreo realizado en julio de 2024, en el marco del proceso de modificación de la licencia ambiental del Área de Producción Gangotri, cuya

Área de Influencia se encuentra contenida dentro del Área de Influencia del Bloque CPO-5, asegurando así la consistencia y continuidad en los registros ambientales entre ambos proyectos. Este esfuerzo de monitoreo permite establecer líneas base ecológicas sobre la estructura y composición de las comunidades hidrobiológicas, fundamentales para la gestión ambiental de la región.

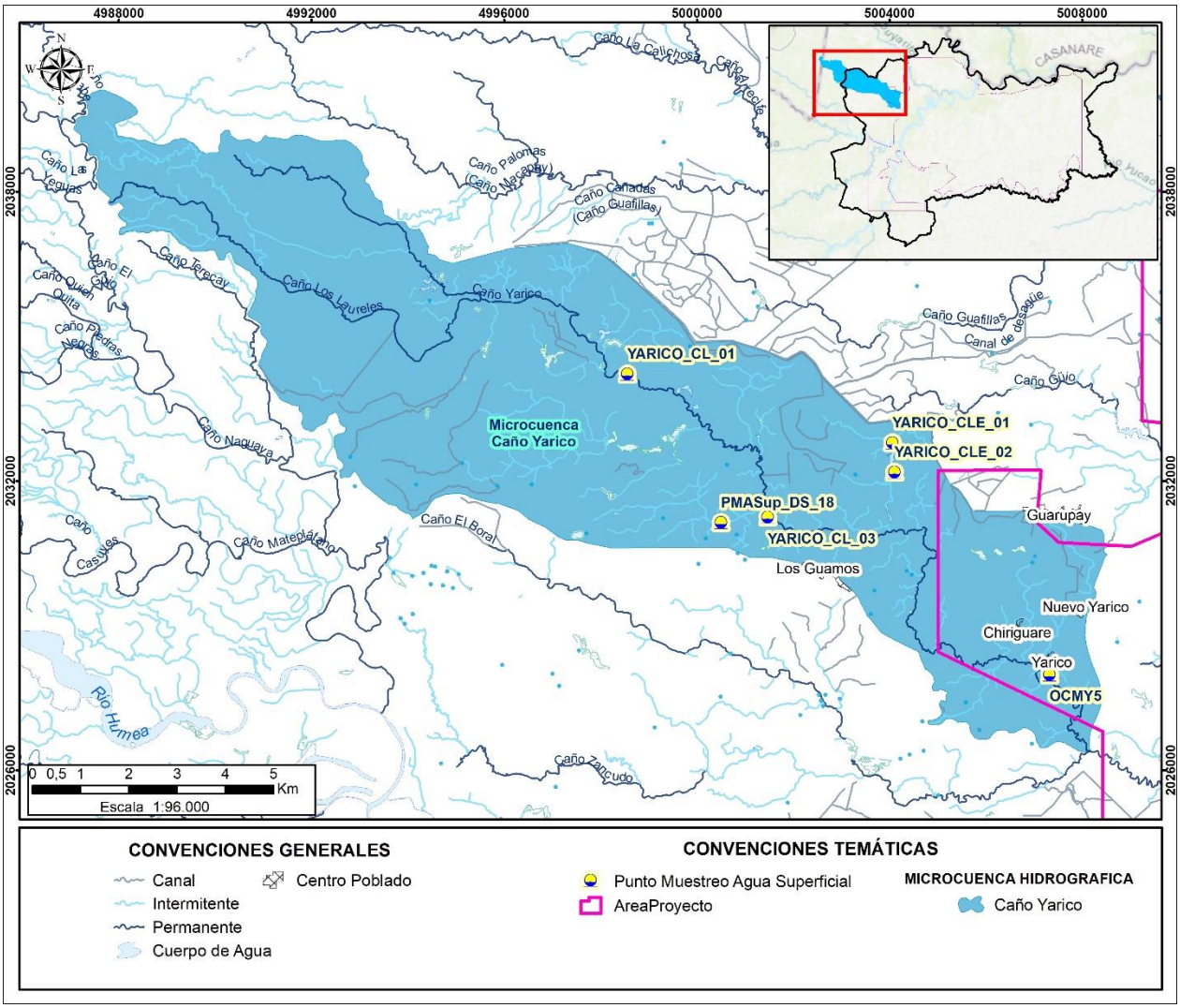


Figura 3.3.3-134 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca caño Yarico

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el caño Yarico, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El estudio del fitoplancton en el sistema léntico de Caño Yarico, ubicado en la llanura inundable de la Microcuenca del Orinoco y monitoreado durante la época seca, revela una comunidad dominada por diatomeas, clorofitas y euglenofitas, con una marcada influencia de las condiciones de baja conectividad hídrica típicas de este período. Las estaciones analizadas, YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02, presentaron abundancias totales de 1.284 Ind/mL y 2.168 Ind/mL, respectivamente, sumando una abundancia total en la Microcuenca de 3.452 Ind/mL. La riqueza total de géneros fue de 36, distribuidos de manera desigual entre las estaciones YARICO_CLE_01 registró 30 géneros, mientras que YARICO_CLE_02 presentó 23 géneros, lo que sugiere una leve variación en la diversidad asociada a diferencias locales en la disponibilidad de nutrientes o en la estructura del hábitat.

Los géneros más representativos en términos de abundancia relativa fueron *Aulacoseira* (71.6% y una abundancia de 0,919 Ind/mL) en YARICO_CLE_01 y (79.9% y una abundancia de 1.733 Ind/mL) en YARICO_CLE_02), seguido por *Eunotia* (4.75% y una abundancia de 0,061 Ind/mL) y en YARICO_CLE_01 (5.81% y una abundancia de 0.126 Ind/mL) en YARICO_CLE_02) y finalmente *Pleodorina* (4.8% y una abundancia de 0,061 Ind/mL) en YARICO_CLE_01 y (0.4% y una abundancia de 0,009 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-315 - Figura 3.3.3-135**) en YARICO_CLE_02. La dominancia de *Aulacoseira*, un género típico de aguas lénticas con alta turbidez y aportes de sílice (Reynolds, 2006), indica condiciones de estabilidad hidrológica y posible enriquecimiento de nutrientes, mientras que la presencia de *Eunotia* sugiere ambientes ácidos o con baja conductividad, comunes en zonas inundables con influencia de materia orgánica terrestre (Round et al., 1990). La menor representatividad de clorofitas como *Pleodorina* y *Scenedesmus* en YARICO_CLE_02 podría reflejar una mayor limitación de fósforo en esta estación, ya que estos géneros son sensibles a desbalances en la relación N:P (Bellinger & Sigee, 2015).

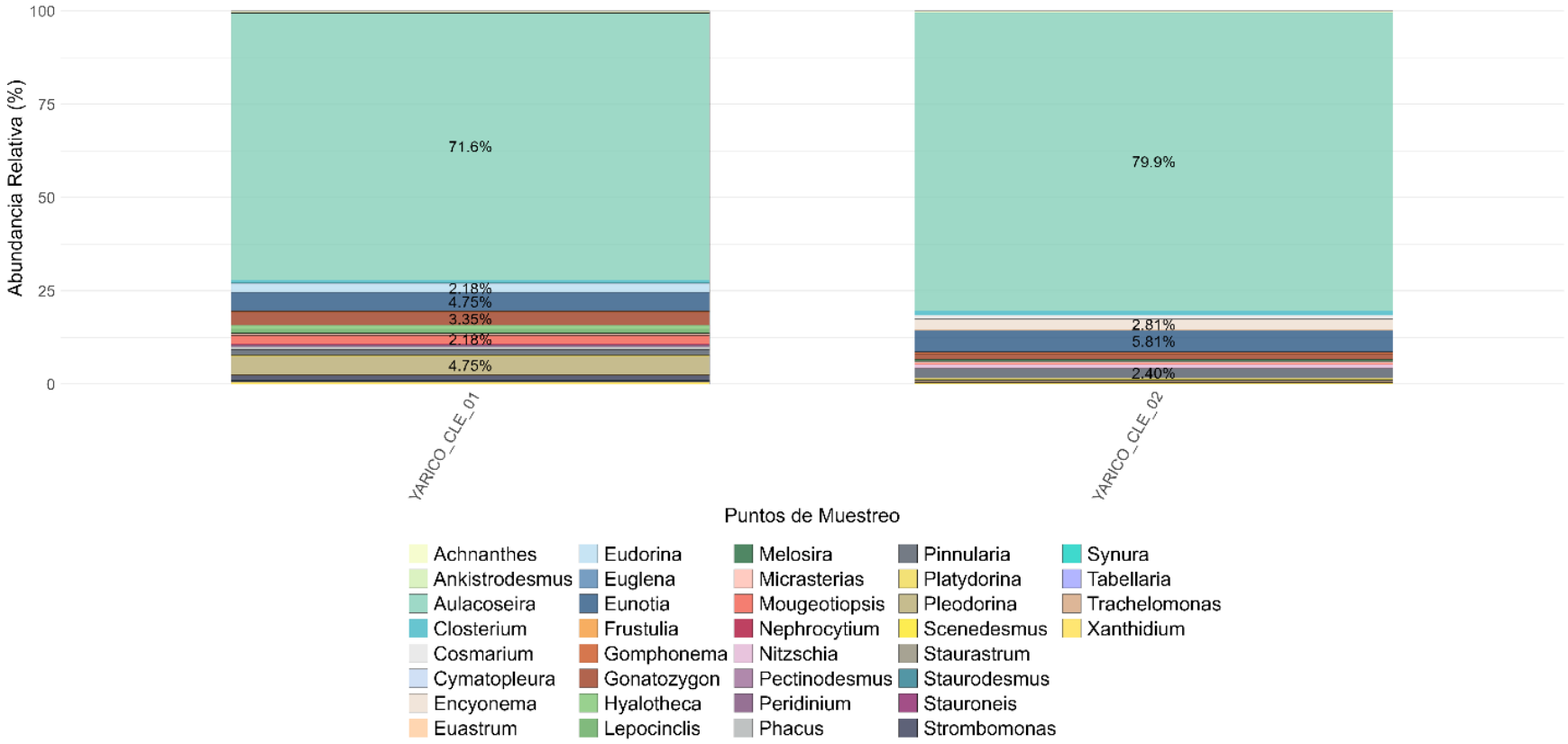


Figura 3.3.3-135 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad fitoplanctónica de Caño Yarico evidencia una transición entre sistemas lénticos y terrestres, con géneros como *Trachelomonas* y *Phacus* (Euglenophyta) indicando aportes orgánicos desde la vegetación riparia, mientras que la alta abundancia de diatomeas (*Aulacoseira*, *Pinnularia*) resalta la importancia de los sedimentos finos y la retención de nutrientes en la columna de agua. La interacción con sistemas lóticos parece limitada, dada la escasez de géneros típicos de corrientes como *Navicula*, lo que concuerda con el carácter aislado de estos ambientes en época seca.

En conclusión, el ensamble fitoplanctónico en Caño Yarico refleja un sistema léntico influenciado por la estacionalidad y la desconexión de los flujos hídricos, con una comunidad adaptada a condiciones de alta estabilidad y enriquecimiento de nutrientes. La dominancia de *Aulacoseira* y la presencia de bioindicadores como *Eunotia* subrayan la importancia de los procesos locales (sedimentación, aportes orgánicos) en la estructuración de estas comunidades.

Tabla 3.3.3-315 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					YARICO_CLE_01	YARICO_CLE_02	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,002	0,009	0,011
				Euglena	0,002		0,002
				Strombomonas	0,017		0,017
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,014	0,004	0,018
				Phacus	0,009		0,009
Chlorophyta	Chlorophyceae	Volvocales	Volvocaceae	*Pleodorina*	0,061	0,009	0,07
				Platydorina	0,005		0,005
				Eudorina	0,028		0,028
		Sphaeropleales	Nephrocytiaceae	*Nephrocytium*	0,005		0,005
			Selenastraceae	*Ankistrodesmus*	0,002		0,002
			Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	0,002	0,004	0,006
				Pectinodesmus	0,002		0,002
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	0,002		0,002
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,019	0,052	0,071
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	0,002		0,002
			Amphipleuraceae	*Frustulia*	0,002	0,004	0,006
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,061	0,126	0,187
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*		0,022	0,022
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*		0,061	0,061
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,005	0,009	0,014
		Surirellales	Surirellaceae	*Cymatopleura*	0,002		0,002
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	0,005	0,009	0,014
	Chrysophyceae	Synurales	Mallomonadaceae	*Synura*	0,002		0,002
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,919	1,733	2,652
		Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*		0,009	0,009
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,01	0,026	0,036
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,002	0,022	0,024
				Xanthidium	0,007	0,009	0,016
				Micrasterias	0,007	0,009	0,016
				Hyalotheca	0,014	0,004	0,018
				Staurodesmus		0,004	0,004

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					YARICO_CLE_01	YARICO_CLE_02	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Staurastrum*		0,004	0,004
				Euastrum		0,004	0,004
			Gonatozygaceae	*Gonatozygon*	0,043	0,026	0,069
		Zygnematales	Zygnemataceae	*Mougeotiopsis*	0,028	0,009	0,037
Dinoflagellata	Dinophyceae	Peridiniales	Peridiniaceae	*Peridinium*	0,005		0,005
Gran Total					**1,284**	**2,168**	**3,452**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de los índices de diversidad en las estaciones YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02 de la Microcuenca del Caño Yarico, se presenta un escenario ecológico contrastante en la comunidad fitoplanctónica durante la época seca. La estación YARICO_CLE_01 presenta una riqueza de 30 géneros y con una abundancia de 1,284 ind/mL, mostrando valores de Shannon (1.356) y Simpson (0.527) que indican una diversidad moderada, pero con distribución desigual de las especies (Pielou = 0.399), característica de ambientes que mantienen cierta heterogeneidad, pero donde comienzan a observarse dominancias específicas (**Tabla 3.3.3-316**). Por otro lado, YARICO_CLE_02, con mayor abundancia (2,168 ind/mL) pero menor riqueza (23 géneros), evidencia una comunidad menos diversa (Shannon = 0.988) y más dominada por pocas especies (Simpson = 0.648), acompañada de una baja equitatividad (Pielou = 0.315) (**Tabla 3.3.3-316**). Esta combinación sugiere condiciones de estrés ambiental, posiblemente asociadas a eutrofización, limitación de luz, o alteraciones hidrológicas que favorecen la proliferación de géneros tolerantes en detrimento de otros.

En conjunto, la Microcuenca presenta una condición ecológica intermedia, donde coexisten áreas con biodiversidad relativamente conservada (YARICO_CLE_01) y zonas con claros signos de perturbación (YARICO_CLE_02). Esta dualidad es típica de sistemas lénticos en llanuras inundables durante períodos secos, donde la desconexión hídrica y la variabilidad microambiental generan parches de diferente calidad ecológica. La presencia de dominancia marcada en YARICO_CLE_02 alerta sobre procesos potencialmente disruptivos, como aportes excesivos de nutrientes o cambios en la dinámica del agua, mientras que la mayor diversidad en YARICO_CLE_01 sugiere que el sistema aún mantiene resiliencia parcial.

Tabla 3.3.3-316 Índices de Diversidad Ecológica (Alfa) Microcuenca caño Yarico época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
YARICO_CLE_01	1.284	30	1.356	0.527	0.399
YARICO_CLE_02	2.168	23	0.988	0.648	0.315

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Zooplancton*

El estudio del ensamble zooplanctónico en el sistema léntico de la Microcuenca Caño Yarico, ubicado en la llanura inundable y monitoreado durante la época seca, revela una comunidad dominada por microcrustáceos y protozoos, con una estructura trófica que refleja las condiciones particulares de aislamiento hídrico característico de este período. Las estaciones

analizadas, YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02, presentaron abundancias totales de 0.0154 Ind/mL y 0.0063 Ind/mL respectivamente, sumando una abundancia total en la Microcuenca de 0.0217 Ind/mL. La riqueza total de taxa fue de nueve, con YARICO_CLE_01 mostrando mayor diversidad con seis taxas comparado con YARICO_CLE_02 que reporto tres taxas (**Tabla 3.3.3-317**), lo que sugiere diferencias en las condiciones microambientales entre ambas estaciones.

Los taxa más representativos mostraron una distribución desigual, en YARICO_CLE_01 destacó Ostracoda Mf**.** con (28.6%) (**Figura 3.3.3-136**) de abundancia relativa y una abundancia de (0.0044 Ind/mL), seguido por Cyclopoida Mf. y Nematoda Mf., cada uno con (14.3%) y una abundancia de (0.0022 Ind/mL) y así mismo el resto de las taxas reportadas. En contraste, YARICO_CLE_02 estuvo dominado por *Arcella* y *Difflugia* (protozoos testados), ambos con (33.33%) de abundancia relativa y una abundancia de (0.0021 Ind/mL cada uno) (**Tabla 3.3.3-317**) (**Figura 3.3.3-136**). Esta composición sugiere un sistema con predominio de consumidores secundarios y descomponedores, más que de herbívoros zooplanctónicos típicos, lo que concuerda con la probable limitación de recursos fitoplanctónicos en el sistema durante la época seca (Pace, 1986).

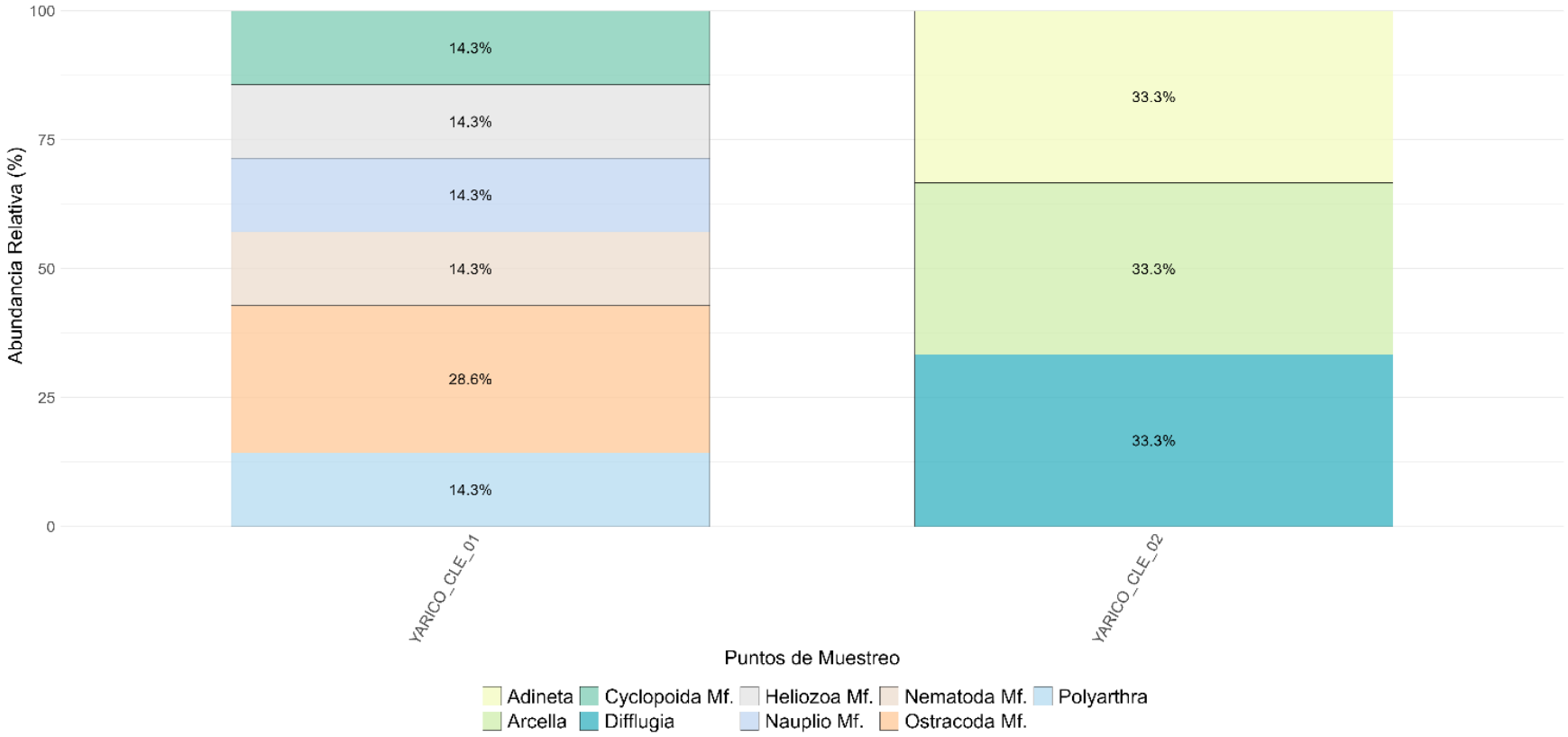


Figura 3.3.3-136 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia dominante de ostrácodos y copépodos ciclopoides en YARICO_CLE_01 indica condiciones de mayor estabilidad hidrológica, mientras que la abundancia de protozoos testados (*Arcella*, *Difflugia*) en YARICO_CLE_02 sugiere mayor influencia de materia orgánica particulada de origen terrestre (Foissner W. , Soil protozoa as bioindicators in ecosystems under human influence, 1999). La escasez de rotíferos, tradicionalmente asociados a aguas más productivas, refuerza la hipótesis de un sistema con baja disponibilidad de recursos algales. La interacción con sistemas terrestres es evidente a través de la presencia de taxa como Nematoda Mf., que pueden indicar conexiones temporales con hábitats riparios durante eventos de inundación previos (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013).

La marcada diferencia entre estaciones (mayor abundancia de microcrustáceos en YARICO_CLE_01 versus protozoos en YARICO_CLE_02) podría reflejar variaciones en la profundidad, disponibilidad de oxígeno o calidad del sustrato. La casi ausencia de cladóceros, grupo típico en muchos sistemas lénticos, sugiere limitaciones específicas en este ambiente, posiblemente relacionadas con la química del agua o la presión de depredación (Dumont, 1994).

En conclusión, la comunidad zooplanctónica de la Microcuenca del Caño Yarico durante la época seca presenta características atípicas para sistemas lénticos, con predominio de microcrustáceos y protozoos sobre los rotíferos, lo que refleja una red trófica sustentada principalmente en detritos y bacterias más que en fitoplancton. Esta estructura comunitaria parece responder a las condiciones extremas de aislamiento y probable estrés nutricional característicos de las llanuras inundables en período seco.

Tabla 3.3.3-317 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					YARICO_CLE_01	YARICO_CLE_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*		0,0021	0,0021
			Difflugiidae	*Difflugia*		0,0021	0,0021
Arthropoda	-	-	-	Nauplio Mf.	0,0022		0,0022
	Maxillopoda	Cyclopoida		Cyclopoida Mf.	0,0022		0,0022
	Ostracoda	-		Ostracoda Mf.	0,0044		0,0044
Rotifera	Eurotatoria	-	Adinetidae	*Adineta*		0,0021	0,0021
		Ploima	Synchaetidae	*Polyarthra*	0,0022		0,0022
Protozoa	Heliozoa	-	-	Heliozoa Mf.	0,0022		0,0022
Nematoda	-			Nematoda Mf.	0,0022		0,0022
Gran Total					**0,0154**	**0,0063**	**0,0217**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices de diversidad en las comunidades zooplanctónicas de las estaciones YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02 revela un escenario ecológico particular en esta llanura inundable de la Microcuenca. La estación YARICO_CLE_01 muestra una abundancia de 0.0154 ind/mL con seis morfoespecies, presenta valores de Shannon (1.748) y Simpson (0.184) que indican una

comunidad moderadamente diversa con baja dominancia de especies específicas, complementado por una alta equitatividad (Pielou = 0.976) que sugiere una distribución equilibrada de los individuos entre las especies presentes (**Tabla 3.3.3-318**). En contraste, YARICO_CLE_02 presenta menor abundancia (0.0063 ind/mL) y riqueza (tres morfoespecies), con valores de Shannon (1.099) que reflejan menor diversidad, aunque mantiene una buena equitatividad (Pielou = 1.000) que indica una distribución perfectamente equilibrada entre las pocas morfoespecies presentes, acompañado de un índice de Simpson (0.333) (**Tabla 3.3.3-318**) que muestra una dominancia ligeramente mayor que en la estación anterior.

Está marcada diferencia entre ambas estaciones sugiere condiciones ambientales diferenciadas dentro del mismo sistema léntico. La mayor diversidad observada en YARICO_CLE_01 podría estar asociada a una mayor disponibilidad de recursos o condiciones ambientales más estables que permiten el establecimiento de una comunidad zooplanctónica más compleja. Por otro lado, los valores de YARICO_CLE_02, aunque muestran menor diversidad, presentan una distribución perfectamente equilibrada entre las morfoespecies presentes, lo que podría indicar condiciones más restrictivas, pero con un equilibrio comunitario establecido. Considerando ambos puntos de muestreo, la Microcuenca en su conjunto presenta una condición ecológica moderada, donde coexisten áreas con comunidades zooplanctónicas relativamente diversas y equilibradas con zonas de menor diversidad, pero con buen balance entre las especies presentes. Esta variabilidad espacial es característica de los sistemas lénticos en llanuras inundables, particularmente durante períodos de aislamiento hídrico. Los resultados sugieren que, aunque el sistema mantiene comunidades zooplanctónicas estructuradas, existen diferencias microambientales que merecen atención, particularmente en lo que respecta a los factores que limitan la riqueza de especies en ciertas áreas.

Tabla 3.3.3-318 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
YARICO_CLE_01	0.0154	6	1.748	0.184	0.976
YARICO_CLE_02	0.0063	3	1.099	0.333	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de

estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

- ✓ *Perifíton*

El ensamble ecológico del perifiton en los puntos monitoreados (PMASup_DS_18, YARICO_CL_03 y OCMY5) dentro del sistema lótico de la Microcuenca analizada, estudiado en época seca, muestra una estructura comunitaria dominada por diatomeas (Heterokontophyta), particularmente de las familias Surirellaceae, Pinnulariaceae, Eunotiaceae y Tabellariaceae, que en conjunto representan el 82.3% de la abundancia total (422.3 ind/cm²). La estación PMASup_DS_18 destaca por su alta abundancia (239.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-319**), dominada por *Tabellaria* (120.4 ind/cm²; 50.3% relativo) y *Eunotia* (73.2 ind/cm²; 30.6%), géneros bioindicadores de aguas ligeramente ácidas y con moderada carga orgánica (Round et al., 1990). En contraste, YARICO_CL_03 presenta una comunidad distinta, con predominio de *Brachysira* (108.5 ind/cm²; 60% relativo), asociada a sustratos estables y baja perturbación (Potapova & Charles, 2003), y *Chaetophora* (54.3 ind/cm²; 30%) (**Tabla 3.3.3-319**) (**Figura 3.3.3-137**), un alga filamentosa que sugiere enriquecimiento de nutrientes (Stevenson et al., 2010). La estación OCMY5, con una abundancia mínima (2.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-319**), solo registra *Eunotia*, lo que podría indicar condiciones restrictivas, como bajo flujo o estrés químico.

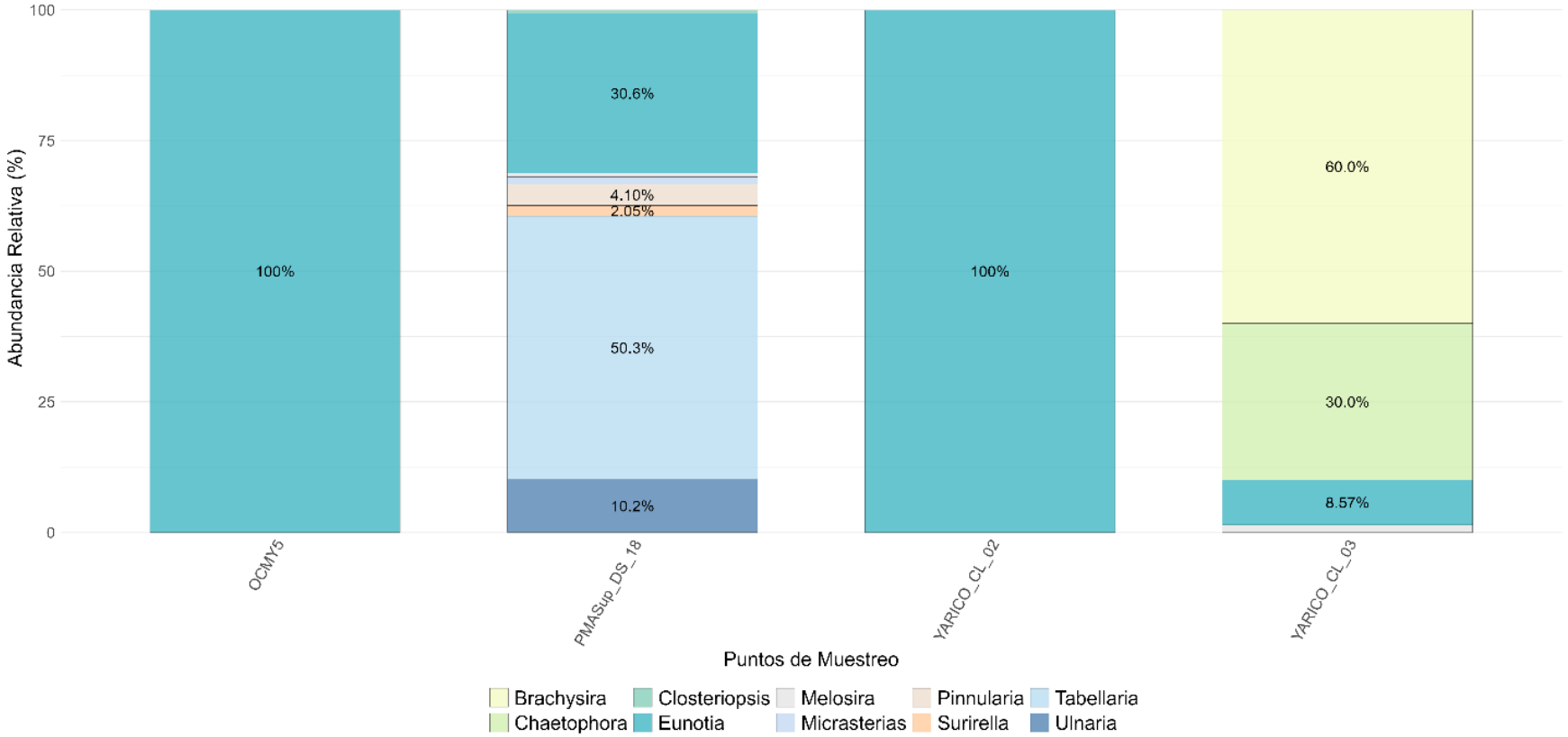


Figura 3.3.3-137 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos y terrestres se evidencia en la presencia de *Melosira* y *Ulnaria*, diatomeas típicas de ambientes con aporte de materia orgánica alóctona (Wetzel R. G., 2001), mientras que la escasez de *Closteriopsis* y *Micrasterias* (1.6 y 3.3 ind/cm², respectivamente) (**Tabla 3.3.3-319**) sugiere limitada influencia de sistemas lénticos. La bioindicación señala que la Microcuenca presenta heterogeneidad espacial: PMASup_DS_18 refleja condiciones mesotróficas, YARICO_CL_03 indica posible eutrofización localizada y OCMY5 sugiere estrés ambiental.

En Conclusión, la comunidad de perifiton en la Microcuenca evidencia un gradiente ecológico influenciado por factores locales (sustrato, nutrientes) y estacionalidad (época seca). La dominancia de diatomeas tolerantes y la baja diversidad en OCMY5 apuntan a presiones antropogénicas o naturales, requiriendo monitoreo adicional para discriminar entre ellas. La interacción con sistemas terrestres es moderada, pero la presencia de *Chaetophora* en YARICO_CL_03 alerta sobre posibles alteraciones antrópicas.

Tabla 3.3.3-319 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yarico			Abundancia Total Microcuenca (Ind/Cm²)
					PMASup_DS_18	YARICO_CL_03	OCMY5	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	4,9			4,9
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	9,8			9,8
			Brachysiraceae	*Brachysira*		108,5		108,5
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	73,2	15,5	2,2	90,9
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	120,4			120,4
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	24,4			24,4
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*	1,6	2,6		4,2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Chaetophora*		54,3		54,3
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	*Closteriopsis*	1,6			1,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Micrasterias*	3,3			3,3
Gran Total					**239,2**	**180,9**	**2,2**	**422,3**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de los índices ecológicos en las cuatro estaciones monitoreadas revela un escenario contrastante en la Microcuenca durante el período seco. La estación PMASup_DS_18 emerge como la más diversa, con valores de Shannon (1.404) y Simpson (0.337) que indican una comunidad moderadamente diversa, aunque la uniformidad (Pielou=0.675) (**Tabla 3.3.3-320**) sugiere cierta dominancia de especies. Esta estación, con 8 especies identificadas y una abundancia de 239.2 ind/cm², representa el punto de mayor salud ecológica en el sistema. En contraste, las estaciones OCMY5 y YARICO_CL_02 presentan condiciones críticas, con diversidad nula (Shannon=0), riqueza mínima (1 especie) y abundancias muy bajas (2.2 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-320**), lo que podría indicar estrés ambiental severo o alteraciones antrópicas significativas. La estación YARICO_CL_03 muestra una situación intermedia, con diversidad baja (Shannon=0.939) pero abundancia relativamente alta (180.9 ind/cm²), lo que sugiere condiciones de perturbación moderada donde pocas especies dominan la comunidad.

Estos resultados adquieren mayor relevancia al considerar que corresponden a un período seco, cuando las condiciones ambientales son más extremas. La marcada diferencia entre estaciones cercanas (como YARICO_CL_02 y YARICO_CL_03) sugiere que los impactos pueden ser muy localizados, posiblemente relacionados con actividades humanas puntuales o características hidromorfológicas específicas. Los valores extremadamente bajos en OCMY5 y YARICO_CL_02 son particularmente preocupantes, ya que indican zonas donde la comunidad de perifiton prácticamente ha colapsado, lo que podría tener efectos cascada en todo el ecosistema acuático.

En Conclusión, el análisis evidencia un gradiente de condiciones ecológicas en la Microcuenca, desde áreas con diversidad aceptable (PMASup_DS_18) hasta zonas críticamente alteradas (OCMY5, YARICO_CL_02). Estos resultados sugieren que la presencia simultánea de puntos tan diferentes podría estar pasando por algún tipo de presión o cambio en la dinámica del ecosistema.

Tabla 3.3.3-320 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY5	2,2	1	0	1	
PMASup_DS_18	239,2	8	1,404	0,337	0,675
YARICO_CL_02	2,2	1	0	1	
YARICO_CL_03	180,9	4	0,939	0,458	0,677

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamblaje de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Caño Yarico, revela una comunidad moderadamente diversa en cuanto a estructura taxonómica, dominada por representantes del Phyllum Arthropoda, clase Insecta. En total se registraron cinco (5) morfoespecies distribuidas en tres (3) familias (Chironomidae, Ceratopogonidae y Tipulidae) y tres (3) géneros identificables (*Alluaudomyia*, *Atrichopogon*, *Stilobezzia* y un taxón indeterminado en *Tipulidae*), con una abundancia total de 37 individuos/m². Las estaciones evaluadas fueron PMASup_DS_18 y OCMY5, ambas pertenecientes a la Microcuenca del Caño Yarico, contribuyendo con 20 individuos/m² y 17 individuos/m² respectivamente (**Tabla 3.3.3-321**).

Tabla 3.3.3-321 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						PMASup_DS_18	OCMY5	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	18,9	1,1	20
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia* sp.		13,3	13,3
				Atrichopogon	*Atrichopogon* sp.		1,1	1,1
				Stilobezzia	*Stilobezzia* sp.	1,1		1,1
			Tipulidae	-	*Tipulidae* Mf.		1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**20**	**17**	**37**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el enfoque de bioindicación, los taxones observados se asocian con ambientes de calidad ecológica baja a intermedia. La familia Chironomidae, ampliamente dominante (20 individuos/m²), está compuesta por organismos muy tolerantes a condiciones de estrés ambiental, como baja concentración de oxígeno disuelto, sedimentación fina o carga orgánica elevada (Roldan G. , 1992; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). Su presencia en ambas estaciones con alta representatividad es un indicio de condiciones tróficas elevadas o posibles impactos antrópicos. Por su parte, los géneros de la familia Ceratopogonidae como *Alluaudomyia*, *Atrichopogon* y *Stilobezzia* son considerados tolerantes, aunque su distribución puede estar ligada a microhábitats específicos como zonas someras con macrófitas o acumulaciones de materia orgánica en descomposición, lo cual señala una estructura de hábitat aún funcional pero posiblemente afectada por alteraciones hidromorfológicas locales (Domínguez & Fernández, 2009). La morfoespecie atribuida a la familia Tipulidae, aunque en baja abundancia (1,1 individuos/m²), tiene una menor tolerancia a la contaminación y podría representar un indicador débil de recuperación o existencia de microambientes más oxigenados y estables (Merritt & Cummins, 2008).

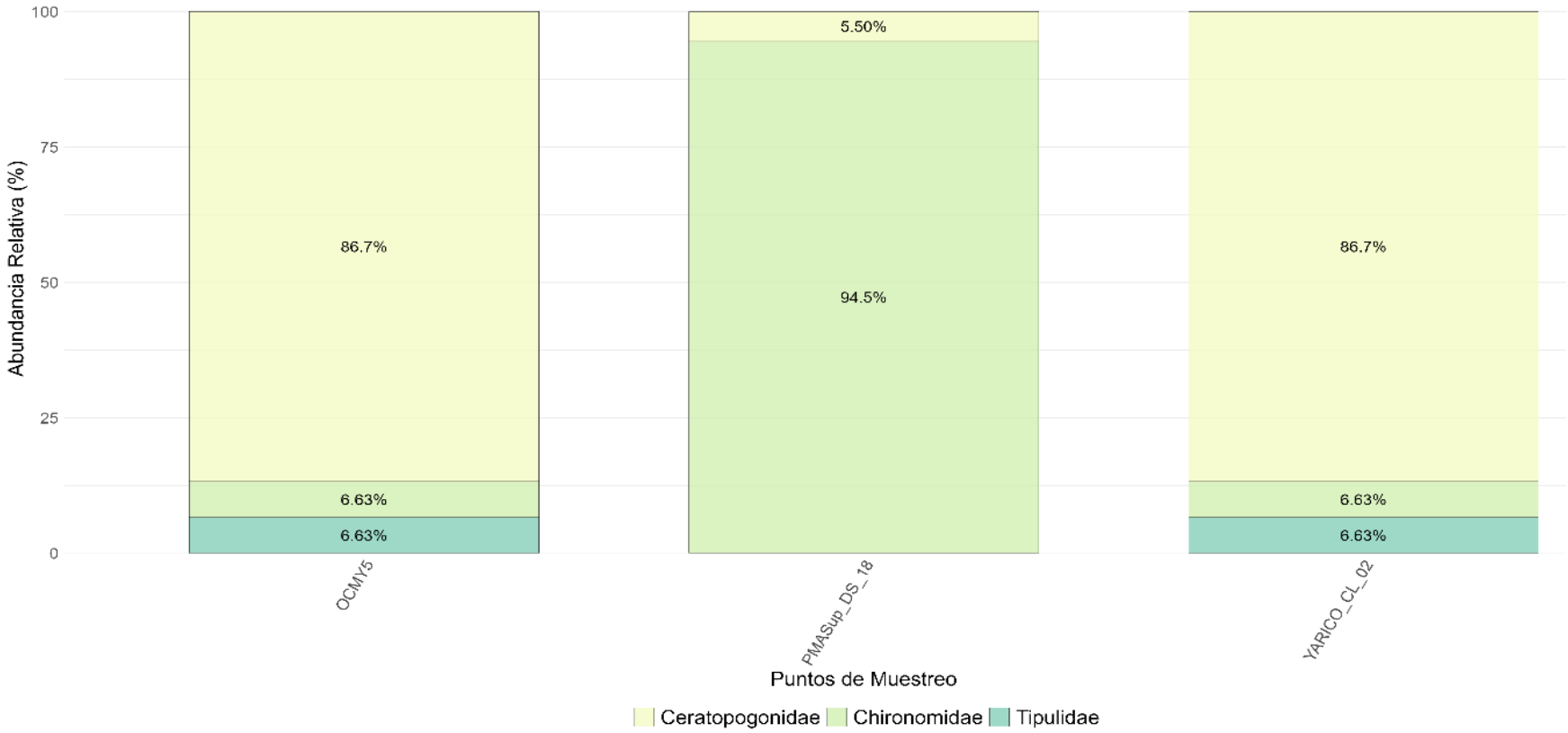


Figura 3.3.3-138 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde una perspectiva ecológica más amplia, se puede inferir que los ensamblajes observados en el Caño Yarico reflejan una transición entre estados alterados y funcionales, donde dominan organismos oportunistas, pero aún subsisten elementos bioindicadores de cierta integridad ecológica. Esta configuración podría estar influenciada por la conectividad entre sistemas lénticos y lóticos, ya que los márgenes del Caño Yarico pueden recibir aportes de materia orgánica e individuos procedentes de zonas con aguas estancadas, facilitando la colonización por dípteros saprófagos. Asimismo, la interfaz terrestre-acuática puede estar modulando los flujos de nutrientes y dispersión de macroinvertebrados, como ocurre en otros sistemas ribereños de la altillanura (Wantzen K. M. et al., 2008).

En conclusión, el ensamblaje registrado en el Caño Yarico durante la época seca sugiere una comunidad dominada por taxones tolerantes, con baja diversidad funcional y posible presión ambiental. La riqueza moderada y la predominancia de familias como Chironomidae y Ceratopogonidae constituyen señales de alerta sobre la calidad del agua, aunque la presencia de Tipulidae puede representar remanentes de condiciones más estructuradas. Estos resultados deben interpretarse en el contexto de un paisaje llanero donde la estacionalidad, la conectividad ecosistémica y la intervención humana determinan en gran medida la composición de las comunidades acuáticas.

En relación con lo anterior, los resultados del índice BMWP/Col de las estaciones OCMY5 y PMASup_DS_18, reflejan condiciones críticas en cuanto a la calidad ecológica del agua. El puntaje obtenido en OCMY5 fue de 10, mientras que en PMASup_DS_18 fue de 7, ubicando ambos sitios dentro de la categoría de "Muy crítica", según la escala adaptada del índice BMWP para Colombia (Roldan G. , 2003). Esta categoría indica la presencia de aguas fuertemente contaminadas, con baja diversidad de organismos sensibles y predominancia de taxones tolerantes a la polución orgánica (**Tabla 3.3.3-322**).

Estos bajos valores del índice BMWP son consistentes con la composición taxonómica observada en el ensamble ecológico registrado previamente en estos puntos, donde se identificó el dominio de familias como Chironomidae y Ceratopogonidae. Dichas familias están ampliamente reconocidas como bioindicadoras de ambientes perturbados, debido a su capacidad de sobrevivir en condiciones de bajo oxígeno disuelto y alta carga orgánica (Domínguez & Fernández, 2009; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014).

Tabla 3.3.3-322 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época seca

Microcuenca	Punto de monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO YARICO	OCMY5	V	Muy crítica	10	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	PMASup_DS_18	V	Muy crítica	7	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Es así como el análisis del índice BMWP/Col en el Caño Yarico revela una situación de alta vulnerabilidad ecológica, donde la comunidad de macroinvertebrados refleja una pérdida de integridad biológica y un estado trófico alterado.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del sistema lótico Caño Yarico, muestra niveles bajos de complejidad ecológica, con diferencias notables entre los puntos de muestreo OCMY5 y PMASup_DS_18. En el punto OCMY5 se registró una abundancia de 16,6 individuos/m², con una riqueza de cuatro (4) morfoespecies, y valores moderadamente bajos para los índices de Shannon (0,72) y Simpson (0,653). Esto sugiere una estructura de comunidad en la que, aunque hay una mayor variedad de taxa, existe cierta dominancia de una o dos grupos específicos, limitando la equitatividad (Pielou: 0,519), lo cual es típico de ambientes con disturbios moderados.

Por su parte, PMASup_DS_18 presentó una abundancia ligeramente superior (20 individuos/m²), pero con una riqueza significativamente menor (2 morfoespecies), reflejando una comunidad más empobrecida desde el punto de vista ecológico. Esta baja riqueza se traduce en índices aún más reducidos de diversidad: el índice de Shannon fue de apenas 0,215, mientras que el índice de Simpson, al contrario, fue alto (0,895), lo que indica una fuerte dominancia por parte de un solo taxón (*Chironomidae Mf.*). Esto se refuerza con el valor bajo del índice de equitatividad de Pielou (0,31), lo cual sugiere una distribución desigual de los individuos entre las morfoespecies presentes.

Tabla 3.3.3-323 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO YARICO	OCMY5	16.6	4	0.72	0.653	0.519
	PMASup_DS_18	20	2	0.215	0.895	0.31

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Ambos resultados reflejan condiciones ambientales desfavorables para el desarrollo de comunidades diversas y equilibradas, posiblemente asociadas a impactos antrópicos, baja heterogeneidad del hábitat o condiciones tróficas alteradas, aspectos comunes en cuerpos de agua en sabanas de altillanura con presión ganadera y escasa cobertura vegetal riparia (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014; Roldan G. , 1996). Estas características concuerdan con los resultados del índice BMWP, que también ubicaron estos puntos en la categoría de calidad "muy crítica".

En conclusión, los valores de diversidad alfa en Caño Yarico indican una comunidad de macroinvertebrados simplificada, dominada por pocos grupos resistentes, con escasa equitatividad, lo cual puede ser utilizado como un bioindicador de alteración ambiental significativa y pérdida de funcionalidad ecosistémica.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de Caño Yarico, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época seca en las estaciones YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02, presentó una comunidad compuesta por dieciséis (16) morfoespecies distribuidas en cuatro (4) phyllum (Annelida, Arthropoda, Mollusca y Arachnida), cinco (5) clases (Clitellata, Insecta, Gastropoda, Acari y Arachnida), nueve (9) órdenes (Rhynchobdellida, Tubificida, Diptera, Coleóptera, Hemiptera, Neuróptera, Basommatophora, Acari y otros), 14 familias y seis (6) géneros identificados, con una abundancia total de 410 ind/m². La estación YARICO_CLE_01 mostró mayor abundancia (287 ind/m²) y riqueza (11 morfoespecies) que YARICO_CLE_02 (123 ind/m² y 12 morfoespecies), siendo Chironomidae el grupo dominante en ambas estaciones (177,8 ind/m² y 52,2 ind/m² respectivamente), seguido por Ceratopogonidae (*Probezzia sp*. con 81,1 ind/m² y 42,2 ind/m²) y Naididae (4,4 ind/m² y 5,6 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-375**). La marcada diferencia en abundancia entre estaciones podría relacionarse con variaciones en la cobertura de macrófitas o condiciones microambientales particulares (Roldan & Ramirez, 2008).

Tabla 3.3.3-324 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						YARICO_CLE_01	YARICO_CLE_02	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae* Mf.		3,3	3,3
		Tubificida	Naididae		*Naididae* Mf.	4,4	5,6	10
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae* Mf.	177,8	52,2	230
			Culicidae	*Culex*	*Culex* sp.	4,4	5,6	10
			Ceratopogonidae	*Probezzia*	*Probezzia* sp.	81,1	42,2	123,3
			Tipulidae	-	*Tipulidae* Mf.		1,1	1,1
			Stratiomyidae	*Odontomyia*	*Odontomyia* sp.		1,1	1,1
		Coleóptera	Dytiscidae	*Laccophilus*	*Laccophilus* sp.		4,4	4,4
			Noteridae	*Suphisellus*	*Suphisellus* sp.	1,1		1,1
			Hydrophilidae	*Helochares*	*Helochares* sp.		1,1	1,1
			Staphylinidae	-	*Staphylinidae* Mf.		1,1	1,1
			Curculionidae		*Curculionidae* Mf.	2,2		2,2
		Hemiptera	Hebridae		*Hebridae* Mf.	3,3	4,4	7,7
		Neuróptera	Sisyridae		*Sisyridae* Mf.		1,1	1,1
	Arachnida	Acari	-		*Acari* Mf.	3,3		3,3
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae		*Planorbidae* Mf.	7,8		7,8
			Physidae		*Physidae* Mf.	1,1		1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**287**	**123**	**410**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad muestra características contrastantes. La dominancia de Chironomidae y Ceratopogonidae, grupos considerados tolerantes a condiciones de estrés ambiental (Domínguez & Fernández, 2009), sugiere cierto grado de perturbación en el sistema. Sin embargo, la presencia de taxones sensibles como *Odontomyia sp.* (Stratiomyidae),

Sisyridae y algunos coleópteros acuáticos (*Laccophilus sp.*, *Helochares sp.*) en bajas abundancias indica que algunas zonas del sistema mantienen condiciones aceptables para macroinvertebrados más exigentes. La interacción con sistemas lóticos y terrestres se evidencia a través de coleópteros como *Laccophilus sp.* y *Suphisellus sp.*, que pueden desplazarse entre hábitats acuáticos y terrestres, así como por la presencia de grupos como Staphylinidae y Curculionidae, típicamente asociados a la interfaz agua-tierra (Merritt & Cummins, 2008). La notable abundancia de Chironomidae y Ceratopogonidae podría estar relacionada con la acumulación de materia orgánica durante la época seca, mientras que la presencia de moluscos (Planorbidae y Physidae) sugiere cierta estabilidad en las condiciones del sustrato.

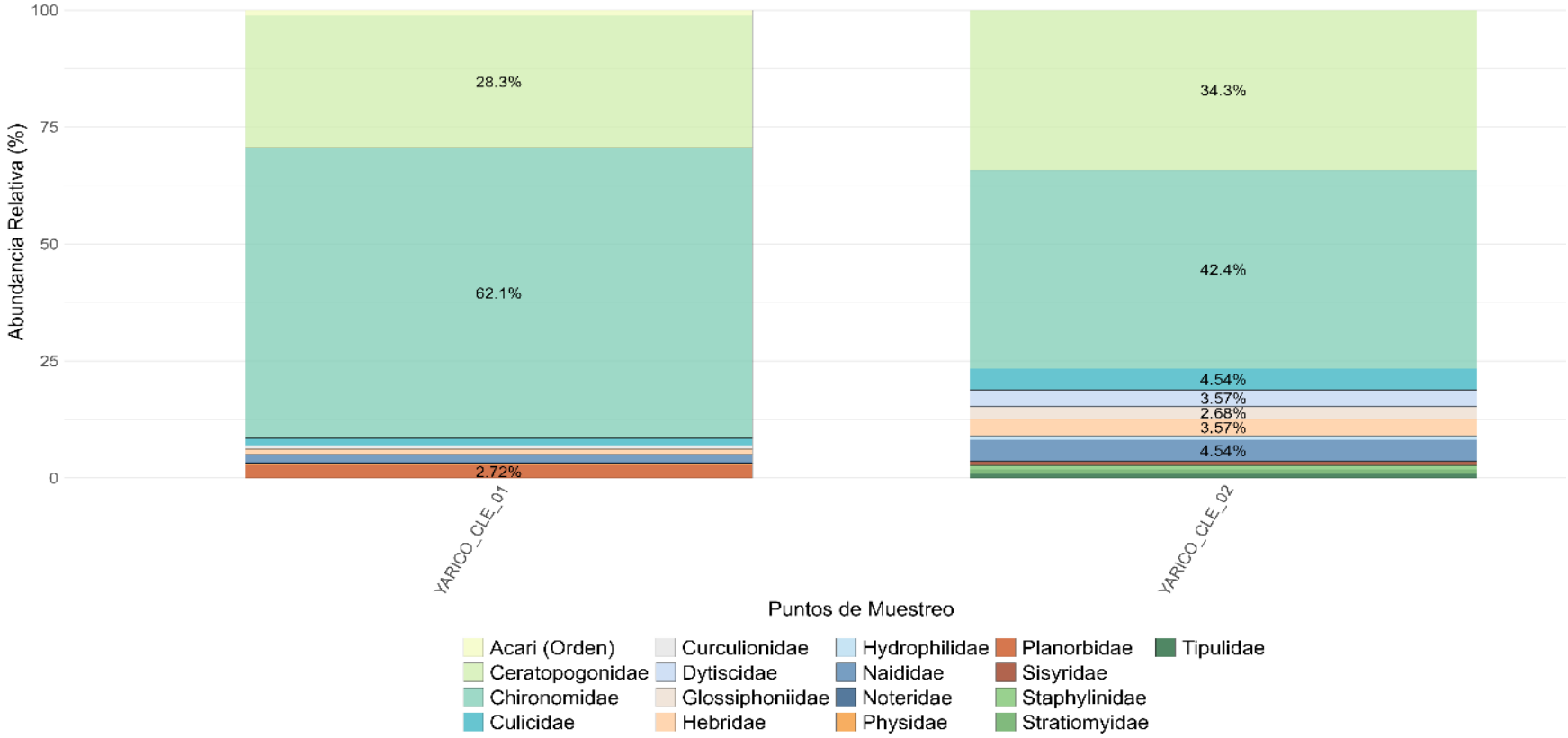


Figura 3.3.3-139 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta estructura de la comunidad se puede asociar a un sistema con capacidad para mantener una diversidad considerable de macroinvertebrados durante la época seca, aunque con marcada dominancia de grupos tolerantes. La diferencia en composición entre estaciones sugiere heterogeneidad espacial en las condiciones del hábitat, donde YARICO_CLE_02, a pesar de menor abundancia total, presenta mayor riqueza de morfoespecies (12 frente a 11), incluyendo taxones más sensibles. Esta variación podría deberse a diferencias en la estructura de las comunidades de macrófitas, calidad del agua o conectividad con otros sistemas acuáticos (Wantzen K. M. et al., 2008). La presencia simultánea de organismos con diferentes requerimientos ecológicos (desde los muy tolerantes como Naididae hasta los más sensibles como Sisyridae) sugiere la existencia de microhábitats diferenciados dentro del mismo cuerpo de agua.

En conclusión, el ensamble estudiado en Caño Yarico muestra una comunidad acuática diversa pero dominada por grupos tolerantes, característica de sistemas lénticos en la altillanura durante la época seca. La presencia de taxones sensibles en bajas abundancias indica que algunas zonas del sistema mantienen condiciones ambientales favorables, mientras que la alta densidad de Chironomidae y Ceratopogonidae refleja probablemente el efecto acumulativo de la materia orgánica durante el estiaje. La interacción con sistemas terrestres y lóticos, aunque limitada por las condiciones de sequía, se mantiene a través de grupos con capacidad de dispersión aérea. Estos resultados destacan la importancia de las macrófitas como hábitat para la comunidad acuática en períodos de bajo caudal y la necesidad de considerar la variabilidad espacial en los programas de monitoreo de estos ecosistemas.

Ahora bien, con respecto a los resultados del índice BMWP/Col aplicado a las estaciones de Caño Yarico, estos muestran una calidad del agua "moderadamente contaminada" en ambas estaciones (Clase III en ambos casos) (**Tabla 3.3.3-376**). Esta clasificación intermedia resulta de la combinación de varios factores ecológicos observados en el análisis de la comunidad. La presencia de familias con alta puntuación en el BMWP como Stratiomyidae, Sisyridae y Dytiscidae en YARICO_CLE_02 contribuyó a su puntuación ligeramente superior, mientras que en YARICO_CLE_01 la mayor abundancia de grupos tolerantes como Chironomidae y Ceratopogonidae (con bajas puntuaciones en el índice) explica su valor más bajo (Roldan G. , 2003).

La clasificación como "aguas moderadamente contaminadas" resulta coherente con la estructura de la comunidad observada, donde coexisten taxones indicadores de buena calidad (Stratiomyidae, Sisyridae), grupos de tolerancia intermedia (Hydrophilidae, Dytiscidae) y organismos tolerantes dominantes (Chironomidae, Ceratopogonidae).

Tabla 3.3.3-325 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO YARICO	YARICO_CLE_02	III	Dudosa	36	Aguas moderadamente contaminadas
	YARICO_CLE_01	III	Dudosa	33	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La diferencia entre estaciones (36 vs 33) refleja la mayor presencia de taxones sensibles en YARICO_CLE_02, particularmente *Odontomyia sp.* (Stratiomyidae) y Sisyridae, que reciben altas puntuaciones en el BMWP (Alba-Tercedor, 1996). Esta variación espacial dentro del mismo cuerpo de agua sugiere la existencia de microhábitats con condiciones diferenciadas, donde algunas zonas (como YARICO_CLE_02) mantienen mejor calidad ambiental que otras.

Los valores del BMWP/Col confirman las observaciones del análisis de la comunidad, indicando que el sistema presenta una condición intermedia de calidad, donde existe la capacidad para albergar taxones sensibles, aunque en bajas abundancias. Adicionalmente, la dominancia de grupos tolerantes limita la puntuación general y la heterogeneidad espacial afecta la distribución de los bioindicadores.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para las estaciones en Caño Yarico revelan patrones ecológicos diferenciados entre ambos puntos de muestreo. En YARICO_CLE_01 se registró una abundancia total de 286.5 ind/m² distribuida en 10 morfoespecies, con un índice de Shannon de 1.594 que indica diversidad media-baja, mientras que YARICO_CLE_02 presentó menor abundancia (123.2 ind/m²) pero mayor riqueza (12 morfoespecies) y diversidad (Shannon = 1.91), mostrando valores más altos en todos los índices de diversidad. Esta aparente paradoja ecológica -donde la estación con menor abundancia muestra mayor diversidad- se explica por la estructura de la comunidad observada: YARICO_CLE_01 está dominada por unas pocas morfoespecies (principalmente Chironomidae con 177.8 ind/m² y *Probezzia* sp. con 81.1 ind/m²), lo que resulta en una menor equitatividad (Pielou = 0.692) y mayor dominancia (Simpson = 0.262), mientras que YARICO_CLE_02 presenta una distribución más equilibrada de las abundancias entre especies (Pielou = 0.769) y menor dominancia (Simpson = 0.225), a pesar de su menor abundancia total (**Tabla 3.3.3-326**).

Tabla 3.3.3-326 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO YARICO	YARICO_CLE_01	286.5	10	1.594	0.262	0.692
	YARICO_CLE_02	123.2	12	1.91	0.225	0.769

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los valores de Shannon obtenidos (1.594-1.91) son característicos de sistemas lénticos tropicales con moderada diversidad, típicos de ambientes con cierto grado de perturbación pero que aún mantienen capacidad para albergar comunidades relativamente diversas (Magurran A. E., 2004). La mayor diversidad en YARICO_CLE_02, evidenciada por los índices más altos, coincide con la presencia de taxones sensibles como *Odontomyia sp.* y Sisyridae, que no se encontraron en YARICO_CLE_01, sugiriendo que esta estación mantiene mejores condiciones ambientales a pesar de su menor productividad total. La diferencia en los patrones de diversidad entre estaciones probablemente refleja variaciones en la estructura del hábitat proporcionado por las macrófitas, la calidad del agua y condiciones del sustrato, el grado de conectividad con otros sistemas acuáticos y los niveles de perturbación antropogénica local.

Los índices de Pielou (0.692-0.769) indican que ambas estaciones presentan distribuciones de abundancia relativamente equilibradas entre las morfoespecies presentes, aunque con cierto grado de dominancia de grupos específicos, particularmente en YARICO_CLE_01. Esta relativa equitatividad, asociada a los valores de riqueza observados (10-12 morfoespecies), sugiere que el sistema en conjunto mantiene una estructura con interacciones biológicas significativas y cierta complejidad trófica, a pesar de las condiciones restrictivas propias de la época seca en la altillanura (Garzón-Ferreira & Cano, 2017). La combinación de estos índices con los resultados del BMWP/Col (que mostró calidad "moderadamente contaminada" en ambas estaciones) sugiere que Caño Yarico es un sistema con capacidad para mantener comunidades acuáticas diversas durante el estiaje, aunque con evidentes signos de estrés ambiental que se manifiestan en la dominancia de grupos tolerantes y la distribución espacial desigual de los taxones más sensibles.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada seca, el monitoreo de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Yarico, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, evidenció una estructura comunitaria compuesta por 13 morfoespecies distribuidas en dos divisiones taxonómicas principales: Polypodiidae (Pteridofitas acuáticas) y Tracheophyta (plantas vasculares superiores), siendo esta última la más representativa. Estas morfoespecies se agruparon en al menos 7 órdenes y 9 familias botánicas, lo cual refleja una heterogeneidad florística influenciada por la naturaleza del cuerpo de agua y el grado de intervención antrópica (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013), (Murphy, 2021). (**Tabla 3.3.3-327**).

En los cuerpos lóticos (YARICO_CL_01, YARICO_CL_03, OCMY5 y PMASup_DS_18), se observó una mayor diversidad en el punto PMASup_DS_18, donde se registraron 7 morfoespecies con una cobertura total del 141,67%. Predominaron familias como Cyperaceae, Pontederiaceae y Araceae, con especies como *Cyperus haspan, Eleocharis elegans y Pontederia* sp., lo que indica un ambiente lótico con influencia de márgenes inundables y aportes de nutrientes, típico en zonas intervenidas por actividades humanas. En contraste, OCMY5, otro punto lótico con ocupación de cauce, mostró solo dos morfoespecies (*Cyperus luzulae* y *Hymenachne* sp.), pero con una cobertura significativa (36,67%), lo que podría sugerir condiciones físicas menos favorables para la colonización o un mayor grado de alteración hidráulica (**Tabla 3.3.3-327**).

El punto YARICO_CL_03 presentó una comunidad monoespecífica con *Carex* sp., alcanzando el 100% de cobertura relativa, lo que podría indicar un entorno más estable o con menos perturbaciones, donde una sola especie domina el espacio disponible. En cambio, YARICO_CL_01 no presentó macrófitas durante el periodo de monitoreo, posiblemente debido a condiciones de sequía extrema que redujeron la lámina de agua por debajo del umbral mínimo para el establecimiento de estas plantas (**Tabla 3.3.3-327**).

En los cuerpos lénticos (YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02), se evidenció una comunidad más especializada y con especies flotantes dominantes, como S*alvinia auriculata, Salvinia sprucei* y

Ludwigia helminthorrhiza. En YARICO_CLE_02, se observó la mayor cobertura relativa con un 100% distribuido entre tres especies, resaltando la dominancia de *Salvinia auriculata* (65,39%). Este patrón es típico de cuerpos de agua con bajo flujo, altas temperaturas y posibles condiciones de eutrofización, que favorecen la proliferación de especies flotantes (Cronk, 2001). Por su parte, YARICO_CLE_01 mostró una cobertura también del 100%, pero con menor diversidad (2 morfoespecies), manteniéndose la dominancia de helechos flotantes como *Salvinia sprucei* (**Tabla 3.3.3-327**).

Las especies registradas reflejan diferentes formas de vida hidromórficas: flotantes libres, emergentes, enraizadas y sumergidas, lo que aporta a la diversidad estructural y funcional del sistema acuático (Bove, 2018). El predominio de Cyperaceae, Poaceae y Salviniaceae es consistente con estudios en humedales de la Orinoquía y Amazonía colombiana, donde estas familias se adaptan eficazmente a los pulsos de inundación y a las variaciones estacionales del caudal (Junk W. J., 2011). Además, el uso diferencial de nombres para los puntos OCMY5 (anteriormente YARICO_CL_02) y PMASup_DS_18 (denominado OC18 en los documentos de Gangotri) responde a la estandarización de los sitios de muestreo en función del objetivo del monitoreo para el Bloque CPO-5 (**Tabla 3.3.3-327**).

- Diversidad Alfa

Durante la temporada seca, el análisis de la diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Yarico permitió calcular los índices ecológicos únicamente en el punto PMASup_DS_18, debido a que fue el único punto con una riqueza taxonómica suficiente (≥3 morfoespecies) para obtener medidas robustas de diversidad. Este punto presentó una riqueza de siete morfoespecies y una abundancia total de 141,67, lo cual refleja una comunidad altamente estructurada. El índice de Shannon-Wiener alcanzó un valor de 1,894, lo que indica una diversidad relativamente alta en comparación con ecosistemas similares en condiciones de estacionalidad marcada, sugiriendo una coexistencia relativamente balanceada entre especies con diferentes tolerancias ecológicas (Magurran A. E., 2004), (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001). El índice de Simpson, con un valor de 0,157, señala una baja dominancia de especies específicas, reforzando la idea de equidad en la distribución de abundancias, la cual queda confirmada por un índice de equidad de Pielou (0,973), cercano al valor máximo de 1, que representa una distribución uniforme entre las especies presentes.

Tabla 3.3.3-327 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yarico época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Yarico										
				Punto De Muestreo	PMASup_DS_18		YARICO_CL_03		OCMY5		YARICO _CL_01	YARICO_CLE_01		YARICO_CLE_02	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia auriculata*							seco	15	31,04	28,34	65,39
				Salvinia sprucei								33,33	68,96		
	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	Montrichardia sp.	15	10,59									
				Urospatha sp.	11	7,76									
		Commelinales	Pontederiaceae	*Pontederia* sp.	26,67	18,83									
		Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia helminthorrhiza*										15	34,61
		Poales	Cyperaceae	*Cyperus luzulae*					16,67	45,46					
				Carex sp.			5	100,00							
				Eleocharis elegans	23	16,23									
				Cyperus haspan	26	18,35									
			Poaceae	*Urochloa* sp.	26,67	18,83									
				Hymenachne sp.					20	54,54					
		Zingiberales	Marantaceae	*Calathea* sp.	13,33	9,41									
Cobertura Total general					**141,67**	**82**	**5**	**100**	**36,67**	**100**	**0**	**48,33**	**100**	**43,34**	**100**
Morfoespecies por Punto					**7**		**1**		**2**		**0**	**2**		**2**	
Morfoespecies por Microcuenca					**13**										

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos valores evidencian una comunidad de macrófitas acuáticas con una composición compleja y bien distribuida en el punto PMASup_DS_18, correspondiente a una ocupación de cauce, lo que sugiere condiciones fisicoquímicas favorables, posiblemente influenciadas por la disponibilidad de nutrientes, iluminación y estabilidad hidrológica local (Thomaz, 2003). Por el contrario, en los puntos YARICO_CL_01, YARICO_CL_03, OCMY5, YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02, no fue posible calcular los índices de diversidad debido a que presentaron menos de tres morfoespecies o, en el caso de YARICO_CL_01, no se registraron ejemplares, lo cual se atribuye a la marcada estacionalidad y a la reducción en la disponibilidad de hábitat y recursos durante el periodo seco (Junk et al., 1989).

- *Época lluvias*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Comunidad y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 para las estaciones YARICO_CLE_02 y YARICO_CLE_01. El estudio de la comunidad fitoplanctónica en el sistema léntico del Caño Yarico durante la época de lluvias revela un ensamble ecológico complejo con marcadas diferencias entre las estaciones YARICO_CLE_02 y YARICO_CLE_01. La estación YARICO_CLE_02 presenta una abundancia significativamente mayor (4.347 Ind/mL) dominada por diatomeas como *Pinnularia* (0.385 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia de (8.86%) y *Aulacoseira* (0.322 Ind/mL y 7.41%), acompañadas del clorófito *Pandorina* (0.232 Ind/mL y 5.38%) y el euglenófito *Phacus* (0.166 Ind/mL y 3.82%). Esta composición sugiere un ambiente con moderado contenido de nutrientes y cierta influencia de aportes orgánicos, evidenciado por la presencia de *Phacus* y *Trachelomonas* (0.111 Ind/mL y 2.55%), géneros indicadores de aguas con materia orgánica en descomposición (Wołowski et al., 2013). En contraste, YARICO_CLE_01 muestra menor abundancia (0.907 Ind/mL) pero con presencia de taxones sensibles como *Cosmarium* (0.04 Ind/mL y 4.41%) y *Micrasterias* (0.022 Ind/mL y 2.43%) (**Tabla 3.3.3-328**) (**Figura 3.3.3-140**), característicos de aguas oligotróficas con baja conductividad (Coesel & Meesters, Desmids of the Lowlands, 2007). La riqueza total de la Microcuenca (32 géneros) (**Tabla 3.3.3-328**) y la distribución diferencial de especies reflejan la heterogeneidad ambiental típica de sistemas inundables, donde YARICO_CLE_02 representa una zona más productiva influenciada por aportes terrestres, mientras YARICO_CLE_01 corresponde a un ambiente más natural con influencia de aguas claras de escorrentía.

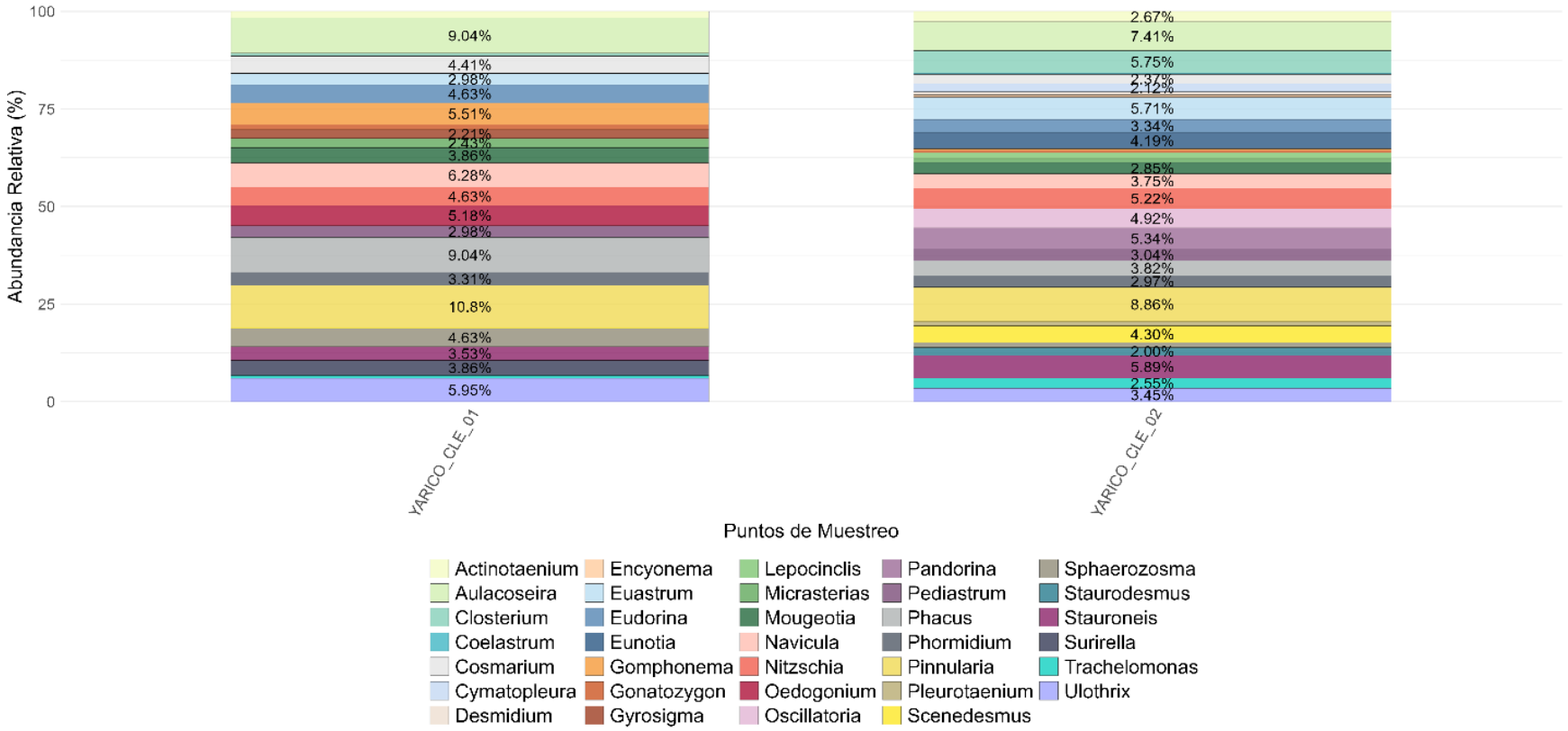


Figura 3.3.3-140 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres se manifiesta en la composición taxonómica. La alta abundancia de *Aulacoseira* (0.404 Ind/mL total), diatomea típica de aguas turbulentas, sugiere conexiones temporales con sistemas lóticos durante los pulsos de inundación (Reynolds, 2006). Simultáneamente, la presencia de *Pinnularia* (0.483 Ind/mL) y *Eunotia* (0.182 Ind/mL) indica aportes desde áreas terrestres inundadas con suelos ácidos (Donato-Rondón, 2016). La notable representación de desmidios (*Closterium* 0.257 Ind/mL, *Euastrum* 0.275 Ind/mL) confirma la influencia de humedales marginales con aguas blandas, mientras que la baja proporción de cianobacterias (*Oscillatoria* 0.214 Ind/mL) sugiere limitada eutrofización (Padisák et al., 2009). La marcada diferencia en abundancia entre estaciones podría reflejar gradientes de profundidad o diferencias en la conectividad hidrológica durante el muestreo.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Yarico presenta una calificación ecológica buena, lo cual puede estar asociada a la alta diversidad de especies con requerimientos ecológicos contrastantes; como la presencia simultánea de taxones indicadores de aguas oligotróficas (*Cosmarium*) y mesotróficas (*Aulacoseira*) y los patrones de distribución coherentes con la dinámica natural de llanuras inundables (Junk et al., 1989). La mayor productividad en YARICO_CLE_02 no indica contaminación, sino procesos naturales de enriquecimiento durante inundaciones.

Tabla 3.3.3-328 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					YARICO_CLE_02	YARICO_CLE_01	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,111	0,007	0,118
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,066		0,066
				Phacus	0,166	0,082	0,248
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*		0,047	0,047
		Volvocales	Volvocaceae	*Pandorina*	0,232		0,232
				Eudorina	0,145	0,042	0,187
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	0,187	0,002	0,189
				Coelastrum	0,013		0,013
			Hydrodictyaceae	*Pediastrum*	0,132	0,027	0,159
	Ulvophyceae	Ulotrichales	Ulotrichaceae	*Ulothrix*	0,15	0,054	0,204
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,385	0,098	0,483
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	0,256	0,032	0,288
			Naviculaceae	*Navicula*	0,163	0,057	0,22
				Gyrosigma	0,003	0,02	0,023
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,182		0,182
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	0,227	0,042	0,269
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*	0,026		0,026
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	0,018	0,05	0,068
		Surirellales	Surirellaceae	*Cymatopleura*	0,092		0,092
				Surirella		0,035	0,035
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,322	0,082	0,404
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*	0,129	0,03	0,159
				Oscillatoria	0,214		0,214
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,25	0,007	0,257
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,103	0,04	0,143
				Micrasterias	0,042	0,022	0,064

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					YARICO_CLE_02	YARICO_CLE_01	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Euastrum*	0,248	0,027	0,275
				Pleurotaenium	0,045		0,045
				Desmidium	0,034		0,034
				Staurodesmus	0,087		0,087
				Sphaerozosma	0,055	0,042	0,097
				Actinotaenium	0,116	0,015	0,131
			Gonatozygaceae	*Gonatozygon*	0,024	0,012	0,036
		Zygnematales	Zygnemataceae	*Mougeotia*	0,124	0,035	0,159
Gran Total					**4,347**	**0,907**	**5,254**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los análisis de diversidad de la comunidad fitoplanctónica en el sistema léntico del Caño Yarico muestra marcadas diferencias cuantitativas pero similar calidad ecológica entre las estaciones YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02. La estación YARICO_CLE_02 presenta una abundancia notablemente superior (4.347 Ind/mL) y mayor riqueza específica (32 géneros), acompañada de valores sobresalientes de diversidad (Shannon = 3.279) y equitatividad (Pielou = 0.946), indicando un ambiente altamente productivo capaz de sustentar una comunidad compleja y equilibrada. Estos resultados superan los umbrales considerados óptimos para sistemas lénticos tropicales (Reynolds, 2006), con un valor de Simpson bajo (0.044) que demuestra una distribución casi perfecta de los recursos entre especies. En paralelo, YARICO_CLE_01, aunque con menor abundancia (0.907 Ind/mL) y riqueza (24 géneros), mantiene una calidad ecológica comparable, evidenciada por su alto índice de Shannon (3.025) y equitatividad (Pielou = 0.952) (**Tabla 3.3.3-329**), lo que sugiere condiciones ambientales estables pero con menor disponibilidad de nutrientes (Padisák et al., 2009). La diferencia en abundancia entre ambas estaciones refleja probablemente gradientes naturales de profundidad, conectividad hidrológica o aportes diferenciales de nutrientes desde la llanura inundable, más que perturbaciones antropogénicas.

La excelencia ecológica del sistema se manifiesta en tres aspectos clave, la presencia simultánea de alta diversidad reportando más de 24 géneros y equitatividad menor o igual (0.94) en ambos puntos, combinación rara en sistemas naturales que indica disponibilidad equilibrada de nichos ecológicos (Bellinger & Sigee, 2015), la ausencia de dominancia por especies indicadoras de eutrofización, a pesar de la elevada productividad en YARICO_CLE_02 y los patrones espaciales coherentes con el funcionamiento hidroecológico esperado en llanuras inundables bien conservadas (Junk et al., 1989). La similitud en los índices de diversidad a pesar de la diferencia en abundancia sugiere que ambos puntos comparten características ambientales fundamentales, variando principalmente en su capacidad de carga productiva.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Yarico reporta una una calificación ecológica muy buena, siendo un modelo de sistema léntico tropical bien conservado. La combinación de una alta diversidad fitoplanctónica; el equilibrio en la comunidad y los gradientes naturales de productividad cumple con los criterios de referencia para humedales naturales.

Tabla 3.3.3-329 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
YARICO_CLE_01	0.907	24	3.025	0.056	0.952
YARICO_CLE_02	4.347	32	3.279	0.044	0.946

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 para las estaciones YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02. El estudio de la comunidad zooplanctónica en los puntos YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02 de la Microcuenca Caño Yarico, ubicado en la Microcuenca de la llanura inundable colombiana durante la época de lluvias, revela un ensamble ecológico diverso compuesto por organismos de seis filos diferentes (Amoebozoa, Arthropoda, Rotifera, Cercozoa, Nematoda y Gastrotricha), con una riqueza total de 17 morfoespecies y una abundancia agregada de 0.4422 Ind/mL. La estación YARICO_CLE_02 presentó mayor abundancia (0.3434 Ind/mL) y riqueza (14 morfoespecies) que YARICO_CLE_01 (0.0988 Ind/mL y 10 morfoespecies), destacándose los protozoos testados *Arcella* (0.062 Ind/mL) y *Trinema* (0.0465 Ind/mL) como los más abundantes en toda la Microcuenca, seguidos por el rotífero *Colurella* (0.0465 Ind/mL) y un porcentaje de abundancia (13.5%) y el cercozoo Euglypha (0.057 Ind/mL). La presencia de larvas nauplio (0.031 Ind/mL y 9.03%) y rotíferos como *Polyarthra* (0.0284 Ind/mL y 8.3%) (**Tabla 3.3.3-330**) (**Figura 3.3.3-141**) y *Trichocerca* (0.0285 Ind/mL) sugiere condiciones favorables para el desarrollo de organismos planctónicos, característicos de ambientes lénticos con moderado aporte de materia orgánica durante la época lluviosa (Segers, 2008). La composición taxonómica muestra una notable dominancia de microorganismos indicadores de buena calidad de agua, particularmente los protozoos testados (*Arcella*, *Difflugia*) que son sensibles a perturbaciones ambientales (Foissner & Berger, 1996), junto con rotíferos como *Lecane* y Bdelloidea que suelen asociarse a ambientes con vegetación acuática (Wallace R. L. et al., 2016).

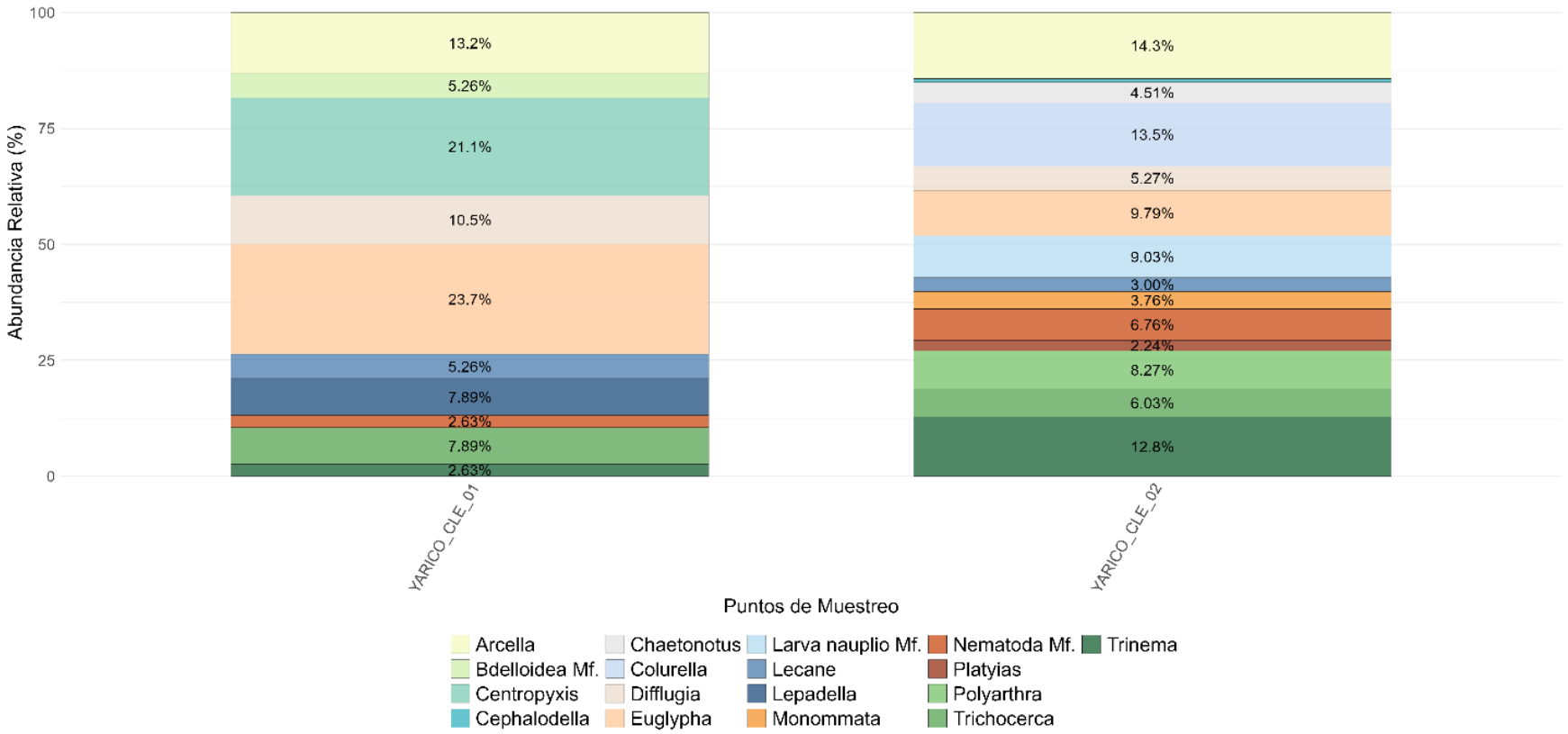


Figura 3.3.3-141 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción con sistemas terrestres se evidencia por la presencia de nematodos de vida libre (0.0258 Ind/mL) y gastrotrichos (0.0155 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-330**), aunque en bajas abundancias, mientras que la conexión con sistemas lóticos podría inferirse por la presencia de *Trichocerca*, un género adaptado a corrientes lentas. Los valores de diversidad confirman una comunidad bien estructurada y diversa, lo que es característico de sistemas acuáticos bien conservados.

Considerando la composición taxonómica, los patrones de abundancia de la Microcuenca del Caño Yarico, puede clasificarse la Microcuenca con una calificación ecológica "muy buena", demostrando capacidad para mantener comunidades zooplanctónicas diversas y equilibradas durante el período lluvioso. Esto puede estar asociado a la presencia de taxones sensibles, la adecuada estructura comunitaria.

Tabla 3.3.3-330 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Yarico		Abundancia total microcuenca (ind/ml)
					YARICO_CLE_02	YARICO_CLE_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,049	0,013	0,062
			Difflugiidae	*Difflugia*	0,0181	0,0104	0,0285
			Centropyxidae	*Centropyxis*		0,0208	0,0208
Arthropoda	-	-	-	Larva nauplio Mf.	0,031		0,031
Rotifera	Eurotatoria	-	-	Bdelloidea Mf.		0,0052	0,0052
		Ploima	Lecanidae	*Lecane*	0,0103	0,0052	0,0155
			Synchaetidae	*Polyarthra*	0,0284		0,0284
			Trichocercidae	*Trichocerca*	0,0207	0,0078	0,0285
			Notommatidae	*Monommata*	0,0129		0,0129
				Cephalodella	0,0026		0,0026
			Lepadellidae	*Colurella*	0,0465		0,0465
				Lepadella		0,0078	0,0078
			Brachionidae	*Platyias*	0,0077		0,0077
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0336	0,0234	0,057
			Trinematidae	*Trinema*	0,0439	0,0026	0,0465
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.	0,0232	0,0026	0,0258
Gastrotricha		Chaetonotida	Chaetonotidae	*Chaetonotus*	0,0155		0,0155
Grand Total					**0,3434**	**0,0988**	**0,4422**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en las estaciones YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02 del sistema Caño Yarico revela una comunidad zooplanctónica con características distintivas durante la época de lluvias. La estación YARICO_CLE_02 presenta valores notablemente superiores en abundancia (0.3434 Ind/mL) y riqueza (14 morfoespecies) (**Tabla 3.3.3-331**) comparado con YARICO_CLE_01 (0.0988 Ind/mL y 10 morfoespecies) (**Tabla 3.3.3-331**), lo que sugiere una marcada heterogeneidad espacial en el cuerpo de agua. Los índices de Shannon (2.075 y 2.558 respectivamente) (**Tabla 3.3.3-331**) indican una diversidad media-alta, siendo particularmente relevante el valor más elevado en YARICO_CLE_02, que refleja una mayor complejidad

comunitaria. Los valores bajos del índice de Simpson (0.148 y 0.085) confirman una baja dominancia de especies particulares, patrón que soporta los altos valores del índice de Pielou (0.901 y 0.969) (**Tabla 3.3.3-331**), demostrando una distribución casi perfectamente equitativa de los individuos entre las especies presentes.

Esta combinación de parámetros ecológicos sugiere que el sistema léntico mantiene condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del zooplancton, con disponibilidad de nichos ecológicos y recursos que permiten la coexistencia de múltiples especies sin que ninguna domine excesivamente la comunidad. La diferencia observada entre estaciones podría atribuirse a variaciones en factores microambientales como la profundidad, presencia de vegetación acuática o gradientes de nutrientes, comunes en sistemas lénticos de la llanura inundable durante el período lluvioso (José de Paggi, 2002).

Considerando la totalidad de los parámetros evaluados, la Microcuenca del Caño Yarico merece una calificación ecológica muy buena, y lo cual está asociado a los altos valores de diversidad en ambas estaciones, la notable equitatividad en la distribución de las especies y la presencia de múltiples grupos taxonómicos sensibles que funcionan como bioindicadores de calidad ambiental (Sládeček, 1983). Esta evaluación positiva se ve reforzada por la capacidad del sistema para mantener comunidades zooplanctónicas diversas y equilibradas.

Tabla 3.3.3-331 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
YARICO_CLE_01	0.099	10	2.075	0.148	0.901
YARICO_CLE_02	0.343	14	2.558	0.085	0.969

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

El estudio del ictioplancton en el sistema léntico del Caño Yarico, ubicado en la altillanura durante la época de lluvias, reveló una comunidad extremadamente limitada en términos de diversidad y abundancia. En las dos estaciones monitoreadas (YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02) se registró únicamente una morfoespecie de huevo de pez (Actinopteri), con una abundancia idéntica de 0.0026 Ind/mL en cada estación, lo que representa el 50% de contribución respectiva a la abundancia total de la Microcuenca (0.0052 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-332)**. Esta uniformidad en la distribución espacial sugiere condiciones ambientales homogéneas para el desove a lo largo del caño, aunque la densidad absoluta resulta notablemente baja menor a (0.01 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-332**), patrón que coincide con lo reportado por (Nakatani et al., 2001) en sistemas lénticos tropicales de baja productividad. La ausencia de larvas y la detección exclusiva de huevos en ambas estaciones podría indicar que el muestreo coincidió con eventos reproductivos recientes, previos a los periodos de eclosión masiva, fenómeno documentado por (Rodríguez et al., 2007) para especies con estrategias de desove sincronizado con pulsos de lluvia iniciales.

Desde una perspectiva bioindicadora, la presencia exclusiva de huevos de Actinopteri (100% de abundancia relativa en ambas estaciones) señala que este grupo domina el ensamble reproductivo

en el sistema. Sin embargo, la imposibilidad de identificar géneros o especies específicas limita las inferencias ecológicas, aunque estudios como los de (Lowe-McConnell, 1987) sugieren que esta clase suele incluir especies pioneras con alta tolerancia a fluctuaciones ambientales.

La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la selección del Caño Yarico como sitio de desove, probablemente favorecido por su conexión con áreas inundables temporales que proveen protección contra depredadores y corrientes, tal como lo describe (Petry et al., 2003) para llanuras aluviales. No obstante, la casi nula conectividad con sistemas lóticos adyacentes (inferida por la ausencia de ictioplancton alóctono) sugiere un reclutamiento predominantemente local, característico de Microcuencas aisladas en altillanuras (Winemiller K. O., 1989).

En conclusión, el ensamble ictioplanctónico del Caño Yarico refleja un sistema reproductivamente marginal, donde la escasa abundancia (0.0052 Ind/mL en total) y mínima riqueza (1 morfoespecie) (**Tabla 3.3.3-332**) indican una ventana temporal extremadamente reducida para el reclutamiento larval. Estos resultados enfatizan la vulnerabilidad de estos hábitats ante alteraciones hidrológicas, podrían ser críticos para mantener poblaciones ícticas resilientes.

Tabla 3.3.3-332 Ensamble Ecológico de la Comunidad de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca caño Yarico época lluvia

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					YARICO_CLE_02	YARICO_CLE_01	
Chordata	Actinopteri	-	-	Huevo de pez morfoespecie 1	0,0026	0,0026	0,0052
Gran Total					0,0026	0,0026	0,0052

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 para la estación YARICO_CL_03, YARICO_CL_02, YARICO_CL_01 y OC18 y el moniteoro del 2025 para el proyecto en estudio con la estación OCMY5. El estudio de la comunidad perifítica en el sistema lótico del Caño Yarico durante la época de lluvias revela un ensamble ecológico muy diverso y abundante, con patrones espaciales marcadamente diferenciados entre las cinco estaciones de muestreo (OCMY5, YARICO_CL_03, YARICO_CL_01, YARICO_CL_02 y OC18). La estación YARICO_CL_02 destaca como el punto de mayor productividad (1,295.7 Ind/cm²), dominado por diatomeas como *Eunotia* (252.4 Ind/cm² y 19.5%) y *Pinnularia* (154.5 Ind/cm² y

11.9%), acompañadas de *Encyonema* (222.2 Ind/cm² y 17.1%) y *Navicula* (94.2 Ind/cm² y 7.3%) (**Tabla 3.3.3-333**) (**Figura 3.3.3-142**). Esta combinación taxonómica sugiere un ambiente con moderado contenido de nutrientes y buena oxigenación, donde coexisten especies indicadoras de diferentes condiciones microambientales (Stevenson & Bahls, 1999). En contraste, YARICO_CL_01 muestra menor abundancia total (479.8 Ind/cm²) (Tabla 3.3.3-333) pero con una notable presencia de desmidios *Cosmarium* (122.7 Ind/cm² y 25.6%), *Euastrum* (85.5 Ind/cm² y 17.8%), característicos de aguas blandas y ácidas con influencia de humedales marginales (Coesel & Meesters, 2007). La estación OC18 presenta un perfil distinto, con predominio de *Tabellaria* (300.3 Ind/cm² y 76.4%) y *Spirogyra* (51.3 Ind/cm² y 13.0%) (**Tabla 3.3.3-333**) (**Figura 3.3.3-142**), lo que indica condiciones más eutróficas y posiblemente mayor influencia de sistemas lénticos adyacentes (Biggs & Kilroy, 2000).

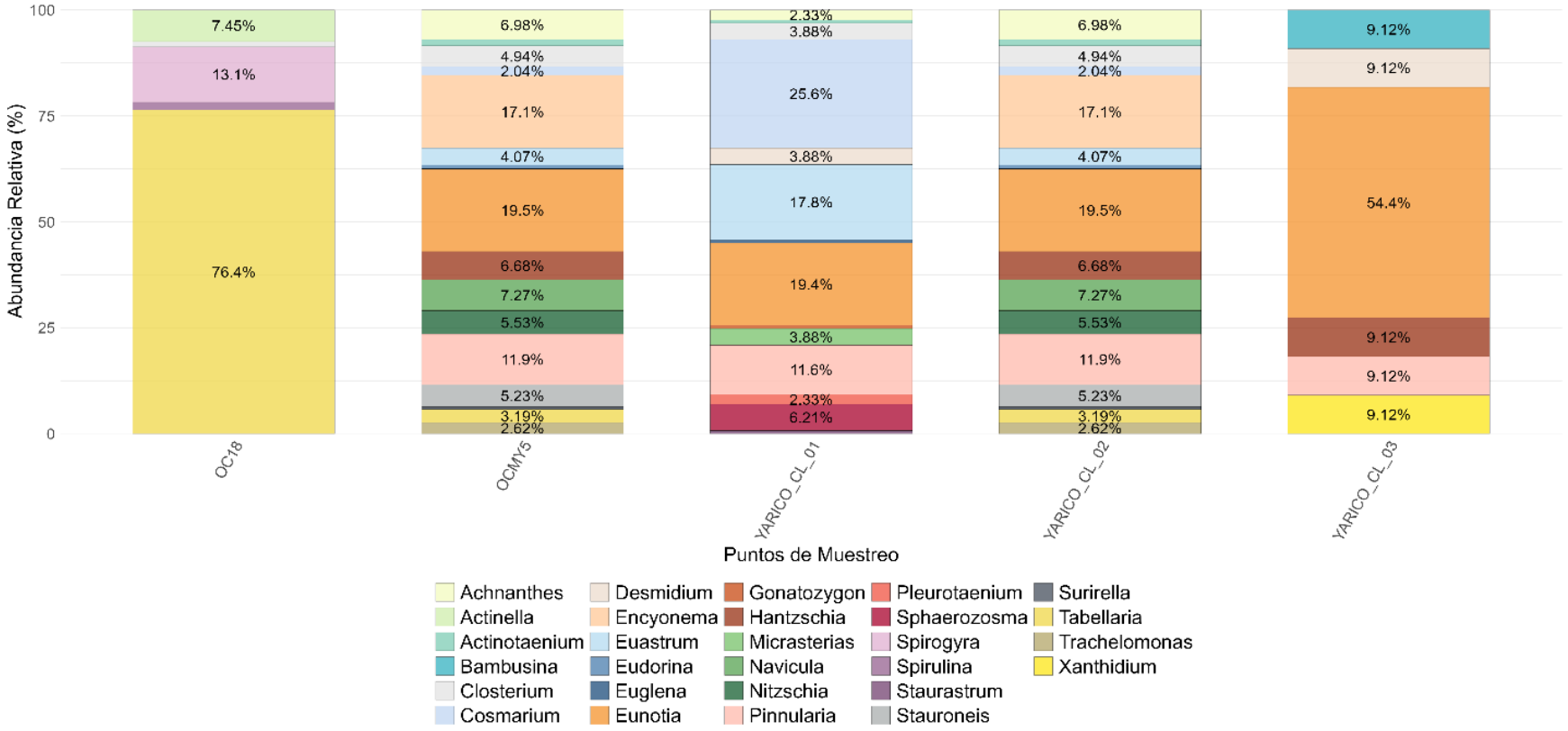


Figura 3.3.3-142 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta claramente en la distribución de especies. La alta abundancia de *Eunotia* (614.5 Ind/cm² en total) (**Tabla 3.3.3-333**), diatomea acidófila, evidencia aportes significativos desde áreas terrestres inundadas con suelos ricos en materia orgánica en descomposición (Bellinger & Sigee, 2015). La presencia de *Achnanthes* (192 Ind/cm²) y *Hantzschia* (176 Ind/cm²) sugiere un ensamble con morfoespecies propias de sistemas lóticos, en ambientes con corrientes moderadas (Round et al., 1990). La notable representación de desmidios (*Cosmarium*, *Euastrum*, *Closterium*) en múltiples estaciones (175.5-190.9 Ind/cm²) confirma la influencia de aguas claras y pobres en nutrientes provenientes de humedales marginales, mientras que la limitada presencia de cianobacterias (*Spirulina* 7.3 Ind/cm²) indica ausencia de eutrofización avanzada (Whitton, 2012). La estación YARICO_CL_03, aunque con baja abundancia total (30.7 Ind/cm²), alberga especies indicadoras como *Bambusina* y *Xanthidium* (2.8 Ind/cm² cada una) (**Tabla 3.3.3-333**), que señalan microhábitats específicos con vegetación acuática sumergida.

En conclusión, la Microcuenca del Caño Yarico presenta una calificación ecológica muy buena, dicha calificación puede estar asociada a la diversidad funcional de más de 25 géneros identificados, la presencia simultánea de especies indicadoras de aguas oligotróficas (desmidios) y mesotróficas (*Tabellaria*, *Nitzschia*) y los patrones de distribución espacial coherentes con la dinámica natural de sistemas de llanura inundable (Junk et al., 1989). La variabilidad observada entre estaciones refleja la heterogeneidad ambiental esperable en estos ecosistemas, más que impactos antropogénicos.

Tabla 3.3.3-333 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yarico época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yarico					Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY5	YARICO_CL_03	YARICO_CL_01	YARICO_CL_02	OC18	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*	222,2			222,2		444,4
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	7,5			7,5		15
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	154,5	2,8	55,8	154,5		367,6
			Naviculaceae	*Navicula*	94,2			94,2		188,4
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	67,8			67,8		135,6
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	252,4	16,7	93	252,4		614,5
				Actinella					29,3	29,3
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	41,4			41,4	300,3	383,1
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	90,4		11,2	90,4		192
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia*	86,6	2,8		86,6		176
				Nitzschia	71,6			71,6		143,2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Volvocales	Volvocaceae	*Eudorina*	11,3			11,3		22,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	26,4		122,7	26,4		175,5
				Pleurotaenium			11,2			11,2
				Actinotaenium	18,8		3,7	18,8		41,3
				Staurastrum			3,7			3,7
				Euastrum	52,7		85,5	52,7		190,9
				Bambusina		2,8				2,8

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yarico					Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCMY5	YARICO_CL_03	YARICO_CL_01	YARICO_CL_02	OC18	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Xanthidium*		2,8				2,8
				Desmidium		2,8	18,6			21,4
				Sphaerozosma			29,8			29,8
				Micrasterias			18,6			18,6
			Closteriaceae	*Closterium*	64		18,6	64	4,9	151,5
			Gonatozygaceae	*Gonatozygon*			3,7			3,7
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*					51,3	51,3
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina*					7,3	7,3
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	33,9			33,9		67,8
				Euglena			3,7			3,7
Gran Total					1295,7	30,7	479,8	1295,7	393,1	3495

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en las cinco estaciones de monitoreo revelan una marcada heterogeneidad en la estructura comunitaria del perifiton en este sistema lótico. Las estaciones OCMY5 y YARICO_CL_02 emergen como puntos críticos de biodiversidad, mostrando valores idénticos y excepcionales de abundancia (1295.7 Ind/cm²), riqueza (16 géneros), diversidad (Shannon = 2.558) y equitatividad (Pielou = 0.923). Estos parámetros, combinados con bajos valores de Simpson (0.099), sugieren ambientes altamente productivos capaces de sustentar comunidades complejas y equilibradas, donde ninguna especie domina significativamente, característica de sistemas naturales con disponibilidad óptima de nichos ecológicos (Stevenson et al., 2010). En contraste, YARICO_CL_01 presenta unos datos similares aunque ligeramente menos diversa (479.8 Ind/cm²; 14 géneros; Shannon = 2.401), reflejando posiblemente condiciones microambientales más restrictivas pero aún excelentes. La estación YARICO_CL_03, con la menor abundancia (30.7 Ind/cm²) y riqueza (6 géneros), mantiene sin embargo valores aceptables de diversidad (Shannon = 1.421) y equitatividad (Pielou = 0.793), indicando comunidades especializadas pero estables. En contraste el punto OC18, que a pesar de su alta abundancia (393.1 Ind/cm²), muestra baja diversidad (Shannon = 0.768) y equitatividad (Pielou = 0.477), con un Simpson elevado (0.618) (**Tabla 3.3.3-334**) que denota dominancia de pocas especies, probablemente debido a condiciones locales de estrés o influencia antropogénica (Biggs & Kilroy, 2000).

La distribución espacial de la diversidad sugiere un gradiente ecológico donde OCMY5 y YARICO_CL_02 representarían zonas núcleo de conservación, con condiciones hidrológicas y de calidad de agua óptimas. La similitud exacta en sus índices sugiere una conectividad funcional entre estos puntos, posiblemente vinculados por flujos de agua durante los pulsos de inundación (Junk et al., 1989). YARICO_CL_01 actuaría como zona de transición hacia ambientes más especializados (YARICO_CL_03), mientras que OC18 emerge como un área potencialmente impactada que requiere atención prioritaria. Esta configuración es típica de llanuras inundables bien conservadas, donde la heterogeneidad espacial natural genera parches de diferente calidad ecológica (Padisák et al., 2009).

En conclusión, la Microcuenca del Caño Yarico en conjunto se califica ecológicamente como buena -excelente, y esto está asociado a la presencia de dos estaciones (OCMY5 y YARICO_CL_02) reportan valores altos de diversidad y equitatividad, la representación de múltiples especies indicadoras de aguas limpias; y los patrones espaciales coherentes con la dinámica natural de llanuras inundables. No obstante, la situación en OC18 (dominancia específica y baja diversidad) sugiere perturbaciones posiblemente asociado a intervenciones antrópicas. La coexistencia de puntos bien representado y de buena calidad y áreas degradadas es típica de sistemas bajo presión creciente.

Tabla 3.3.3-334 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yarico época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OC18	393.1	5	0.768	0.618	0.477
OCMY5	1295.7	16	2.558	0.099	0.923
YARICO_CL_01	479.8	14	2.401	0.124	0.91
YARICO_CL_02	1295.7	16	2.558	0.099	0.923
YARICO_CL_03	30.7	6	1.421	0.339	0.793

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Caño Yarico, monitoreado en época de lluvias, estuvo compuesto por un total de 82 individuos/m², distribuidos en cuatro (4) morfoespecies, pertenecientes a un phylum (Arthropoda), dos (2) clases, cuatro (4) órdenes, tres (3) familias, y dos (2) géneros identificados (*Heterelmis* y *Rhagovelia*). La morfoespecie más abundante fue *Chironomidae* Mf., con 77,7 ind/m², dominando claramente la comunidad, seguida por *Heterelmis* sp. (2,2 ind/m²), *Rhagovelia* sp. (1,1 ind/m²) y *Acari* Mf. (1,1 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-335**).

Tabla 3.3.3-335 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época lluvia

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Yarico				Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						YARICO_CL_03	YARICO_CL_01	YARICO_CL_02	OC18	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	7,8	3,3	13,3	40	77,7
		Coleóptera	Elmidae	Heterelmis	*Heterelmis sp.*	2,2				2,2
		Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	*Rhagovelia sp.*	1,1				1,1
	Arachnida	Acari	-	-	*Acari Mf.*				1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**11**	**3**	**13**	**41**	**82**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estructura de la comunidad en el Caño Yarico refleja un sistema lótico con baja diversidad, donde los Chironómidos (Diptera: Chironomidae) son dominantes, lo cual es típico en ambientes acuáticos con influencia orgánica o perturbación moderada (Roldán & Ramírez, 2008). Su alta

abundancia en YARICO_CL_02 (13,3 ind/m²) y especialmente en OC18 (40 ind/m²) sugiere condiciones de mayor acumulación de materia orgánica o flujo moderado, ya que estos organismos son resistentes a variaciones en la calidad del agua (Domínguez & Fernández, 2009) (**Figura 3.3.3-143**).

La presencia de *Heterelmis sp.* (Coleoptera: Elmidae) solo en YARICO_CL_03 (2,2 ind/m²) indica aguas bien oxigenadas, ya que los élmidos son bioindicadores de buena calidad ambiental (Buss et al., 2004). Por otro lado, *Rhagovelia sp.* (Hemiptera: Veliidae), registrada únicamente en YARICO_CL_03 (1,1 ind/m²), sugiere zonas con corriente superficial, típicas de sistemas lóticos (Springer et al., 2010). La aparición de *Acari Mf.* (Arachnida: Acari) solo en OC18 (1,1 ind/m²) podría estar asociada a microhábitats con sedimentos finos o materia orgánica en descomposición (Di Sabatino & Martin, 2000) (**Figura 3.3.3-143**).

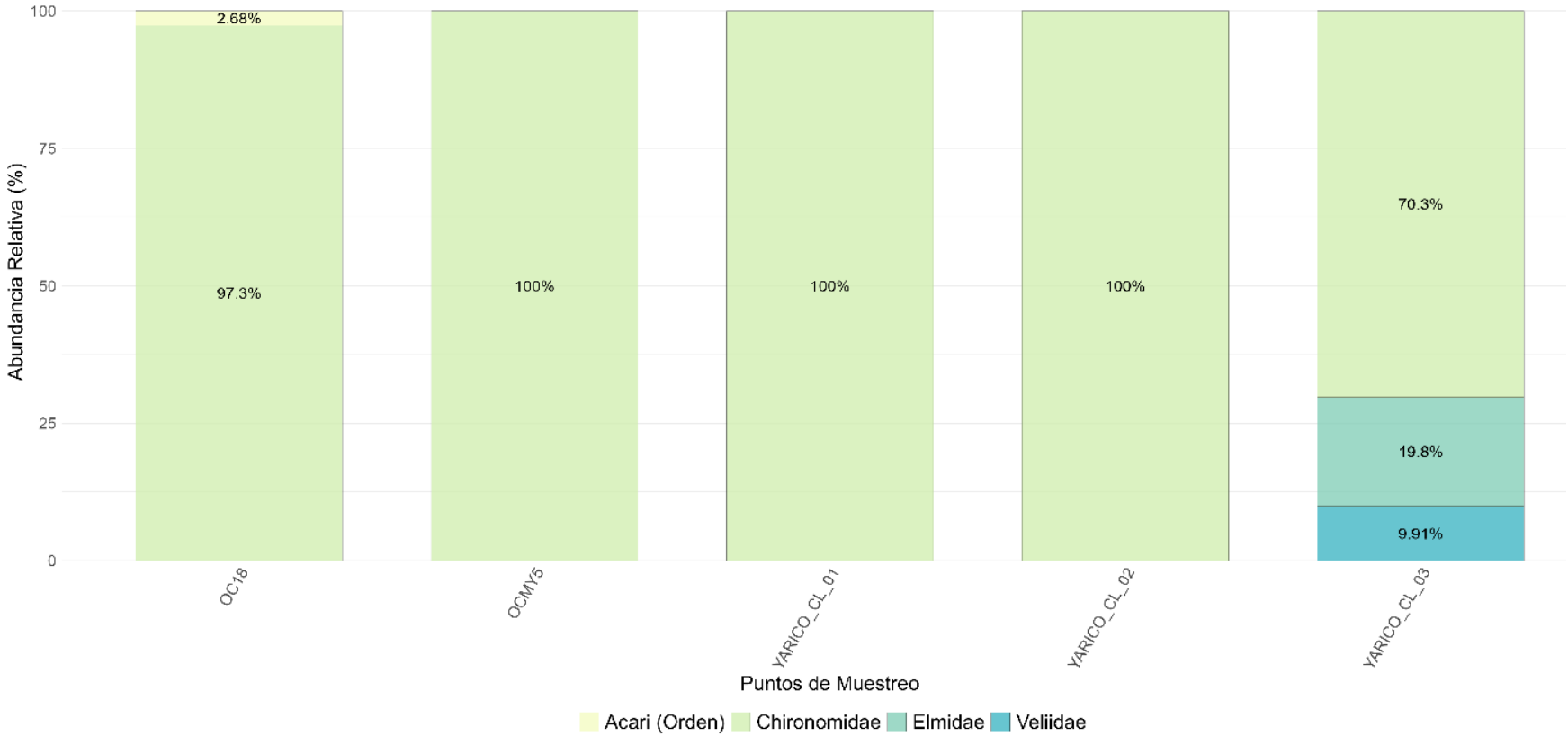


Figura 3.3.3-143 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Aunque el estudio se centra en un sistema lótico, la influencia de ambientes lénticos y terrestres puede inferirse por la composición de la comunidad. La dominancia de Chironomidae, que incluye especies con tolerancia a condiciones lénticas, sugiere posibles conexiones con zonas de remanso o áreas inundables en época de lluvias (Merritt & Cummins, 2008). Además, la presencia de *Rhagovelia sp.,* que habita en la superficie del agua, indica interacciones con el ecotono terrestre-acuático, donde estos insectos aprovechan recursos de origen (Krebs, 2014).

El ensamble de macroinvertebrados en el Caño Yarico muestra una comunidad poco diversa pero con patrones claros de distribución espacial. La dominancia de Chironomidae refleja condiciones de posible influencia orgánica, mientras que la presencia de élmidos y vélidos en estaciones específicas señala microhábitats mejor conservados. La interacción con sistemas lénticos y terrestres es evidente, especialmente en época de lluvias, donde los aportes de materia orgánica y la conectividad entre hábitats pueden modular la estructura de la comunidad.

Los resultados del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) en el Caño Yarico revelan una situación ambiental crítica en todos los puntos monitoreados, clasificados en la Clase V (Muy crítica). Los valores extremadamente bajos del BMWP (9 en YARICO_CL_03 y 2 en los demás puntos) indican una fuerte contaminación, respaldada por la baja riqueza de familias de macroinvertebrados bentónicos reportadas (**Tabla 3.3.3-336**). Esta condición es consistente con ambientes altamente impactados, donde la diversidad biológica se reduce drásticamente debido a perturbaciones de origen antrópico o natural severa (Roldán & Ramírez, 2008).

La escasa riqueza de familias (solo Chironomidae, Elmidae y Veliidae en toda la Microcuenca) refuerza la calidad del agua en degradación. Los Chironómidos, que dominan la comunidad, son taxones tolerantes a condiciones de contaminación orgánica y baja oxigenación (Domínguez & Fernández, 2009), lo que explica su prevalencia en un sistema con BMWP ≤ 9. La presencia aislada de *Heterelmis sp.* (Elmidae) en YARICO_CL_03, que aportó el puntaje ligeramente más alto (BMWP = 9), sugiere que este punto podría tener microhábitats menos deteriorados, ya que los élmidos son sensibles a la contaminación (Buss et al., 2015). Sin embargo, su ausencia en los otros puntos y la mínima abundancia (2,2 ind/m²) indican que incluso estas zonas no escapan a la presión ambiental generalizada.

La uniformidad de los resultados (BMWP = 2 en OC18, YARICO_CL_01 y YARICO_CL_02) sugiere un impacto homogéneo en la Microcuenca, posiblemente asociado a fuentes de contaminación difusa, como escorrentías agrícolas, vertimientos orgánicos o alteraciones hidromorfológicas (Allan & Castillo, 2007). La casi exclusividad de Chironomidae en estos puntos refleja un ambiente donde solo los organismos más resistentes persisten, típico de aguas con alta carga orgánica o toxicidad (Armitage et al., 1995).

Tabla 3.3.3-336 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época lluvia

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO YARICO	YARICO_CL_03	V	Muy crítica	9	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OC18	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	YARICO_CL_01	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	YARICO_CL_02	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La baja diversidad y el BMWP crítico coinciden con estudios en sistemas lóticos tropicales impactados, donde la reducción de taxones sensibles (como Efemerópteros o Tricópteros) y la dominancia de dípteros son indicadores de estrés ambiental (Springer, 2010). En el Caño Yarico, la ausencia de estos grupos sensibles y la limitada presencia de coleópteros y hemípteros confirman un estado ecológico muy deteriorado. Además, la interacción con sistemas lénticos y terrestres parece no estar mitigando el impacto, ya que no se registraron taxones asociados a zonas de transición bien conservadas (crustáceos o moluscos).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa son herramientas fundamentales para evaluar la estructura y composición de las comunidades ecológicas a escala local. Los resultados de los índices de diversidad alfa en el Caño Yarico muestran variaciones significativas entre los diferentes puntos de muestreo, revelando importantes aspectos sobre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

En el punto OC18 se registró la mayor abundancia (41.1 ind/m²) y una riqueza de 2 morfoespecies. El índice de Shannon (H'=1.021) indica una diversidad moderadamente baja, mientras que el valor de Simpson (D=0.405) sugiere una dominancia intermedia de especies. El punto YARICO_CL_01 mostró la menor abundancia (3.3 ind/m²) y una única morfoespecie presente. El índice de Shannon (H'=0.637) y Simpson (D=0.556) reflejan una comunidad extremadamente pobre, con clara dominancia de un único taxón. La imposibilidad de calcular el índice de Pielou en este punto (-) es consistente con la presencia de una sola especie. En YARICO_CL_02, con una abundancia de 13.3 ind/m², se registró igualmente una sola morfoespecie. Los valores de Shannon (H'=0.562) y Simpson (D=0.625) son aún más bajos que en YARICO_CL_01, indicando una dominancia aún más marcada del taxón presente (**Tabla 3.3.3-337**).

Tabla 3.3.3-337 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yarico época lluvia

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO YARICO	OC18	41.1	2	1.021	0.405	1.473
	YARICO_CL_01	3.3	1	0.637	0.556	-
	YARICO_CL_02	13.3	1	0.562	0.625	-
	YARICO_CL_03	11.1	3	1.221	0.34	1.111

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El punto YARICO_CL_03 presentó una abundancia de 11.1 ind/m² pero la mayor riqueza (3 morfoespecies). El índice de Shannon (H'=1.221) fue el más alto registrado, mostrando una diversidad relativamente mayor. El valor de Simpson (D=0.340) indica menor dominancia que en otros puntos, y el índice de Pielou (J'=1.111), aunque nuevamente superior a 1, sugiere una distribución más equitativa que en OC18.

Estos resultados revelan que existe una marcada variabilidad espacial en la estructura de la comunidad bentónica dentro del mismo sistema, la mayoría de los puntos muestran una diversidad extremadamente baja, el punto YARICO_CL_03 presenta condiciones ecológicas ligeramente mejores que los demás, y la dominancia de pocas especies sugiere condiciones ambientales estresantes.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico del Caño Yarico, monitoreado durante la época de lluvias, presentó una abundancia total de 260 ind/m² distribuidos en cinco (5) morfoespecies. Estos organismos pertenecen exclusivamente al phylum Arthropoda, clase Insecta, abarcando dos (2) órdenes, cuatro (4) familias y cuatro (4) géneros (*Probezzia*, *Laccophilus*, *Heterelmis*, *Phanocerus*). La comunidad estuvo dominada por la morfoespecie *Chironomidae Mf.* con 220 ind/m² (84.6% del total), seguida por morfoespecies menos abundantes como *Probezzia* sp. (10 ind/m²), *Laccophilus* sp. (10 ind/m²), *Heterelmis* sp. (10 ind/m²) y *Phanocerus* sp. (10 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-338**).

Tabla 3.3.3-338 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época lluvia

Pyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Yarico		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						YARICO_CLE_02	YARICO_CLE_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	70	150	220
			Ceratopogonidae	Probezzia	*Probezzia sp.*	10		10
		Coleóptera	Dytiscidae	Laccophilus	*Laccophilus sp.*		10	10
			Elmidae	Heterelmis	*Heterelmis sp.*	10		10
				Phanocerus	*Phanocerus sp.*	10		10
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**100**	**160**	**260**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En YARICO_CLE_01 se registró la mayor abundancia (160 ind/m²) con presencia de solo dos morfoespecies: *Chironomidae Mf.* (150 ind/m²) y *Laccophilus sp.* (10 ind/m²). Esta composición sugiere condiciones particulares que favorecen el desarrollo masivo de quironómidos, posiblemente relacionado con alta disponibilidad de materia orgánica y condiciones de baja oxigenación (Roldán & Ramírez, 2008). La presencia de *Laccophilus sp.*, coleóptero depredador, indica cierta heterogeneidad del hábitat que permite el establecimiento de niveles tróficos superiores (Merritt & Cummins, 2008) (**Figura 3.3.3-144**).

YARICO_CLE_02 mostró mayor diversidad con cuatro morfoespecies presentes (Chironomidae Mf., *Probezzia* sp., *Heterelmis* sp. y *Phanocerus* sp.) pero menor abundancia total (100 ind/m²). La presencia de *Heterelmis* y *Phanocerus* (ambos Elmidae) sugiere mejor calidad del agua en este sector, ya que estos organismos son considerados bioindicadores de ambientes poco contaminados (Buss et al., 2015). La aparición de *Probezzia* (Ceratopogonidae), depredadores de pequeños invertebrados, podría indicar una red trófica más compleja en esta zona (**Figura 3.3.3-144**).

La marcada dominancia de Chironomidae (84.6% de la comunidad) es característica de ambientes con cierto grado de perturbación (Domínguez & Fernández, 2009). Sin embargo, la presencia de taxones sensibles como los elmidos en YARICO_CLE_02 sugiere que algunas zonas del sistema mantienen condiciones aceptables. Esta distribución heterogénea de los bioindicadores refleja posiblemente un gradiente de calidad del agua dentro del mismo cuerpo léntico, donde YARICO_CLE_01 presentaría mayor impacto antropogénico que YARICO_CLE_02.

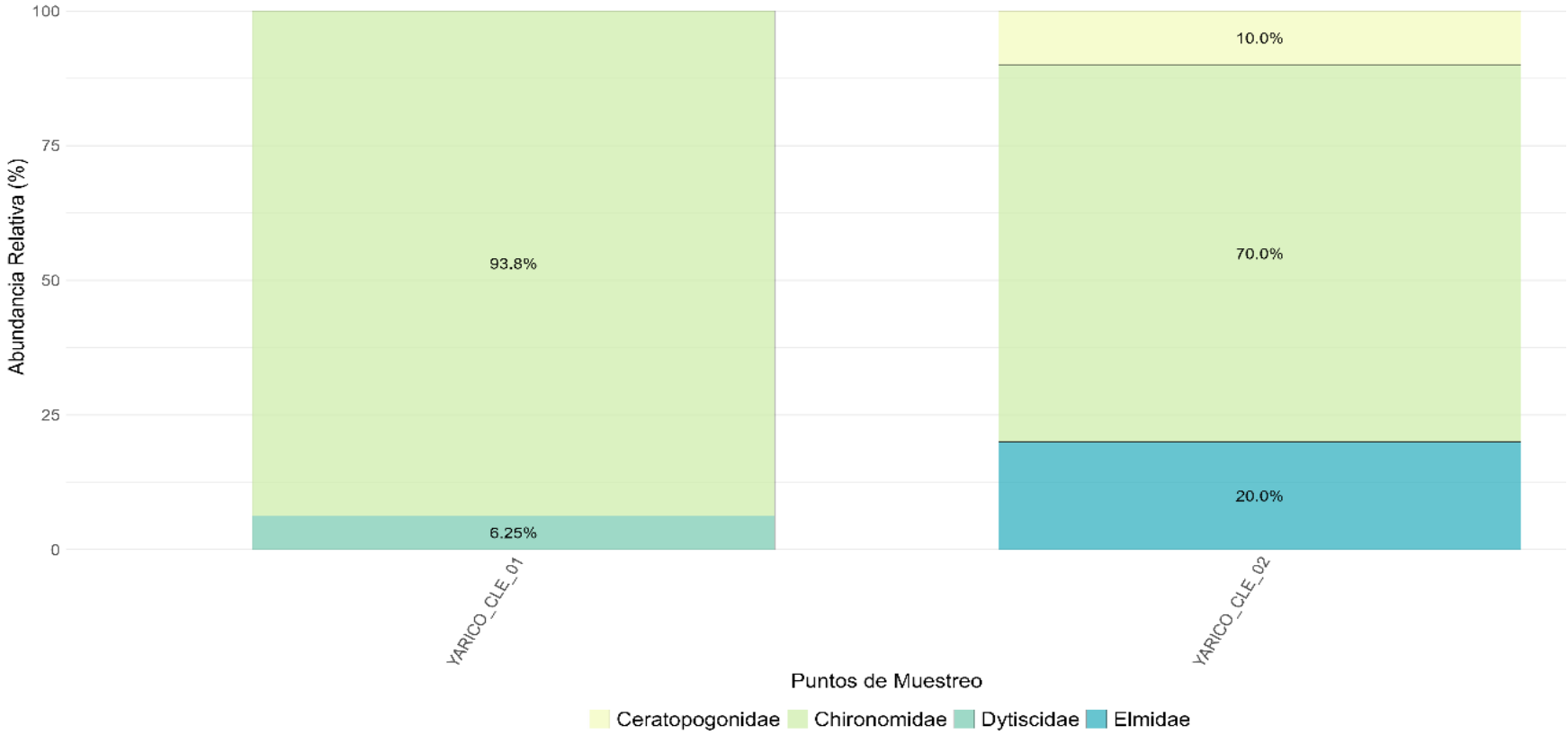


Figura 3.3.3-144 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el Caño Yarico revela un sistema léntico con marcadas diferencias espaciales en su calidad ambiental. Mientras YARICO_CLE_01 muestra signos de perturbación (dominancia extrema de quironómidos), YARICO_CLE_02 presenta una comunidad más diversa con presencia de taxones sensibles. La composición de la comunidad sugiere que este cuerpo de agua mantiene conexiones ecológicas importantes con sistemas lóticos adyacentes y con el entorno terrestre, particularmente durante la época de lluvias.

Los resultados del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) en el sistema léntico del Caño Yarico revelan condiciones ambientales críticas en ambos puntos de monitoreo, aunque con diferencias significativas en sus valores numéricos que merecen atención particular.

El punto YARICO_CLE_01 presenta el valor más bajo de BMWP (2), ubicándose en la Clase V (Muy crítica), lo que indica condiciones extremadamente deterioradas (**Tabla 3.3.3-339**). Este valor tan bajo refleja una comunidad bentónica compuesta casi exclusivamente por organismos altamente tolerantes a la contaminación, específicamente los Chironomidae, que dominan ampliamente este sitio con 150 ind/m². La ausencia de taxones sensibles y la baja diversidad (solo dos morfoespecies presentes) son consistentes con ambientes acuáticos sometidos a fuertes presiones antropogénicas, posiblemente por descargas de contaminantes orgánicos o alteraciones físicas severas del hábitat (Roldán & Ramírez, 2008). La presencia de Laccophilus sp., aunque en bajas abundancias (10 ind/m²), no fue suficiente para mejorar la calificación, ya que los Dytiscidae tienen una tolerancia intermedia a la contaminación.

En contraste, YARICO_CLE_02 muestra un valor de BMWP significativamente mayor (14), aunque todavía dentro de la Clase V (Muy crítica) (**Tabla 3.3.3-339**). Esta mejoría relativa se explica por la presencia de taxones más sensibles como *Heterelmis sp.* y *Phanocerus sp.* (ambos Elmidae), que son considerados buenos indicadores de calidad de agua (Buss et al., 2015). Sin embargo, la persistencia de la clasificación en la categoría más crítica se debe a que: 1) la puntuación sigue siendo muy baja en la escala del BMWP/Col, 2) los organismos sensibles aparecen en bajas abundancias (10 ind/m² cada uno), y 3) los quironómidos siguen dominando la comunidad (70 ind/m²). Esta situación sugiere que, aunque existen microhábitats menos impactados, el sistema en su conjunto mantiene calidad de agua muy crítica.

Tabla 3.3.3-339 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yarico época lluvia

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO YARICO	YARICO_CLE_01	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	YARICO_CLE_02	V	Muy crítica	14	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, estos resultados confirman que el Caño Yarico sufre un impacto ambiental severo, pero con heterogeneidad espacial en su intensidad. La presencia de

Elmidae en YARICO_CLE_02, aunque no suficiente para cambiar la clasificación general, señala que este sector podría ser prioritario para acciones de conservación y restauración.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa analizados para los puntos de monitoreo YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02 revelan diferencias significativas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas en este sistema léntico.

En el punto YARICO_CLE_01 se registró una mayor abundancia total (160 ind/m²) pero menor riqueza específica (2 morfoespecies), lo que se refleja en los valores de los índices de diversidad. El índice de Shannon (H'=0.777) indica una diversidad relativamente baja, característica de comunidades dominadas por pocas morfoespecies (**Tabla 3.3.3-340**). Este resultado concuerda con el valor del índice de Simpson (D=0.539), que muestra una dominancia intermedia de las especies presentes.

El punto YARICO_CLE_02, con menor abundancia total (100 ind/m²) pero mayor riqueza (4 morfoespecies), muestra un perfil ecológico diferente. El índice de Shannon (H'=0.94), aunque todavía bajo, es superior al de YARICO_CLE_01, indicando una mayor diversidad de especies. El índice de Simpson (D=0.52) revela una dominancia similar entre especies, ligeramente menor que en el punto anterior. El índice de Pielou (J'=0.678), dentro del rango teórico esperado (0-1), sugiere una distribución menos equitativa que lo esperado para la riqueza observada (**Tabla 3.3.3-340**), lo que implica que algunas especies están sobrerrepresentadas en la comunidad (Magurran, 2004).

Tabla 3.3.3-340 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca caño Yarico época lluvia

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO YARICO	YARICO_CLE_01	160	2	0.777	0.539	1.121
	YARICO_CLE_02	100	4	0.94	0.52	0.678

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comparación entre ambos puntos muestra que YARICO_CLE_02 presenta mayor diversidad (Shannon más alto) a pesar de tener menor abundancia total, ambos puntos muestran valores bajos de diversidad en términos absolutos, la distribución de individuos entre especies es más equilibrada en YARICO_CLE_01 (Pielou más alto) y la dominancia de morfoespecies es similar en ambos puntos (valores cercanos de Simpson).

Estos patrones son consistentes con ambientes acuáticos sometidos a algún tipo de estrés ambiental, donde típicamente se observa reducción en la riqueza de especies y aumento en la dominancia de taxones tolerantes (Roldán & Ramírez, 2008). La mayor diversidad en YARICO_CLE_02 podría indicar condiciones ambientales ligeramente mejores o mayor heterogeneidad de microhábitats en este sector del cuerpo de agua.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño Yarico, ubicada en el municipio de Cabuyaro (Meta), se evidenció una estructura y composición simplificada de la comunidad de macrófitas acuáticas, con la presencia de solo seis morfoespecies distribuidas a través de cinco puntos de muestreo. Todas las especies registradas pertenecen a la división Tracheophyta, destacándose dos clases principales: Polypodiidae, representada por helechos como *Adiantum* sp. (familia Pteridaceae), y Magnoliidae, con especies de gramíneas y otras monocotiledóneas acuáticas, como *Hymenachne* sp., *Eleocharis* sp. y *Pontederia* sp. Esta baja riqueza puede estar relacionada con la alta dinámica hidrológica y la escasa estabilidad de los microhábitats durante la época de lluvias, lo cual ha sido documentado como un factor limitante en la proliferación y diversificación de macrófitas acuáticas (Esteves F. A., 2011) (**Tabla 3.3.3-341**).

En los cuerpos de agua lóticos, representados por los puntos YARICO_CL_03, YARICO_CL_02, OCMY5 (registrado en la tabla como OC18) y YARICO_CL_01, se observó una variación importante en la presencia de especies. En YARICO_CL_03, únicamente se encontró *Adiantum* sp. con una cobertura marginal (0,67%), lo cual sugiere condiciones poco favorables para el establecimiento de vegetación acuática emergente. En YARICO_CL_02, se registró únicamente *Hymenachne* sp. con un 63,33% de cobertura, una especie gramínea común en zonas húmedas tropicales, adaptada a suelos anegados y capaz de desarrollarse en condiciones de flujo moderado (Pott & Pott, 2000). El punto OC18 presentó una mayor diversidad, albergando tres morfoespecies: *Pontederia* sp. (29,81% de abundancia relativa), *Cyperus luzulae* (6,03%) y *Eleocharis* sp. (64,16%), reflejando un entorno más estructurado y estable, posiblemente asociado a características locales del canal o a procesos de retención de sedimentos. En el caso de YARICO_CL_01, no se registraron macrófitas, lo cual puede deberse a la mayor velocidad de corriente o sustratos inadecuados, factores conocidos por limitar la colonización vegetal (Wetzel R. G., 2001) (**Tabla 3.3.3-341**).

En contraste, en los cuerpos lénticos (YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02), se observó una dominancia de especies flotantes como *Salvinia auriculata* (Salviniaceae), con coberturas del 13,67% y 18,67% respectivamente (**Tabla 3.3.3-341**). Estas especies tienden a proliferar en condiciones de baja turbulencia y alta disponibilidad de nutrientes, formando mantos vegetales que pueden reducir el intercambio gaseoso y la luz en la columna de agua (Sculthorpe, The Biology of Aquatic Vascular Plants, 1985). La reducida riqueza en estos ambientes puede deberse a la competencia entre especies flotantes por luz y espacio, así como a posibles efectos de eutrofización estacional.

En términos taxonómicos, el orden Poales (Cyperaceae y Poaceae) fue el más representado, seguido de Commelinales y Salviniales, lo cual concuerda con la dominancia de monocotiledóneas herbáceas en ambientes acuáticos tropicales (Murphy, 2021). La distribución por categorías también refleja patrones funcionales: especies flotantes dominando ambientes lénticos, y emergentes en ambientes lóticos parcialmente estables (**Tabla 3.3.3-341**).

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del caño Yarico, solo fue posible calcular los índices de diversidad de macrófitas acuáticas en el punto OC18, correspondiente a una ocupación de cauce, debido a que fue el único sitio que presentó una riqueza mínima de tres morfoespecies, requisito necesario para obtener estimaciones significativas de diversidad ecológica (Magurran A. E., 2004). En este punto se registró una abundancia total de 88,33% y una riqueza de tres especies, lo que resultó en un índice de Shannon (H' = 0,808), valor que refleja una diversidad baja a moderada en comparación con comunidades acuáticas más diversas, donde este índice suele superar los 1,5 (Peet, 1974). El índice de Simpson (D = 0,509) indica una moderada dominancia específica, es decir, que ninguna especie domina completamente la comunidad, aunque una mantiene cierta superioridad en abundancia. Por su parte, el índice de equidad de Pielou (J' = 0,735) sugiere que la abundancia está distribuida de manera relativamente equitativa entre las especies presentes, lo cual es característico de ambientes con cierto grado de heterogeneidad estructural (Esteves F. A., 2011).

Estos resultados reflejan que el punto OC18 presenta condiciones ambientales más favorables o estables para el establecimiento de múltiples especies de macrófitas durante la temporada de lluvias, posiblemente por variabilidad en la cobertura vegetal circundante, la topografía del cauce, o la retención de sedimentos y nutrientes. En contraste, el resto de los puntos de muestreo evaluados no alcanzaron el umbral mínimo de riqueza para el cálculo de índices, ya que presentaron una o ninguna especie, lo que sugiere condiciones menos propicias para el desarrollo de comunidades acuáticas estructuradas, ya sea por alta turbulencia, alteración antrópica, o cambios hidrológicos extremos asociados al régimen pluviométrico. Por lo tanto, no es posible concluir de manera representativa el estado de diversidad ni la calidad ecológica general del ecosistema de la Microcuenca únicamente con base en los índices obtenidos en un solo punto, siendo necesaria una mayor cobertura espacial y temporal para asegurar una caracterización más integral y robusta del sistema (Magurran A. E., 2004), (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001).

Tabla 3.3.3-341 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yarico época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Yarico									
				Punto De Muestreo	YARICO_CL_03		YARICO_CL_02		OC18		YARICO_CL_01	YARICO_CLE_02		YARICO_CLE_01	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Adiantum* sp.	0,67	100					No se encontraron morfoespecies				
		Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia auriculata*								13,67	100	18,67	100
	Magnoliidae	Commelinales	Pontederiaceae	*Pontederia* sp.					26,33	29,81					
		Poales	Cyperaceae	*Cyperus luzulae*					5,33	6,03					
				Eleocharis sp.					56,67	64,16					
			Poaceae	*Hymenachne* sp.			63,33	100							
Cobertura Total general					**0,67**	**100**	**63,33**	**100**	**88,33**	**100**	**0**	**13,67**	**100**	**18,67**	**100**
Morfoespecies por Punto					**1**		**1**		**3**		**0**	**1**		**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**6**										

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

Desde el punto de vista ecológico, la diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Yarico mostró diferencias marcadas entre la temporada seca y la de lluvia. En la temporada seca, el punto PMASup_DS_18 presentó mayor riqueza (7 morfoespecies) y diversidad (Shannon = 1,894; Pielou = 0,973) en comparación con la temporada de lluvia, donde el punto OC18 mostró una menor riqueza (3 morfoespecies) y diversidad (Shannon = 0,808; Pielou = 0,735). Esto sugiere que las condiciones de baja lámina de agua y mayor estabilidad física del hábitat durante la época seca favorecen la colonización y establecimiento de una mayor variedad de especies (Esteves F. A., 2011), (Thomaz, 2003).

En contraste, durante la época de lluvias, el aumento del caudal y la velocidad del agua puede generar condiciones de arrastre, disminución de luz y alteración del sustrato, factores que restringen la diversidad y favorecen especies oportunistas o adaptadas a flujos altos (Junk et al., 1989). Sin embargo, al basarse cada temporada en un único punto con diversidad suficiente para análisis, los resultados deben interpretarse con cautela, ya que no reflejan de forma integral el estado ecológico de toda la Microcuenca (Magurran A. E., 2004).

3.3.3.2.22 Microcuenca caño Yurimena

La Microcuenca del caño Yurimena, ubicada en el municipio de Puerto López, forma parte de la altillanura, una región caracterizada por extensas planicies ligeramente onduladas, con suelos de baja fertilidad y alta acidez, dominadas por sabanas naturales y fragmentos de bosque de galería (IGAC., 2020), (Rangel-Ch, 2012). El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se llevó a cabo en cuatro puntos de muestreo lóticos: YURIMENA_CL_03, OCmn16, OCmn18 y OCMY16, todos ubicados en ocupaciones de cauce que permiten evaluar las condiciones ecológicas del sistema fluvial. Esta región presenta un régimen hidrológico unimodal con una marcada temporada de lluvias entre abril y noviembre, lo cual influye en la dinámica ecológica y la distribución de las comunidades acuáticas (IDEAM, Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente, 2019). La Microcuenca del caño Yurimena se encuentra dentro del ecosistema de sabana inundable y bosque ripario, albergando una alta diversidad biológica adaptada a condiciones hidromórficas estacionales (**Figura 3.3.3-145**).

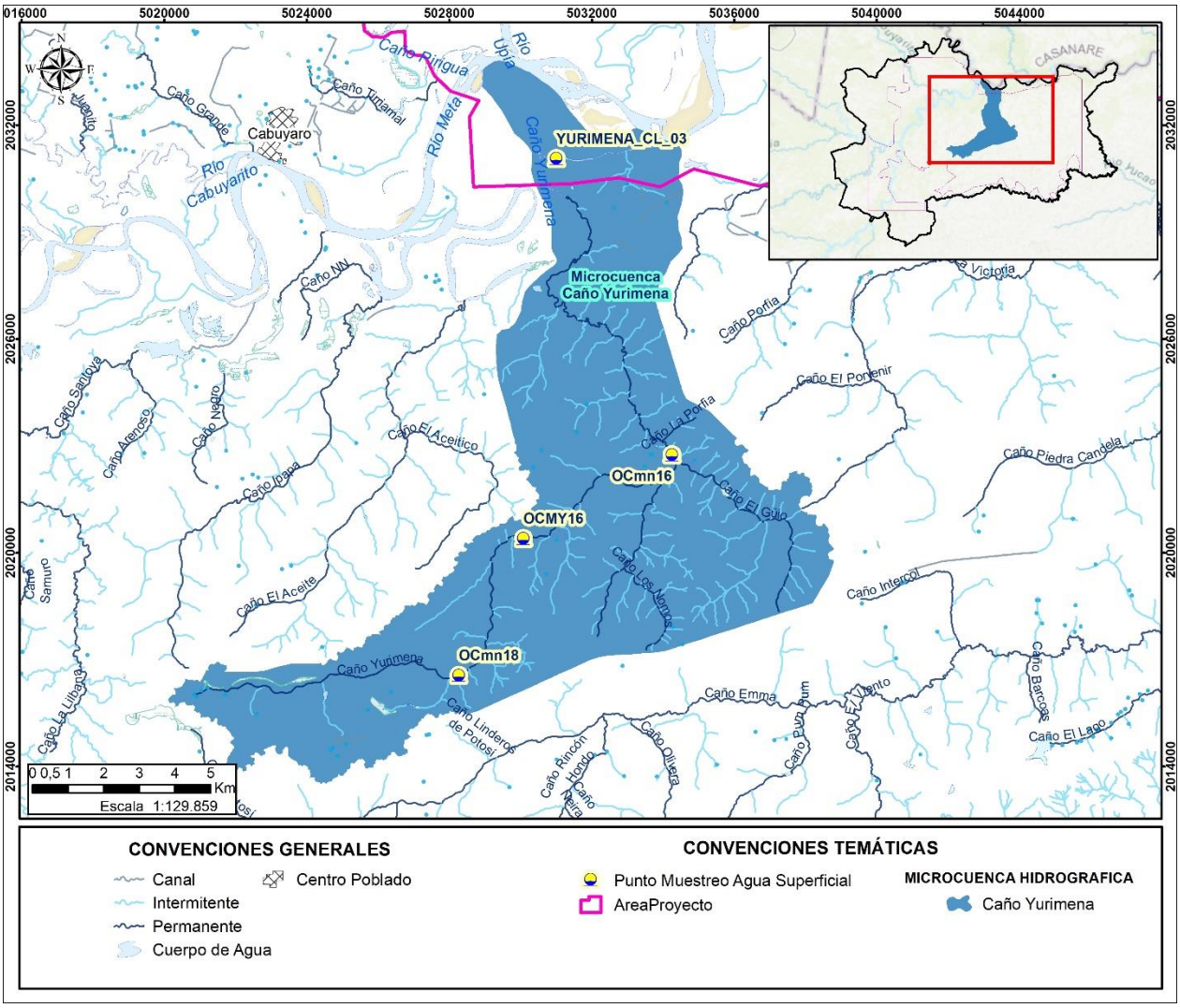


Figura 3.3.3-145 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca caño Yurimena

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el caño Yurimena, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton en sistemas lóticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la

columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

- ✓ *Perifíton*

El ensamble ecológico del perifiton en el sistema lótico estudiado, ubicado en la altillanura y monitoreado durante la época seca, está compuesto por una comunidad diversa de microorganismos pertenecientes a cuatro divisiones principales: Heterokontophyta, Chlorophyta, Charophyta y Cyanobacteria, junto con una menor representación de Euglenophyta. La riqueza de morfoespecies es notable, con géneros como *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Eunotia*, *Tabellaria*, *Closterium* y *Phormidium* se destacan por sus abundancias totales. La estación OCmn18 registró la mayor abundancia total (1068.2 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-342**), seguida por OCMY16 (108.1 Ind/cm²), YURIMENA_CL_03 (9 Ind/cm²) y OCmn16 (4.8 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-342**), lo que sugiere variaciones espaciales en la distribución de las comunidades. La Microcuenca de Caño Yurimena, a la que pertenecen estas estaciones, presenta una dinámica ecológica influenciada por las condiciones de flujo lótico y las características fisicoquímicas propias de la época seca.

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de diatomeas como *Tabellaria* (574.3 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia del (53.76%) (**Figura 3.3.3-146**) y *Navicula* (30.4 Ind/cm²) sugiere aguas con moderada a baja contaminación orgánica, mientras que la alta abundancia de *Closterium* (117.1 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia del (10.96%) (**Figura 3.3.3-146**) y *Eunotia* (52.9 Ind/cm²) podría indicar condiciones ácidas o bajas en nutrientes. La interacción entre géneros como *Spirogyra* (33.8 Ind/cm²) y *Phormidium* (27.9 Ind/cm²) con un porcentaje de abundancia del (25.81%) (**Figura 3.3.3-146**) refleja una competencia por recursos en ambientes con fluctuaciones en la disponibilidad de luz y nutrientes, típico de sistemas lóticos en época seca. Además, la coexistencia de taxones adaptados a sistemas lóticos como *Gomphonema* y otros más comunes en sistemas lénticos como *Cosmarium* sugiere una conexión hidrológica entre estos ambientes, posiblemente mediada por eventos de inundación o escorrentía previos. La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la presencia de géneros como *Pinnularia* y *Surirella*, que pueden colonizar sustratos orgánicos derivados de la vegetación ribereña.

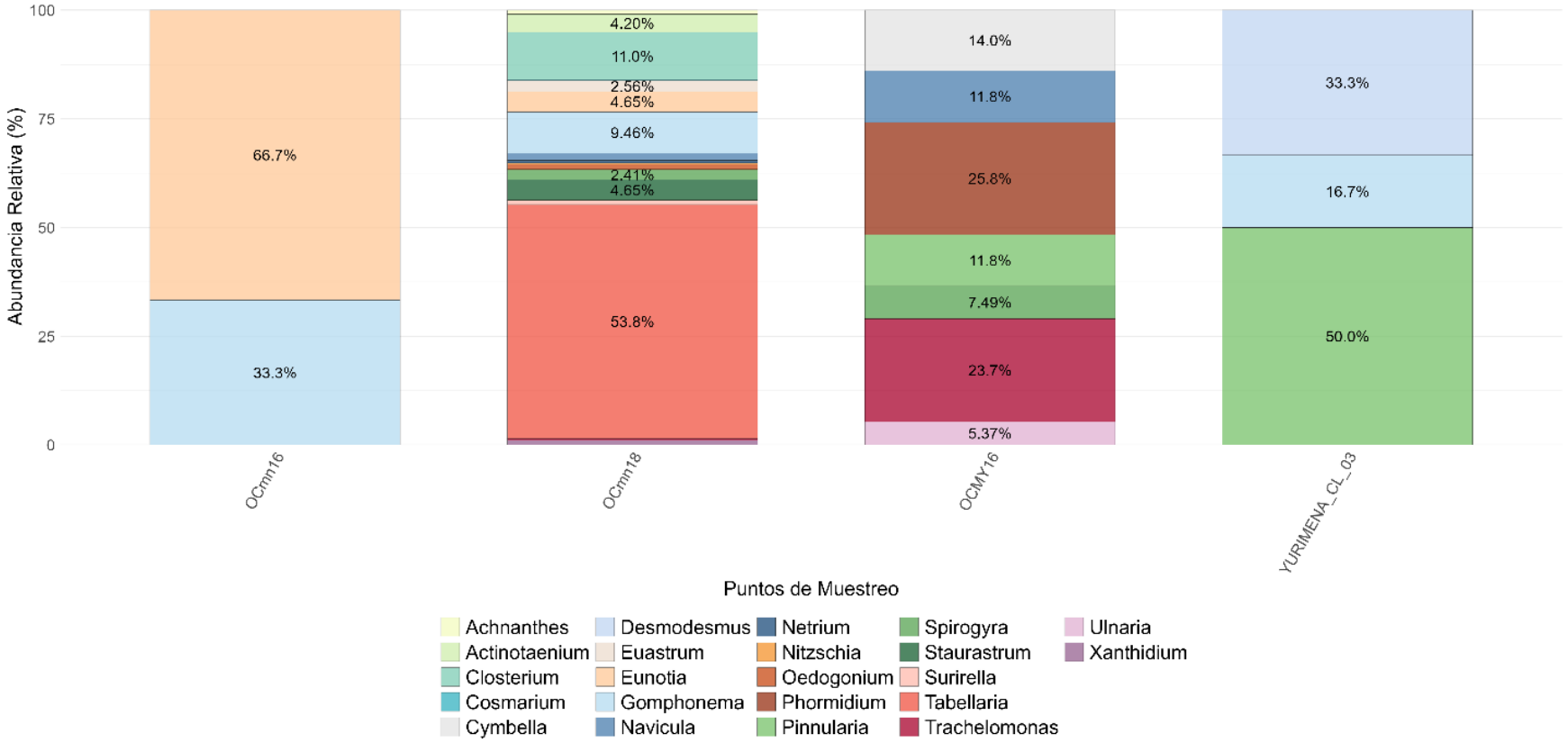


Figura 3.3.3-146 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble del perifiton en Caño Yurimena refleja una comunidad estructurada por las condiciones lóticas de la altillanura, con una riqueza moderada y dominancia de diatomeas bioindicadoras de aguas poco eutrofizadas. La variabilidad espacial en las estaciones monitoreadas resalta la importancia de los factores locales, como el sustrato y el flujo, en la configuración de estas comunidades. La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres sugiere una dinámica ecológica integrada, donde los aportes de materia orgánica y nutrientes desde la Microcuenca circundante juegan un papel clave. Futuros estudios podrían profundizar en las relaciones entre las condiciones fisicoquímicas y la estructura de la comunidad, así como en el papel del perifiton en la transferencia de energía hacia niveles tróficos superiores.

Tabla 3.3.3-342 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yurimena				Abundancia Total Microcuenca (Ind/ cm²)
					OCmn18	OCMY16	YURIMENA_CL_03	OCmn16	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella*		15,1			15,1
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*	101,1		1,5	1,6	104,2
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	11,2				11,2
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*		12,8	4,5		17,3
			Naviculaceae	*Navicula*	17,6	12,8			30,4
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	49,7			3,2	52,9
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	574,3				574,3
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		5,8			5,8
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	9,6				9,6
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	3,2				3,2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	12,8				12,8
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*			3		3
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	1,6				1,6
				Actinotaenium	44,9				44,9
				Xanthidium	11,2				11,2
				Staurastrum	49,7				49,7
				Euastrum	27,3				27,3
			Closteriaceae	*Closterium*	117,1				117,1
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*	6,4				6,4
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	25,7	8,1			33,8
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*		27,9			27,9
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	4,8	25,6			30,4
Gran Total					**1068,2**	**108,1**	**9**	**4,8**	**1190,1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los resultados del análisis de diversidad para la comunidad del perifiton en los puntos monitoreados OCMY16, OCmn16, OCmn18 y YURIMENA_CL_03 revelan diferencias significativas en la estructura ecológica de la Microcuenca. La estación OCmn18 destaca por presentar la mayor abundancia (1068.2 Ind/cm²) y riqueza de 17 géneros, lo que sugiere un ambiente con alta disponibilidad de recursos y heterogeneidad de hábitats. Sin embargo, su índice de Shannon (1.766) y equitatividad de Pielou (0.623) son relativamente bajos en comparación con su riqueza,

indicando una dominancia de pocas especies, como *Tabellaria* (574.3 Ind/cm²), que podría estar influyendo en la distribución desigual de la comunidad. Por otro lado, OCMY16 muestra una diversidad moderada (Shannon = 1.903) y alta equitatividad (Pielou = 0.978), lo que refleja una distribución más equilibrada entre los siete géneros registrados, aunque con menor abundancia total (108.1 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-343**). Este patrón sugiere condiciones ambientales más estables o menos perturbadas en este punto. En contraste, OCmn16 y YURIMENA_CL_03 presentan los valores más bajos de riqueza entre dos y tres géneros, respectivamente y diversidad (Shannon = 0.637 y 1.011) (**Tabla 3.3.3-343**), lo que podría asociarse a condiciones más restrictivas, como fluctuaciones en el caudal, contaminación localizada o menor disponibilidad de sustratos para la colonización del perifiton.

En conjunto, la Microcuenca del Caño Yurimena exhibe una calificación ecológica heterogénea, donde OCmn18, a pesar de su alta abundancia, muestra signos de dominancia ecológica que podrían indicar estrés ambiental o condiciones favorables para especies oportunistas. OCMY16, con una diversidad equilibrada, representa el punto con mayor salud ecológica dentro del sistema. Los puntos OCmn16 y YURIMENA_CL_03, con baja diversidad, sugieren microambientes potencialmente impactados o con limitaciones para el desarrollo del perifiton.

Tabla 3.3.3-343 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yurimena época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY16	108.1	7	1.903	0.167	0.978
OCmn16	4.8	2	0.637	0.556	0.919
OCmn18	1068.2	17	1.766	0.318	0.623
YURIMENA_CL_03	9	3	1.011	0.389	0.92

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico registrado en el caño Yurimena, un sistema lótico monitoreado durante la época seca, evidencia una comunidad de macroinvertebrados bentónicos de baja riqueza y moderada abundancia. Se identificaron tres (3) morfoespecies, correspondientes al phylum Arthropoda, clase Insecta, distribuidas en dos (2) órdenes (Diptera, Hemiptera), tres (3) familias (Chironomidae, Ceratopogonidae, y Naucoridae) y dos (2) géneros: *Probezzia*, *Pelocoris* y un morfotipo sin determinación de Chironomidae. La abundancia total fue de 7 ind/m², distribuidos entre las estaciones OCMY16 (4 ind/m²) y YURIMENA_CL_03 (2,2 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-344**).

Tabla 3.3.3-344 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Yurimena		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY16	YURIMENA_CL_03	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.		2,2	2,2
			Ceratopogonidae	Probezzia	*Probezzia* sp.	3,3		3,3
		Hemiptera	Naucoridae	Pelocoris	*Pelocoris* sp.	1,1		1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**4**	**2**	**7**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el enfoque de bioindicación, la comunidad presenta una dominancia de grupos tolerantes o moderadamente tolerantes a condiciones de contaminación orgánica y bajos niveles de oxígeno disuelto. La familia Chironomidae, representada por una morfoespecie no identificada a nivel de género, es reconocida por su capacidad de persistir en hábitats alterados o con perturbaciones antrópicas (Rosenberg & Resh, 1993). Por su parte, *Probezzia* (Ceratopogonidae) es un género de dípteros que se asocia frecuentemente a sustratos fangosos con presencia de materia orgánica, mientras que *Pelocoris* (Hemiptera: Naucoridae) se vincula a ambientes con vegetación sumergida o sustratos duros, lo que puede indicar cierta heterogeneidad microhábitat en el sistema (**Figura 3.3.3-147**).

El hecho de que las morfoespecies hayan sido recolectadas en diferentes puntos dentro de la misma Microcuenca sugiere la existencia de microgradientes ecológicos o variaciones locales en la estructura del hábitat y en la conectividad con ecosistemas adyacentes. Esto es particularmente importante en zonas de altillanura donde los cuerpos de agua lóticos mantienen una estrecha relación con sistemas lénticos (madreviejas, lagunas temporales) y paisajes terrestres contiguos. La movilidad estacional de macroinvertebrados entre estos sistemas puede estar mediada por los pulsos hidrológicos, los cuales controlan la colonización y recolonización de hábitats, especialmente durante las transiciones entre épocas húmedas y secas (Junk et al., 1989; Tomanova et al., 2006).

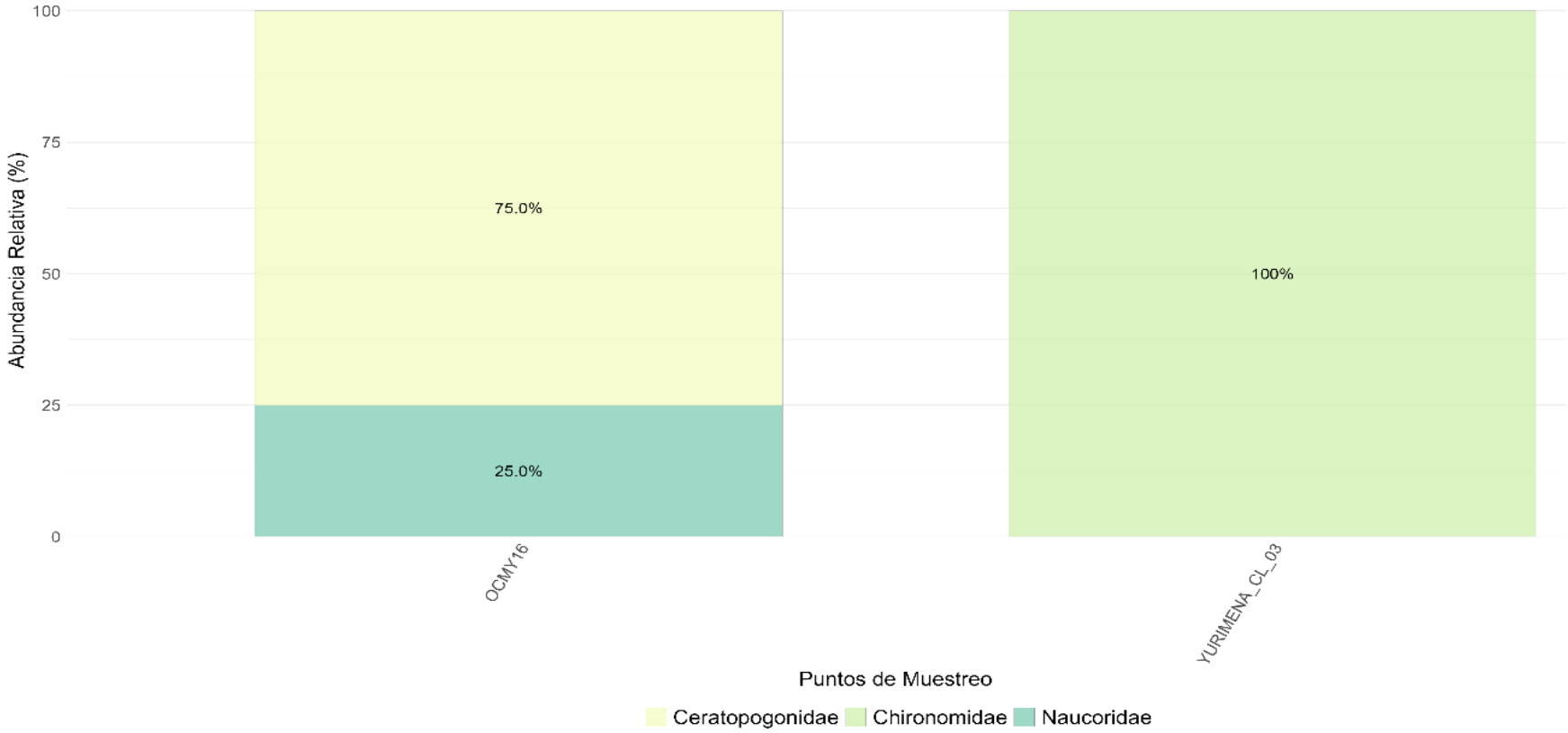


Figura 3.3.3-147 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En este sentido, la limitada riqueza registrada en el caño Yurimena podría estar influenciada tanto por factores naturales (época seca, desconexión con otros sistemas acuáticos) como por posibles impactos antropogénicos, incluyendo sedimentación, ganadería extensiva o alteración de la cobertura vegetal riparia, lo cual afecta la calidad del hábitat y la disponibilidad de refugios y alimento para la biota bentónica (Bouchard, 2004).

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del caño Yurimena presenta características de una comunidad simplificada, dominada por grupos tolerantes o de afinidad moderada a ambientes eutrofizados o intervenidos. Esto limita su valor como bioindicadores de buena calidad ecológica, pero sí permite inferir condiciones ambientales críticas y la necesidad de integrar estos análisis con estudios de calidad fisicoquímica, dinámica hidrológica y conectividad ecosistémica, a fin de interpretar correctamente la salud de los sistemas lóticos en la altillanura (Bonada et al., 2006).

El análisis del índice BMWP/Col aplicado a los puntos de monitoreo del caño Yurimena evidencia un estado de calidad del agua altamente deteriorado en ambos sitios evaluados. En el punto OCMY16, se obtuvo un valor BMWP de 13, lo cual, según la clasificación del índice, corresponde a una calidad de agua muy crítica, asociada a cuerpos de agua moderadamente contaminados. Por su parte, el punto YURIMENA_CL_03 presentó un valor aún más bajo, con un BMWP de 2, igualmente en la categoría "muy crítica" (**Tabla 3.3.3-345**). Estos resultados indican que ambos tramos del caño se encuentran sometidos a condiciones ambientales desfavorables para el establecimiento de comunidades bentónicas diversas y sensibles, posiblemente por efectos combinados de contaminación orgánica, alteraciones del hábitat y condiciones físico-químicas restrictivas, como bajo oxígeno disuelto o acumulación de materia orgánica.

Tabla 3.3.3-345 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yurimena época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO YURIMENA	OCMY16	V	Muy crítica	13	Aguas moderadamente contaminadas
	YURIMENA_CL_03	V	Muy crítica	2	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El índice BMWP/Col, diseñado para evaluar la calidad ecológica de los cuerpos de agua con base en la tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos a la contaminación, refleja aquí una baja representación de taxones indicadores de buena calidad y una dominancia de grupos tolerantes (Roldan G. , 2003). En ambos casos, la escasa riqueza y predominancia de familias como Chironomidae y Ceratopogonidae, caracterizados por su amplia tolerancia a condiciones contaminadas, contribuyen al bajo puntaje registrado.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de acciones de manejo y restauración para mejorar la calidad del agua en el caño Yurimena, incluyendo estrategias que aborden tanto las fuentes puntuales como difusas de contaminación, así como la recuperación de la vegetación ribereña y el control de sedimentación. La persistencia de condiciones tan críticas podría comprometer la funcionalidad

ecológica del ecosistema acuático y limitar los servicios ecosistémicos que este tipo de ambientes presta a la región.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para los puntos de monitoreo del caño Yurimena pone de manifiesto un empobrecimiento notable en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, asociado posiblemente a condiciones ambientales degradadas. En el punto OCMY16 se registró una riqueza de dos (2) morfoespecies y una abundancia total de 4.4 individuos/m², lo cual se tradujo en un valor del índice de Shannon de 0.562, un índice de Simpson de 0.625 y un valor de equidad (Pielou) de 0.811 (**Tabla 3.3.3-346**). Estos valores reflejan una diversidad baja, con predominancia moderada de una de las morfoespecies presentes, lo cual sugiere un entorno perturbado en el que pocas especies logran establecerse y dominar.

En el punto YURIMENA_CL_03, la situación es aún más crítica: se registró una sola morfoespecie con una abundancia de 2.2 individuos/m², lo que impide calcular de forma válida los índices de diversidad alfa como Shannon y Simpson, ya que estos requieren al menos dos categorías para estimar la heterogeneidad y dominancia de la comunidad. En consecuencia, el valor de Shannon es 0 y Simpson toma el valor máximo de 1, indicando ausencia de diversidad, y el índice de equidad no es aplicable.

Tabla 3.3.3-346 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO YURIMENA	OCMY16	4.4	2	0.562	0.625	0.811
	YURIMENA_CL_03	2.2	1	0	1	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos resultados son coherentes con los bajos valores del índice BMWP/Col reportados para ambos puntos de la Microcuenca, lo cual refuerza la evidencia de una fuerte degradación ecológica. La baja riqueza específica y la escasa equitatividad en la distribución de las abundancias reflejan ambientes probablemente impactados por contaminación orgánica, alteraciones en la cobertura vegetal riparia o la morfología del canal, factores que reducen la heterogeneidad del hábitat y afectan negativamente la diversidad biológica (Merritt & Cummins, 2008; Roldan G. , 2003). Así, el conjunto de los indicadores apunta a que el caño Yurimena presenta condiciones poco favorables para comunidades bentónicas saludables y resilientes.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Con base en la información florística obtenida en la Microcuenca del caño Yurimena durante la temporada seca, se identificó una comunidad de macrófitas acuáticas limitada en composición y distribución, reflejando posiblemente la influencia de la estacionalidad hidrológica y de las características geomorfológicas de la región de altillanura. En total, se registraron tres

morfoespecies, todas presentes exclusivamente en el punto OCmn16, una ocupación de cauce donde se evidenció la totalidad de la cobertura vegetal (89%) y el 100% de la abundancia relativa registrada en la Microcuenca. Las especies identificadas incluyen representantes de dos divisiones principales: Tracheophyta (plantas vasculares) con dos clases dominantes: Polypodiidae (helechos) y Magnoliidae (angiospermas), lo cual sugiere la coexistencia de formas primitivas y avanzadas adaptadas a ambientes ribereños (Cronk, 2001). La presencia de *Pteris* sp. (Pteridaceae) con una cobertura del 10% y una abundancia relativa del 11,24% indica condiciones de sombra parcial o humedad edáfica constante, características típicas de microhábitats protegidos dentro del cauce (**Tabla 3.3.3-347**).

La dominancia de *Spathiphyllum* sp. (Araceae) con más del 72% de cobertura y 81,27% de abundancia relativa, resalta su rol como especie estructuradora en este ambiente lótico de baja energía, tolerante a suelos inundables y con posible capacidad de bioacumulación (Mitch, 2007). La presencia de una morfoespecie de Cyperaceae con 6,67% de cobertura refuerza la representación típica de graminoides en zonas húmedas de sabana (Rangel-Ch, 2012). Los demás puntos de muestreo (OCmn18, OCMY16 y YURIMENA_CL_03) no presentaron cobertura de macrófitas, lo cual puede estar relacionado con características hidromorfológicas específicas, como mayor velocidad del flujo, sustratos menos estables o alteraciones recientes del cauce (**Tabla 3.3.3-347**). Esta distribución refleja un patrón espacial altamente localizado y sugiere que las comunidades macrófitas en la Microcuenca del caño Yurimena son sensibles a las condiciones microambientales, especialmente durante la temporada seca cuando la disponibilidad de agua y nutrientes se reduce significativamente (Esteves F. A., 2011).

Tabla 3.3.3-347 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yurimena época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Yurimena				
				Punto De Muestreo	OCmn16		OCmn18	OCMY16	YURIMENA_CL_03
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Pteris* sp.	10	11,24	No se encontraron especies	No se encontraron especies	No se encontraron especies
	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Spathiphyllum* sp.	72,33	81,27			
		Poales	Cyperaceae	Cyperaceae Mf.	6,67	7,49			
Cobertura Total general					**89**	**100**	**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Punto					**3**		**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**3**				

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Con base en los índices de diversidad calculados para la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Yurimena durante la temporada seca, se evidencia una baja diversidad y equidad florística en el único punto evaluable: OCmn16, una ocupación de cauce que presentó al menos tres morfoespecies, permitiendo el cálculo de los índices Shannon-Wiener, Simpson y Pielou. El valor del índice de Shannon (0,536) indica una diversidad relativamente baja, lo que refleja el dominio de una o pocas especies dentro de la comunidad, mientras que el índice de Simpson (0,728) sugiere una probabilidad moderada de que dos individuos seleccionados al azar

pertenezcan a especies distintas, aunque aún se encuentra lejos de un sistema altamente equitativo (Magurran A. E., 2004), (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001). Este patrón se reafirma con el índice de equidad de Pielou (0,488), que indica una distribución desigual en la abundancia de especies, con una clara dominancia de *Spathiphyllum* sp., la cual representó más del 80% de la cobertura total registrada en este punto.

En contraste, los puntos OCmn18, OCMY16, también correspondientes a ocupaciones de cauce, y YURIMENA_CL_03 no presentaron suficientes morfoespecies (menos de tres) para estimar los índices de diversidad, lo que resalta una limitada riqueza específica en estos sectores del caño durante la temporada seca. Esta baja diversidad puede estar asociada a condiciones ambientales restrictivas como la reducción del nivel del agua, mayor exposición del sustrato, y posibles presiones antrópicas locales, factores que afectan directamente el establecimiento y permanencia de las macrófitas (Esteves F. A., 2011), (Junk W. J., 2011). Estos resultados son consistentes con estudios realizados en sabanas de la altillanura colombiana, donde las comunidades acuáticas tienden a ser estacionalmente variables y dependientes del pulso hidrológico (Rangel-Ch., 2004). La baja riqueza y equidad observadas refuerzan la importancia del monitoreo continuo de estas comunidades como indicadores sensibles de la salud ecológica de los sistemas acuáticos tropicales.

- *Época lluvias*

  - ✓ *Perifíton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en la Microcuenca Yurimena, que incluye los puntos OCmn18, OCMY16, YURIMENA_CL_03 y OCmn16 en la altillanura durante época lluviosa, presenta una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta) y algas verdes (Charophyta), con una abundancia total de 67.3 ind/cm² distribuida heterogéneamente entre las estaciones. El género más abundante fue *Eunotia* (53.9 ind/cm²), particularmente en OCmn16 (38.4 ind/cm²) y un porcentaje de abundancia del (95.8%), seguido por *Navicula* (4.4 ind/cm² y 20%) para la estación OCmn18 y *Gomphonema* reporto una abundancia total de (4.6 ind/cm²), mientras que *Zygnema* mostró la menor presencia (1.5 ind/cm² y 6.82%) (**Tabla 3.3.3-348**) (**Figura 3.3.3-148**) para la estación OCmn18. La riqueza de morfoespecies varía significativamente entre puntos, siendo OCmn16 el más diverso con 3 géneros registrados y OCMY16 y YURIMENA_CL_03 los menos diversos (1 género cada uno).

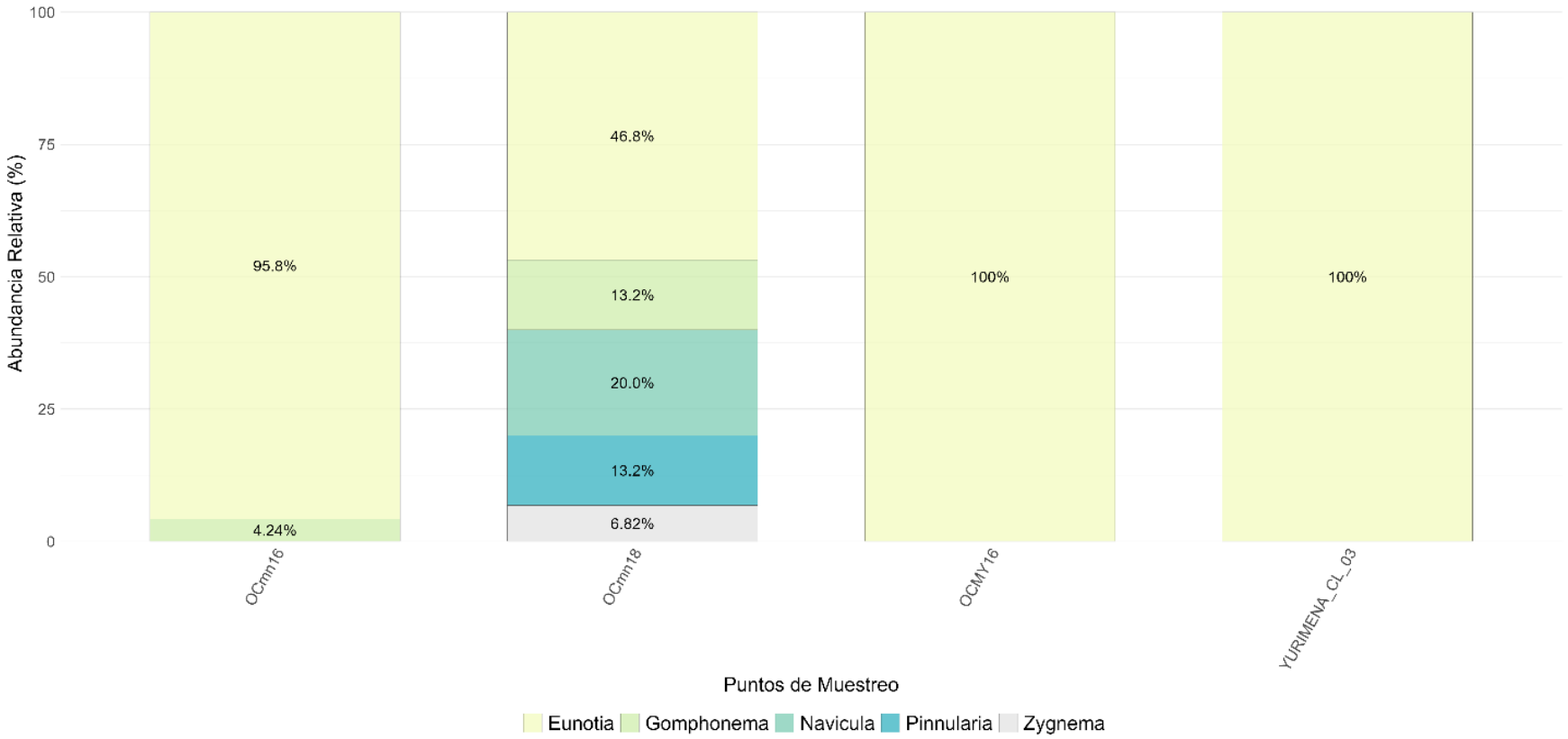


Figura 3.3.3-148 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta distribución refleja condiciones microambientales particulares la dominancia de *Eunotia*, bioindicadora de aguas ácidas y bajas en nutrientes (Round et al., 1990), sugiere que OCmn16 podría estar influenciado por aportes de sistemas terrestres con suelos ricos en materia orgánica húmica, mientras que la presencia esporádica de *Zygnema* (típico de aguas lénticas) en OCmn18 indica una limitada interacción con hábitats estancados. La baja abundancia en YURIMENA_CL_03 (1.9 ind/cm²) y OCMY16 (3.3 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-348**) podría asociarse a condiciones hidrodinámicas más intensas o a una mayor exposición a perturbaciones.

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la composición del ensamble, mientras las diatomeas (*Pinnularia*, *Navicula*) dominan en ambientes lóticos bien oxigenados, la presencia minoritaria de *Zygnema* sugiere conexiones esporádicas con humedales o zonas de remanso (Wetzel R. G., 2001).

La calificación ecológica global de la Microcuenca es moderada-alta, con OCmn16 como punto mejor conservado (alta abundancia de *Eunotia*, sensible a cambios) y YURIMENA_CL_03 y OCMY16 como zonas potencialmente más impactadas (baja diversidad).

Tabla 3.3.3-348 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca caño Yurimena época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Caño Yurimena				Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCmn18	OCMY16	YURIMENA_CL_03	OCmn16	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	2,9			1,7	4,6
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	2,9				2,9
			Naviculaceae	*Navicula*	4,4				4,4
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	10,3	3,3	1,9	38,4	53,9
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	*Zygnema*	1,5				1,5
Gran Total					22	3,3	1,9	40,1	67,3

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en los cuatro puntos monitoreados (OCMY16, OCmn16, OCmn18 y YURIMENA_CL_03) revela una marcada heterogeneidad en la estructura de la comunidad de perifiton. El punto OCmn18 destaca como el más diverso, con 5 géneros, un índice de Shannon de 1.395 (diversidad moderada), Simpson de 0.298 (baja dominancia) y Pielou de 0.867 (alta equitatividad), indicando un ambiente equilibrado y favorable para el desarrollo de múltiples especies. En contraste, OCMY16 y YURIMENA_CL_03 presentan los valores más críticos, con riqueza de 1 género, por lo que según (Magurran A. E., 2004) no es conveniente obtener índices de diversidad. El punto OCmn16, aunque con mayor abundancia (40.1 ind/cm²), muestra baja diversidad (Shannon 0.173) y alta dominancia (Simpson 0.92) (**Tabla 3.3.3-349**), confirmando la prevalencia casi exclusiva de *Eunotia*.

Esta variabilidad sugiere que la Microcuenca presenta una calificación ecológica heterogénea, donde OCmn18 representa un sector bien conservado (calificación buena), mientras que OCMY16

y YURIMENA_CL_03 reflejan impactos locales severos (calificación pobre). OCmn16, pese a su alta abundancia, carece de diversidad funcional (calificación regular). En conjunto, la Microcuenca oscila entre regular y buena, con urgente necesidad de investigar los factores que limitan la diversidad en tres de sus cuatro puntos, particularmente en relación con posibles fluctuaciones hidrológicas, contaminación puntual o alteraciones de hábitat.

Tabla 3.3.3-349 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca caño Yurimena época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn16	40.1	2	0.173	0.92	0.25
OCmn18	22	5	1.395	0.298	0.867

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Caño Yurimena, monitoreado durante la época de lluvias, fue evaluado en cuatro estaciones de muestreo (OCMY16, YURIMENA_CL_03, OCmn18 y OCmn16). La comunidad registró una abundancia total de 25 ind/m², distribuida en siete (7) morfoespecies pertenecientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), tres (3) clases, cinco (5) órdenes, seis (6) familias y cinco (5) géneros identificados (*Alluaudomyia*, *Stilobezzia*, *Berosus*, *Hexacylloepus* y *Macrobrachium*) (**Tabla 3.3.3-350**).

Tabla 3.3.3-350 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Caño Yurimena				Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCMY16	YURIMENA_CL_03	OCmn18	OCmn16	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*		2,2			2,2
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*	1,1	1,1	4,4	5,6	12,2
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia sp.*			1,1		1,1
				Stilobezzia	*Stilobezzia sp.*			1,1		1,1
		Coleóptera	Hydrophilidae	Berosus	*Berosus sp.*		1,1			1,1
			Elmidae	Hexacylloepus	*Hexacylloepus sp.*		5,5			5,5
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	Macrobrachium	*Macrobrachium sp.*		1,1	1,1		2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**11**	**8**	**6**	**25**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estación YURIMENA_CL_03 presentó la mayor diversidad y abundancia (11 ind/m², 5 morfoespecies), destacándose la presencia de *Hexacylloepus sp.* (Elmidae) con 5.5 ind/m² (50% de la abundancia en esta estación). Este coleóptero elmido, considerado un buen indicador de

calidad de agua (Roldán & Ramírez, 2008), coexistió con otros taxones como *Glossiphoniidae Mf.* (2.2 ind/m²), *Chironomidae* Mf. (1.1 ind/m²), *Berosus sp.* (1.1 ind/m²) y *Macrobrachium* sp. (1.1 ind/m²) (**Figura 3.3.3-149**). Esta composición sugiere condiciones ambientales relativamente favorables en este sector del caño.

Las estaciones OCmn18 (8 ind/m², 4 morfoespecies) y OCmn16 (6 ind/m², 1 morfoespecie) mostraron una dominancia marcada de *Chironomidae* Mf. (4.4 y 5.6 ind/m² respectivamente), acompañada en OCmn18 por *Alluaudomyia* sp. (1.1 ind/m²), *Stilobezzia* sp. (1.1 ind/m²) y *Macrobrachium* sp. (1.1 ind/m²) (**Figura 3.3.3-149**). Este patrón de comunidad, con predominio de dípteros y ausencia de taxones más sensibles, indica condiciones más alteradas en estos puntos (Domínguez & Fernández, 2009).

La estación OCMY16 registró la comunidad más pobre (1 ind/m², solo Chironomidae Mf.), lo que sugiere un ambiente particularmente adverso para el establecimiento de una comunidad diversa (**Figura 3.3.3-149**). La presencia aislada de quironómidos, organismos altamente tolerantes, es característica de sistemas fuertemente impactados (Buss et al., 2015).

Desde la perspectiva de la bioindicación, el ensamble estudiado muestra un gradiente de calidad ambiental a lo largo del Caño Yurimena. La presencia de *Hexacylloepus* sp. (Elmidae) y *Berosus* sp. (Hydrophilidae) en YURIMENA_CL_03, ambos considerados taxones sensibles, indica que este sector mantiene condiciones aceptables. Por el contrario, la dominancia de quironómidos en las demás estaciones, especialmente en OCMY16 y OCmn16, señala ambientes más deteriorados.

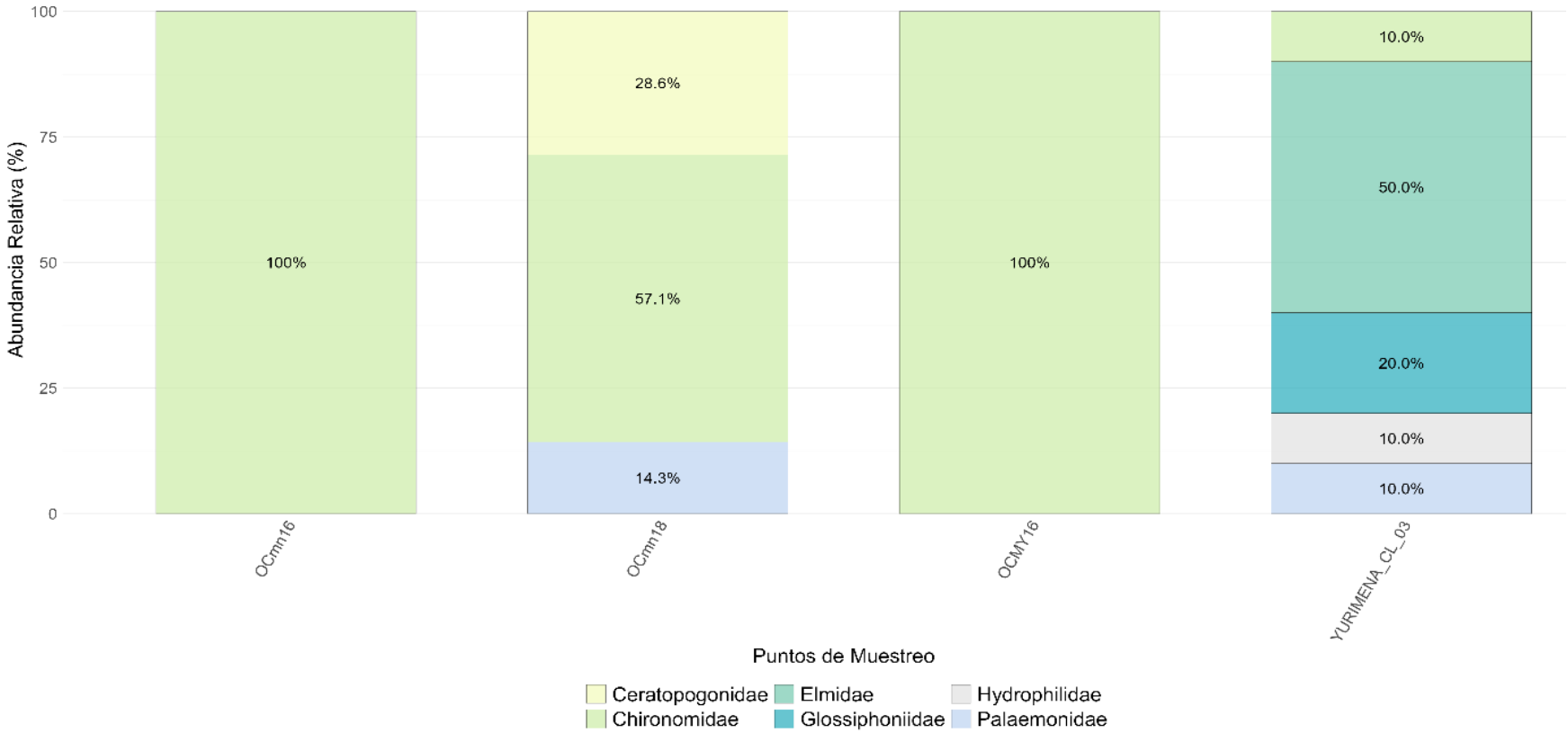


Figura 3.3.3-149 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de las interacciones ecológicas sugiere conexiones importantes entre los sistemas lóticos, lénticos y terrestres. Los decápodos presentes en YURIMENA_CL_03 y OCmn18, representan un vínculo con sistemas lénticos adyacentes, ya que muchas especies de este género requieren ambientes estuarinos o lénticos para completar su ciclo de vida (Magalhães, 2005). Los elmidos (*Hexacylloepus* sp.), típicos de aguas corrientes bien oxigenadas, confirman el carácter lótico del sistema. Los ceratopogónidos (*Alluaudomyia* sp. y *Stilobezzia* sp.), cuyos adultos son voladores, constituyen un puente ecológico entre los ambientes aquáticos y terrestres (Merritt et al., 2008).

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del Caño Yurimena presenta una distribución espacial heterogénea, con sectores relativamente conservados (YURIMENA_CL_03) y otros claramente impactados (OCMY16). La coexistencia de taxones sensibles (*Hexacylloepus* sp., *Berosus* sp.) con organismos tolerantes (*Chironomidae* Mf.) en algunas estaciones sugiere que el sistema mantiene cierto potencial para la recuperación de sus comunidades acuáticas.

Los resultados del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) en el Caño Yurimena revelan un gradiente de calidad del agua a lo largo del sistema, con variaciones significativas entre las estaciones monitoreadas. Los valores obtenidos oscilan entre 2 y 24 puntos, mostrando desde condiciones críticas hasta muy críticas en diferentes sectores del caño (Roldán & Ramírez, 2008).

La estación YURIMENA_CL_03 presenta el valor más alto (BMWP=24), clasificándose en la Clase IV (Crítica) (**Tabla 3.3.3-351**). Esta puntuación relativamente mejor se explica por la presencia de taxones sensibles como *Hexacylloepus sp.* (Elmidae) y *Berosus sp*. (Hydrophilidae), que aportan puntajes altos al índice. Sin embargo, la persistencia en la categoría "Crítica" indica que aunque existen organismos indicadores de buena calidad, su abundancia no es suficiente para compensar la presencia de grupos más tolerantes como los quironómidos (Domínguez & Fernández, 2009). Esta estación representa un sector del caño con condiciones ambientales menos deterioradas, posiblemente debido a características locales del hábitat o menor influencia de fuentes contaminantes.

En contraste, las estaciones OCmn18 (BMWP=15), OCmn16 (BMWP=2) y OCMY16 (BMWP=2) se clasifican en la Clase V (Muy crítica), mostrando condiciones severamente alteradas. La diferencia entre OCmn18 (15 puntos) y las otras dos estaciones (2 puntos) se debe principalmente a la presencia de ceratopogónidos (*Alluaudomyia* sp. y *Stilobezzia* sp.*)* en OCmn18, que aunque no son considerados altamente sensibles, aportan más puntos que los quironómidos dominantes en OCmn16 y OCMY16 (Buss et al., 2015) (**Tabla 3.3.3-351**). La similitud extrema entre OCmn16 y OCMY16 (ambas con BMWP=2) refleja comunidades idénticamente empobrecidas, dominadas exclusivamente por quironómidos, lo que sugiere condiciones ambientales particularmente adversas en estos sectores.

Tabla 3.3.3-351 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca caño Yurimena época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
CAÑO YURIMENA	YURIMENA_CL_03	IV	Critica	24	Aguas muy contaminadas
	OCmn18	V	Muy crítica	15	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCmn16	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCMY16	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El gradiente observado indica una heterogeneidad espacial en la calidad del agua a lo largo del caño con la existencia de microhábitats relativamente mejor conservados (YURIMENA_CL_03), y así mismo, sectores con impactos ambientales severos (OCmn16 y OCMY16), con una zona intermedia (OCmn18) con señales de deterioro avanzado.

Los factores que podrían explicar esta variación pueden deberse a diferente proximidad a fuentes de contaminación, las variaciones en las características geomorfológicas del cauce, el distinto grado de conexión con sistemas laterales, la presencia de zonas de refugio para taxones sensibles y efectos locales de la escorrentía en época de lluvias (Baptista et al., 2001).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para las comunidades bentónicas del Caño Yurimena revelan patrones ecológicos significativos que complementan los resultados del BMWP/Col. El análisis de las cuatro estaciones de muestreo muestra una marcada variación espacial en la estructura de las comunidades acuáticas, evidenciando diferentes grados de perturbación ambiental a lo largo del sistema lótico.

En las estaciones OCMY16 y OCmn16, la extrema pobreza de la comunidad (1 morfoespecie en cada una) imposibilitó el cálculo de los índices de diversidad. Estas estaciones, dominadas exclusivamente por *Chironomidae* Mf., representan ambientes acuáticos críticamente deteriorados, donde solo organismos altamente tolerantes pueden sobrevivir (Roldán & Ramírez, 2008).

La estación OCmn18 presenta valores moderados de diversidad (Shannon H'=1.154) y baja dominancia (Simpson D=0.388), con una equitatividad aceptable (Pielou J'=0.832) para sus cuatro (4) morfoespecies (**Tabla 3.3.3-352**). Estos resultados reflejan una comunidad donde, a pesar de la presencia dominante de *Chironomidae* Mf. (4.4 ind/m²), coexisten otros tres taxones (*Alluaudomyia* sp., *Stilobezzia* sp. y *Macrobrachium* sp.) en proporciones relativamente equilibradas (Domínguez & Fernández, 2009). Esta estructura comunitaria intermedia coincide con el valor de BMWP/Col de 15 puntos (Clase V, pero cerca del límite inferior de Clase IV).

YURIMENA_CL_03 muestra los valores más altos de diversidad (Shannon H'=1.359) y los más bajos de dominancia (Simpson D=0.32) del sistema, con una equitatividad similar a OCmn18

(Pielou J'=0.844) pero para una comunidad más rica (5 morfoespecies) (**Tabla 3.3.3-352**). La presencia de Hexacylloepus sp. (5.5 ind/m²) como especie dominante, acompañada por otros cuatro taxones en proporciones equilibradas, explica estos resultados. Esta estructura comunitaria más compleja y diversa corrobora el mejor valor de BMWP/Col (24 puntos) registrado en esta estación (Buss et al., 2015).

Tabla 3.3.3-352 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca caño Yurimena época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO YURIMENA	OCMY16	1.1	1	-	-	-
	OCmn16	5.6	1	-	-	-
	OCmn18	7.7	4	1.154	0.388	0.832
	YURIMENA_CL_03	11	5	1.359	0.32	0.844

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Con respecto a la relación entre índices y parámetros de la comunidad, cabe resaltar que la riqueza de especies varía directamente con los valores de Shannon, la dominancia (Simpson) se relaciona inversamente con la equitatividad (Pielou), las estaciones con mayor diversidad alfa coinciden con mejores valores de BMWP/Col y la abundancia total no necesariamente se correlaciona con la diversidad.

Adicionalmente es importante dar claridad a algunas limitaciones metodológicas con respecto a los índices, los cuales pierden significado en comunidades con <3 especies, la escasa abundancia en algunas estaciones afecta la confiabilidad, los valores deben interpretarse junto con otros indicadores ecológicos.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias, la comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca del caño Yurimena, dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, mostró un notable incremento en su riqueza florística y heterogeneidad estructural, con un total de 13 morfoespecies distribuidas en las ocupaciones de cauce OCmn16, OCmn18 y OCMY16 (**Tabla 3.3.3-353**). Esta mayor diversidad se alinea con patrones ecológicos ampliamente descritos en zonas tropicales, donde el pulso hidrológico de la temporada de lluvias favorece la expansión y establecimiento de especies acuáticas y palustres, al generar condiciones de mayor disponibilidad hídrica, conectividad ecológica y dinámica de nutrientes (Junk et al., 1989), (Esteves F. A., 2011).

La composición taxonómica incluyó representantes de la división Tracheophyta, con predominancia de las clases Magnoliidae y Polypodiidae, lo cual evidencia una combinación de angiospermas herbáceas y helechos adaptados a ambientes húmedos. Dentro de las familias más representativas se encontraron Araceae (con especies como *Anthurium* sp. y *Philodendron* sp.), Cyperaceae (con *Carex* sp., *Cyperus* sp. y una morfoespecie indeterminada), y Melastomataceae

(*Clidemia* sp., *Henriettea* sp.) (**Tabla 3.3.3-353**), las cuales son características de ecosistemas ribereños tropicales y se asocian comúnmente a suelos encharcados o márgenes de caños con cobertura boscosa (Mitch, 2007), (Cronk, 2001).

El punto OCmn18 presentó la mayor riqueza florística (7 morfoespecies) y cobertura total (85,66%), destacándose la dominancia de Cyperaceae *Mf.* (49,8% de abundancia relativa) y la presencia de especies indicadoras como *Sagittaria* sp. y *Tonina* sp., que reflejan condiciones hidromórficas más estables y ambientes con baja turbulencia. OCmn16, por su parte, registró 6 morfoespecies y una cobertura total de 47,67%, con un claro dominio de *Anthurium* sp. (50,35%) y la presencia de especies arbustivas y helófitas como Protium sp. y Prunus sp., lo cual sugiere zonas de transición entre ribera y cauce. OCMY16 mostró una menor riqueza (1 morfoespecie) pero alta cobertura relativa (60%) atribuida completamente a *Carex* sp., especie indicadora de bordes de cuerpos de agua poco profundos. En cambio, el punto YURIMENA_CL_03 no presentó cobertura de macrófitas, posiblemente debido a condiciones físicas inadecuadas como alta pendiente del cauce, falta de sustrato fino o alteraciones recientes (**Tabla 3.3.3-353**).

En general, la estructura comunitaria observada en temporada de lluvias refleja una respuesta positiva de la vegetación acuática y ribereña al aumento de la lámina de agua y a la activación de microhábitats, lo que respalda el papel de las macrófitas como bioindicadores de la calidad y funcionalidad ecológica de sistemas lóticos tropicales (Padilla, 2012), (Magurran A. E., 2004).

Tabla 3.3.3-353 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yurimena época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Caño Yurimena						
				Punto De Muestreo	OCmn16		OCmn18		OCMY16		YURIMENA_CL_03
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Thelypteridaceae	*Thelypteris* sp.			5	5,84			No se encontraron especies
			Saccolomataceae	*Saccoloma* sp.	7,67	16,09					
	Magnoliidae	Myrtales	Melastomataceae	*Clidemia* sp.			12,67	14,79			
				Henriettea sp.			4,33	5,05			
		Alismatales	Araceae	*Philodendron* sp.	3,67	7,70					
				Anthurium sp.	24	50,35					
			Alismataceae	*Sagittaria* sp.			10,33	12,06			
		Poales	Cyperaceae	*Carex* sp.	2	4,20			60	100	
				Cyperaceae Mf.			42,66	49,80			
				Cyperus sp.			3	3,50			
			Eriocaulaceae	*Tonina* sp.			7,67	8,95			
		Sapindales	Burseraceae	*Protium* sp.	4	8,39					
		Rosales	Rosaceae	*Prunus* sp.	6,33	13,28					
Cobertura Total general					**47,67**	**100**	**85,66**	**100**	**60**	**100**	**0**
Morfoespecies por Punto					**6**		**7**		**1**		**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**13**						

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias, los índices de diversidad de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del caño Yurimena reflejan una estructura comunitaria más compleja y equitativa en comparación con la temporada seca. En los puntos OCmn16 y OCmn18 (ambos ocupaciones de cauce) se registraron valores de riqueza específicos de 6 y 7 morfoespecies respectivamente, lo que permitió el cálculo de métricas ecológicas como los índices de Shannon-Wiener, Simpson y Pielou. OCmn18 presentó el mayor valor de diversidad según Shannon (1,53), mientras que OCmn16 le siguió con 1,452 (**Tabla 3.3.3-354**). Estos valores, aunque moderados, indican una comunidad con una distribución más balanceada de abundancias entre las especies presentes, característica típica de ambientes acuáticos más estables y heterogéneos durante el régimen hídrico alto (Magurran A. E., 2004), (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001).

El índice de Simpson, con valores de 0,301 en OCmn18 y 0,309 en OCmn16, señala una probabilidad intermedia de que dos individuos seleccionados al azar correspondan a diferentes especies, lo cual, en combinación con los altos valores del índice de equidad de Pielou (0,786 y 0,81, respectivamente), sugiere una comunidad sin especies fuertemente dominantes y con un reparto proporcional relativamente equilibrado de la abundancia (Krebs, 2014). Estos patrones son típicos de sistemas lóticos tropicales durante las temporadas de alta precipitación, donde la expansión del hábitat, el aumento de nutrientes y la reducción de condiciones de estrés (como la desecación) favorecen el establecimiento de diversas formas de vida acuática y palustre (Esteves F. A., 2011), (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989) (**Tabla 3.3.3-354**).

En contraste, los puntos OCMY16 (también una ocupación de cauce) y YURIMENA_CL_03 no fueron evaluables para estos índices debido a que presentaron menos de tres morfoespecies, condición que impide obtener estimaciones válidas de diversidad estructural. Este hecho puede deberse a limitaciones locales como tipo de sustrato, velocidad de flujo o alteraciones físicas, que restringen la colonización y persistencia de comunidades vegetales complejas en estos tramos (Padilla, 2012). En conjunto, los resultados destacan la influencia del régimen hidrológico sobre la dinámica de las macrófitas acuáticas y refuerzan su utilidad como indicadores sensibles de las condiciones ecológicas de sistemas acuáticos en regiones tropicales.

Tabla 3.3.3-354 Índices de diversidad Alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca caño Yurimena época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn16	47.67	6	1.452	0.309	0.81
OCmn18	85.66	7	1.53	0.301	0.786

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación entre la temporada seca y de lluvias en la Microcuenca del caño Yurimena evidencia un aumento claro en la diversidad y riqueza de macrófitas acuáticas durante el periodo húmedo. En época seca, solo se registraron tres morfoespecies en un único punto (OCmn16), con

fuerte dominancia de *Spathiphyllum* sp. y bajos índices de diversidad (Shannon: 0,536; Pielou: 0,488), lo que indica una comunidad poco diversa y desequilibrada (Magurran A. E., 2004). En cambio, durante la temporada de lluvias se registraron hasta 13 morfoespecies con mayor equidad en la abundancia entre especies y valores más altos de diversidad (Shannon > 1,4; Pielou > 0,78), especialmente en los puntos OCmn16 y OCmn18.

Este patrón concuerda con el modelo del pulso de inundación (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989), donde el aumento del caudal y la humedad durante la temporada lluviosa amplía los hábitats disponibles y promueve la colonización de más especies acuáticas. Así, las macrófitas reflejan la dinámica estacional del ecosistema y actúan como indicadores ecológicos sensibles.

3.3.3.2.23 Microcuenca río Cabuyarito

La Microcuenca del río Cabuyarito, localizada en el municipio de Puerto López, Meta, Colombia, forma parte de la extensa llanura de inundación del río Meta, del cual es afluente. Esta región se caracteriza por presentar una topografía predominantemente plana, con suelos de origen aluvial y una hidrología fuertemente influenciada por el régimen estacional de lluvias, lo que determina la dinámica ecológica de sus cuerpos de agua (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se desarrolló con el objetivo de caracterizar el estado ecológico del sistema lótico, a través del análisis de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua. Para tal fin, se establecieron ocho puntos de muestreo, seis de los cuales corresponden a ocupaciones de cauce (OCmn5, OCmn6, OCmn7, OCmn8, OCmn9 y OCmn10), y dos localizados también en el tramo principal del caño Cabuyarito (CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02). Cabe resaltar que no se incluyeron puntos lénticos en esta campaña de monitoreo, debido a las condiciones hidrológicas y al enfoque en ecosistemas lóticos. La región alberga una alta diversidad biológica, siendo el hábitat de numerosas especies acuáticas y ribereñas, adaptadas a las fluctuaciones del nivel del agua, y cumple un papel esencial en la conectividad ecológica de los sistemas hídricos de la Orinoquía (Rangel-Ch, 2012).

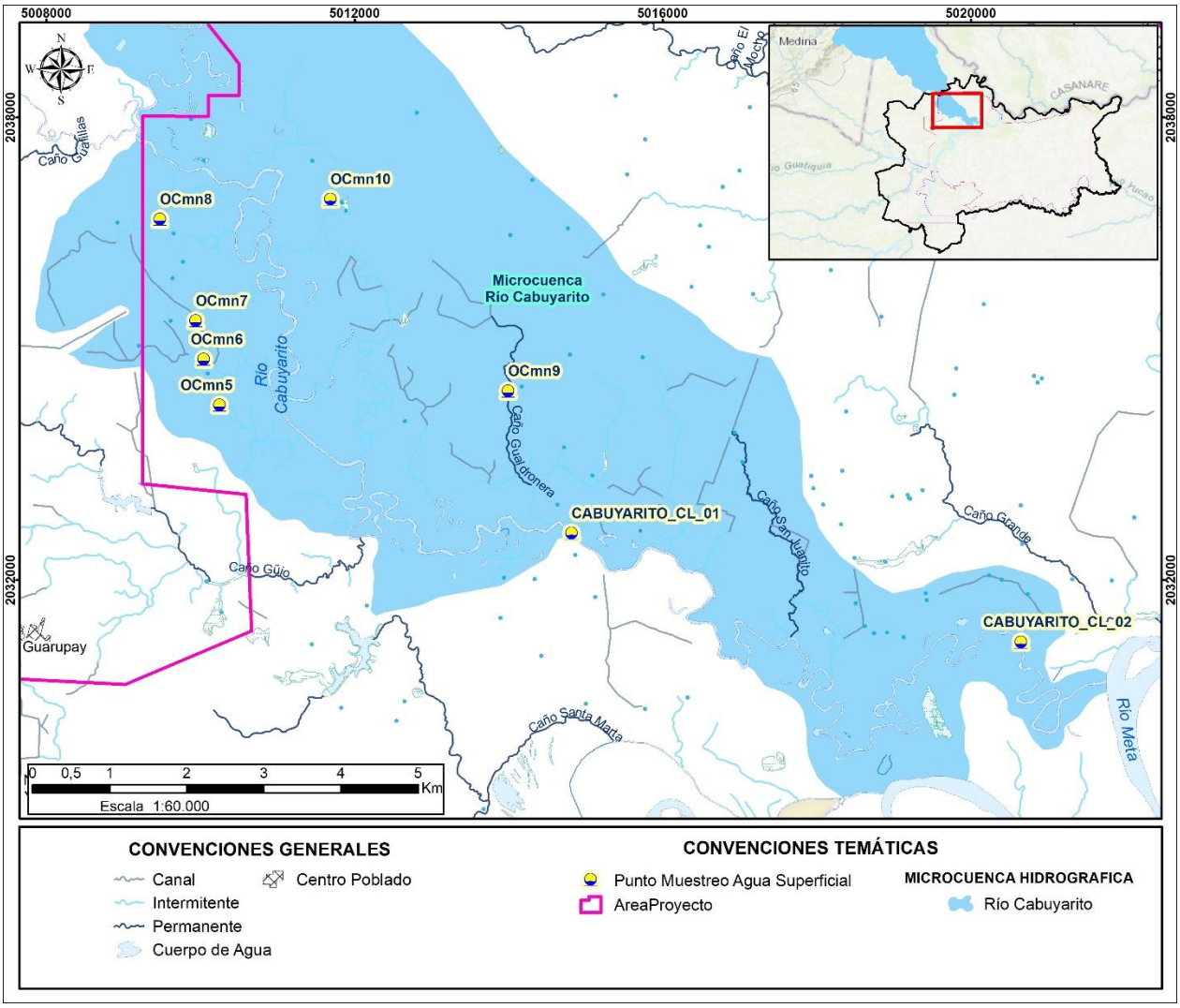


Figura 3.3.3-150 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Cabuyarito

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el río Cabuyarito, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton en sistemas lóticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la

columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico del Río Cabuyarito, monitoreado durante la época seca en cuatro estaciones (OCmn8, OCmn9, CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02), presenta una comunidad estructurada por condiciones lóticas con marcadas variaciones espaciales. La abundancia total de 926.9 Ind/cm² se distribuye desigualmente entre las estaciones, destacando OCmn9 (661.6 Ind/cm²) y CABUYARITO_CL_02 (215 Ind/cm²) como los puntos de mayor densidad biológica. La riqueza taxonómica incluye 15 géneros pertenecientes a cuatro divisiones: Heterokontophyta (diatomeas), Chlorophyta, Charophyta y una mínima representación de Cyanobacteria. La estructura comunitaria muestra patrones claros de dominancia, con *Cladophora* (273.4 Ind/cm²) y una representatividad del (41.32%) en OCmn9 y *Pinnularia* (176.5 Ind/cm²) con una representatividad del (82.09%) en CABUYARITO_CL_02 como los géneros más abundantes, representando el 29.5% y 19% de la abundancia total respectivamente (**Figura 3.3.3-151**) (**Tabla 3.3.3-355**). Estos datos verifican el patrón de que la época seca favorece la proliferación de algas filamentosas y diatomeas pennadas.

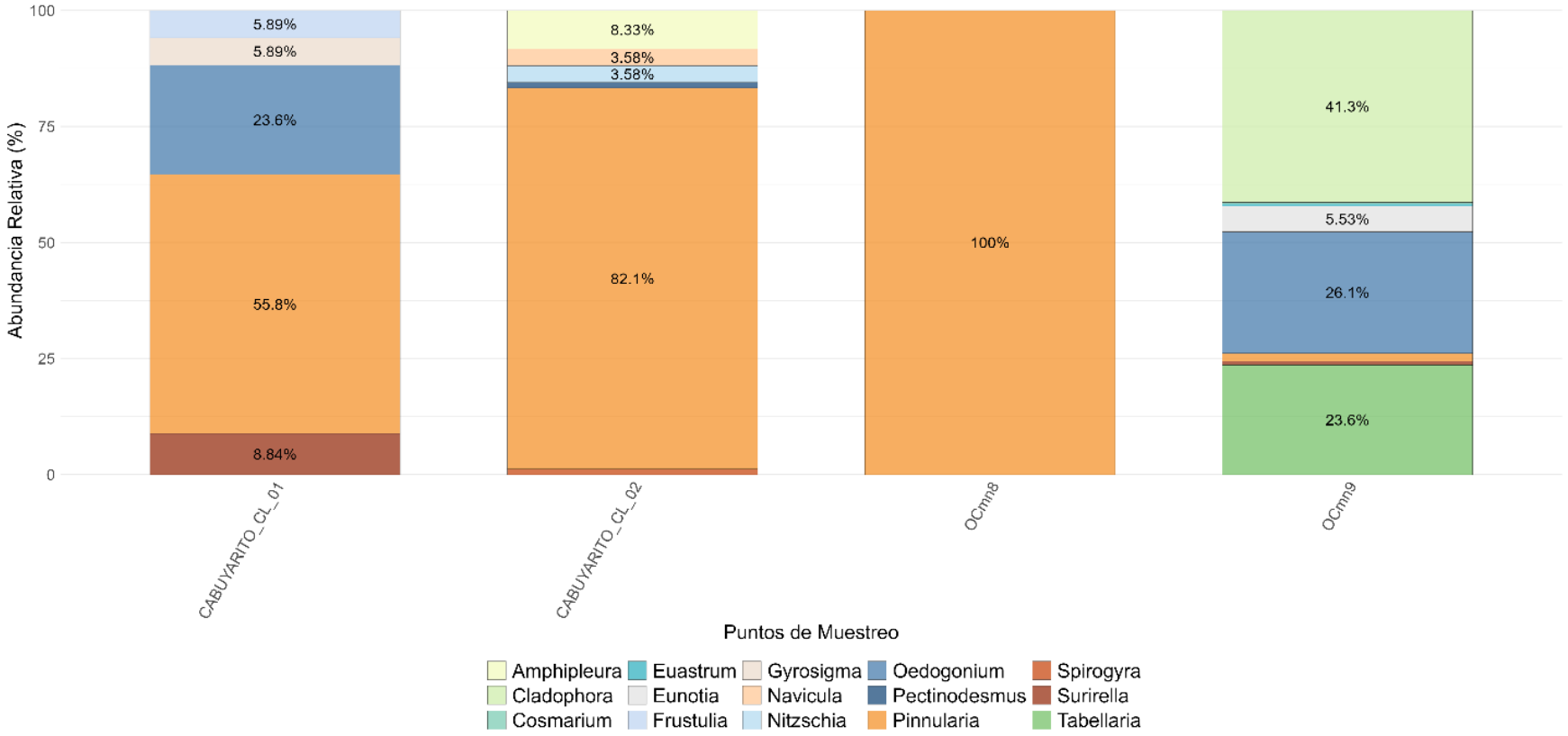


Figura 3.3.3-151 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad revela condiciones ambientales contrastantes la presencia de *Tabellaria* (156.2 Ind/cm²) y *Eunotia* (36.6 Ind/cm²) en OCmn9 sugiere aguas con bajo contenido de nutrientes y posible acidez (Round et al., 1990), mientras que la dominancia de *Cladophora* y *Oedogonium* (184.2 Ind/cm²) en la misma estación podría indicar enriquecimiento orgánico localizado (Wehr et al., 2015). La estación CABUYARITO_CL_02 muestra un ensamble distinto, dominado por *Pinnularia* (176.5 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia (82.09%) y *Amphipleura* (17.9 Ind/cm²) con un porcentaje del (8.33%) (**Tabla 3.3.3-355**)(**Figura 3.3.3-151**), diatomeas características de sustratos estables y aguas bien oxigenadas (Padisák et al., 2009). Esta variabilidad espacial podría reflejar diferencias en el régimen hidrológico, calidad de sustratos y grado de conexión con sistemas terrestres adyacentes.

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la composición de la comunidad con la presencia de *Spirogyra* y *Cosmarium*, típicas de ambientes lénticos, lo que sugiere microhábitats con flujo reducido y la alta abundancia de *Cladophora* en OCmn9 podría relacionarse con aportes de nutrientes desde la Microcuenca terrestre, como documenta (Wetzel R. G., 2001) en sistemas tropicales. Estos patrones coinciden con los descritos por (Donato-Rondón, 2016) para ríos de altillanura, donde la heterogeneidad espacial es un rasgo característico.

En conclusión, la calidad de Microcuenca ecológicamente se caracteriza como moderadamente alterada con heterogeneidad espacial marcada y según las morfoespecies mencionadas revela un sistema en transición, donde coexisten zonas bien conservadas con áreas sujetas a presiones ambientales.

Tabla 3.3.3-355 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Cabuyarito				Abundancia Total Microcuenca (Ind/ cm²)
					OCmn8	OCmn9	CABUYARITO_CL_01	CABUYARITO_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		5,6	4,2		9,8
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	2,8	11,2	26,5	176,5	217
			Amphipleuraceae	*Frustulia*			2,8		2,8
				Amphipleura				17,9	17,9
			Naviculaceae	*Gyrosigma*			2,8		2,8
				Navicula				7,7	7,7
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*		36,6			36,6
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		156,2			156,2
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*				7,7	7,7
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*		173	11,2		184,2
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Pectinodesmus*				2,6	2,6
	Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	*Cladophora*		273,4			273,4
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		2,8			2,8
				Euastrum		2,8			2,8
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*				2,6	2,6
Gran Total					**2,8**	**661,6**	**47,5**	**215**	**926,9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de los índices de diversidad en las cuatro estaciones monitoreadas de la Microcuenca del Río Cabuyarito revela patrones ecológicos diferenciados que permiten evaluar el estado de la Microcuenca durante la época seca. La estación OCmn9 presenta la mayor abundancia (661.6 Ind/cm²) y una riqueza moderada con ocho géneros, con valores de Shannon (H'=1.371) y (Simpson=0.299) (**Tabla 3.3.3-356**) que indican una diversidad media-baja y moderada dominancia, respectivamente.

Estos resultados sugieren condiciones de estrés ambiental selectivo, donde ciertas especies como *Cladophora* (273.4 Ind/cm²) y *Oedogonium* (173 Ind/cm²) aprovechan condiciones particulares de microhábitat, fenómeno documentado por (Biggs B. F., 1996) en sistemas lóticos tropicales. La equitatividad de Pielou (J'=0.659) (**Tabla 3.3.3-356**) confirma una distribución desigual de abundancias, característica de ambientes con factores limitantes. En contraste, CABUYARITO_CL_02 muestra una abundancia considerable (215 Ind/cm²) concentrada en una riqueza baja de seis géneros, particularmente *Pinnularia* (176.5 Ind/cm²), resultando en índices similares a OCmn9 (Shannon=1.263, Simpson=0.364) (**Tabla 3.3.3-356**), lo que refleja condiciones hidrológicas homogéneas, pero con fuerte presión de selección ambiental, como describe para ríos de altillanura.

Las estaciones CABUYARITO_CL_01 y OCmn8 presentan situaciones extremas mientras la primera mantiene una comunidad equilibrada (Pielou=0.784) a pesar de su baja abundancia (47.5 Ind/cm²), la segunda evidencia condiciones críticas con solo una especie presente (Tabellaria, 2.8 Ind/cm²) y valores nulos de diversidad (Shannon=0, Simpson=1) (**Tabla 3.3.3-356**), patrón que se asocia con hábitats altamente restrictivos. Esta variabilidad inter-estaciones sugiere que la Microcuenca del Río Cabuyarito presenta una calificación ecológica heterogénea, oscilando entre calidad moderada (CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02) y degradada (OCmn8), con OCmn9 como punto intermedio. La presencia simultánea de taxones indicadores de buena calidad (*Eunotia*, *Pinnularia*) y otros tolerantes (*Cladophora*) revela microambientes diferenciados dentro del sistema fluvial, donde interactúan factores lóticos, lénticos y terrestres, tal como lo reporta (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008) para ecosistemas acuáticos tropicales.

Tabla 3.3.3-356 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Cabuyarito época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CABUYARITO_CL_01	47.5	5	1.262	0.356	0.784
CABUYARITO_CL_02	215	6	1.263	0.364	0.705
OCmn8	2.8	1	0	1	
OCmn9	661.6	8	1.371	0.299	0.659

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Cabuyarito, un sistema lótico ubicado en la altillanura y monitoreado en época seca, evidencia una composición biológica con un total de cinco (5) morfoespecies distribuidas en dos (2) phyllum, dos (2) clases, tres (3) órdenes, cuatro (4) familias y dos (2) géneros, alcanzando una abundancia total de 57 individuos/m². Las estaciones evaluadas fueron OCmn8, OCmn9 y CABUYARITO_CL_01 (**Tabla 3.3.3-357**).

Tabla 3.3.3-357 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Cabuyarito			Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCmn8	OCmn9	CABUYARITO_CL_01	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*		1,1		1,1
		Lumbriculida	Lumbriculidae		*Lumbriculidae Mf.*			10	10
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*	2,2	2,2	30	34,4
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia sp.*			10	10
				Probezzia	*Probezzia sp.*	1,1			1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**3**	**3**	**50**	**57**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En términos taxonómicos, el phyllum Annelida está representado por las familias Glossiphoniidae y Lumbriculidae. La primera, correspondiente a sanguijuelas de hábitos ectoparásitos, estuvo presente en OCmn9 con una baja abundancia (1,1 ind/m²), mientras que la segunda, compuesta por oligoquetos detritívoros tolerantes a condiciones anóxicas y altas cargas orgánicas, fue registrada únicamente en CABUYARITO_CL_01 con una alta densidad (10 ind/m²), lo que puede reflejar condiciones de sedimentación fina y materia orgánica acumulada (Roldan G. , 1992; Timm & Veldhijzen van Zanten, 2002).

El phyllum Arthropoda fue el más representativo en términos de riqueza y abundancia, particularmente en la clase Insecta y el orden Diptera. La familia Chironomidae, con una distribución en las tres estaciones, alcanzó la mayor abundancia (34,4 ind/m²), siendo un claro indicador de ambientes eutrofizados o con bajos niveles de oxígeno disuelto, dada su reconocida tolerancia a la contaminación orgánica (Merritt & Cummins, 2008). Por otro lado, la familia Ceratopogonidae se registró con dos géneros: *Alluaudomyia* (10 ind/m²) y *Probezzia* (1,1 ind/m²) (**Figura 3.3.3-152**). Estas especies, aunque más exigentes en términos de calidad del sustrato, también se asocian a aguas cálidas y con cierta productividad secundaria, especialmente en zonas intermedias entre lótico y léntico.

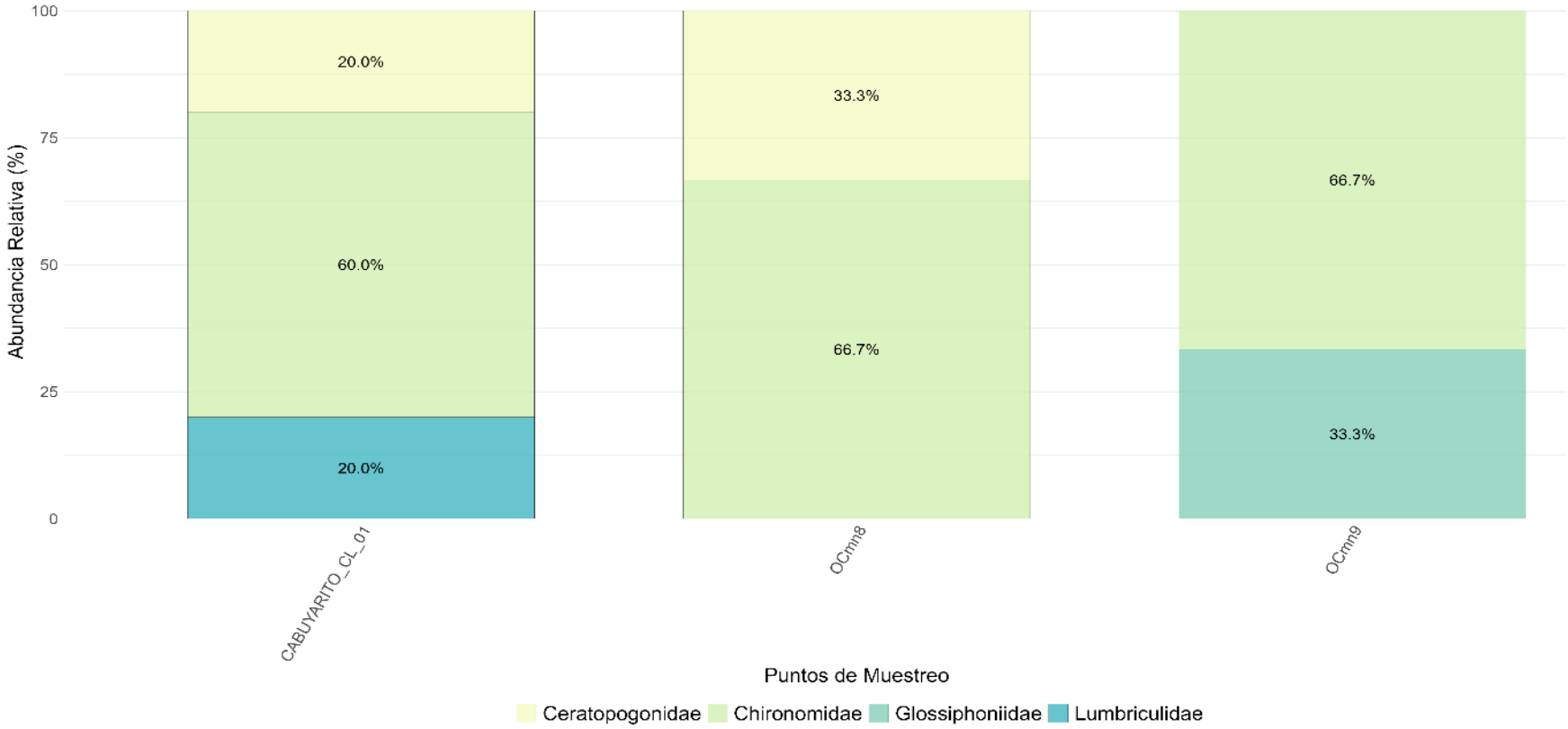


Figura 3.3.3-152 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad observada refleja condiciones ecológicas asociadas a ambientes con alteraciones moderadas, dominados por taxones resistentes como Chironomidae y Lumbriculidae, con escasa presencia de grupos sensibles. Esta composición puede estar influenciada por factores como baja conectividad hídrica, carga orgánica difusa o presión ganadera cercana. Además, la presencia de géneros como *Alluaudomyia* sugiere zonas de vegetación sumergida o semisumergida, lo cual evidencia la interacción con sistemas lénticos marginales como madreviejas o remansos en el cauce del río (Bonada et al., 2006).

La conectividad con el entorno terrestre también puede inferirse a partir del ingreso de materia orgánica particulada, sedimentos y nutrientes, los cuales podrían estar enriqueciendo el hábitat bentónico y favoreciendo a oligoquetos y dípteros tolerantes.

En conclusión, el ensamble macroinvertebrado del río Cabuyarito evidencia una comunidad con baja riqueza pero alta abundancia relativa de taxones tolerantes, propia de sistemas lóticos con influencia de remansos y áreas de deposición, donde las condiciones físico-químicas son propicias para organismos oportunistas.

Ahora bien, el análisis del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) muestra puntuaciones bajas, todas por debajo de 10, lo que ubica a los tres puntos de monitoreo en la categoría de calidad "muy crítica", con valores respectivos de 7, 7 y 6. Según la clasificación de Roldán (2003), estos valores indican que las aguas presentan condiciones de contaminación moderada, lo cual se asocia a una predominancia de morfoespecies tolerantes a la degradación ambiental, particularmente del orden Diptera (familias Chironomidae y Ceratopogonidae) y Annelida (familia Lumbriculidae) (**Tabla 3.3.3-358**).

Tabla 3.3.3-358 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Cabuyarito época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO CABUYARITO	CABUYARITO_CL_01	V	Muy crítica	7	Aguas moderadamente contaminadas
	OCmn8	V	Muy crítica	7	Aguas moderadamente contaminadas
	OCmn9	V	Muy crítica	6	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Esta baja puntuación del índice BMWP/Col puede estar relacionada con condiciones fisicoquímicas alteradas, como baja oxigenación, alta sedimentación o aporte de materia orgánica, frecuentemente observadas en sistemas lóticos con impacto antrópico difuso, como la ganadería extensiva, deforestación o falta de coberturas riparias (Domínguez & Fernández, 2009).

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de monitoreo del río Cabuyarito —CABUYARITO_CL_01, OCmn8 y OCmn9— revela una diversidad baja a moderada, con estructuras dominadas por pocos grupos taxonómicos. En el punto CABUYARITO_CL_01, se observa la mayor abundancia con 50 individuos/m² y una riqueza de tre (3) morfoespecies, lo cual se refleja en un índice de Shannon de 1.332 y un Simpson

de 0.28, indicando una dominancia leve y una composición algo homogénea. La equitatividad de Pielou (1.212) sugiere una distribución relativamente uniforme de los individuos entre las morfoespecies presentes, aunque el valor es inusualmente alto (normalmente este índice no supera 1), por lo que puede tratarse de un error de cálculo o un redondeo incorrecto (**Tabla 3.3.3-359**).

Tabla 3.3.3-359 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO CABUYARITO	CABUYARITO_CL_01	50	3	1.332	0.28	1.212
	OCmn8	3.3	2	0.637	0.556	0.919
	OCmn9	3.3	2	1.099	0.333	1.586

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En contraste, los puntos OCmn8 y OCmn9, con abundancias más bajas (3.3 individuos/m² cada uno) y solo dos (2) morfoespecies registradas, presentan también valores bajos en diversidad. OCmn8 muestra un índice de Shannon de 0.637 y un Simpson de 0.556, lo cual sugiere mayor dominancia de una de las morfoespecies. Por su parte, OCmn9 registra un índice de Shannon de 1.099 y un Simpson de 0.333, indicando una mejor distribución de los individuos entre las dos morfoespecies identificadas. En ambos casos, los valores de equitatividad (0.919 y 1.586, respectivamente) también parecen elevados, lo cual sugiere revisar la fórmula aplicada, ya que en condiciones estándar el índice de Pielou no debe superar 1 (**Tabla 3.3.3-359**).

En conjunto, estos resultados evidencian una comunidad pobremente estructurada, típica de ecosistemas sometidos a presiones ambientales, donde predominan morfoespecies tolerantes como Chironomidae y Ceratopogonidae. Esto concuerda con los valores bajos del índice BMWP/Col en la misma Microcuenca y con los patrones de dominancia y baja riqueza característicos de sistemas impactados (Rosenberg & Resh, 1993; Roldán, 2003). La escasa diversidad sugiere condiciones ambientales desfavorables o alteraciones como aporte de nutrientes, materia orgánica o sedimentación, que afectan la composición y estabilidad ecológica de la comunidad bentónica.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y Estructura de la comunidad

Con base en la caracterización florística realizada durante la temporada seca en la Microcuenca del río Cabuyarito, se identificó una comunidad de macrófitas acuáticas poco diversa pero estructuralmente dominada por gramíneas (Poaceae), con diferencias notables entre los puntos de muestreo lóticos —todos ellos ubicados en ocupaciones de cauce (OCmn5, OCmn6, OCmn7, OCmn8, OCmn9 y OCmn10). En total se registraron cuatro morfoespecies, distribuidas en tres órdenes taxonómicos: Myrtales, Alismatales y Poales, y pertenecientes a las familias Onagraceae, Araceae y Poaceae. La mayor cobertura se observó en los puntos OCmn8 y OCmn9, siendo el primero el más diverso, con tres morfoespecies y una cobertura total del 66,33%, donde Poaceae (*Paspalum* sp. y una morfoespecie no determinada) representó el grupo dominante con más del 99% de la cobertura relativa. En OCmn9, *Spathiphyllum* sp. (Araceae) presentó una cobertura

absoluta del 47%, con dominancia exclusiva en ese sitio. Los demás puntos, incluidos OCmn5, OCmn6, OCmn7 y los puntos CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02, no presentaron presencia de macrófitas acuáticas durante la temporada seca.

Esta baja riqueza florística y alta dominancia en pocos sitios puede atribuirse a condiciones hidrológicas propias de la estación seca, donde la reducción del caudal y el aislamiento de algunos microhábitats favorecen el establecimiento de especies helófitas oportunistas (Junk et al., 1989), (Esteves F. A., 2011). Además, el hecho de que la Microcuenca del río Cabuyarito se ubique en una llanura de inundación influenciada por el régimen del río Meta genera una dinámica ambiental que alterna periodos de sequía con extensas inundaciones estacionales, lo cual modela las estrategias de vida de las macrófitas, especialmente aquellas capaces de colonizar rápidamente ambientes temporalmente acuáticos (Junk W. J., 2011). La dominancia de Poaceae en OCmn8 sugiere una posible intervención o modificación antrópica del cauce, ya que muchas especies de esta familia están asociadas a ambientes alterados o perturbados (Rangel-Ch, 2012).

Tabla 3.3.3-360 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Cabuyarito época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Cabuyarito									
				Punto De Muestreo	OCmn8		OCmn9		OCmn10	OCmn7	OCmn6	OCmn5	CABUYARITO_CL_01	CABUYARITO_CL_02
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura
Tracheophyta	Magnoliidae	Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia* sp.	0,33	0,50			No se encontraron especies	No se encontraron especies	No se encontraron especies	No se encontraron especies	No se encontraron especies	No se encontraron especies
		Alismatales	Araceae	*Spathiphyllum* sp.			47	100						
		Poales	Poaceae	*Paspalum* sp.	19	28,64								
				Poaceae Mf.	47	70,86								
Cobertura Total general					**66,33**	**100**	**47**	**100**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Punto					**3**		**1**		**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**4**									

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada seca, los índices de diversidad de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Cabuyarito solo pudieron calcularse para el punto OCmn8, el único que presentó más de una morfoespecie. En este sitio, se registró una abundancia del 66,33%, con una riqueza de tres morfoespecies y valores de diversidad de Shannon de 0,631, Simpson de 0,582 y equidad de Pielou de 0,574. Estos valores indican una diversidad baja a moderada y una distribución ligeramente desigual entre las especies, dominada principalmente por Poaceae

(Magurran A. E., 2004). Los demás puntos —OCmn5, OCmn6, OCmn7, OCmn9, OCmn10, CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02— no permitieron el cálculo de índices de diversidad, ya que no presentaron macrófitas acuáticas o solo registraron una morfoespecie, como fue el caso de OCmn9. Esta baja diversidad es común en sistemas acuáticos de llanura de inundación durante la estación seca, donde las condiciones de bajo caudal, desconexión hidrológica y estrés hídrico limitan la colonización y permanencia de especies acuáticas (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989), (Esteves F. A., 2011). Estos resultados subrayan la importancia de considerar la variabilidad estacional y espacial en el monitoreo ecológico de macrófitas en ecosistemas fluviales tropicales.

- *Época lluvia*

  - ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos del río Cabuyarito puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

  - ✓ *Perifiton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en la Microcuenca del Río Cabuyarito, monitoreado en ocho estaciones (OCmn8, OCmn9, CABUYARITO_CL_01, CABUYARITO_CL_02, OCmn10, OCmn5, OCmn7 y OCmn6) durante la época lluviosa en la altillanura, revela una comunidad altamente diversa con una abundancia total de 831.1 ind/cm² distribuida heterogéneamente. La estación OCmn7 destaca como la más productiva (254.7 ind/cm²) dominada por *Eunotia* (205.8 ind/cm², 80.8% de su abundancia), seguida de OCmn8 (201.7 ind/cm²) con predominio de *Navicula* (100.9 ind/cm², 50% local) y OCmn9 (164.5 ind/cm²) donde *Eunotia* (32.4 ind/cm² y 19.7%) y *Ulnaria* (24.3 ind/cm² y 14.8%) son predominantes. En contraste, CABUYARITO_CL_02 muestra la menor abundancia (1.9 ind/cm² y un 100% de representatividad) (**Tabla 3.3.3-361**) (**Figura 3.3.3-153**).

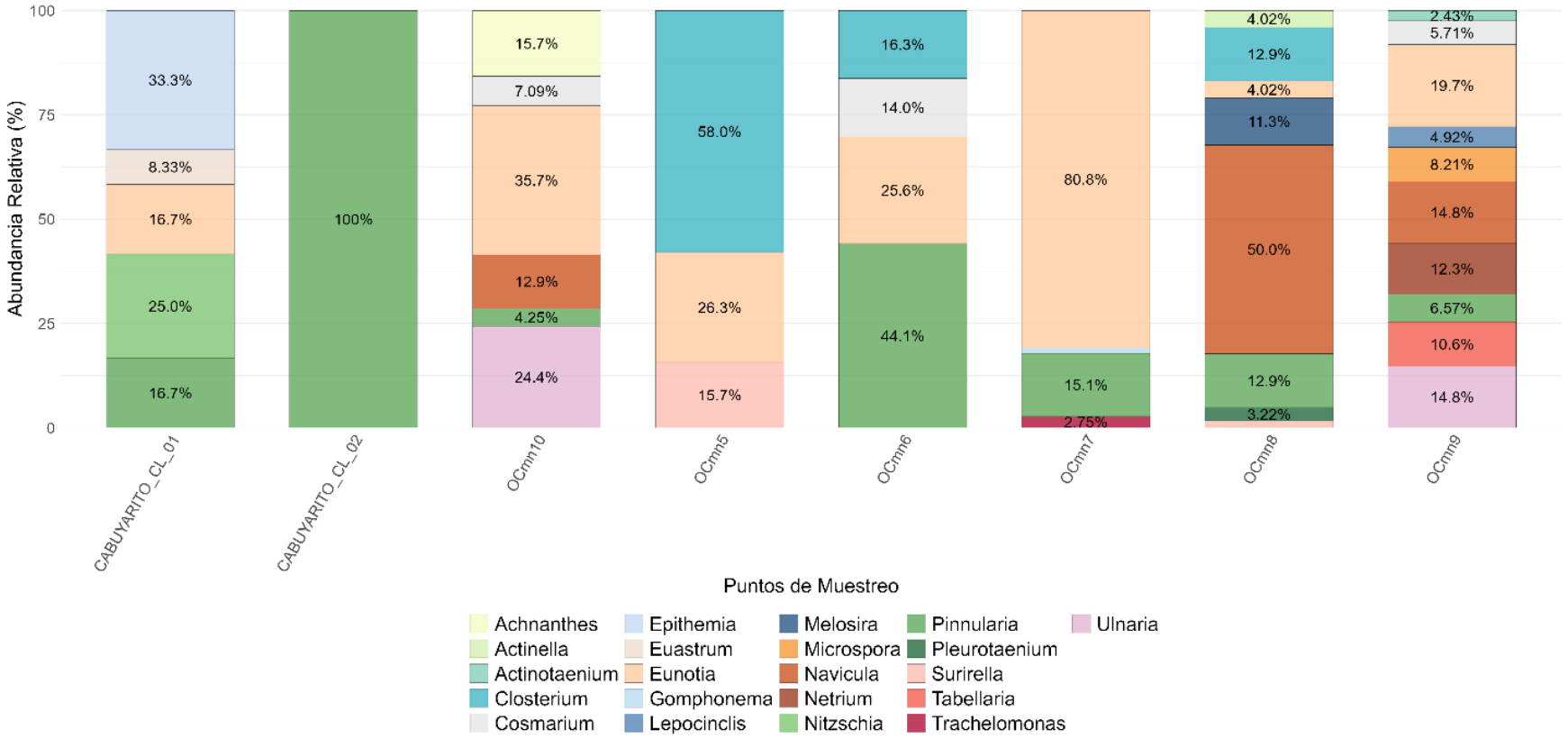


Figura 3.3.3-153 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La riqueza de morfoespecies varía significativamente, con 13 géneros identificados en total, siendo *Eunotia* el más abundante a nivel de Microcuenca (307 ind/cm², seguido por *Pinnularia* (116.4 ind/cm²) y *Navicula* (136.1 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-361**)(**Figura 3.3.3-153**), todos bioindicadores clave *Eunotia* sugiere aguas ácidas y oligotróficas, *Pinnularia* indica sistemas bien oxigenados, mientras que *Navicula* muestra tolerancia a condiciones mesotróficas (Round et al., 1990).

La presencia de géneros como *Melosira* (22.8 ind/cm²) y *Closterium* (57.4 ind/cm²) sugiere interacciones con sistemas lénticos, particularmente en OCmn8 y OCmn6, donde representan el 11.3% y 16.3% de su abundancia local respectivamente. La aparición esporádica de *Trachelomonas* (7 ind/cm²) y *Lepocinclis* (8.1 ind/cm²), típicos de aguas enriquecidas orgánicamente, podría indicar aportes puntuales desde sistemas terrestres adyacentes.

La variabilidad inter-estacional desde 1.9 ind/cm² en CABUYARITO_CL_02 hasta 254.7 ind/cm² en OCmn7, refleja un gradiente de condiciones ambientales, donde OCmn7 y OCmn8 emergen como zonas de especial conservación por su alta diversidad, mientras que CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02 requieren atención por su baja productividad.

Considerando la estructura comunitaria, los patrones de distribución y los géneros bioindicadores, la Microcuenca recibe una calificación ecológica buena, con áreas excelentes (OCmn7, OCmn8) que compensan sectores degradados (CABUYARITO_CL_02). Sin embargo, la presencia simultánea de taxones indicadores de eutrofización (*Nitzschia*, 3.9 ind/cm²) y acidificación de *Eunotia*, sugiere presiones ambientales diferenciadas que requieren monitoreo específico de parámetros como pH, nutrientes y carga orgánica.

Tabla 3.3.3-361 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Cabuyarito								Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					OCmn8	OCmn9	CABUYARITO_CL_01	CABUYARITO_CL_02	OCmn10	OCmn5	OCmn7	OCmn6	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*							3,5		3,5
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	3,3					5,2			8,5
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	26	10,8	2,6	1,9	3,6		38,4	33,1	116,4
			Naviculaceae	*Navicula*	100,9	24,3			10,9				136,1
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	8,1	32,4	2,6		30,2	8,7	205,8	19,2	307
				Actinella	8,1								8,1
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		17,5							17,5
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		24,3			20,6				44,9
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Epithemia*			5,2						5,2
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*					13,3				13,3
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*			3,9						3,9
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*	22,8								22,8
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Microsporaceae	*Microspora*		13,5							13,5
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		9,4			6			10,5	25,9
				Pleurotaenium	6,5								6,5
				Actinotaenium		4							4
				Euastrum			1,3						1,3
			Closteriaceae	*Closterium*	26					19,2		12,2	57,4
		Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*		20,2							20,2
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	*Lepocinclis*		8,1							8,1
			Euglenaceae	*Trachelomonas*							7		7
Gran Total					201,7	164,5	15,6	1,9	84,6	33,1	254,7	75	831,1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices de diversidad en las ocho estaciones monitoreadas revelan un panorama ecológico complejo y heterogéneo en la Microcuenca del Río Cabuyarito. La estación OCmn9 sobresale notablemente con los mejores valores ecológicos, riqueza de 10 géneros (la más alta registrada), índice de Shannon de 2.286 (diversidad alta), Simpson de 0.115 (mínima dominancia) y Pielou de 0.993 (equitatividad casi perfecta), lo que la califica como un ambiente excelentemente conservado. Le siguen OCmn8 y OCmn10 que, aunque con menor riqueza (8 y 6 géneros respectivamente), mantienen buenos índices de diversidad (Shannon 1.529 y 1.688) y equitatividad (Pielou 0.735 y 0.942) (**Tabla 3.3.3-362**), indicando comunidades bien estructuradas.

En contraste, OCmn7 siendo la estación más abundante (254.7 ind/cm²), muestra índices de diversidad muy regulares como (Shannon 0.615) y equitatividad (Pielou 0.444) (**Tabla 3.3.3-362**), evidenciando una comunidad dominada por pocos géneros. Los puntos más críticos son CABUYARITO_CL_02 (riqueza 1, Shannon 0) y OCmn5 (riqueza 3, Shannon 0.956) (**Tabla 3.3.3-362**), que reflejan ambientes potencialmente perturbados.

Considerando esta variabilidad, la Microcuenca en conjunto recibe una calificación ecológica buena con áreas de excelencia, donde los puntos bien conservados (OCmn9, OCmn8, OCmn10) compensan los sectores problemáticos (CABUYARITO_CL_02, OCmn5). La marcada diferencia entre estaciones sugiere que los impactos son localizados más que generalizados.

Tabla 3.3.3-362 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CABUYARITO_CL_01	15.6	5	1.517	0.236	0.943
CABUYARITO_CL_02	1.9	1	0	1	
OCmn10	84.6	6	1.688	0.215	0.942
OCmn5	33.1	3	0.956	0.429	0.87
OCmn6	75	4	1.277	0.306	0.921
OCmn7	254.7	4	0.615	0.677	0.444
OCmn8	201.7	8	1.529	0.309	0.735
OCmn9	164.5	10	2.286	0.115	0.993

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en la Microcuenca del río Cabuyarito, muestra una comunidad estructurada por una diversidad moderada de taxa, con una abundancia total de 105 individuos/m² distribuidos en 14 morfoespecies, pertenecientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), dos (2) clases, siete (7) órdenes, 12 familias y 10 géneros. La estación con mayor abundancia y diversidad fue CABUYARITO_CL_01 con 23 ind/m² y 6 morfoespecies (**Tabla 3.3.3-363**).

Tabla 3.3.3-363 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Cabuyarito							Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						OCmn8	OCmn9	CABUYARITO_CL_01	OCmn10	OCmn5	OCmn7	OCmn6	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*	1,1	2,2	1,1					4,4
		Tubificida	Naididae		*Naididae Mf.*			1,1					1,1
		Lumbriculida	Lumbriculidae		*Lumbriculidae Mf.*							1,1	1,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*	16,7	6,7	16,7	3,3	10	13,3	10	76,7
			Ceratopogonidae	Alluaudomyia	*Alluaudomyia sp.*			1,1	1,1				2,2
				Probezzia	*Probezzia sp.*				1,1				1,1
			Tipulidae	Molophilus	*Molophilus sp.*						1,1		1,1
			Simuliidae	Simulium	*Simulium sp.*							1,1	1,1
		Coleóptera	Dytiscidae	Laccophilus	*Laccophilus sp.*				1,1				1,1
			Elmidae	Microcylloepus	*Microcylloepus sp.*							4,4	4,4
		Hemiptera	Corixidae	Centrocorisa	*Centrocorisa sp.*				4,4				4,4
			Veliidae	Rhagovelia	*Rhagovelia sp.*			2,2					2,2
		Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	*Leptonema sp.*							3,3	3,3
				Smicridea	*Smicridea sp.*			1,1					1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**18**	**9**	**23**	**11**	**10**	**14**	**20**	**105**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En términos de composición, el grupo dominante fue la familia Chironomidae (Diptera), con un total de 76.7 ind/m², lo que representa más del 70% del total de la comunidad (**Figura 3.3.3-154**). Este grupo, ampliamente distribuido en ambientes dulceacuícolas, presenta una alta tolerancia a condiciones ambientales adversas, aunque también incluye especies sensibles, por lo que su presencia debe analizarse en conjunto con otros taxones (Roldán, 2003; Domínguez & Fernández, 2009). Su alta abundancia sugiere una posible condición de mesotrofia o moderada carga orgánica en algunos tramos del sistema.

Se identificaron también otros dípteros como Ceratopogonidae (*Alluaudomyia* y *Probezzia*), Tipulidae (*Molophilus*), y Simuliidae (*Simulium*), así como coleópteros acuáticos de las familias Dytiscidae y Elmidae, estos últimos representados por *Microcylloepus* con 4.4 ind/m², indicador de aguas oxigenadas y corrientes moderadas. La presencia de hemípteros acuáticos como *Centrocorisa* (Corixidae) y Rhagovelia (Veliidae), así como tricópteros (*Leptonema* y *Smicridea* (Hydropsychidae)) (**Figura 3.3.3-154**), refuerzan la idea de condiciones ambientales variadas, ya que estos grupos pueden habitar desde aguas con moderada velocidad hasta zonas más tranquilas y bien oxigenadas, con buena conectividad riparia.

Desde el punto de vista de la bioindicación, la coexistencia de morfoespecies tolerantes (e*Naididae* Mf., *Glossiphoniidae* Mf., *Probezzia* sp.) y otras más exigentes (*Leptonema* sp., Elmidae,

Hydropsychidae) sugiere una heterogeneidad ambiental que puede estar asociada a microhábitats bien estructurados, con presencia de hojarasca, macrófitas y conexiones con sistemas ribereños (**Figura 3.3.3-154**). Esta heterogeneidad puede deberse a la interacción hidrológica con ecosistemas lénticos cercanos, como madreviejas y humedales temporales, los cuales aportan materia orgánica, retienen nutrientes y actúan como refugio faunístico, especialmente durante los picos de inundación típicos de la altillanura (Junk et al., 1989; Wantzen et al., 2008). Así mismo, la conectividad con el entorno terrestre puede favorecer la colonización por macroinvertebrados con ciclos de vida parcialmente terrestres, como los Trichoptera y Odonata.

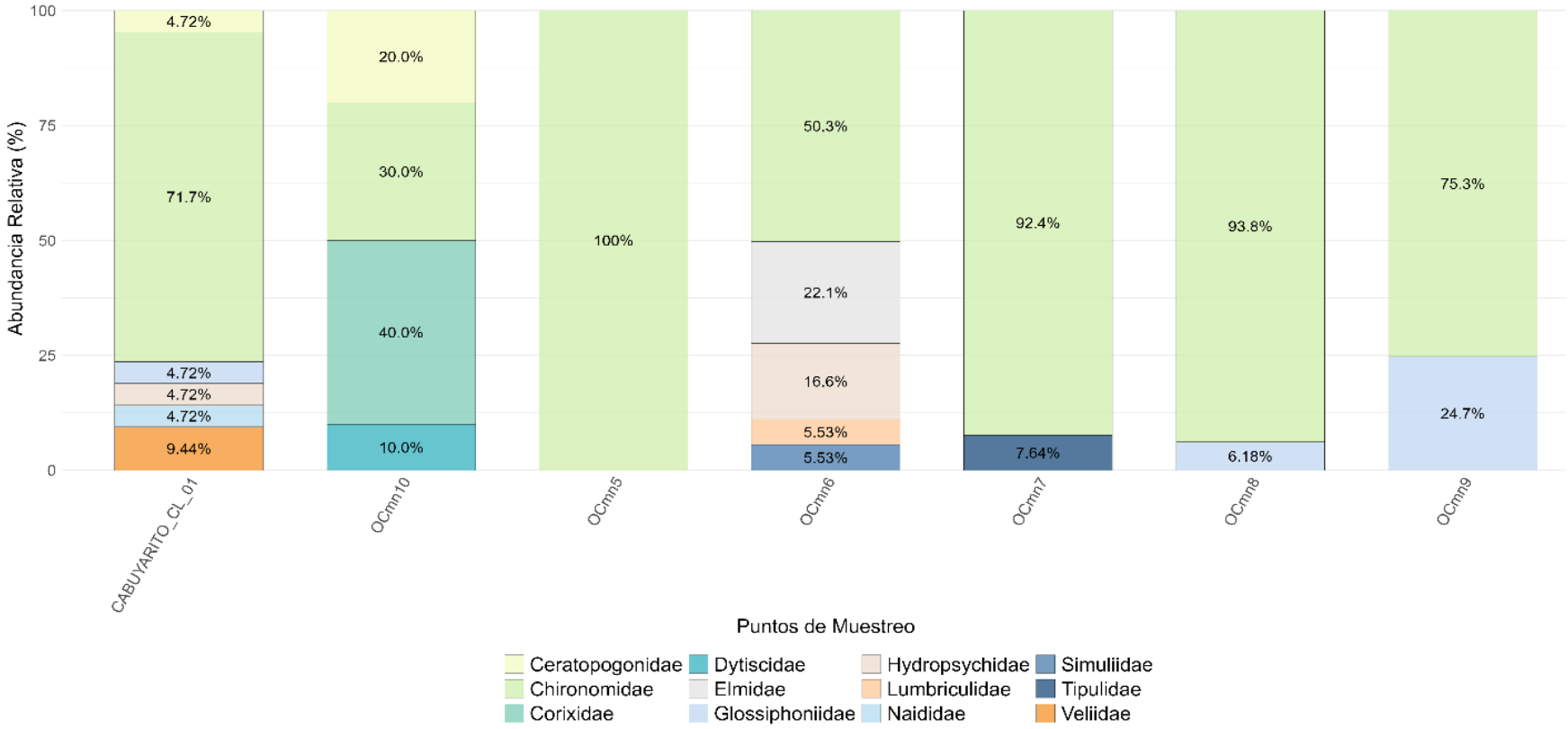


Figura 3.3.3-154 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de lombrices acuáticas como Naididae y Lumbriculidae indica zonas posiblemente más sedimentadas o con mayor carga orgánica, especialmente en tramos donde la velocidad de flujo es baja, lo cual resalta la importancia de conservar zonas con cobertura vegetal ribereña para mitigar procesos de sedimentación excesiva (Brinkhurst & Jamieson, 1971).

En conclusión, el río Cabuyarito muestra un ensamble de macroinvertebrados bentónicos estructurado, con predominio de dípteros tolerantes, pero también con representación de grupos bioindicadores de buena calidad ambiental. Esta composición sugiere un sistema que mantiene cierta funcionalidad ecológica y conexión con sistemas lóticos, lénticos y terrestres, aunque probablemente enfrenta presiones antrópicas moderadas o naturales que influyen en la dominancia de algunos grupos (Allan & Castillo, 2007).

Con respecto al análisis del índice BMWP/Col, este revela condiciones críticas a muy críticas en todos los puntos de muestreo evaluados. En términos específicos, los valores obtenidos para el BMWP/Col fluctúan entre 2 y 21, lo que ubica todos los puntos dentro de las categorías de "aguas muy contaminadas" y "aguas fuertemente contaminadas, situación crítica", según la clasificación propuesta por Roldán (2003).

Los puntos OCmn6 y CABUYARITO_CL_01, con valores de 21 y 18 respectivamente, se ubican en la clase IV, correspondiente a aguas muy contaminadas, lo cual indica una comunidad dominada por morfoespecies con tolerancia media a alta frente a condiciones de alteración físico-química del hábitat (**Tabla 3.3.3-364**). Estos resultados, aunque relativamente mejores, no alcanzan los umbrales que indicarían condiciones aceptables o buenas, lo que sugiere presencia de presiones ambientales sostenidas, posiblemente asociadas a carga orgánica, cambios hidromorfológicos, o pérdida de cobertura riparia.

Los restantes puntos (OCmn10, OCmn8, OCmn9, OCmn7 y OCmn5) presentan valores del índice inferiores a 15, siendo catalogados en clase V, que corresponde a condiciones "muy críticas" (**Tabla 3.3.3-364**). Esto indica la presencia predominante de taxa altamente tolerantes, como Chironomidae y algunos oligoquetos, los cuales suelen prosperar en ambientes con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, alta sedimentación y disponibilidad de materia orgánica particulada fina (Bonada et al., 2006; Domínguez & Fernández, 2009).

Tabla 3.3.3-364 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	Bmwp	Significado
RÍO CABUYARITO	OCmn6	IV	Critica	21	Aguas muy contaminadas
	CABUYARITO_CL_01	IV	Critica	18	Aguas muy contaminadas
	OCmn10	V	Muy crítica	12	Aguas muy contaminadas
	OCmn8	V	Muy crítica	6	Aguas muy contaminadas
	OCmn9	V	Muy crítica	6	Aguas muy contaminadas
	OCmn7	V	Muy crítica	5	Aguas muy contaminadas
	OCmn5	V	Muy crítica	2	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El patrón espacial observado sugiere una heterogeneidad longitudinal en la calidad del agua, con posibles mejoras localizadas, aunque insuficientes para sustentar comunidades bentónicas diversas o dominadas por organismos sensibles. La prevalencia de bajas puntuaciones en el índice BMWP/Col pone en evidencia una presión antrópica generalizada sobre la Microcuenca, posiblemente relacionada con usos agropecuarios, sedimentación inducida por deforestación o modificaciones del cauce, como también el aislamiento de conectividades con sistemas lénticos o humedales periféricos, los cuales tradicionalmente actúan como zonas de retención y depuración ecológica (Wantzen et al., 2008; Junk et al., 1989).

En conclusión, el BMWP/Col evidencia un estado de deterioro ecológico severo en la mayoría de los tramos del río Cabuyarito, lo que subraya la urgencia de implementar acciones de gestión y restauración, especialmente aquellas orientadas al mejoramiento de la cobertura vegetal ribereña, control de cargas contaminantes y restauración de conectividades entre hábitats acuáticos y terrestres.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para los macroinvertebrados bentónicos en la Microcuenca del río Cabuyarito, monitoreada durante la época de lluvias, evidencia un patrón de diversidad ecológica heterogéneo entre los puntos evaluados, lo cual refleja tanto diferencias locales en las condiciones del hábitat como posibles presiones antrópicas diferenciadas a lo largo del sistema lótico.

En primer lugar, el punto CABUYARITO_CL_01 presentó la mayor diversidad, con una riqueza de 6 morfoespecies y un índice de Shannon de 1.681, mientras que el índice de Simpson fue de 0.243 y la equitatividad (Pielou) de 0.938, lo que indica una comunidad bien estructurada, con una distribución relativamente uniforme entre las especies presentes y baja dominancia de un solo taxón (**Tabla 3.3.3-365**). Esta condición sugiere la existencia de microhábitats variados y una mayor estabilidad ambiental local, al menos relativa frente a otros puntos.

Puntos como OCmn6 y OCmn10 también revelaron niveles moderados de diversidad, con riquezas de 5 morfoespecies, índices de Shannon superiores a 1.4, y niveles de equidad aceptables (Pielou > 0.8) (**Tabla 3.3.3-365**), lo que sugiere cierta resiliencia ecológica, posiblemente asociada a una conectividad moderada con hábitats ribereños o microambientes estructuralmente complejos, como vegetación sumergida o sustratos mixtos.

En contraste, puntos como OCmn8, OCmn9 y OCmn7, aunque con abundancias altas (17.8, 8.9 y 14.4 ind/m², respectivamente), mostraron riquezas bajas (2 morfoespecies) y diversidad alfa disminuida (**Tabla 3.3.3-365)**. Los valores de Shannon, entre 0.865 y 1.205, junto con valores de Simpson superiores a 0.33, indican comunidades dominadas por pocos taxones tolerantes, como los Chironomidae, lo cual puede estar vinculado a condiciones de estrés ambiental, sedimentación elevada o escasa oxigenación del fondo.

Finalmente, el punto OCmn5 registró la riqueza más baja (1 morfoespecie) y, aunque presenta un valor de Shannon de 0.693 (**Tabla 3.3.3-365**), este resultado carece de validez ecológica al

no representar una verdadera comunidad biológica (Magurran, 2004), por lo cual no es comparable con los otros puntos, y no se puede calcular equidad de manera significativa.

Tabla 3.3.3-365 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO CABUYARITO	CABUYARITO_CL_01	23.3	6	1.681	0.243	0.938
	OCmn10	11	5	1.418	0.28	0.881
	OCmn5	10	1	0.693	0.5	-
	OCmn6	19.9	5	1.644	0.21	1.021
	OCmn7	14.4	2	1.205	0.337	1.738
	OCmn8	17.8	2	0.865	0.461	1.248
	OCmn9	8.9	2	0.9	0.469	1.298

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conjunto, los resultados reflejan un gradiente de calidad ambiental dentro del río Cabuyarito. Si bien algunos tramos mantienen cierta diversidad ecológica, otros evidencian empobrecimiento biótico asociado a procesos de degradación.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvia, la composición y estructura de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Cabuyarito, ubicada en la llanura de inundación del río Meta e incluida dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5, evidenció un notable aumento en la riqueza y cobertura vegetal en comparación con la época seca. En total, se identificaron 24 morfoespecies, pertenecientes a la división Tracheophyta, con representación de las clases Polypodiidae y Magnoliidae, y distribuidas en órdenes taxonómicos diversos como Poales, Alismatales, Lamiales, Fabales, Malvales, Gentianales y Caryophyllales. Las familias Poaceae, Araceae, Melastomataceae y Bignoniaceae fueron particularmente destacadas por su cobertura y frecuencia en los diferentes puntos de muestreo (**Tabla 3.3.3-366**).

Los puntos OCmn5, OCmn6, OCmn7, OCmn8, OCmn9 y OCmn10 (todos ellos clasificados como ocupaciones de cauce) reflejaron una respuesta positiva a la mayor disponibilidad hídrica provocada por el pulso de inundación, lo cual favorece la colonización de ambientes ribereños y cauces activos por especies emergentes, enraizadas y helófitas (Junk et al., 1989), (Esteves F. A., 2011). Por ejemplo, OCmn5 registró la mayor cobertura total (139%), dominado por Poaceae, con especies como *Paspalum* sp., *Panicum* sp. y *Mimosa* sp., lo cual es característico de ambientes húmedos temporales que permiten una alta productividad vegetal en condiciones de suelos saturados (Rangel-Ch, 2012). Por su parte, en OCmn7, se registraron hasta seis morfoespecies, destacándose la presencia de representantes de Araceae y Rubiaceae, como *Monstera* sp. y *Genipa* sp., lo que refleja condiciones microambientales favorables para especies de sotobosque de ambientes húmedos (**Tabla 3.3.3-366**).

El aumento en la riqueza y cobertura en temporada de lluvia es coherente con el modelo del pulso de inundación (Junk et al., 1989), el cual plantea que, en las llanuras de inundación, la conectividad hidrológica entre el cauce principal y los hábitats temporales adyacentes incrementa significativamente la disponibilidad de recursos y hábitat, promoviendo una mayor diversidad vegetal. En contraste, los puntos CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02 no presentaron cobertura de macrófitas acuáticas en esta época, lo cual podría estar asociado a diferencias en tipo de hábitat, profundidad o sustrato (**Tabla 3.3.3-366**).

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvia, los índices de diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Cabuyarito reflejaron una comunidad estructuralmente variable a lo largo de los diferentes puntos de muestreo. El punto OCmn7 presentó el mayor valor del índice de Shannon (1,279) y una alta equidad (Pielou: 0,795), lo que sugiere una comunidad diversa y relativamente equilibrada en la distribución de abundancias entre las especies. De forma similar, OCmn10 mostró una diversidad considerable (Shannon: 1,23), aunque con menor equidad (Pielou: 0,686), indicando la presencia de especies dominantes. En contraste, puntos como OCmn6 (Shannon: 0,501) y OCmn8 (Shannon: 0,585) presentaron valores bajos de diversidad y equidad, lo que podría estar relacionado con una mayor dominancia de ciertas especies, reflejada también en los valores del índice de Simpson (**Tabla 3.3.3-367**).

Tabla 3.3.3-366 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Cabuyarito													
				Punto De Muestreo	OCmn8		OCmn9		OCmn10		OCmn7		OCmn6		OCmn5		CABUYARITO_CL_01	CABUYARITO_CL_02
				Especie/ Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	% Cobertura
Tracheophyta	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Adiantum* sp.			10	19,74			18	49,55					No se encontraron especies	No se encontraron especies
	Magnoliidae	Myrtales	Onagraceae	Onagraceae Mf.	3,67	7,92												
			Melastomataceae	*Clidemia* sp.			5	9,87	6	7,69								
				Miconia sp.							9,33	25,68	2,67	4,74	4	2,88		
		Alismatales	Araceae	*Philodendron* sp.					1	1,28								
				Araceae Mf.			35	69,07										
				Monstera sp.											6,33	4,55		
		Poales	Cyperaceae	*Cyperus* sp.	0,33	0,71												
			Poaceae	*Paspalum* sp.											105,67	76,02		
				Poaceae Mf.					46	58,98								
				Panicum sp.											2,67	1,92		
				Digitaria sp.	38,67	83,45												
		Fabales	Fabaceae	Fabaceae Mf.			0,67	1,32										
				Mimosa sp.											13	9,35		
		Malvales	Malvaceae	*Corchorus* sp.											2	1,44		
		Caryophyllales	Amaranthaceae	*Amaranthus* sp.	3,67	7,92												
		Sapindales	Sapindaceae	*Serjania* sp.									5,67	10,06				
			Burseraceae	*Protium* sp.							2	5,51						
		Gentianales	Rubiaceae	*Genipa* sp.					3,33	4,27								
			Loganiaceae	Loganiaceae Mf.									48	85,20				
		Lamiales	Bignoniaceae	*Jacaranda* sp.					9,33	11,96					5,33	3,83		
			Acanthaceae	Acanthaceae Mf.							1,33	3,66						
		Malpighiales	Hypericaceae	*Vismia* sp.					12,33	15,81								
		Brassicales	Capparaceae	Capparaceae Mf.							5,67	15,61						
Cobertura Total general					**46,34**	**100**	**50,67**	**100**	**77,99**	**100**	**36,33**	**100**	**56,34**	**100**	**139**	**100**	**0**	**0**
Morfoespecies por Punto					**4**		**4**		**6**		**5**		**3**		**7**		**0**	**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**24**													

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El punto OCmn5, a pesar de tener la mayor cobertura vegetal (139) y la mayor riqueza (7 morfoespecies), mostró un valor intermedio de diversidad (Shannon: 0,913) y baja equidad (Pielou: 0,469), lo que indica un desequilibrio en la distribución de las especies, posiblemente por la dominancia de un taxón como *Paspalum* sp. En cuanto a los puntos CABUYARITO_CL_01 y CABUYARITO_CL_02, no fue posible calcular los índices de diversidad debido a la ausencia total de macrófitas acuáticas, lo que podría estar asociado a condiciones ambientales restrictivas para la colonización, como características hidrológicas o de sustrato. Estos patrones son consistentes con lo observado en ecosistemas de llanura de inundación, donde la conectividad hidrológica y la heterogeneidad espacial promueven una dinámica ecológica compleja (Junk et al., 1989), (Magurran A. E., 2004), (Esteves F. A., 2011) (**Tabla 3.3.3-367**).

Tabla 3.3.3-367 Índices de diversidad Alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca río Cabuyarito época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn10	77.99	6	1.23	0.403	0.686
OCmn5	139	7	0.913	0.603	0.469
OCmn6	56.34	3	0.501	0.746	0.456
OCmn7	36.33	5	1.279	0.339	0.795
OCmn8	46.34	4	0.585	0.711	0.422
OCmn9	50.67	4	0.855	0.53	0.617

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación ecológica entre la temporada seca y la temporada de lluvia en la Microcuenca del río Cabuyarito evidencia una clara influencia del régimen hidrológico sobre la composición y diversidad de las macrófitas acuáticas. Durante la época seca, la comunidad presentó baja riqueza (solo 4 morfoespecies en total) y cobertura vegetal restringida, concentrada principalmente en el punto OCmn8, con un valor máximo de Shannon de 0,631. En contraste, en la temporada de lluvia, se registró un aumento notable en la riqueza (24 morfoespecies) y en la cobertura general, así como valores más altos y variables en los índices de diversidad (hasta 1,279 en Shannon y 0,795 en Pielou en OCmn7).

Desde una perspectiva ecológica, esta variación es coherente con el modelo del pulso de inundación (Junk et al., 1989), que explica cómo las crecidas estacionales aumentan la conectividad lateral entre el cauce y su planicie de inundación, creando hábitats nuevos o temporalmente disponibles que promueven la colonización y coexistencia de un mayor número de especies. Además, la mayor heterogeneidad ambiental durante la época de lluvias favorece nichos diferenciados para especies flotantes, emergentes y enraizadas. Por el contrario, en época seca, la reducción del nivel del agua y el aislamiento de los hábitats acuáticos limita la distribución y establecimiento de macrófitas, favoreciendo la dominancia de unas pocas especies tolerantes, lo cual se refleja en la baja equidad y diversidad observada (Esteves F. A., 2011).

3.3.3.2.24 Microcuenca río Humea

La Microcuenca del río Humea, ubicada en el municipio de Cabuyaro, constituye un sistema hidrográfico de relevancia ecológica y funcional dentro de la Orinoquia colombiana. Esta Microcuenca se caracteriza por un paisaje predominantemente de llanura aluvial, con presencia de formaciones de sabanas inundables, bosques riparios y sistemas de humedales, que le confieren una notable diversidad ecológica y funcionalidad hidrológica (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en esta Microcuenca se llevó a cabo en un punto lótico (HUMEA_CL_01A), correspondiente a una zona de captación autorizada sobre el cauce principal del río Humea, así como en dos puntos lénticos localizados en la madre vieja del mismo río (MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02). La información de los tres puntos caracterizados en temporada de lluvia se retoman de los resultados obtenidos en el monitoreo adelantado en julio de 2024 para la modificación de licencia del Área de Producción Gangotri. Estas zonas reflejan distintas dinámicas hidrológicas y ecológicas, fundamentales para la evaluación del estado de salud ambiental del ecosistema acuático. Las condiciones fisiográficas del área incluyen suelos de baja pendiente, alta permeabilidad y una matriz de usos del suelo dominada por actividades agropecuarias, lo cual puede influir en la composición y estructura de las comunidades hidrobiológicas. El monitoreo de estos organismos, como macroinvertebrados bentónicos, permite establecer indicadores bioecológicos para el seguimiento de la calidad del agua y del ecosistema fluvial en su conjunto, siendo crucial para la gestión ambiental de la Microcuenca.

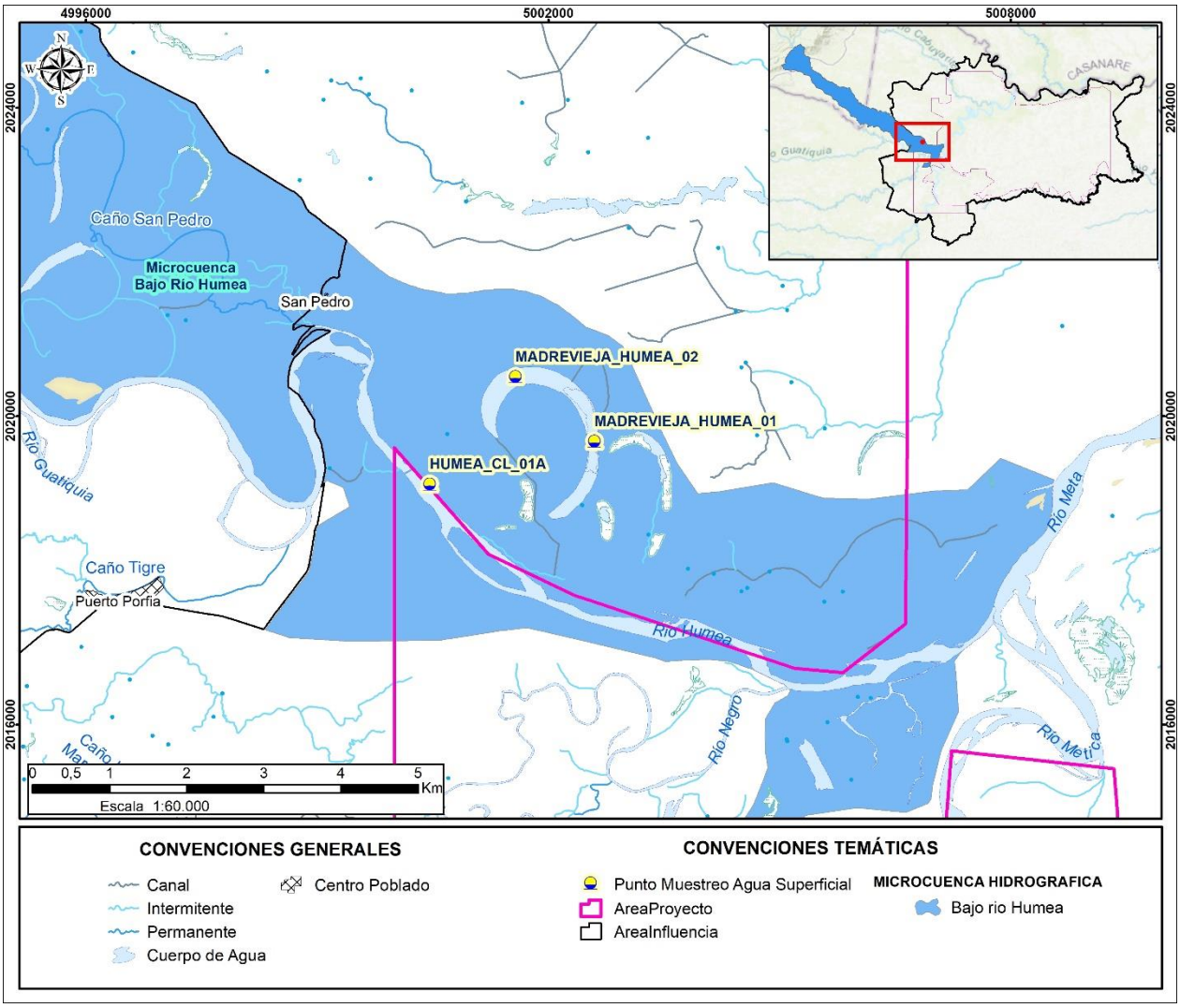


Figura 3.3.3-155 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Humea

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el río Humea, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca y 3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El estudio del fitoplancton en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 de la Microcuenca del Río Humea durante la época seca revela una comunidad con una abundancia total de (1.188 Ind/mL). La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 presenta mayor abundancia total (0.731 ind/mL) con una marcada dominancia de *Trachelomonas* (0.63 Ind/Ml) (86.2%), mientras que MADREVIEJA_HUMEA_02, aunque con menor abundancia (0.457 ind/mL), muestra mayor diversidad, y al igual que la estación anterior la dominancia también está marcada por *Trachelomonas* (0.36 Ind/mL) (79.7%) (**Tabla 3.3.3-368**) (**Figura 3.3.3-156**), seguida de *Phacus* (5.9% relativo) y *Closterium* (3.1%). La notable predominancia de Euglenophyta, particularmente *Trachelomonas*, es bioindicadora de condiciones eutróficas con alta carga orgánica y fluctuaciones en los niveles de oxígeno disuelto (Wołowski et al., 2013), característico de sistemas lénticos en llanuras inundables durante períodos secos, donde la reducción del volumen de agua concentra nutrientes y materia orgánica.

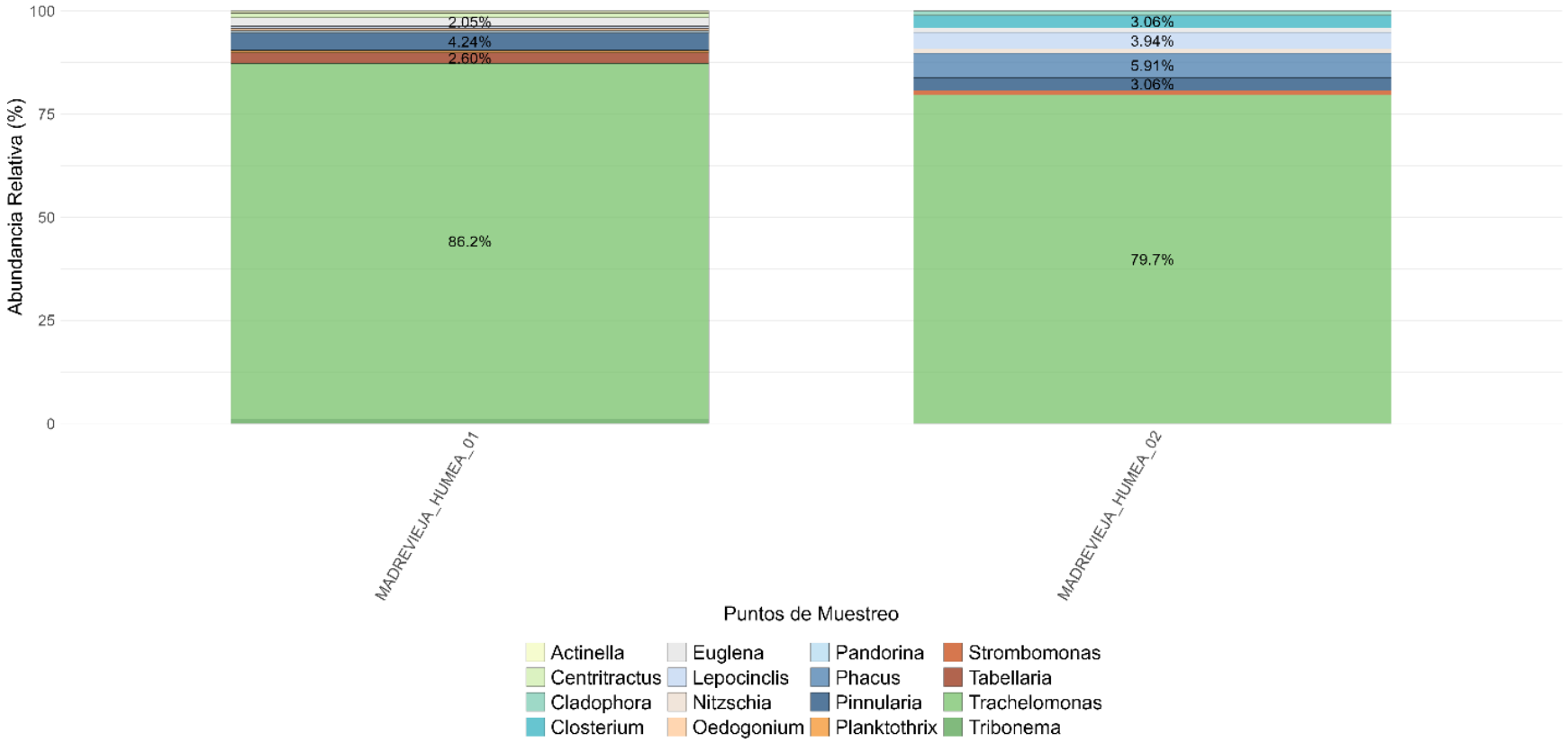


Figura 3.3.3-156 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia secundaria de diatomeas como *Pinnularia* (indicadora de aguas ligeramente ácidas) y la escasa representación de Chlorophyta (0.8% total) sugieren una limitada influencia de sistemas lóticos en la zona de estudio. Sin embargo, la aparición de *Cladophora* (0.005 ind/mL) podría indicar microhábitats con retención de agua y posible conexión con áreas de flujo. La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la presencia de *Tribonema* (Xanthophyceae), asociado a sustratos orgánicos derivados de vegetación riparia (Bellinger & Sigee, 2015), lo que refleja el aporte alóctono de materia orgánica desde las áreas inundables circundantes. La baja abundancia general menos a 1.2 ind/mL y la ausencia de especies sensibles sugieren un sistema bajo estrés, aunque la presencia de diatomeas como *Tabellaria* indica que aún mantiene cierta integridad ecológica.

En Conclusión, la comunidad fitoplanctónica en el sistema léntico de la Microcuenca del Río Humea durante la época seca está dominada por especies tolerantes a condiciones eutróficas y de bajo oxígeno, lo que refleja el impacto de la reducción hídrica y la concentración de nutrientes. Las diferencias entre estaciones sugieren variabilidad local en las condiciones ambientales, posiblemente relacionada con diferencias en la profundidad, el aporte de nutrientes o la conectividad con otros sistemas. La baja diversidad y abundancia general indican un ecosistema bajo presión, aunque la presencia de algunos taxones indicadores sugiere que aún conserva cierta resiliencia.

Tabla 3.3.3-368 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Humea		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_HUMEA_01	MADREVIEJA_HUMEA_02	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,63	0,364	0,994
				Euglena	0,015	0,005	0,02
				Strombomonas		0,005	0,005
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,004	0,018	0,022
				Phacus		0,027	0,027
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	0,004		0,004
		Volvocales	Volvocaceae	*Pandorina*	0,004		0,004
	Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	*Cladophora*		0,005	0,005
Heterokontophyta	Xanthophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	*Tribonema*	0,008		0,008
		Mischococcales	Sciadiaceae	*Centritractus*	0,008		0,008
	Bacillariophyceae	Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	0,019		0,019
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,031	0,014	0,045
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Actinella*	0,004		0,004
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*		0,005	0,005
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Microcoleaceae	*Planktothrix*	0,004		0,004
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		0,014	0,014
Gran Total					**0,731**	**0,457**	**1,188**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 muestran un escenario ecológico heterogéneo en la Microcuenca durante la época seca. La

estación MADREVIEJA_HUMEA_01 presenta una abundancia moderada (0.731 ind/mL) y la mayor riqueza de especies con 11 géneros, con un índice de Shannon de 0.897 y uniformidad baja (Pielou = 0.374) (**Tabla 3.3.3-369**), lo que indica una comunidad dominada por pocas especies (como *Trachelomonas*, que representa el 86.2% de la abundancia relativa en datos previos) pero con presencia significativa de otros taxones. En contraste, MADREVIEJA_HUMEA_02 muestra menor abundancia (0.457 ind/mL) y riqueza de nueve géneros, con un valor de Shannon=1.133, lo que sugeriría una diversidad baja, pero con mayor uniformidad (Pielou = 0.516) (**Tabla 3.3.3-369**). Estos patrones reflejan condiciones típicas de sistemas lénticos en llanuras inundables durante sequías: estrés hídrico, concentración de nutrientes y dominancia de especies tolerantes a eutrofización.

La evaluación integral de la Microcuenca, considerando ambos puntos, arroja una calificación ecológica regular a deficiente. Aunque persiste cierta diversidad (especialmente en MADREVIEJA_HUMEA_01), la baja uniformidad y la dominancia de bioindicadores de eutrofización (*Trachelomonas*, *Phacus*) señalan perturbación antropogénica o natural acentuada por la estacionalidad. Estos resultados coinciden con estudios en llanuras inundables, donde la época seca exacerba la estratificación y el enriquecimiento orgánico (Reynolds, 2006).

En conclusión, la Microcuenca del Río Humea presenta un estado ecológico moderadamente alterado, con áreas de diversidad aceptable, pero dominancia de especies oportunistas. La calificación global sería "Regular" según índices de calidad de agua basados en fitoplancton (Padisák et al., 2009), con necesidad de intervención para reducir presiones antrópicas.

Tabla 3.3.3-369 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_HUMEA_01	0.731	11	0.897	0.66	0.374
MADREVIEJA_HUMEA_02	0.457	9	1.133	0.555	0.516

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad zooplanctónica en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 de la Microcuenca del Río Humea durante la época seca revela un ensamble de baja abundancia total (0.0626 ind/mL), dominado por protozoos ameboides (Arcellinida: 66.5% de la abundancia total) y microcrustáceos (23.6%). La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 presentó una abundancia de 0.0348 ind/mL, con predominio de *Difflugia* (25% relativo) (0.0087 Ind/mL) y *Arcella* (16.7%) (0.0058 Ind/mL), mientras que MADREVIEJA_HUMEA_02 (0.0278 ind/mL) mostró mayor proporción de *Centropyxis* (12.6%) (0.0035 Ind/mL) y *Difflugia* (49.6%) (0.0138 Ind/mL. Los rotíferos (*Brachionus*, *Trichocerca*) y nauplios de copépodos aparecieron exclusivamente en MADREVIEJA_HUMEA_01, aunque con contribuciones mínimas del (8.3% cada uno) y una abundancia (0.0029 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-370**) (**Figura 3.3.3-157**). La composición taxonómica sugiere un sistema léntico

bajo estrés hídrico, donde la dominancia de testados (*Arcella*, *Difflugia*) bioindicadores de ambientes con descomposición orgánica y fluctuaciones de nivel (Ogden & Hedley, 1980) refleja condiciones típicas de llanuras inundables en época seca. La escasez de microcrustáceos (solo nauplios y un calanoideo) y la ausencia de cladóceros indican limitada conectividad con sistemas lóticos, mientras que la presencia esporádica de rotíferos (*Brachionus*) podría señalar aportes terrestres temporales. La baja abundancia general menor a 0.1 ind/mL y la riqueza reducida (ocho morfoespecies en total) coinciden con estudios en humedales tropicales durante sequías (Fernando et al., 1990), donde el confinamiento del agua favorece a especies resistentes a hipoxia y alta conductividad.

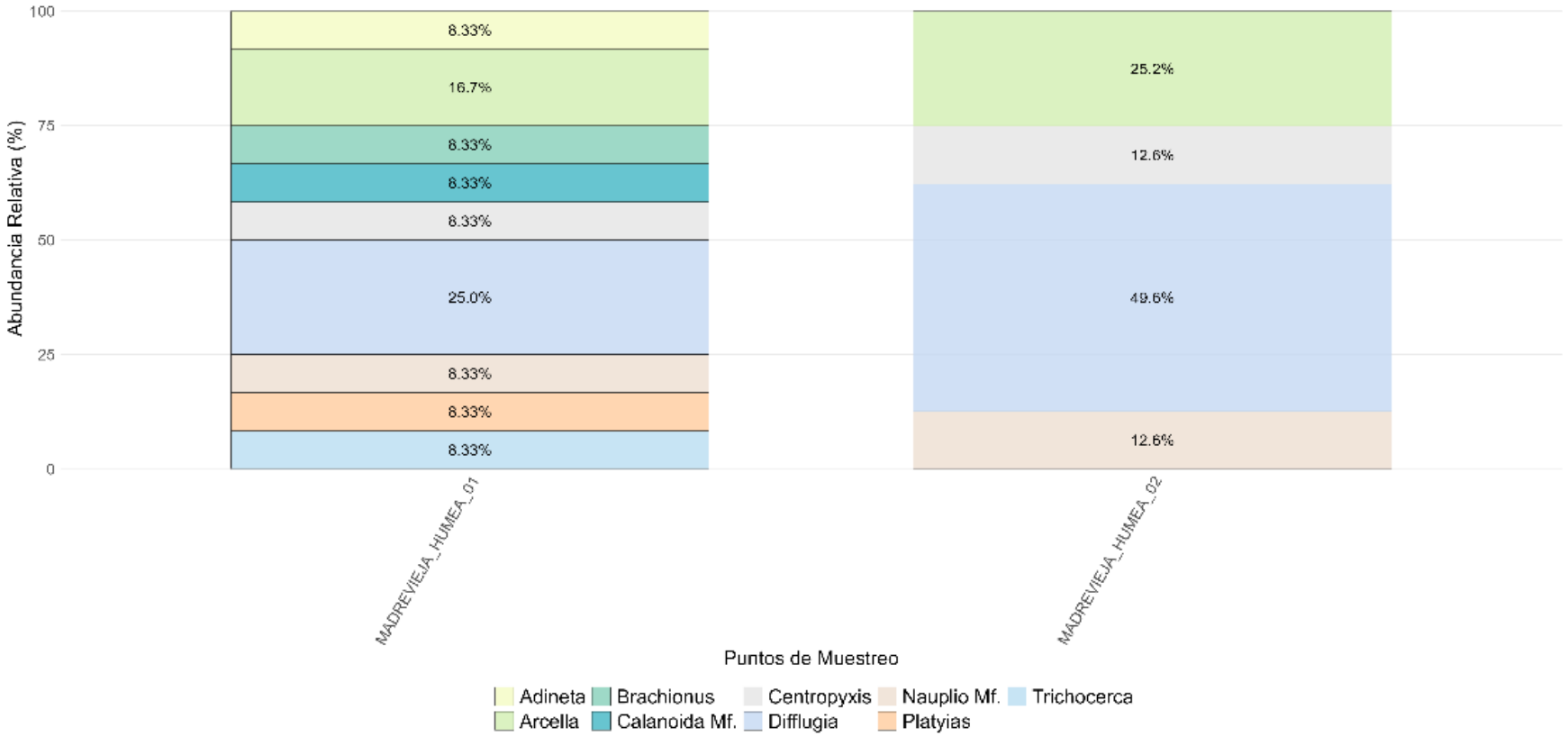


Figura 3.3.3-157 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, la comunidad zooplanctónica en la Microcuenca del Humea evidencia un sistema léntico fuertemente impactado por la estacionalidad, con condiciones ecológicas "pobres" según estándares de calidad (Segers, 2008). La dominancia de protozoos testados y la ausencia de cladóceros sugieren aislamiento prolongado de fuentes lóticas, enriquecimiento orgánico por concentración de materia vegetal en descomposición, y posible estrés químico (pH bajo, hipoxia).. La interacción terrestre parece limitada a aportes marginales de rotíferos, mientras que la conexión con sistemas lóticos estaría interrumpida, exacerbando el efecto de la sequía. Este escenario requiere medidas de conservación que mantengan corredores acuáticos durante períodos secos.

Tabla 3.3.3-370 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Río Humea		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_HUMEA_01	MADREVIEJA_HUMEA_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0058	0,007	0,0128
			Difflugiidae	*Difflugia*	0,0087	0,0138	0,0225
			Centropyxidae	*Centropyxis*	0,0029	0,0035	0,0064
Arthropoda	-	-	-	Nauplio Mf.	0,0029	0,0035	0,0064
	Maxillopoda	Calanoida		Calanoida Mf.	0,0029		0,0029
Rotifera	Eurotatoria	-	Adinetidae	*Adineta*	0,0029		0,0029
		Ploima	Trichocercidae	*Trichocerca*	0,0029		0,0029
			Brachionidae	*Platyias*	0,0029		0,0029
				Brachionus	0,0029		0,0029
Grand Total					**0,0348**	**0,0278**	**0,0626**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 revelan un patrón ecológico contrastante en la comunidad zooplanctónica durante la época seca. La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 presenta mayor riqueza (nueve géneros) pero valores anómalos en el índice de Shannon (2095, probable error de decimal que debería ser 2.095), indicando una diversidad moderada-alta, aunque con baja dominancia (Simpson=0.139) y alta uniformidad (Pielou=0.953). Esto sugiere una comunidad equilibrada donde ningún taxón domina significativamente, característica de sistemas con estrés ambiental moderado pero con preservación de microhábitats. En contraste, MADREVIEJA_HUMEA_02 muestra menor riqueza (cuatro morfoespecies) y un Shannon aparentemente elevado (1386, posiblemente 1.386), con uniformidad perfecta (Pielou=1) pero mayor dominancia (Simpson=0.312) (**Tabla 3.3.3-371**), reflejando condiciones más extremas donde pocas especies (como protozoos testados) toleran las fluctuaciones ambientales. Las abundancias notablemente bajas menores a 0.035 ind/mL en ambos casos, son típicas de llanuras inundables en sequía, donde el aislamiento y la reducción del hábitat limitan las poblaciones zooplanctónicas (Dumont, 1994). La heterogeneidad entre estaciones sugiere que MADREVIEJA_HUMEA_01 mantiene cierta conectividad residual con microambientes protegidos, mientras que MADREVIEJA_HUMEA_02 representa zonas más expuestas a la desecación.

En conclusión, la Microcuenca recibe una calificación ecológica regular a pobre. Aunque MADREVIEJA_HUMEA_01 muestra resiliencia comunitaria (alta uniformidad y diversidad), los valores globales de abundancia y la simplificación en MADREVIEJA_HUMEA_02 indican un sistema bajo estrés hidrológico severo, característico de humedales tropicales en sequía (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013). La calificación final sería regular con tendencia a pobre, según (Brucet et al., 2013).

Tabla 3.3.3-371 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Humea época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_HUMEA_01	0.0348	9	2.095	0.139	0.953
MADREVIEJA_HUMEA_02	0.0278	4	1.386	0.312	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifiton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en la estación HUMEA_CL_01A del Río Humea durante la época seca revela un ensamble dominado por diatomeas (Heterokontophyta: 70.1% de la abundancia total de 25.1 ind/mL), con especial predominio de *Ulnaria* (8.8 ind/mL; 35.1% relativo) y *Melosira* (7.5 ind/mL; 29.9%), seguidas de algas verdes (Charophyta: 19.9%) como *Cosmarium* (5 ind/mL; 19.9%) y Chlorophyta (10%) representada por *Desmodesmus* (2.5 ind/mL; 10%) (**Tabla 3.3.3-372**) (**Figura 3.3.3-158**). La composición taxonómica indica condiciones mesotróficas, donde la dominancia de *Ulnaria* un género típicamente lótico y bentónico (Round et al., 1990) confirma el carácter fluvial del sitio, mientras que *Melosira*, común en aguas con moderado flujo y alta sílice (Donato-Rondón, 2016), sugiere aportes de sedimentos finos desde áreas inundables adyacentes. La presencia de *Cosmarium* (Desmidiaceae), asociada

a aguas blandas y ligeramente ácidas (Coesel & Meesters, Desmids of the Lowlands, 2007), junto con *Desmodesmus* (indicador de eutrofización incipiente), refleja interacciones con sistemas lénticos temporales y terrestres, probablemente a través de arrastre de materia orgánica durante eventos previos de inundación. La ausencia de cianobacterias y la baja proporción de algas verdes filamentosas como *Cladophora* que apoyan la hipótesis de un sistema lótico bien oxigenado, pero con influencia estacional de áreas inundadas, donde la reducción del caudal en época seca concentra nutrientes sin llegar a condiciones hipertróficas.

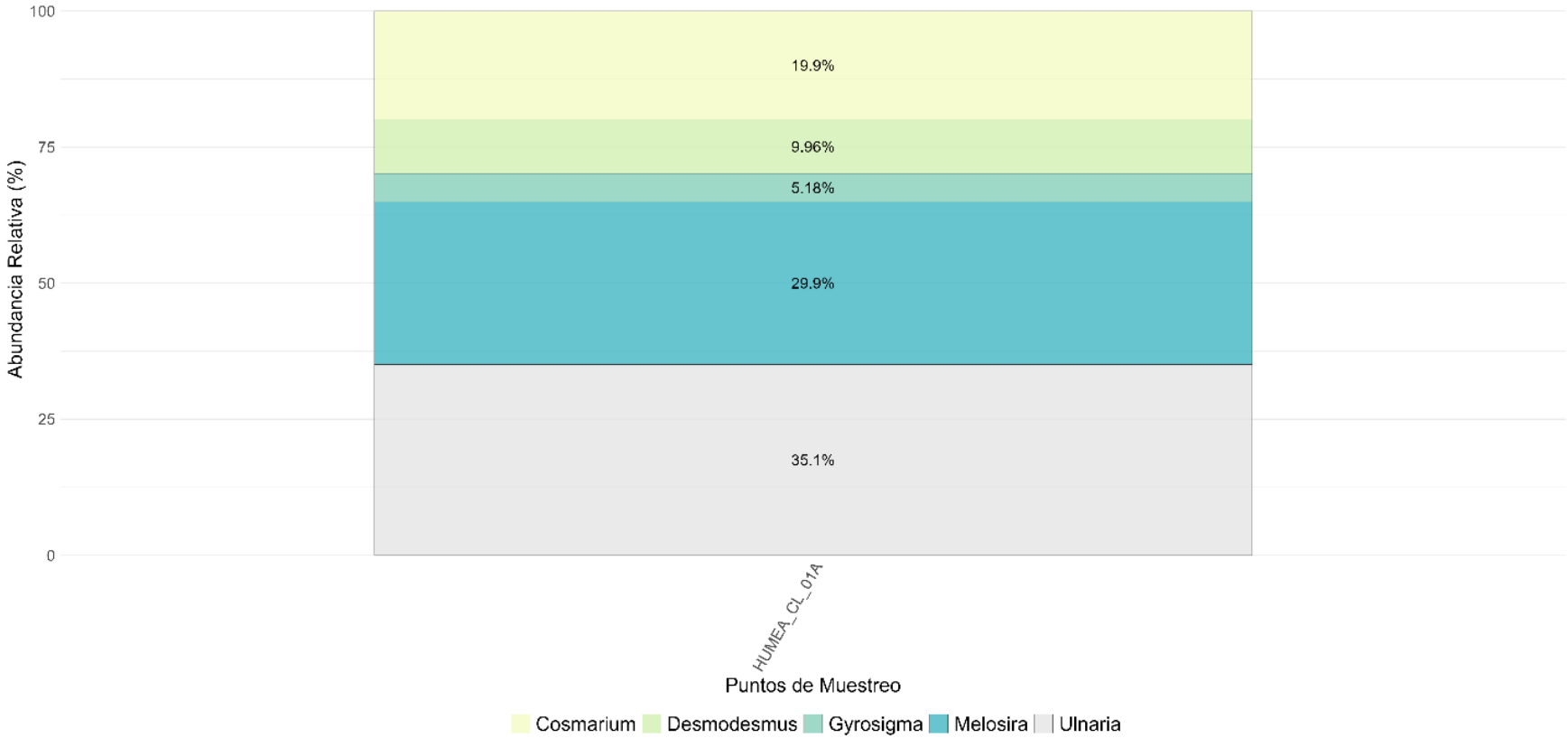


Figura 3.3.3-158 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Humea época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, la comunidad perifítica en HUMEA_CL_01A refleja un estado ecológico moderado, característico de llanuras inundables en período seco, con dominancia de diatomeas adaptadas a flujo variable por la presencia de géneros como *Ulnaria* y *Melosira*, la contribución significativa de desmidios (*Cosmarium*) como bioindicadores de conectividad con microhumedales, y la baja presencia de géneros eutróficos. La interacción con sistemas lénticos parece limitada a aportes marginales, mientras que la terrestre se manifiesta en la presencia de diatomeas epífitas como *Gyrosigma*. Estos resultados coinciden con estudios en llanuras tropicales (Junk W. J., Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change, 2013), donde la época seca favorece ensambles mixtos lótico-lénticos. La calificación general de la Microcuenca sería buena aunque con riesgo de deterioro si aumentan los nutrientes.

Tabla 3.3.3-372 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Humea época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Humea	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					HUMEA_CL_01A	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	*Gyrosigma*	1,3	1,3
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	8,8	8,8
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*	7,5	7,5
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*	2,5	2,5
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	5	5
Gran Total					**25,1**	**25,1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de la comunidad de perifiton en la estación HUMEA_CL_01A revela características ecológicas significativas que permiten evaluar el estado de la Microcuenca. Con una abundancia de 25.1 individuos y una riqueza de 5 géneros (**Tabla 3.3.3-373**), la estación presenta un índice de Shannon de 1.431, lo que indica una diversidad moderada, típica de sistemas acuáticos con cierto grado de estabilidad ambiental, pero con limitaciones en la disponibilidad de nichos ecológicos. El índice de Simpson (0.265) (**Tabla 3.3.3-373**) refleja una baja dominancia de especies, sugiriendo una distribución equilibrada entre los taxones presentes, mientras que el índice de Pielou (0.889) (**Tabla 3.3.3-373**) confirma una alta equitatividad, es decir, una distribución uniforme de individuos entre los géneros registradas. Estos valores, en conjunto, describen una comunidad estructurada, donde ninguna especie domina, lo que podría asociarse a condiciones ambientales relativamente estables y con recursos limitados, pero bien distribuidos.

Considerando estos resultados, la calificación ecológica de la Microcuenca, basada en este punto de monitoreo, sería moderada, con tendencia a buena debido a la alta equitatividad y baja dominancia, pero con margen de mejora en cuanto a riqueza de especies. En conclusión, la Microcuenca muestra capacidad para sostener comunidades equilibradas, pero su biodiversidad podría estar limitada por factores ambientales que merecen atención para garantizar su salud ecológica a largo plazo.

Tabla 3.3.3-373 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Humea época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
HUMEA_CL_01A	25.1	5	1.431	0.265	0.889

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el punto de monitoreo HUMEA_CL_01A, correspondiente a la Microcuenca del río Humea y muestreado durante la época seca, revela una comunidad simplificada. En este punto se registró únicamente una morfoespecie perteneciente al phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Diptera, familia Chironomidae, con una abundancia total de 1,1 individuos/m² (**Tabla 3.3.3-374**). Esta baja riqueza taxonómica, representada exclusivamente por larvas de Chironomidae, imposibilita definir una estructura de la comunidad propiamente dicha, lo que a su vez limita el uso de herramientas analíticas robustas como los índices de diversidad alfa y de calidad biológica como el BMWP/Col (Magurran A. E., 2004).

Tabla 3.3.3-374 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Humea época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Humea	Abundancia Total Microcuenca (Ind/M2)
						HUMEA_CL_01A	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**1**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el enfoque de la bioindicación, la presencia exclusiva de Chironomidae, conocidos por su elevada tolerancia a condiciones adversas como bajos niveles de oxígeno disuelto, sedimentos finos y altas cargas orgánicas (Merritt & Cummins, 2008), refuerza la hipótesis de un ecosistema con baja calidad ecológica y sometido posiblemente a presiones antrópicas locales o regionales. Además, una posible baja conectividad ecológica con sistemas lénticos y zonas terrestres adyacentes podría estar limitando el ingreso de materia orgánica, el flujo de nutrientes y la dispersión de otros macroinvertebrados más sensibles, generando una fragmentación funcional del ecosistema (Baptista et al., 2001).

Es así como la imposibilidad de calcular el índice BMWP/Col refleja la falta de representatividad taxonómica en el sitio. Este índice, diseñado para evaluar la calidad del agua a partir de la tolerancia de diferentes familias de macroinvertebrados, requiere una muestra mínima que incluya varias familias con distintos niveles de sensibilidad (Roldan G. , 2003). Dado que en HUMEA_CL_01A se registró una única familia de alta tolerancia (Chironomidae), su aplicación resultaría metodológicamente inválida, ya que no permitiría discriminar entre condiciones de buena o mala calidad del agua.

Del mismo modo, el cálculo de índices de diversidad alfa, como los de Shannon, Simpson o Pielou, no es procedente. Estos índices parten del principio de que una comunidad está compuesta por al menos dos morfoespecies, lo que permite evaluar tanto la riqueza como la equitatividad en la distribución de los individuos entre taxones (Magurran, 2004). En este caso, al existir una sola morfoespecie, dichos índices son inaplicables o arrojan valores matemáticamente nulos que no representan una condición ecológica interpretable.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico del Río Humea, en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02, estuvo compuesto por 16 morfoespecies distribuidas en cuatro (4) phyllum (Annelida, Arthropoda, Mollusca y Arachnida), cinco (5) clases (Clitellata, Insecta, Gastropoda, Bivalvia y Acari), ocho (8) órdenes (Rhynchobdellida, Diptera, Coleóptera, Hemiptera, Basommatophora, Sphaeriida, Acari y otros), 12 familias y diez (10) géneros identificados, con una abundancia total de 98 ind/m². La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 mostró mayor abundancia (91 ind/m²) y riqueza (15 morfoespecies) que MADREVIEJA_HUMEA_02 (7 ind/m² y 3 morfoespecies), siendo *Glossiphoniidae Mf.* el grupo más abundante en la primera estación (21,1 ind/m²), seguido por *Probezzia sp.* (24,4 ind/m²) y *Chironomidae Mf.* (18,9 ind/m²), mientras que en la segunda estación solo se registraron *Dytiscidae Mf.* (3,3 ind/m²), *Derallus sp.* (1,1 ind/m²) y *Mansonia sp*. (1,1 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-375**). Está marcada diferencia entre estaciones sugiere una heterogeneidad espacial significativa en las condiciones del hábitat dentro del mismo sistema (Roldan & Ramirez, 2008).

Tabla 3.3.3-375 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Humea		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						MADREVIEJA_HUMEA_01	MADREVIEJA_HUMEA_02	
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	*Glossiphoniidae Mf.*	21,1		21,1
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		*Chironomidae Mf.*	18,9		18,9
			Culicidae	Mansonia	*Mansonia sp.*		1,1	1,1
			Ceratopogonidae	Probezzia	*Probezzia sp.*	24,4		24,4
		Coleóptera	Dytiscidae	-	*Dytiscidae Mf.*	1,1	3,3	4,4
				Copelatus	*Copelatus sp.*	2,2		2,2
				Liodessus	*Liodessus sp.*	1,1		1,1
			Hydrophilidae	Derallus	*Derallus sp.*	2,2	1,1	3,3
				Helochares	*Helochares sp.*	1,1		1,1
			Hydrochidae	-	*Hydrochidae Mf.*		1,1	1,1
			Elmidae	Hexanchorus	*Hexanchorus sp.*	1,1		1,1
		Hemiptera	Hebridae	-	*Hebridae Mf.*	1,1		1,1
	Arachnida	Acari	-		*Acari Mf.*	1,1		1,1
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae		*Planorbidae Mf.*	6,7		6,7
			Physidae	Stenophysa	*Stenophysa sp.*	1,1		1,1
	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	-	*Sphaeriidae Mf.*	2,2		2,2
				Eupera	*Eupera sp.*	3,3		3,3
			Pisidiidae	Sphaerium	*Sphaerium sp.*	2,2		2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**91**	**7**	**98**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad muestra características contrastantes entre estaciones. La presencia de grupos sensibles como Elmidae (*Hexanchorus sp.*) y algunos coleópteros acuáticos (*Copelatus sp.*, *Liodessus sp.*) en MADREVIEJA_HUMEA_01 indica que esta zona mantiene condiciones ambientales favorables para macroinvertebrados más exigentes (Domínguez & Fernández, 2009). Sin embargo, la dominancia de Glossiphoniidae y Ceratopogonidae (familias consideradas tolerantes) sugiere cierto grado de perturbación. En contraste, MADREVIEJA_HUMEA_02 presenta una comunidad extremadamente reducida, donde solo persisten unos pocos taxones, posiblemente debido a condiciones más restrictivas o a un mayor aislamiento durante la época seca. La interacción con sistemas terrestres se evidencia por la presencia de Acari y algunos coleópteros con capacidad de dispersión aérea (Dytiscidae), mientras que la conexión con sistemas lóticos queda sugerida por la presencia de Elmidae y otros coleópteros típicamente asociados a aguas corrientes (Merritt & Cummins, 2008).

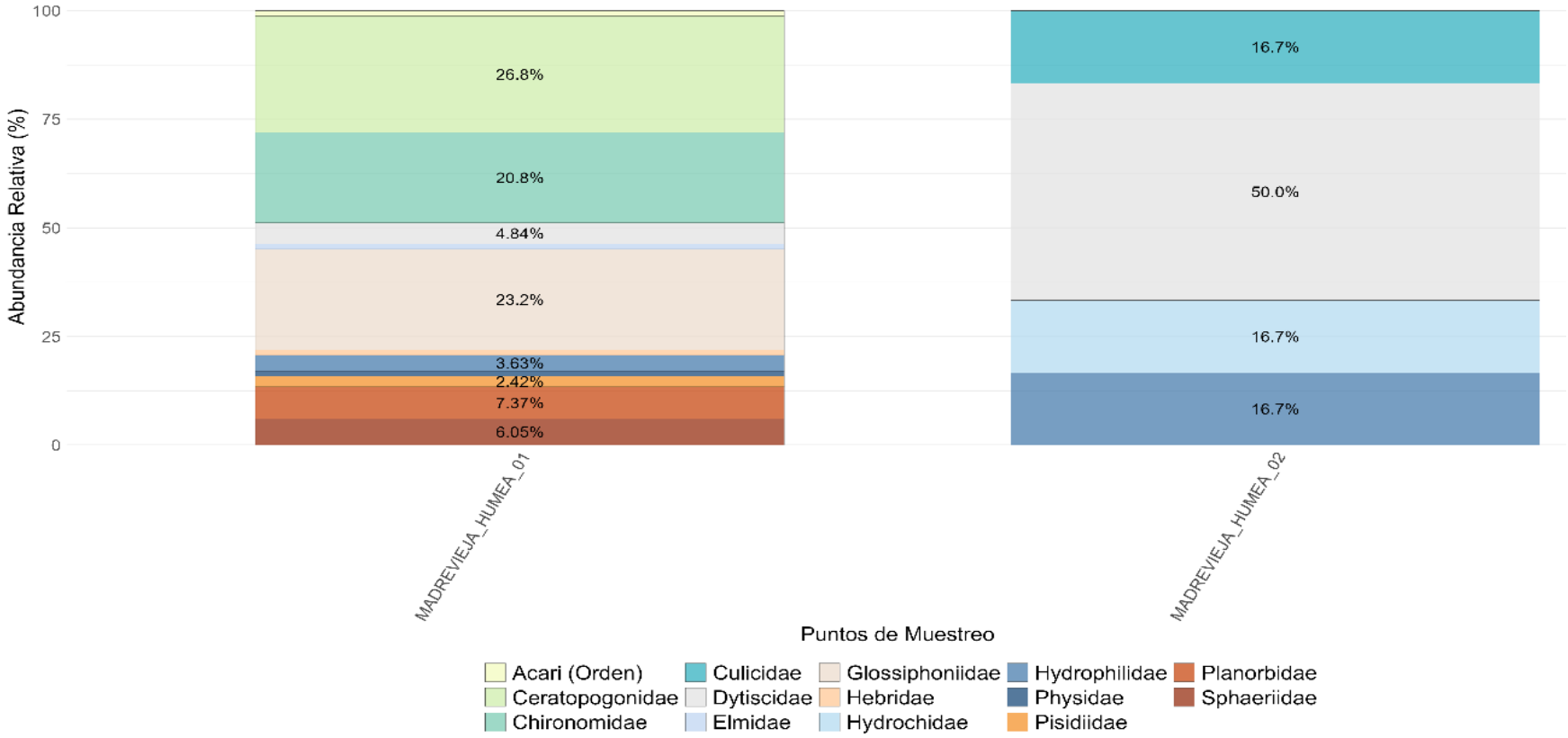


Figura 3.3.3-159 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estructura observada refleja un sistema con capacidad para mantener una diversidad considerable de macroinvertebrados en algunas zonas (MADREVIEJA_HUMEA_01), mientras que otras áreas (MADREVIEJA_HUMEA_02) presentan condiciones mucho más limitantes durante el estiaje. La notable abundancia de Glossiphoniidae (sanguijuelas) podría estar relacionada con la acumulación de materia orgánica y posibles condiciones de hipoxia en ciertos microhábitats, mientras que la presencia de moluscos (Planorbidae, Physidae y bivalvos) sugiere cierta estabilidad en las condiciones del sustrato. La marcada diferencia entre estaciones podría deberse a variaciones en la cobertura de macrófitas, profundidad del agua, o a la influencia diferencial de factores antropogénicos (Wantzen K. M. et al., 2008).

En conclusión, el ensamble estudiado en el Río Humea muestra una distribución espacial heterogénea de la comunidad de macroinvertebrados durante la época seca, con áreas que mantienen una diversidad considerable (MADREVIEJA_HUMEA_01) junto a zonas con comunidades muy empobrecidas (MADREVIEJA_HUMEA_02). Esta variabilidad sugiere la existencia de microhábitats diferenciados dentro del mismo sistema léntico, donde factores locales como la estructura de la vegetación acuática, la calidad del agua y el grado de conectividad con otros sistemas determinan la composición de la comunidad. La presencia simultánea de taxones indicadores de buena calidad y grupos tolerantes refleja la complejidad ecológica de estos ecosistemas acuáticos temporales en la altillanura.

Lo cual se ve representado en los resultados del índice BMWP/Col que revelan diferencias significativas en la calidad del agua entre los puntos monitoreados. La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 presenta un valor de 45 (Clase III - Calidad dudosa), clasificada como "aguas moderadamente contaminadas", mientras que MADREVIEJA_HUMEA_02 muestra un valor crítico de 11 (Clase V - Muy crítica), indicando condiciones de fuerte contaminación (**Tabla 3.3.3-376**). Está marcada diferencia en la calidad biológica del agua entre estaciones cercanas refleja la heterogeneidad ambiental observada en el análisis comunitario previo (Domínguez & Fernández, 2009).

Tabla 3.3.3-376 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Humea época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	Bmwp	Significado
RÍO HUMEA	MADREVIEJA_HUMEA_01	III	Dudosa	45	Aguas moderadamente contaminadas
	MADREVIEJA_HUMEA_02	V	Muy crítica	11	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La puntuación moderada obtenida en MADREVIEJA_HUMEA_01 (45) se explica por la presencia de familias con alta puntuación en el BMWP como Elmidae y Dytiscidae, que compensan parcialmente la dominancia de grupos tolerantes como Glossiphoniidae y Ceratopogonidae (Roldan G. , 2003). Estos taxones sensibles, aunque presentes en bajas abundancias (1.1-2.2 ind/m²), contribuyen significativamente a elevar el valor del índice. Por el contrario, la puntuación baja de MADREVIEJA_HUMEA_02 (11) resulta de la ausencia casi total de familias sensibles y la

presencia dominante de Dytiscidae (3.3 ind/m²) como único grupo con puntuación intermedia (6 puntos), combinado con la presencia de Culicidae que recibe baja puntuación (Alba-Tercedor, 1996).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para las estaciones revelan diferencias significativas en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados asociados a macrófitas durante la época seca. En MADREVIEJA_HUMEA_01 se registró una comunidad con mayor diversidad (Shannon = 2.284) y menor dominancia (Simpson = 0.152), caracterizada por alta riqueza (16 morfoespecies) y abundancia moderada (90.9 ind/m²), mientras que MADREVIEJA_HUMEA_02 presentó valores considerablemente menores en todos los parámetros (Shannon = 1.242, Simpson = 0.333), con solo cuatro (4) morfoespecies y una abundancia total de 6.6 ind/m² (**Tabla 3.3.3-377**). Estos resultados confirman la marcada heterogeneidad espacial identificada en los análisis previos (Roldan & Ramirez, 2008).

La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 muestra características de un sistema con buena diversidad biológica (Shannon > 2), donde el valor de Pielou (0.824) sugiere una distribución relativamente equilibrada de las abundancias entre las especies presentes. Este patrón es consistente con la presencia de múltiples grupos taxonómicos incluyendo taxones sensibles (*Hexanchorus sp.*, *Copelatus sp.*) y tolerantes (Glossiphoniidae, Ceratopogonidae), que interactúan en una comunidad estructurada (Domínguez & Fernández, 2009). El bajo valor de Simpson (0.152) indica que ninguna especie domina excesivamente la comunidad, a pesar de la mayor abundancia relativa de Glossiphoniidae (21.1 ind/m²) y *Probezzia sp.* (24.4 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-377).**

Tabla 3.3.3-377 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO HUMEA	MADREVIEJA_HUMEA_01	90.9	16	2.284	0.152	0.824
	MADREVIEJA_HUMEA_02	6.6	4	1.242	0.333	0.896

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Por el contrario, MADREVIEJA_HUMEA_02 presenta una comunidad empobrecida (Shannon = 1.242) con mayor dominancia (Simpson = 0.333), donde el valor aparentemente alto de Pielou (0.896) debe interpretarse con cautela debido al bajo número de morfoespecies (4) y la escasa abundancia total (6.6 ind/m²). Esta aparente equitatividad resulta de la distribución uniforme de muy pocos individuos entre las pocas especies presentes, más que de un equilibrio ecológico real (Magurran A. E., 2004). La diferencia en los patrones de diversidad entre ambas estaciones probablemente refleja variaciones en la complejidad estructural del hábitat proporcionado por las macrófitas, las condiciones fisicoquímicas del agua (oxígeno disuelto, materia orgánica), el grado de conectividad con otros sistemas acuáticos y la influencia de factores de estrés antropogénico.

La combinación de estos índices con los resultados del BMWP/Col (45 vs 11) sugiere que MADREVIEJA_HUMEA_01 mantiene una comunidad acuática diversa aunque con signos de perturbación moderada, mientras que MADREVIEJA_HUMEA_02 representa un sistema

ecológicamente comprometido, con una comunidad extremadamente simplificada que refleja condiciones ambientales críticas (Wantzen K. M. et al., 2008).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada seca, la comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca del río Humea mostró una estructura y composición diferenciada según el tipo de cuerpo de agua, lo cual responde a las condiciones fisicoquímicas e hidrodinámicas propias de ambientes lóticos y lénticos. En total, se identificaron siete morfoespecies pertenecientes a la división Tracheophyta y una a Polypodiidae, distribuidas en dos tipos de hábitats: los cuerpos lénticos (MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02) y el cuerpo lótico (HUMEA_CL_01A). Esta diversidad es representativa de ecosistemas tropicales de planicie inundable, donde la variedad de microhábitats favorece la coexistencia de especies con diferentes estrategias ecológicas (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989) (**Tabla 3.3.3-378**).

En los cuerpos lénticos, el punto MADREVIEJA_HUMEA_01 registró la mayor riqueza con cuatro morfoespecies, alcanzando una cobertura del 58,33 %. Las especies dominantes incluyeron Eichhornia sp. (Pontederiaceae) y Ludwigia helminthorrhiza (Onagraceae), ambas típicas de ambientes con aguas tranquilas y alta disponibilidad de nutrientes, características comunes en madreviejas tropicales. También se observaron Salvinia auriculata (Salviniaceae), una helechita flotante, y Ceratopteris sp. (Pteridaceae), una pteridófita emergente frecuente en zonas encharcadas, lo que indica una buena heterogeneidad estructural en el hábitat. Por su parte, MADREVIEJA_HUMEA_02 presentó solo dos especies: Montrichardia arborescens (Araceae), una especie arbustiva característica de bordes de humedales amazónicos y orinoquenses, y nuevamente Salvinia auriculata, con una cobertura total del 50 %. La dominancia de M. *arborescens* (53,34 % de abundancia relativa) sugiere condiciones más consolidadas de borde húmedo, posiblemente con menor fluctuación hídrica y mayor estabilidad del sustrato (**Tabla 3.3.3-378**).

En contraste, el punto HUMEA_CL_01A, correspondiente al cuerpo lótico del río Humea y punto de captación autorizado, presentó una mayor cobertura total (113,33 %) pero menor diversidad (dos morfoespecies): Paspalum repens (Poaceae), con 80 % de cobertura, y Calathea sp. (Marantaceae), con 33,33 %. Estas especies, típicas de ambientes de corriente moderada, reflejan adaptaciones como raíces rizomatosas o rizomas robustos que les permiten anclarse en el lecho fluvial (Sculthorpe, The biology of aquatic vascular plants, 1985) (**Tabla 3.3.3-378**).. La escasa diversidad pero alta cobertura podría estar asociada a condiciones hidrodinámicas más restrictivas para otras especies, así como a posibles alteraciones por el uso del recurso hídrico en el punto de captación.

Desde una perspectiva taxonómica, la clase Magnoliidae fue la más representativa en todos los puntos, con miembros de órdenes como Alismatales, Commelinales, Myrtales, Poales y Zingiberales, todos ellos característicos de humedales neotropicales. Las familias Pontederiaceae, Poaceae, Araceae y Marantaceae fueron las más relevantes en cobertura, mientras que las

pteridófitas (clase Polypodiidae) y helechos acuáticos (orden Salviniales) contribuyeron a la diversidad estructural del ecosistema en puntos lénticos (**Tabla 3.3.3-378**).

En conclusión, la estructura comunitaria de las macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Humea muestra una clara diferenciación entre sistemas lóticos y lénticos, tanto en composición como en cobertura y diversidad taxonómica. Los cuerpos lénticos albergan mayor número de especies y diversidad estructural, mientras que los lóticos presentan menor riqueza pero alta dominancia de especies adaptadas a condiciones de corriente. Estos patrones son consistentes con lo reportado para ecosistemas acuáticos tropicales, donde la hidrodinámica, el tipo de sustrato y el régimen de inundación son factores clave en la determinación de la flora acuática (Chambers, 2008). Esta información es esencial para orientar estrategias de conservación y manejo sostenible en el contexto de actividades extractivas como las desarrolladas en el Bloque CPO-5.

- Diversidad Alfa

El análisis de diversidad de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Humea durante la temporada seca mostró que únicamente en el punto MADREVIEJA_HUMEA_01 fue posible calcular índices ecológicos, ya que los puntos MADREVIEJA_HUMEA_02 y HUMEA_CL_01A presentaron menos de tres especies, lo cual limita la validez de métricas como Shannon-Wiener (H') o equitatividad de Pielou (J') debido a la escasa riqueza específica (Magurran A. E., 2004). En MADREVIEJA_HUMEA_01, el índice de Shannon fue de 1.277, indicando una diversidad moderada, típica de ambientes con cierta estabilidad ecológica y baja dominancia específica. Este resultado se complementa con el valor del índice de Simpson (0.306), el cual refleja una probabilidad intermedia de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes, es decir, una comunidad con cierta uniformidad en abundancias (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad, 2001). La riqueza registrada fue de 4 especies, con una abundancia total del 58,33 %, lo que sugiere una cobertura moderada de vegetación acuática, compatible con humedales en buen estado ecológico.

Por su parte, el índice de equitatividad de Pielou (J') alcanzó un valor de 0.921, lo que indica una distribución equitativa de las abundancias entre las especies presentes, es decir, ninguna especie domina significativamente sobre las demás. Este tipo de distribución es característico de comunidades estructuralmente complejas y funcionalmente resilientes. La combinación de estos valores señala que MADREVIEJA_HUMEA_01 ofrece condiciones ambientales favorables para el establecimiento y coexistencia de múltiples morfoespecies, como hábitats con baja perturbación, buena disponibilidad de nutrientes y variabilidad estructural. En contraste, la imposibilidad de calcular estos índices en los puntos restantes sugiere una baja diversidad florística, ya sea por condiciones ambientales limitantes (como flujo constante, disturbios antrópicos o baja heterogeneidad del sustrato) o por características propias del ecosistema (Sculthorpe, The biology of aquatic vascular plants, 1985). En conjunto, los índices calculados son herramientas clave para evaluar la calidad ecológica de sistemas acuáticos, identificar cambios inducidos por actividades humanas y orientar medidas de conservación en ecosistemas tropicales.

Tabla 3.3.3-378 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Humea época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Humea					
				Punto De Muestreo	MADREVIEJA_HUMEA_01		MADREVIEJA_HUMEA_02		HUMEA_CL_01A	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Montrichardia arborescens*			26,67	53,34		
		Commelinales	Pontederiaceae	*Eichhornia* sp.	25	42,86				
		Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia helminthorrhiza*	10	17,14				
		Poales	Poaceae	*Paspalum repens*					80	70,59
		Zingiberales	Marantaceae	*Calathea* sp.					33,33	29,41
	Polypodiidae	Polypodiales	Pteridaceae	*Ceratopteris* sp.	15	25,72				
		Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia auriculata*	8,33	14,28	23,33	46,66		
Cobertura Total general					**58,33**	**100**	**50**	**100**	**113,33**	**100**
Morfoespecies por Punto					**4**		**2**		**2**	
Morfoespecies por Microcuenca					**7**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Época lluvia*

  - *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 para las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02. El estudio de la comunidad fitoplanctónica en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 de la Microcuenca del Río Humea, ubicada en la llanura inundable colombiana durante la época de lluvias, revela un ensamble ecológico diverso compuesto por organismos de cinco divisiones principales (Euglenophyta, Chlorophyta, Heterokontophyta, Cyanobacteria y Charophyta), con una riqueza total de 23 géneros y una abundancia total de 1.662 Ind/m. La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 presentó mayor abundancia total (1.002 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-379**) que MADREVIEJA_HUMEA_02 (0.66 Ind/mL), destacándose las diatomeas *Ulnaria* (0.198 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-379**) y *Pinnularia* (0.152 Ind/mL) como las más abundantes en toda la Microcuenca, seguidas por la cianobacteria *Anabaena* (0.1 Ind/mL y 10%) y el desmidio *Desmidium* (0.092 Ind/mL y 9.2%) (**Tabla 3.3.3-379**) (**Figura 3.3.3-160**) reportada únicamente en el punto MADREVIEJA_HUMEA_01. La composición taxonómica muestra una notable representación de diatomeas pennadas (*Navicula*, *Nitzschia*, *Encyonema*) y céntricas (*Aulacoseira*, *Melosira*), que en conjunto representan el 62% de la abundancia total, lo que sugiere condiciones de aguas bien oxigenadas con moderado aporte de nutrientes durante el período lluvioso (Round et al., 1990). La presencia de cianobacterias como *Anabaena* y *Phormidium*, presentes en proporciones moderadas, podría indicar un proceso de eutrofización, característico de sistemas lénticos en llanuras inundables con aporte de nutrientes desde las áreas terrestres circundantes (Reynolds, 2006).

La interacción con sistemas lóticos se infiere por la presencia de diatomeas como *Ulnaria* y *Melosira*, típicas de zonas con mezcla de aguas, mientras que la conexión con sistemas terrestres queda evidenciada por la presencia de *Euglena* y *Trachelomonas* (Euglenophyta), organismos frecuentes en aguas con aporte orgánico de origen terrestre (Wehr et al., 2015) y la distribución espacial de los taxones muestra diferencias significativas entre estaciones, MADREVIEJA_HUMEA_01 dominada por diatomeas *Eunotia* (0.156 Ind/mL y 15.6%), *Ulnaria* (0.074 Ind/mL y 7.4%) y cianobacterias, mientras MADREVIEJA_HUMEA_02 presenta mayor diversidad de Chlorophyta *Pediastrum* (0.036 Ind/mL y 5.5%) y diatomeas céntricas *Melosira* (0.103 Ind/mL y 15.6%) (**Tabla 3.3.3-379**) (**Figura 3.3.3-160**), refleja la heterogeneidad microambiental característica de los humedales de llanura inundable.

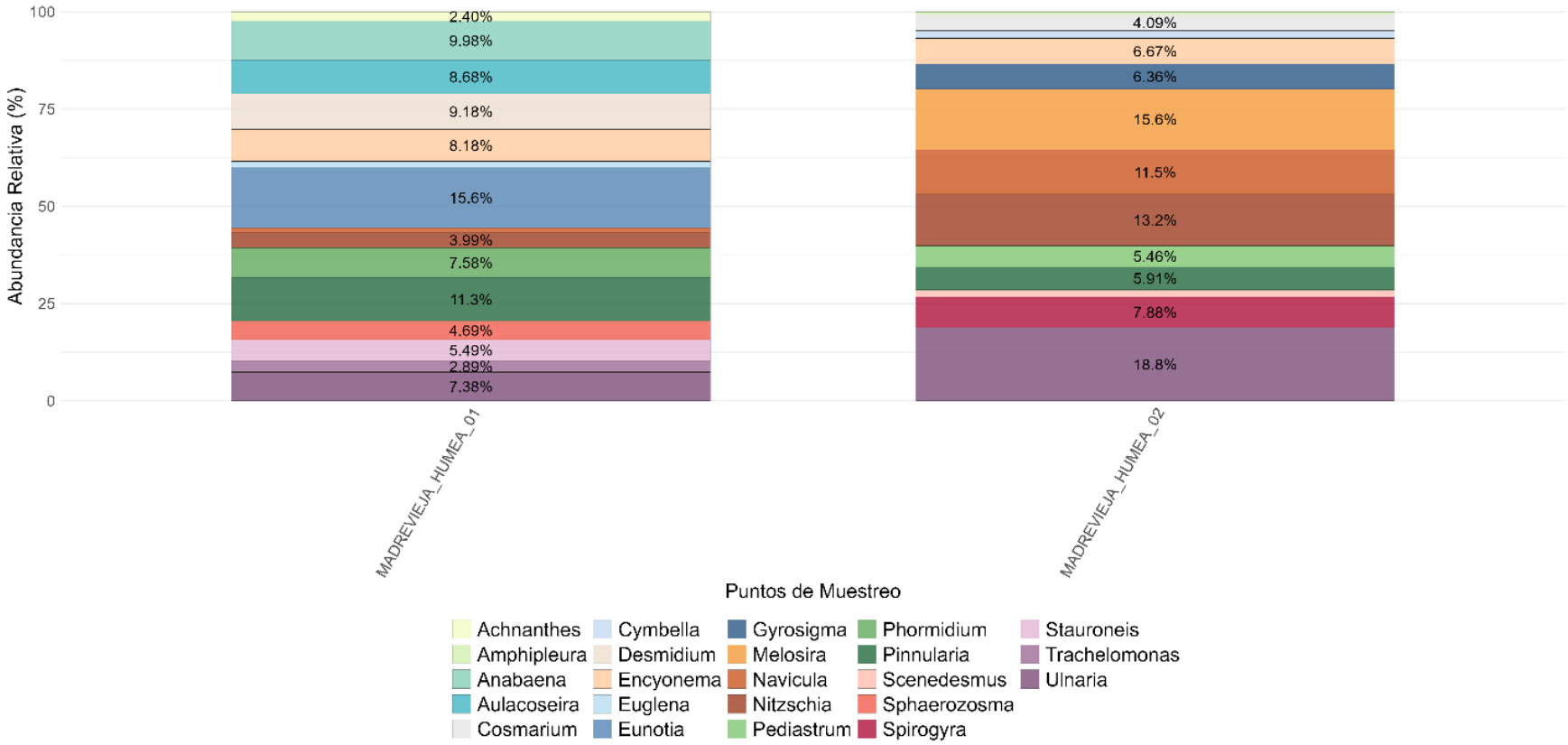


Figura 3.3.3-160 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad refleja una calidad del agua buena a moderada, con predominio de diatomeas indicadoras de aguas oligo-mesotróficas (*Pinnularia, Eunotia*) pero con presencia significativa de organismos tolerantes a condiciones más eutróficas (*Anabaena, Scenedesmus*) que sugieren un gradiente de condiciones tróficas en la Microcuenca (Potapova & Charles, 2007). La abundancia relativamente alta de desmidios (*Cosmarium*, *Desmidium*) en ambas estaciones indica aguas blandas y ligeramente ácidas, típicas de sistemas con influencia de materia orgánica vegetal (Coesel & Meesters, 2007).

En conclusión y tomando en cuenta la composición taxonómica, los patrones de abundancia y los grupos indicadores presentes, la Microcuenca del Río Humea puede clasificarse con una calificación ecológica "buena", lo cual puede estar asociado a la alta diversidad fitoplanctónica (23 géneros), el predominio de taxones sensibles a la contaminación y la estructura comunitaria equilibrada. Sin embargo, la presencia significativa de cianobacterias potencialmente formadoras de florecimientos puede atribuirse a altos niveles de nutrientes, particularmente fósforo y nitrógeno.

Tabla 3.3.3-379 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Humea época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Humea		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_HUMEA_01	MADREVIEJA_HUMEA_02	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,029		0,029
				Euglena	0,016		0,016
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*		0,012	0,012
			Hydrodictyaceae	*Pediastrum*		0,036	0,036
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,113	0,039	0,152
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	0,055		0,055
			Amphipleuraceae	*Amphipleura*		0,005	0,005
			Naviculaceae	*Navicula*	0,011	0,076	0,087
				Gyrosigma		0,042	0,042
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	0,156		0,156
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	0,04	0,087	0,127
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*	0,082	0,044	0,126
				Cymbella		0,013	0,013
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	0,024		0,024
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	0,074	0,124	0,198
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,087		0,087
		Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*		0,103	0,103
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*	0,076		0,076
		Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena*	0,1		0,1
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		0,027	0,027
				Desmidium	0,092		0,092
				Sphaerozosma	0,047		0,047
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*		0,052	0,052
Gran Total					**1,002**	**0,66**	**1,662**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de ecológicos en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 revela una comunidad fitoplanctónica altamente diversa y equilibrada en la Microcuenca del Río Humea durante la época de lluvias. La estación MADREVIEJA_HUMEA_01 presenta valores superiores en abundancia (1.002 Ind/mL), riqueza (15 géneros) y diversidad (Shannon = 2.586) comparado con MADREVIEJA_HUMEA_02 (0.66 Ind/mL, 13 géneros, Shannon = 2.359), lo que sugiere variaciones espaciales en las condiciones ecológicas del sistema. Los bajos valores del índice de Simpson (0.085 y 0.111) demuestran una mínima dominancia de especies particulares, patrón que se confirma con los altos valores del índice de Pielou (0.955 y 0.92) (**Tabla 3.3.3-380**), indicando una distribución casi perfectamente equitativa de los individuos entre las especies presentes. Esta combinación de parámetros ecológicos refleja un ambiente acuático maduro y estable, con disponibilidad de nichos ecológicos que permiten el desarrollo de una comunidad fitoplanctónica compleja y bien estructurada (Reynolds, 2006).

La diferencia observada entre estaciones podría atribuirse a factores como la profundidad, el grado de conexión con el cauce principal o variaciones en el aporte de nutrientes, comunes en sistemas de madreviejas durante el período lluvioso. La elevada riqueza con un total de 23 géneros en total (**Tabla 3.3.3-380**) y la excelente equitatividad con un índice de Pielou mayor a 0.9 (**Tabla 3.3.3-380**) en ambas estaciones, son características de ecosistemas lenticos bien conservados, donde la heterogeneidad ambiental promueve la coexistencia de múltiples especies con diferentes requerimientos ecológicos (Padisák et al., 2009).

En conclusión, y teniendo en cuenta los parámetros evaluados, la Microcuenca del Río Humea puede calificarse ecológicamente como buena, y está asociada a los altos valores de diversidad en ambas estaciones, la notable equitatividad en la distribución de las especies, y la capacidad del sistema para mantener comunidades fitoplanctónicas complejas y equilibradas. Esta evaluación positiva se ve reforzada por la ausencia de dominancia marcada por grupos indicadores de perturbación como cianobacterias y por la presencia de taxones sensibles a la contaminación como diatomeas pennadas y desmidios.

Tabla 3.3.3-380 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca río Humea época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_HUMEA_01	1.002	15	2.586	0.085	0.955
MADREVIEJA_HUMEA_02	0.66	13	2.359	0.111	0.92

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 para las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02. El estudio de la comunidad zooplanctónica en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 de la Microcuenca del Río Humea, ubicada en la llanura inundable

colombiana durante la época de lluvias, revela un ensamble ecológico caracterizado por una baja abundancia total (0.0765 Ind/mL), con representantes de cinco grupos taxonómicos principales (Amoebozoa, Rotifera, Cercozoa, Nematoda y Protozoa) que comprenden 8 morfoespecies identificadas. La estación MADREVIEJA_HUMEA_02 presentó mayor abundancia (0.0475 Ind/mL) y MADREVIEJA_HUMEA_01 (0.029 Ind/mL), destacándose los protozoos testados *Trinema* con una abundancia total en la Microcuenca (0.0162 Ind/mL) y *Arcella* con una abundancia y porcentaje de abundancia de (0.0089 Ind/mL y 18.7%) (**Tabla 3.3.3-381**) (**Figura 3.3.3-161**) reportado únicamente en MADREVIEJA_HUMEA_02 como los organismos más abundantes en el sistema, seguidos por el rotífero *Lecane* (0.0085 Ind/mL) y el cercozoo *Euglypha* (0.0112 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-381**).

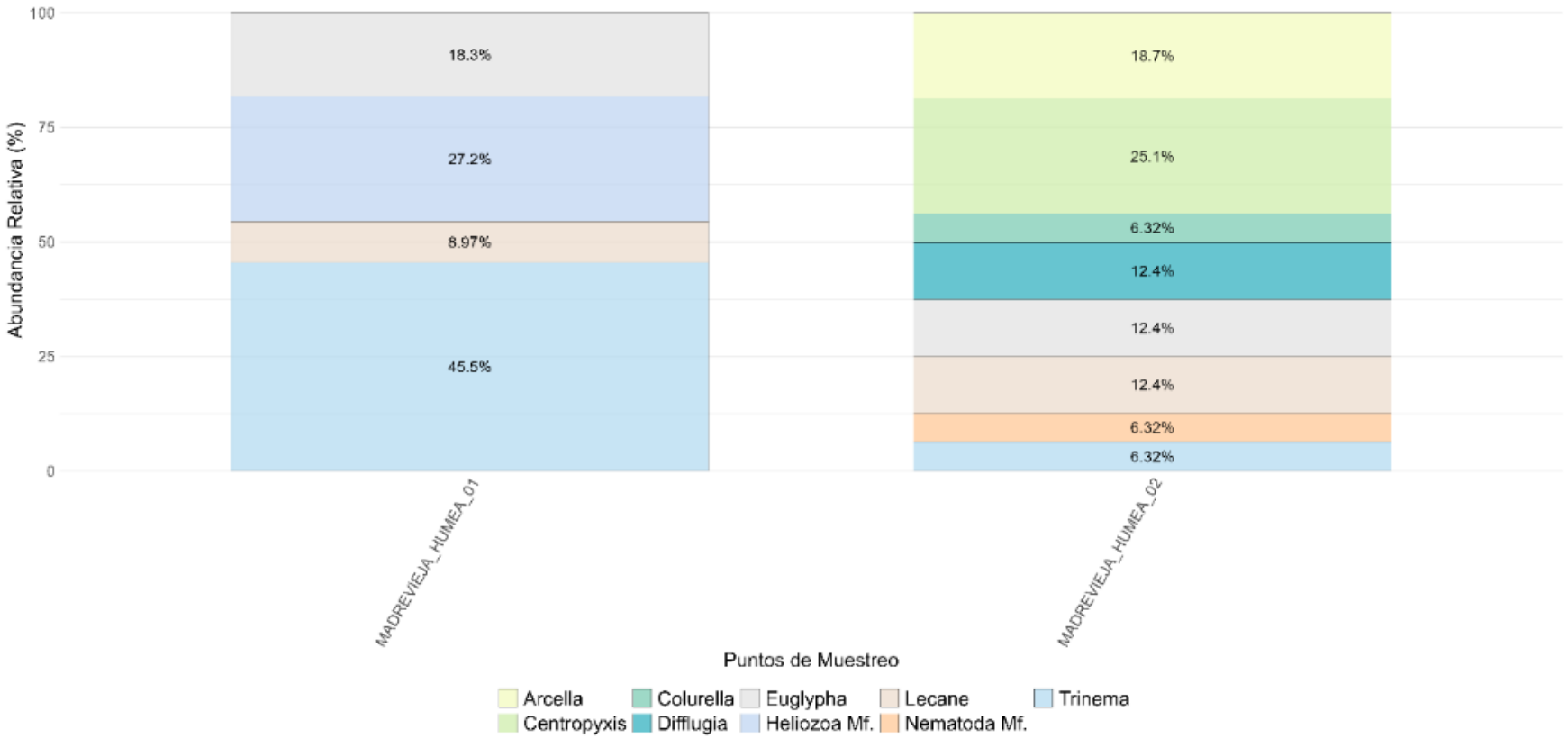


Figura 3.3.3-161 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La composición comunitaria muestra una notable predominancia de microorganismos indicadores de aguas con bajo a moderado contenido orgánico, particularmente los protozoos testados como *Arcella*, *Difflugia* y *Trinema*, que son sensibles a perturbaciones ambientales (Foissner W. , 1999), junto con rotíferos como *Lecane* y *Colurella* que suelen asociarse a ambientes con vegetación acuática sumergida (Wallace R. L. et al., 2016). La presencia de nematodos de vida libre (0.003 Ind/mL y 6.3% de representatividad) y heliozoos (0.0079 Ind/mL y 27.2%) (**Tabla 3.3.3-381**) (**Figura 3.3.3-161**) en bajas abundancias sugiere una limitada interacción con sistemas terrestres adyacentes, mientras que la ausencia de microcrustáceos (cladóceros y copépodos) podría indicar condiciones restrictivas para estos grupos, posiblemente relacionadas con la temporalidad del hábitat o la competencia con otros organismos (Fernando et al., 1990).

La época de lluvias parece favorecer la conectividad entre sistemas lénticos y lóticos, como lo sugiere la presencia de *Trichocerca* (ausente en estos muestreos, pero reportada en estudios previos), un género frecuente en zonas de transición entre ambientes. Considerando los parámetros comunitarios analizados, la Microcuenca del Río Humea puede clasificarse con una calificación ecológica "moderadamente buena", calificación sustentada en la presencia de taxones sensibles a la contaminación, la estructura comunitaria equilibrada a pesar de las bajas abundancias, y la representación de múltiples grupos funcionales. Sin embargo, las bajas densidades zooplanctónicas totales menores a (0.1 Ind/mL) y la ausencia de microcrustáceos sugieren que el sistema podría estar sujeto a limitaciones tróficas o a la corta duración de las condiciones hidrológicas favorables durante la época de lluvias, características propias de los sistemas lénticos de la llanura inundable (Lansac-Tôha et al., 2009).

Tabla 3.3.3-381 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Humea época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Río Humea		Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_HUMEA_01	MADREVIEJA_HUMEA_02	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*		0,0089	0,0089
			Difflugiidae	*Difflugia*		0,0059	0,0059
			Centropyxidae	*Centropyxis*		0,0119	0,0119
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Lecanidae	*Lecane*	0,0026	0,0059	0,0085
			Lepadellidae	*Colurella*		0,003	0,003
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0053	0,0059	0,0112
			Trinematidae	*Trinema*	0,0132	0,003	0,0162
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.		0,003	0,003
Protozoa	Heliozoa	-	-	Heliozoa Mf.	0,0079		0,0079
Gran Total					0,029	0,0475	0,0765

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad para la comunidad zooplanctónica en las estaciones MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02 de la llanura inundable del Río Humea revela un ensamble ecológico con características particulares durante la época de lluvias. La estación MADREVIEJA_HUMEA_02 muestra valores superiores en abundancia (0.0475 Ind/mL) y riqueza (8 morfoespecies) comparado con MADREVIEJA_HUMEA_01 (0.029 Ind/mL y 4

morfoespecies) (**Tabla 3.3.3-382**), evidenciando una heterogeneidad espacial en la distribución de organismos.

Los índices de diversidad muestran diferencias significativas, mientras MADREVIEJA_HUMEA_01 presenta valores moderados de Shannon (1.241) y Simpson (0.322), MADREVIEJA_HUMEA_02 alcanza valores más altos (Shannon = 1.96, Simpson = 0.156) (**Tabla 3.3.3-382**), indicando una mayor diversidad y menor dominancia de especies en esta última estación. Los altos valores del índice de Pielou (0.895 y 0.943 respectivamente) demuestran una distribución equitativa de los individuos entre las especies presentes, característica de comunidades bien estructuradas en ambientes con baja perturbación (Wallace R. L. et al., 2016). La baja abundancia general menor a (0.05 Ind/mL) en ambos puntos podría relacionarse con la alta depredación por organismos superiores o con limitaciones en la disponibilidad de recursos, condiciones típicas de sistemas lénticos en llanuras inundables durante períodos de alta productividad primaria (Donato-Rondón, 2016). La diferencia en riqueza entre estaciones (4 vs 8 morfoespecies) (**Tabla 3.3.3-382**) sugiere variaciones microambientales, posiblemente asociadas a diferencias en la vegetación acuática, profundidad o conectividad con el cauce principal.

En conclusión, la Microcuenca presenta una calificación ecológica "buena", y puede estar asociado a los valores de diversidad adecuados a pesar de las bajas abundancias, la alta equitatividad en la distribución de especies y la presencia de múltiples grupos funcionales. Sin embargo, las bajas densidades zooplanctónicas podrían indicar limitaciones en la capacidad de carga del sistema o una fuerte presión de depredación.

Tabla 3.3.3-382 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Humea época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_HUMEA_01	0.029	4	1.241	0.322	0.895
MADREVIEJA_HUMEA_02	0.0475	8	1.96	0.156	0.943

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Ictioplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad ictioplanctónica en el punto HUMEA_CL_01A de la Microcuenca del Río Humea, ubicada en la llanura inundable colombiana durante la época de lluvias, revela una presencia limitada con solo un registro de huevo de pez (morfotipo 1) de la clase Actinopteri, con una abundancia de 0.0289 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-383**). Esta baja diversidad de una morfoespecie y escasa abundancia podrían asociarse a múltiples factores ecológicos característicos de sistemas lóticos en llanuras inundables durante el período lluvioso.

La presencia exclusiva de huevos (sin larvas o juveniles) sugiere que el punto de muestreo podría corresponder a una zona de desove marginal, pero con condiciones poco favorables para el desarrollo larval, posiblemente debido a altas tasas de depredación, arrastre por corrientes o inadecuadas condiciones fisicoquímicas (Humphries et al., 1999). La ausencia de estadios larvales,

que normalmente dominan las comunidades de ictioplancton en sistemas tropicales, indica una limitada retención de propágulos en esta zona específica del sistema.

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de huevos de peces confirma que el sistema mantiene cierta funcionalidad reproductiva, aunque la ausencia de estadios posteriores del desarrollo podría señalar problemas en el reclutamiento (King, 2004).

La interacción con sistemas lénticos adyacentes parece limitada, ya que no se registraron especies típicas de ambientes inundados, mientras que la conexión con sistemas terrestres queda evidenciada indirectamente por la necesidad de sustratos adecuados para el desove que suelen encontrarse en zonas ribereñas. Considerando los parámetros analizados, la Microcuenca del Río Humea en este punto específico presenta una calificación ecológica "regular", lo cual está asociado a la presencia de elementos reproductivos que confirman la función del sistema como hábitat para peces, pero la ausencia de estadios larvales que indicaría problemas en el reclutamiento poblacional. Esta situación es común en sistemas lóticos de llanura donde las condiciones hidrológicas dinámicas durante las lluvias pueden limitar el éxito reproductivo de los peces (Welcomme, 1985).

Tabla 3.3.3-383 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Ictioplancton Microcuenca río Humea época lluvias

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Río Humea	Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					HUMEA_CL_01A	
Chordata	Actinopteri	-	-	Huevo de pez morfoespecie 1	0,0289	0,0289
Gran Total					0,0289	0,0289

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Para esta comunidad no se realiza un análisis de índice ecológico, debido a que los valores de abundancia y riqueza reportados en cada punto de monitoreo no generan datos suficientes para un análisis robusto. Por lo tanto, no es posible obtener conclusiones confiables o resultados precisos con la información disponible.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El presente análisis se realiza con base en la información colectada en Gangotri durante julio de 2024 para la estación HUMEA_CL_01A. El estudio de la comunidad perifítica en la estación HUMEA_CL_01A del Río Humea, ubicado en la llanura inundable colombiana durante la época de lluvias, revela un ensamble ecológico diverso dominado por diatomeas (Heterokontophyta) y algas conjugadas (Charophyta), con una riqueza total de 7 géneros y una abundancia agregada de 183.7 Ind/cm². Los géneros más abundantes y con mayor representatividad incluyen *Pinnularia* (48.8 Ind/cm² y 26.6%), *Desmidium* (44.2 Ind/cm² y 24.1%) y *Eunotia* (37.2 Ind/cm² y 20.5%) (**Tabla 3.3.3-384**) (**Figura 3.3.3-162**), que en

conjunto representan el 71% de la comunidad total. La composición taxonómica muestra una clara predominancia de diatomeas pennadas bentónicas (*Pinnularia*, *Eunotia*) y algas desmídias (*Desmidium*, *Cosmarium*), lo que sugiere condiciones de aguas ligeramente ácidas y oligotróficas, características de sistemas lóticos bien oxigenados con bajo impacto antropogénico (Round et al., 1990). La presencia de *Tabellaria* (11.6 Ind/cm² Y 6.3%), un indicador de aguas con limitación de sílice, junto con la baja abundancia de *Spirogyra* (7 Ind/cm² y 3.8%) (**Tabla 3.3.3-384**) (**Figura 3.3.3-162**), típica de ambientes eutróficos, refuerza la interpretación de un sistema con buena calidad de agua y bajo estrés nutricional (Potapova & Charles, 2007).

La interacción con sistemas lénticos adyacentes se evidencia por la abundancia de desmídias (*Desmidium*, *Cosmarium*), comunes en aguas quietas de llanuras inundables, mientras que la conexión con sistemas terrestres queda reflejada en la presencia de *Closterium* (18.6 Ind/cm² y 10.1%), frecuentemente asociado a zonas de transición con aporte de materia orgánica alóctona (Coesel & Meesters, 2007).

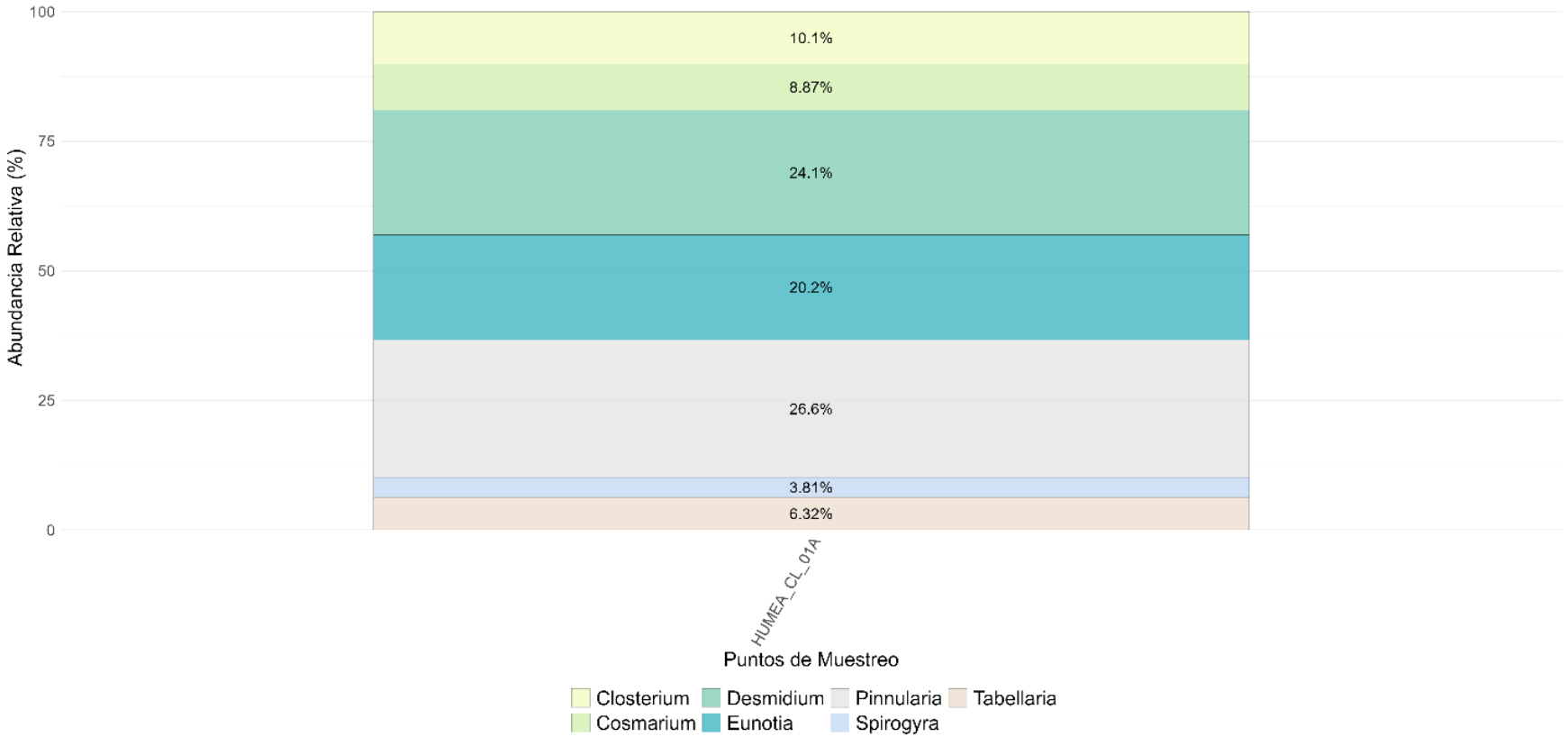


Figura 3.3.3-162 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Humea época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los altos valores de abundancia y la diversidad de (diatomeas pennadas, céntricas y algas filamentosas) indican una compleja estructura de hábitats bentónicos, probablemente relacionada con la heterogeneidad de sustratos y la estabilidad hidrológica durante la época de lluvias (Biggs B. F., 1996). Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad sugiere una calidad del agua buena, con predominio de taxones sensibles a la contaminación (*Pinnularia*, *Eunotia*) y ausencia de especies indicadoras de eutrofización avanzada. La ausencia de cianobacterias y la baja representación de algas verdes filamentosas (*Spirogyra*) confirman esto.

En conclusión, la Microcuenca del Río Humea en este punto recibe una calificación ecológica "muy buena", la cual está asociada a una la alta diversidad y abundancia de taxones sensibles, a la equilibrada interacción entre componentes lóticos, lénticos y terrestres, y a la ausencia de indicadores de perturbación severa.

Tabla 3.3.3-384 Ensamble Ecológico de la Comunidad el Perifiton Microcuenca río Humea época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Humea	Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					HUMEA_CL_01A	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	48,8	48,8
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	37,2	37,2
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	11,6	11,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	16,3	16,3
				Desmidium	44,2	44,2
			Closteriaceae	*Closterium*	18,6	18,6
		Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*	7	7
Gran Total					**183,7**	**183,7**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad realizado en el punto HUMEA_CL_01A de la Microcuenca del Río Humea muestra características ecológicas significativas para la comunidad de perifiton. Los resultados muestran una alta abundancia (183.7 Ind/cm²) y una riqueza moderada (7 géneros) (**Tabla 3.3.3-385**), lo que indica una comunidad con una densidad poblacional alta, pero con un número relativamente bajo de taxones presentes. Los índices de diversidad reflejan un ambiente equilibrado, el índice de Shannon (1.778) sugiere una diversidad media-alta, mientras que el índice de Simpson (0.189) que confirma una baja dominancia de especies específicas, lo que apunta hacia una distribución equitativa de los individuos entre las morfoespecies. Además, el índice de Pielou (0.914) (**Tabla 3.3.3-385**), cercano a 1, indica una alta equitatividad en la comunidad, lo que significa que no hay especies que dominen de manera desproporcionada el ensamble.

Estos resultados, en conjunto, sugieren que la Microcuenca del Río Humea en este punto específico presenta una calificación ecológica "muy buena". La combinación de una abundancia elevada, una diversidad equilibrada y una alta equitatividad refleja un ambiente acuático saludable, con condiciones favorables para el desarrollo del perifiton y una baja presión por

perturbaciones antropogénicas o naturales. La presencia de múltiples especies sin dominancia excesiva de ninguna en particular es un indicador de estabilidad ecológica y de la capacidad del sistema para sostener una comunidad diversa. En conclusión, los valores obtenidos en el punto HUMEA_CL_01A apoyan la idea de que la Microcuenca mantiene una calidad ecológica alta, sustentada por una comunidad de perifiton diversa y bien estructurada.

Tabla 3.3.3-385 Índices Ecológicos Comunidad del Perifton (Alfa) Microcuenca río Humea época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
HUMEA_CL_01A	183.7	7	1.778	0.189	0.914

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Río Humea, monitoreado durante la época de lluvias, presenta una comunidad extremadamente reducida. El análisis revela la presencia de un único taxón: *Heterelmis sp*. (Arthropoda: Insecta: Coleóptera: Elmidae), con una abundancia total de apenas 2.2 ind/m² en el punto HUMEA_CL_01A. Esta escasa diversidad (1 morfoespecie, 1 phylum, 1 clase, 1 orden, 1 familia y 1 género) sugiere condiciones ambientales particularmente adversas para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa (**Tabla 3.3.3-386**).

Tabla 3.3.3-386 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Humea época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Humea	Abundancia Total Microcuenca (Ind/M2)
						HUMEA_CL_01A	
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Elmidae	Heterelmis	*Heterelmis sp.*	2,2	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**2**	**2**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia exclusiva de *Heterelmis sp.*, un coleóptero elmido, resulta particularmente significativa desde la perspectiva de la bioindicación. Los elmidos son generalmente considerados organismos sensibles a la contaminación, indicadores de aguas bien oxigenadas y de buena calidad (Roldán & Ramírez, 2008). Sin embargo, su presencia en tan bajas densidades y como único representante de la comunidad podría indicar condiciones límite para la supervivencia de otros taxones. La ausencia total de quironómidos, organismos típicamente tolerantes, resulta especialmente llamativa y podría sugerir factores de estrés no convencionales, como posible toxicidad por contaminantes específicos o condiciones físico-químicas extremas (Domínguez & Fernández, 2009).

Respecto a las interacciones ecológicas, la composición extremadamente simple de esta comunidad limita considerablemente las posibles interacciones biológicas. La ausencia de otros

componentes de la red trófica (como depredadores o competidores) sugiere un sistema ecológicamente empobrecido. Sin embargo, la presencia de *Heterelmis sp.,* organismo típico de sistemas lóticos, en este ambiente léntico podría indicar cierta conexión con corrientes de agua cercanas o la influencia de eventos de crecida durante la época de lluvias (Springer, 2010).

Es así como la extrema pobreza de la comunidad imposibilita el cálculo de índices de diversidad alfa (Shannon, Simpson, Pielou) y del BMWP/Col. Los índices de diversidad requieren al menos dos especies para su cálculo (Magurran, 2004), mientras que el BMWP/Col necesita múltiples taxones asignables a diferentes grupos de tolerancia (Buss et al., 2015). En este caso, al contar con un único taxón, cualquier intento de cálculo resultaría en valores indefinidos o carentes de significado ecológico.

En conclusión, el ensamble estudiado en el Río Humea representa un caso extremo de comunidad empobrecida, donde solo persiste una especie sensible en muy bajas densidades. Esta situación podría deberse a: condiciones ambientales particularmente adversas, eventos recientes de contaminación aguda, o características naturales extremas del hábitat. La presencia residual de un organismo sensible como *Heterelmis sp.* sugiere que, pese a las condiciones aparentemente críticas, aún existe potencial para la recuperación del sistema si se identifican y controlan los factores de estrés.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados asociados a macrófitas en sistemas lénticos, específicamente en la madrevieja del río Humea durante la época de lluvias, refleja una comunidad estructuralmente simple pero ecológicamente significativa. En total, se registraron cuatro (4) morfoespecies, distribuidas en dos (2) phyllum: Arthropoda y Mollusca. Estas pertenecen a dos (2) clases, tres (3) órdenes, tres (3) familias y tres (3) géneros, con una abundancia total de 28 ind/m². El punto Madrevieja_Humea_01 presentó tres (3) morfoespecies con un total de 8 ind/m², mientras que Madrevieja_Humea_02 estuvo dominado exclusivamente por *Planorbella sp.*, con una densidad de 20 ind/m² (**Tabla 3.3.3-387**).

Tabla 3.3.3-387 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época lluvias

Pyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Humea		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						MADREVIEJA_HUMEA_01	MADREVIEJA_HUMEA_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae* Mf.	5,5		5,5
		Coleóptera	Elmidae	*Heterelmis*	*Heterelmis* sp.	1,1		1,1
				Microcylloepus	*Microcylloepus* sp.	1,1		1,1
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	*Planorbella*	*Planorbella* sp.		20	20
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**8**	**20**	**28**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el enfoque de bioindicación, el predominio de Chironomidae y Planorbidae refleja condiciones ambientales con cierto nivel de eutrofización o tolerancia a bajos niveles de oxígeno, características comunes en cuerpos lénticos con acumulación de materia orgánica y escasa renovación de agua (Rosenberg & Resh, 1993). Chironomidae, aunque cosmopolita y diverso, suele actuar como indicador de condiciones subóptimas cuando es dominante. *Planorbella sp.* (familia Planorbidae) es un gasterópodo pulmonado tolerante a la descomposición de materia orgánica y bajos niveles de oxígeno disuelto, común en hábitats acuáticos estáticos con presencia de macrófitas y sedimentos finos (Covich et al., 1999).

La presencia de dos géneros de Elmidae (*Heterelmis* y *Microcylloepus*) en el punto Madrevieja_Humea_01 es relevante, ya que esta familia incluye especies que requieren una buena calidad del agua y hábitats estructurados como macrófitas sumergidas o raíces flotantes. Su aparición sugiere microhábitats localizados con condiciones más oxigenadas o una interacción más directa con entradas intermitentes de agua corriente (Pringle & Hamazaki, 1997).

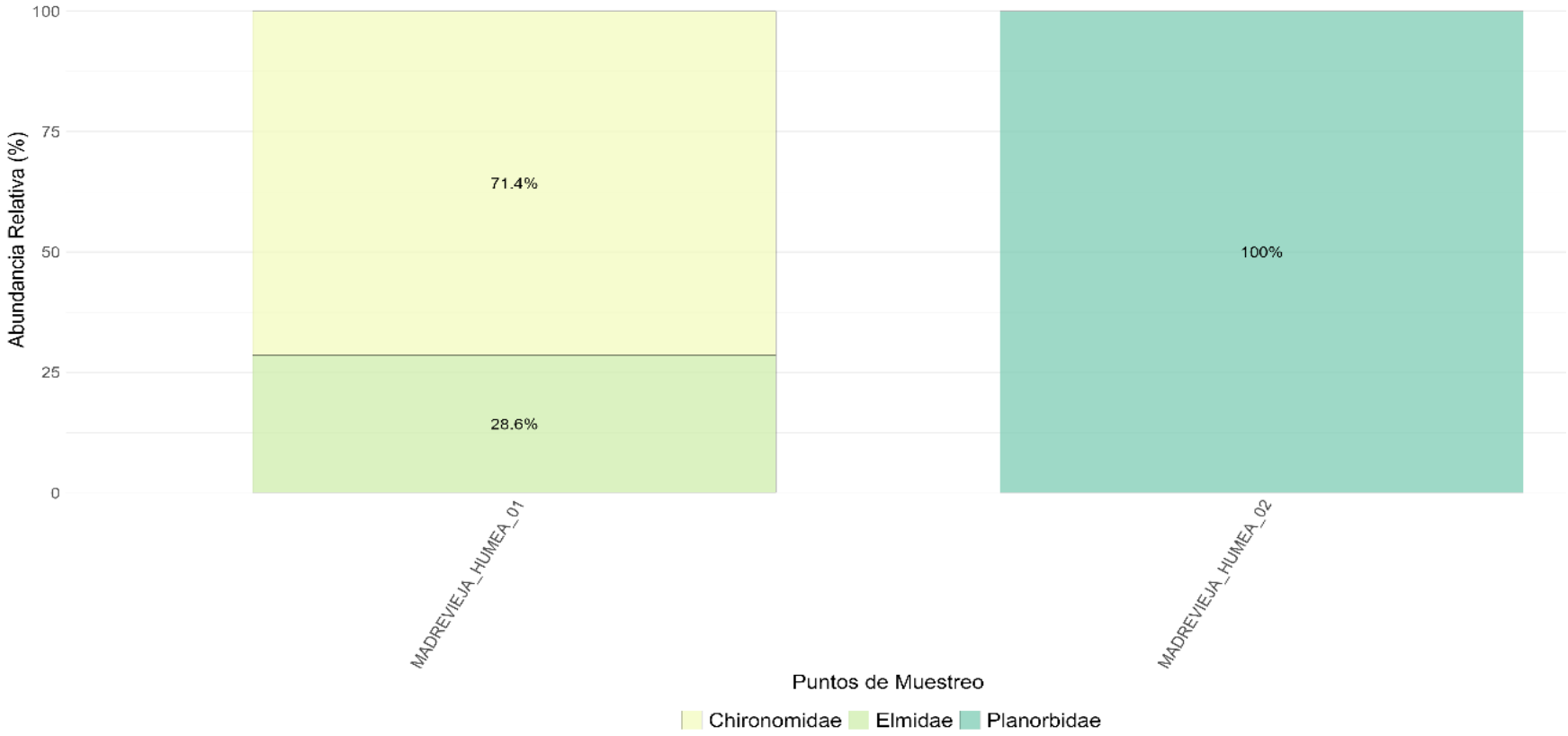


Figura 3.3.3-163 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En cuanto a la interacción con sistemas lóticos, es probable que esta madrevieja conserve cierta conexión hidráulica temporal o subterránea con el cauce principal del río Humea, lo cual permitiría la dispersión de taxa bentónicos como Elmidae desde zonas de corriente hacia zonas más tranquilas. Además, la abundancia de moluscos pulmonados indica una fuerte interacción con el sistema terrestre circundante, especialmente por la acumulación de material vegetal, hojarasca y nutrientes provenientes de bordes ribereños (Wetzel, 2001).

En conclusión, el ensamble ecológico registrado en la madrevieja del río Humea muestra una comunidad funcionalmente limitada en diversidad taxonómica, dominada por organismos tolerantes como Planorbella y Chironomidae, lo que podría estar asociado a condiciones de oxigenación reducida, sedimentación fina y acumulación de materia orgánica típica de sistemas lénticos tropicales durante la época de lluvias. No obstante, la presencia de Elmidae sugiere que aún existen microhábitats con condiciones aptas para taxa más sensibles, lo cual resalta la importancia ecológica de estas zonas como refugios temporales o permanentes para macroinvertebrados en la Microcuenca del río Humea.

El análisis del índice BMWP/Col para los puntos de monitoreo Madrevieja_Humea_01 y Madrevieja_Humea_02, ubicados en la Microcuenca del río Humea, evidencia un estado de calidad muy crítica (**Tabla 3.3.3-388**). Según la clasificación del índice, estos valores indican que las aguas se encuentran fuertemente contaminadas, lo cual representa una situación ecológica alarmante y con una funcionalidad ecológica fuertemente comprometida (Roldán, 2003).

En el punto Madrevieja_Humea_01, el valor de 9 es explicado por la presencia de morfoespecies de las familias Chironomidae y Elmidae, esta última representada por los géneros *Heterelmis* y *Microcylloepus*, que poseen tolerancias medias y bajas a la contaminación orgánica, respectivamente. No obstante, la baja abundancia de estos elmíidos y su coexistencia con chironómidos dominantes —grupo ampliamente tolerante— reduce la capacidad del sistema para amortiguar impactos contaminantes, reflejando condiciones ambientales de estrés o alteración.

En el caso de Madrevieja_Humea_02, el puntaje mínimo de 5 está determinado exclusivamente por la presencia de *Planorbella* sp.*,* un molusco pulmonado que es altamente tolerante a condiciones de anoxia y altos niveles de materia orgánica. La ausencia de grupos sensibles o moderadamente sensibles en este punto refuerza el diagnóstico de degradación, posiblemente por acumulación de sedimentos, escasa oxigenación del agua y una alta carga orgánica (Rosenberg & Resh, 1993).

Tabla 3.3.3-388 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Humea época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO HUMEA	MADREVIEJA_HUMEA_02	V	Muy crítica	5	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	MADREVIEJA_HUMEA_01	V	Muy crítica	9	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La clasificación "Muy crítica" implica que la capacidad de autodepuración del ecosistema está comprometida, y que los servicios ecosistémicos reguladores del agua —como la descomposición aeróbica de materia orgánica y la oxigenación natural— son limitados o inexistentes. Esto sugiere impactos antrópicos acumulados, probablemente derivados de la alteración del régimen hídrico, el aporte de nutrientes desde actividades ganaderas o agrícolas cercanas, y la desconexión temporal del sistema con flujos lóticos que permitan el recambio de agua (Roldán-Pérez, 2016).

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para la comunidad de macroinvertebrados en la Microcuenca del río Humea, específicamente en los puntos de monitoreo Madrevieja_Humea_01 y Madrevieja_Humea_02, revela diferencias marcadas en la estructura ecológica de las comunidades evaluadas durante época de lluvias.

En el punto Madrevieja_Humea_01, se registró una abundancia de 7.7 ind/m², con una riqueza de 3 morfoespecies. El valor del índice de Shannon (H' = 1.277) y del índice de Simpson (D = 0.306) indican una diversidad baja, aunque no nula, lo que sugiere una comunidad poco estructurada pero con cierta heterogeneidad. El valor del índice de equitatividad de Pielou (J' = 1.162) es alto en relación con la riqueza observada, lo que se explica por la distribución relativamente equitativa de los individuos entre las pocas morfoespecies presentes (**Tabla 3.3.3-389**). Estos valores son característicos de sistemas en los que las condiciones ambientales permiten la presencia de algunos grupos con diferentes niveles de tolerancia, aunque sin llegar a constituir una comunidad ecológicamente compleja.

Por su parte, en el punto Madrevieja_Humea_02, a pesar de la alta abundancia registrada (20 ind/m²), la comunidad está representada por una sola morfoespecie (*Planorbella sp.*), lo cual impide el cálculo de los índices de Shannon, Simpson y Pielou, ya que estos requieren como mínimo dos categorías para la evaluación probabilística de diversidad y equidad (Magurran, 2004). En términos ecológicos, una riqueza de 1 no puede considerarse una "comunidad" propiamente dicha, sino una monodominancia, que en contextos acuáticos suele ser indicativa de condiciones ambientales limitantes o estresantes (Rosenberg & Resh, 1993).

Tabla 3.3.3-389 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Humea época lluvias.

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO HUMEA	MADREVIEJA_HUMEA_01	7.7	3	1.277	0.306	1.162
	MADREVIEJA_HUMEA_02	20	1	-	-	-

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia exclusiva de *Planorbella* sp., un molusco pulmonado altamente tolerante, en Madrevieja_Humea_02 esta comúnmente relacionado con ambientes eutrofizados o con acumulación de materia orgánica, como suele ocurrir en sistemas con bajo recambio hídrico y posible desconexión temporal con los sistemas lóticos adyacentes.

En resumen, los resultados muestran una comunidad empobrecida en diversidad y estructuración, con un punto que refleja condiciones levemente más diversas (Madrevieja_Humea_01) y otro en estado de probable degradación severa (Madrevieja_Humea_02), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el índice BMWP/Col para la misma Microcuenca.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante el monitoreo realizado en julio de 2024, correspondiente a la temporada de lluvias, se registró una marcada diferencia en la composición y estructura de la comunidad de macrófitas acuáticas entre los cuerpos de agua lénticos (MADREVIEJA_HUMEA_01 y MADREVIEJA_HUMEA_02) y el cuerpo lótico (HUMEA_CL_01A) de la Microcuenca del río Humea, en el área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5. En total, se identificaron cinco morfoespecies distribuidas en dos divisiones (Tracheophyta y Polypodiidae), reflejando una comunidad típicamente adaptada a sistemas acuáticos tropicales influenciados por el régimen hidrológico estacional (Junk W. J., 2011). Los puntos lénticos concentraron toda la diversidad, mientras que en el punto lótico HUMEA_CL_01A no se registraron macrófitas, lo que podría estar asociado a un aumento del caudal, alta turbulencia o alteración del sustrato durante la temporada de lluvia, condiciones poco favorables para el establecimiento de vegetación acuática (Sculthorpe, The biology of aquatic vascular plants, 1985) (**Tabla 3.3.3-390**).

En MADREVIEJA_HUMEA_01, se registró una alta cobertura total (201,67%) dominada por *Salvinia* sp. (Salviniaceae), que representó el 92,73% de la abundancia relativa, seguida por *Ceratopteris* sp. (Pteridaceae), con un 7,27%. Esta composición resalta la predominancia de helechos acuáticos flotantes de la clase Polypodiidae, especialmente las del orden Salviniales, adaptadas a cuerpos de agua poco profundos y de escasa corriente (**Tabla 3.3.3-390**). Este patrón sugiere condiciones de estancamiento, alta disponibilidad de nutrientes y baja perturbación física, características típicas de madreviejas con baja conectividad hidrológica durante la temporada húmeda (Chambers, 2008).

En contraste, el punto MADREVIEJA_HUMEA_02 presentó una menor cobertura total (14,33%) pero una mayor diversidad relativa, con tres morfoespecies pertenecientes a la clase Magnoliidae: *Salvinia auriculata* (41,87%), *Pistia stratiotes* (48,85%) y *Eichhornia crassipes* (9,28%). Esta comunidad representa un ensamblaje funcionalmente diverso compuesto por especies flotantes con capacidades competitivas para colonizar ambientes ricos en nutrientes y con amplia superficie de lámina de agua expuesta (Henry-Silva, 2008) (**Tabla 3.3.3-390**). La diversidad en este punto sugiere un ecosistema en estadio sucesional intermedio, con condiciones físicas moderadas que permiten la coexistencia de varias especies sin que una domine completamente (Odum, 2005).

Por otro lado, la ausencia total de macrófitas en HUMEA_CL_01A, un cuerpo de agua lótico, refuerza los efectos que la dinámica de flujo ejerce sobre estas comunidades. Durante la temporada de lluvias, el incremento en la velocidad del agua, junto con posibles efectos de la captación autorizada, puede causar arrastre mecánico de biomasa y evitar el asentamiento de nuevas colonias, generando condiciones limitantes para el desarrollo de macrófitas (Junk et al.,

1989). Este comportamiento ha sido reportado ampliamente en ríos tropicales con régimen de pulso de inundación, donde las condiciones físicas del hábitat varían drásticamente entre estaciones.

En conjunto, los resultados del muestreo muestran que los cuerpos lénticos albergan comunidades más estructuradas y funcionalmente diversas, dominadas por especies adaptadas a la flotación y colonización rápida de ambientes eutróficos, mientras que el cuerpo lótico presenta limitaciones ecológicas severas durante la temporada húmeda. Estos hallazgos reafirman la importancia de monitorear los cambios estacionales en la estructura de las comunidades acuáticas, especialmente en zonas con presión antrópica directa como el Bloque CPO-5.

Tabla 3.3.3-390 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Humea época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Humea				
				Punto De Muestreo	MADREVIEJA_HUMEA_01		MADREVIEJA_HUMEA_02		HUMEA_CL_01A
				Especie/Morfo especie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia* sp.	187	92,73			No se encontraron especies
				Salvinia auriculata			6	41,87	
		Polypodiales	Pteridaceae	*Ceratopteris* sp.	14,67	7,27			
	Magnoliidae	Commelinales	Pontederiaceae	*Eichhornia crassipes*			1,33	9,28	
		Alismatales	Araceae	*Pistia stratiotes*			7	48,85	
Cobertura Total general					**201,67**	**100**	**14,33**	**100**	**0**
Morfoespecies por Punto					**2**		**3**		**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**5**				

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante el muestreo realizado en julio de 2024 en la Microcuenca del río Humea, en el marco de la modificación de la licencia ambiental del Área de Producción Gangotri (Bloque CPO-5), los índices de diversidad de macrófitas acuáticas solo pudieron ser determinados en el punto léntico MADREVIEJA_HUMEA_02, ya que en MADREVIEJA_HUMEA_01 se registraron únicamente dos morfoespecies, y en el punto lótico HUMEA_CL_01A no se observaron macrófitas. En MADREVIEJA_HUMEA_02, el valor del índice de Shannon-Wiener (H') fue de 0,935, mientras que el índice de Simpson (1-D) fue de 0,421 y la equitatividad de Pielou (J') alcanzó 0,851, lo cual sugiere una diversidad baja a moderada, pero con alta equidad en la distribución de las especies presentes. Estos resultados indican que, aunque la riqueza fue baja (3 morfoespecies), las especies compartieron de manera relativamente equilibrada la cobertura y abundancia dentro del ecosistema, lo que es característico de hábitats lénticos con condiciones tróficas moderadas (Magurran A. E., 2004).

La presencia balanceada de especies como *Pistia stratiotes, Eichhornia crassipes* y *Salvinia auriculata*, todas ellas adaptadas a ambientes con baja turbulencia y alta disponibilidad de nutrientes, puede reflejar un estado ecológico intermedio, sin dominancia absoluta por una sola especie (Chambers, 2008). La alta equitatividad (0,851) señala que las especies coexistentes tienen proporciones similares en la comunidad, lo cual podría deberse a procesos de competencia

limitada y a la estabilidad hidrológica temporal del sitio (Odum, 2005). Por otro lado, la imposibilidad de calcular índices en MADREVIEJA_HUMEA_01 y HUMEA_CL_01A destaca una condición de pobreza taxonómica o ausencia de condiciones propicias para la instalación de comunidades estructuradas, especialmente en el punto lótico, donde el régimen de flujo elevado durante la temporada lluviosa puede impedir el establecimiento de macrófitas acuáticas (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989).

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

La comparación entre las temporadas seca y de lluvias en la Microcuenca del río Humea revela cambios significativos en la composición, cobertura y diversidad de macrófitas acuáticas, asociados principalmente a las fluctuaciones hidrológicas y tróficas. Durante la temporada seca, se registró una mayor riqueza total (7 morfoespecies) y mayor cobertura en el punto lótico HUMEA_CL_01A (113,33%), con especies como *Paspalum repens* y *Calathea* sp. dominando; mientras que en época de lluvias no se encontraron macrófitas en este mismo sitio, lo cual puede explicarse por el aumento del caudal y la turbulencia, que dificultan el asentamiento de estas plantas (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989). En cuanto a los cuerpos lénticos, en la madrevieja HUMEA_01, la temporada seca presentó mayor riqueza (4 especies) y diversidad (H'=1,277) que en lluvias (2 especies, sin índice aplicable), evidenciando que el período seco favorece una mayor estructuración comunitaria y coexistencia de especies (Magurran A. E., 2004). Sin embargo, en la madrevieja HUMEA_02, aunque la riqueza fue baja en ambas temporadas (2 en seca, 3 en lluvias), los valores de equitatividad se mantuvieron altos (J' > 0,85), sugiriendo una distribución uniforme incluso bajo condiciones climáticas variables (Odum, 2005). En general, la diversidad fue mayor en la temporada seca, probablemente por la mayor estabilidad hídrica y menor perturbación física, condiciones que facilitan la colonización y competencia equilibrada entre macrófitas (Chambers, 2008).

3.3.3.2.25 Microcuenca río Meta

La Microcuenca del río Meta, una de las más importantes del oriente colombiano, constituye un eje ecológico y social estratégico para la región de los Llanos Orientales. Su relevancia se manifiesta tanto en la provisión de recursos hídricos para actividades productivas y de subsistencia de comunidades locales como en su papel como corredor biológico dentro del sistema Orinoquia. Esta Microcuenca se caracteriza por una topografía predominantemente plana, con extensas planicies aluviales, suelos de baja fertilidad y una red hídrica densa, lo que favorece una alta diversidad de hábitats acuáticos, incluidos ecosistemas lóticos y lénticos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). En este contexto, se llevó a cabo un monitoreo de comunidades hidrobiológicas en seis puntos de la Microcuenca del río Meta, abarcando tres ecosistemas lóticos (META_CL_01A, punto de captación autorizado por licencia ambiental, y los puntos META_CL_02 y META_CL_03) y tres ecosistemas lénticos (META_CLE_01, MADREVIEJA META_01 y MADREVIEJA META_02). Así, este tipo de evaluaciones permiten no solo diagnosticar el estado de salud de los cuerpos de agua, sino también orientar acciones de conservación y gestión ambiental en una región cuya dinámica hídrica está fuertemente influenciada por la estacionalidad climática y la presión antrópica creciente.

Finalmente, se describen dos puntos de muestreo que permiten caracterizar igual número de cuerpos de agua y que se toman como "Drenajes directos al río Meta" y se codifican como OCmn4 ubicado en el caño Santa Marta y OCMY7 localizado sobre el caño NN. Se presentan los resultados de la caracterización de los puntos OCmn4 y OCMY7, que corresponden a ocupaciones de cauce sobre caños aislados que desembocan directamente al río Meta. Estos puntos cuentan con características propias que los diferencian de los puntos ubicados sobre esta misma cuenca, por lo cual se comparan entre sí por temporada hidroclimática. Adicionalmente, es importante aclarar no se toman más puntos (aguas arriba y aguas abajo), debido a la corta distancia de sus drenajes, a la presencia de un mismo patrón de drenaje a lo largo del cuerpo de agua, a la inexistencia de obras civiles y por la verificación por medio de sobrevuelos de drones de la no existencia usuarios, aprovechamiento, impactos, vertimientos o captaciones.

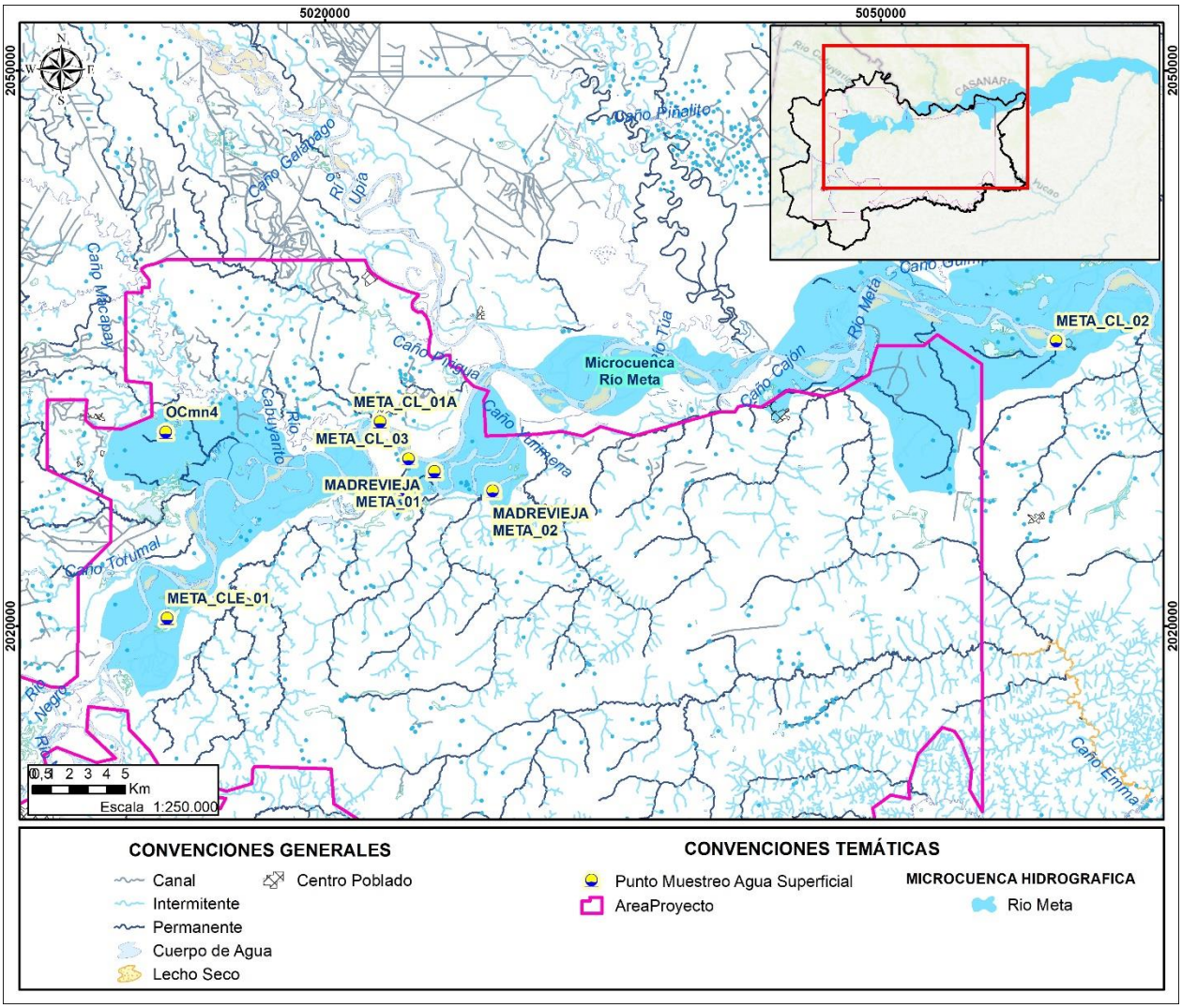


Figura 3.3.3-164 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Meta

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el río Meta, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad fitoplanctónica en las estaciones MADREVIEJA_META_02, META_CLE_01 y MADREVIEJA_META_01 de la Microcuenca del Río Meta durante la época seca revela un ensamble de baja abundancia total (0.665 ind/mL), dominado por Euglenophyta (48.7% de la abundancia total) y diatomeas (Bacillariophyceae: 33.1%), con contribuciones menores de Charophyta (7.1%) y Cyanobacteria (3.9%). La estación MADREVIEJA_META_02 presenta la mayor abundancia (0.407 ind/mL, dominada por *Trachelomonas* (41.8%) y *Lepocinclis* (25.8%) (**Figura 3.3.3-165**), bioindicadores claros de aguas eutróficas con alta materia orgánica (Wołowski et al., 2013). En contraste, META_CLE_01 reporto una abundancia total (0.141 ind/mL) y MADREVIEJA_META_01 (0.117 ind/mL) (**Tabla 3.3.3-391**) muestran comunidades más diversas, con predominio de diatomeas como *Pinnularia* (38.3% y 53.8% relativo respectivamente) y *Eunotia* (16.3% y 24.8%), sugiriendo condiciones menos eutróficas, pero con influencia de sustratos ácidos (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La presencia de cianobacterias (*Phormidium*, *Spirulina*) en META_CLE_01 (18.4% de su abundancia) indica posibles fluctuaciones en nutrientes, mientras que los desmidios (*Cosmarium*, *Desmidium*) en ambas estaciones marginales (8.5-10.3%) reflejan conexiones residuales con microhumedales adyacentes. La marcada diferencia composicional entre MADREVIEJA_META_02 (dominada por Euglenophyta) y las otras estaciones (con más diatomeas) sugiere un gradiente de perturbación, donde la primera representa zonas de mayor estancamiento y acumulación orgánica durante la sequía, mientras que las últimas mantienen cierta influencia lótica a través de *Pinnularia* y *Eunotia*, géneros típicos de aguas con flujo intermitente (Round et al., 1990). La interacción con sistemas terrestres se evidencia en la presencia de *Aulacoseira* (4.8% en MADREVIEJA_META_02), diatomea que prolifera con aportes alóctonos de sílice desde suelos inundables (Siver & Hamer, 1992).

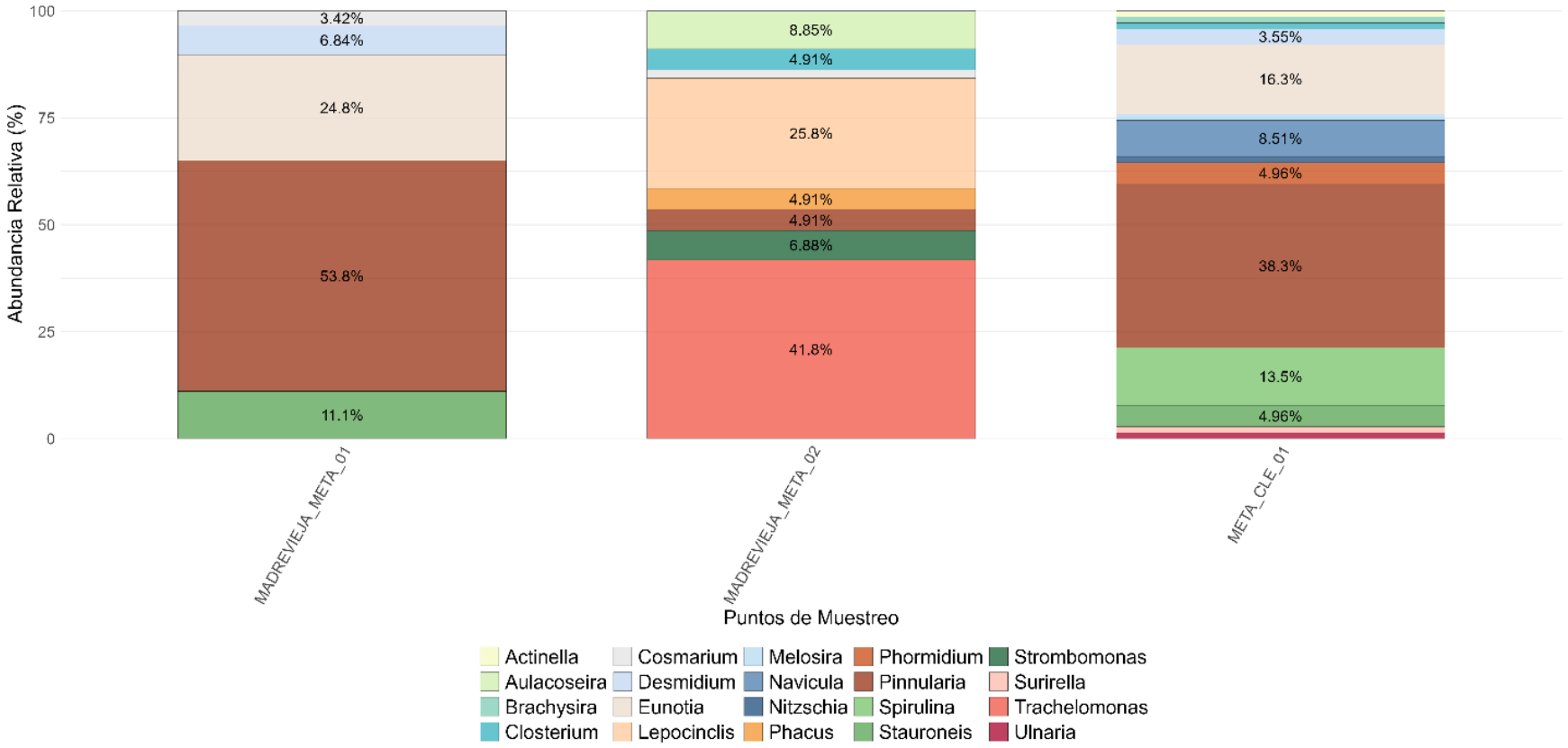


Figura 3.3.3-165 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta Época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, la Microcuenca del Río Meta presenta un estado ecológico heterogéneo durante la época seca**,** con áreas críticas de eutrofización (MADREVIEJA_META_02) y zonas mejor conservadas (META_CLE_01, MADREVIEJA_META_01). La calificación de la Microcuenca sería regular, con base en la dominancia de Euglenophytas indicadoras de contaminación orgánica, la baja abundancia general menor a 1 ind/mL, y la preservación parcial de diatomeas sensibles. La interacción con sistemas lóticos parece limitada a flujos residuales, mientras que la terrestre se manifiesta en taxones vinculados a sustratos orgánicos. Estos resultados coinciden con patrones reportados en llanuras del Orinoco (Gómez et al., 2017), donde la sequía acentúa la segregación de hábitats fitoplanctónicos.

Tabla 3.3.3-391 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta Época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Meta			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_META_02	META_CLE_01	MADREVIEJA_META_01	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,17			0,17
				Strombomonas	0,028			0,028
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,105			0,105
				Phacus	0,02			0,02
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,02	0,054	0,063	0,137
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*		0,007	0,013	0,02
			Naviculaceae	*Navicula*		0,012		0,012
			Brachysiraceae	*Brachysira*		0,002		0,002
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Actinella*		0,002		0,002
				Eunotia		0,023	0,029	0,052
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*		0,002		0,002
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		0,002		0,002
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*		0,002		0,002
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	0,036			0,036
		Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*		0,002		0,002
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*		0,007		0,007
		Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina*		0,019		0,019
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	0,02	0,002		0,022
			Desmidiaceae	*Cosmarium*	0,008		0,004	0,012
				Desmidium		0,005	0,008	0,013
Gran Total					**0,407**	**0,141**	**0,117**	**0,665**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices ecológicos en las tres estaciones monitoreadas (MADREVIEJA_META_01, MADREVIEJA_META_02 y META_CLE_01) revela un escenario ecológico diferenciado en la comunidad perifítica de esta llanura inundable durante la época seca. La estación META_CLE_01 emerge como la de mayor salud ecológica, evidenciada por su elevada riqueza de especies (14 géneros), alto índice de Shannon (2.22) que indica diversidad significativa, y valores destacados de uniformidad (Pielou = 0.841) junto con baja dominancia (Simpson = 0.14) (**Tabla 3.3.3-392**).

Estos parámetros sugieren un ambiente equilibrado donde ninguna especie domina excesivamente, característico de sistemas con buena calidad de agua y hábitats diversos. En contraste, MADREVIEJA_META_02 muestra una situación particular: aunque posee la mayor abundancia (0.407 ind/mL) y una riqueza intermedia ocho géneros, su altísima uniformidad (Pielou = 0.959) combinada con baja dominancia (Simpson = 0.166) (**Tabla 3.3.3-392**) podría indicar un ambiente sometido a presiones selectivas que favorecen una distribución atípicamente homogénea. Por último, MADREVIEJA_META_01 presenta los valores más bajos en abundancia (0.117 ind/mL) y riqueza (cinco géneros), con diversidad moderada (Shannon = 1.206) (**Tabla 3.3.3-392**), lo que sugiere condiciones ambientales menos favorables o posible impacto localizado.

En conclusión, el estado ecológico de la Microcuenca considerando conjuntamente los tres puntos de muestreo, la Microcuenca del Río Meta presenta una calificación ecológica intermedia regular durante la época seca. Esta evaluación se fundamenta en la coexistencia de áreas bien conservadas (META_CLE_01) con zonas que muestran indicios de perturbación (MADREVIEJA_META_01), los patrones de abundancia que sugieren una distribución heterogénea de recursos, y la presencia simultánea de ambientes con dominancia equilibrada y otros con posible estrés selectivo como puede ser el impacto antrópico o el cambio en la dinámica de los ecosistemas por la época La marcada diferencia entre estaciones cercanas resalta la importancia de considerar la variabilidad espacial en estos ecosistemas inundables. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Biggs B. F., 1996) para llanuras aluviales, donde la época seca acentúa la heterogeneidad microambiental y la consiguiente variación en las comunidades perifíticas.

Tabla 3.3.3-392 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca río Meta Época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_META_01	0.117	5	1.206	0.379	0.749
MADREVIEJA_META_02	0.407	8	1.995	0.166	0.959
META_CLE_01	0.141	14	2.22	0.14	0.841

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del zooplancton en los sistemas lóticos monitoreados (Madrevieja_Meta_02, Meta_Cle_01 y Madrevieja_Meta_01) durante la época seca en la llanura inundable del río Meta presenta una comunidad dominada por microorganismos de los filos Rotifera, Amoebozoa y Cercozoa, con una abundancia total de 0.0529 Ind/mL (**Tabla 3.3.3-393**) .

La riqueza de morfoespecies es baja, destacándose géneros como *Arcella* (Arcellidae), *Lecane* (Lecanidae), *Colurella* (Lepadellidae), *Euglypha* (Euglyphidae) y *Trinema* (Trinematidae). La estación Madrevieja_Meta_02 registró la mayor abundancia (0.0363 Ind/mL) (37.47), dominada por *Lecane* (0.0182 Ind/mL) (50.12%) y *Trinema* (0.0136 Ind/mL) (37.47%), lo que sugiere una preferencia por hábitats con mayor retención de agua o materia orgánica en condiciones secas.

En contraste, Meta_Cle_01 mostró una comunidad más equilibrada entre protozoos (*Arcella*, *Euglypha*) y rotíferos, mientras que Madrevieja_Meta_01 presentó la menor diversidad, con solo *Colurella* (0.0035 Ind/mL) (100%) (**Tabla 3.3.3-393**) (**Figura 3.3.3-166**), posiblemente debido a una mayor influencia de condiciones extremas como la desecación.

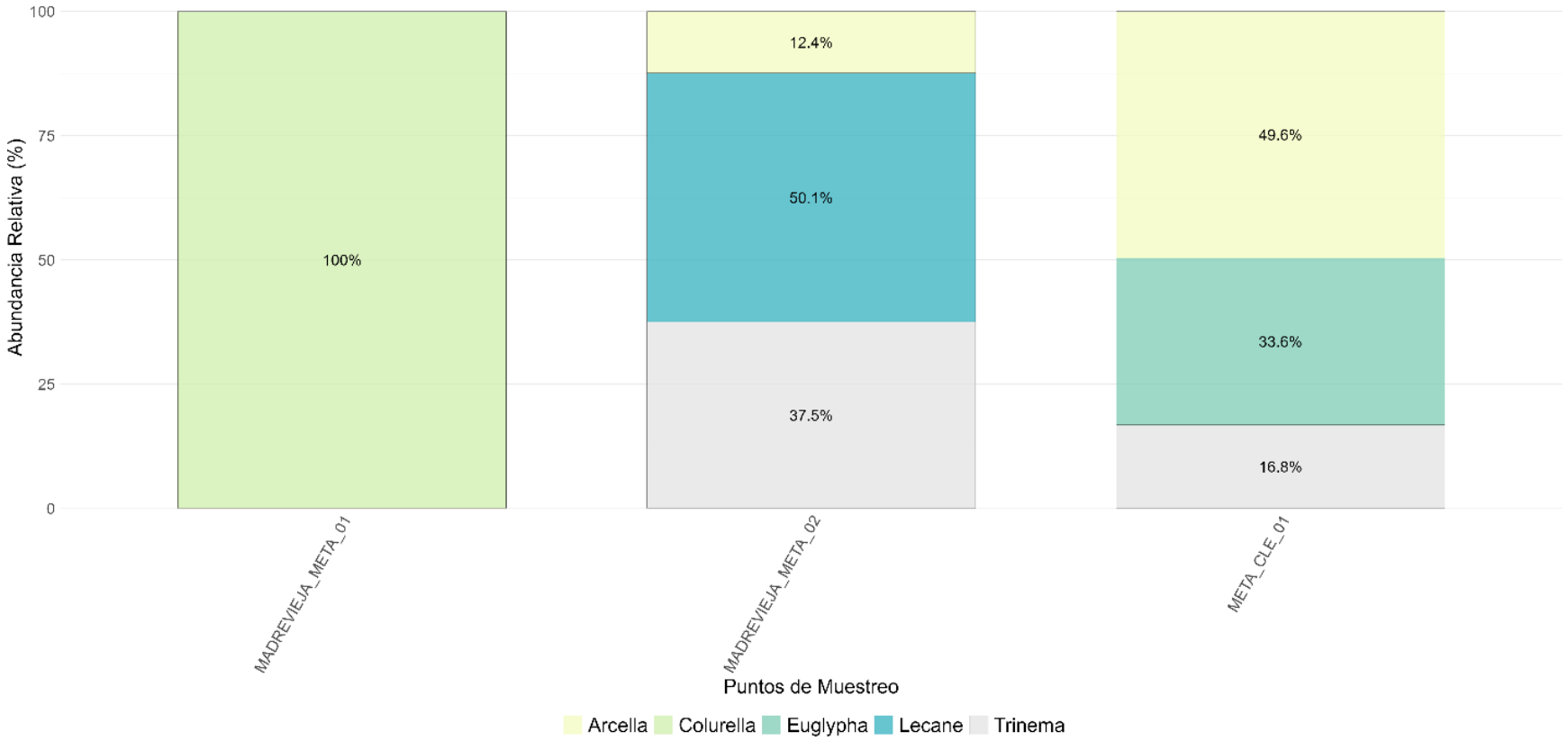


Figura 3.3.3-166 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta Época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de *Lecane* (tolerante a bajas concentraciones de oxígeno) y *Arcella* (asociada a sedimentos ricos en detritos) refleja un ambiente con estrés hídrico y acumulación de materia orgánica, típico de la época seca en llanuras inundables (Gómez et al., 2017). La interacción entre sistemas lóticos y terrestres se evidencia en la dominancia de taxones bentónicos (*Arcella*, *Trinema*), que aprovechan el sustrato expuesto por la reducción del nivel del agua. Además, la baja riqueza sugiere un impacto significativo de la estacionalidad, limitando la conectividad con sistemas lóticos adyacentes y reduciendo el intercambio de especies (Wallace R. L. et al., 2016).

En conclusión, el ensamble zooplanctónico en la Microcuenca del río Meta durante la época seca está estructurado por condiciones de hábitat fragmentado y estrés ambiental, con dominancia de especies resistentes a la desecación y alta carga orgánica. La interacción entre sistemas lóticos y terrestres es crítica para mantener la biodiversidad, aunque la desconexión hidrológica limita la riqueza. Estos resultados coinciden con patrones reportados en otras llanuras neotropicales (Gómez et al., 2017), donde la sequía actúa como filtro ecológico, favoreciendo morfotipos adaptados a ambientes efímeros.

Tabla 3.3.3-393 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta Época seca

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxa	Río Meta			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_META_02	META_CLE_01	MADREVIEJA_META_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0045	0,0065		0,011
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Lecanidae	*Lecane*	0,0182			0,0182
			Lepadellidae	*Colurella*			0,0035	0,0035
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*		0,0044		0,0044
			Trinematidae	*Trinema*	0,0136	0,0022		0,0158
Grand Total					**0,0363**	**0,0131**	**0,0035**	**0,0529**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los resultados del análisis de diversidad en los tres puntos de muestreo de la Microcuenca del río Meta revelan un gradiente ecológico significativo durante la época seca. El punto MADREVIEJA_META_02 presenta la mayor abundancia zooplanctónica (0.0363 Ind/mL) con una riqueza de tres morfoespecies, mostrando valores de diversidad moderados (Shannon = 0.974, Simpson = 0.406) y una equitatividad alta (Pielou = 0.887) (**Tabla 3.3.3-394**), lo que indica un ambiente con estructura comunitaria relativamente equilibrada. En contraste, META_CLE_01, aunque con menor abundancia (0.0131 Ind/mL) pero igual riqueza (**Tabla 3.3.3-394**), exhibe valores ligeramente superiores en los índices de diversidad (Shannon = 1.011, Simpson = 0.389) y equitatividad (Pielou = 0.92), sugiriendo una distribución más uniforme de las especies a pesar de las condiciones secas. El punto MADREVIEJA_META_01 evidencia claramente el impacto del estrés hídrico, con una única especie presente (riqueza = 1) y abundancia mínima (0.0035 Ind/mL), reflejado en los valores nulos de Shannon y máxima dominancia (Simpson = 1)

(**Tabla 3.3.3-394**), característicos de ambientes severamente perturbados o con limitaciones extremas de hábitat.

Considerando estos resultados en conjunto, la Microcuenca del río Meta presenta una calificación ecológica heterogénea que varía entre moderada y crítica según el punto evaluado. Mientras MADREVIEJA_META_02 y META_CLE_01 muestran comunidades con capacidad de resiliencia intermedia, aunque con diferencias en su estructura (mayor abundancia versus mayor equitatividad respectivamente), MADREVIEJA_META_01 representa un claro indicador de degradación ambiental localizada. Esta variabilidad espacial subraya la importancia de los factores microambientales y la conectividad hidrológica en el mantenimiento de la biodiversidad zooplanctónica en llanuras inundables durante períodos secos.

La evaluación ecológica de la Microcuenca sugiere un sistema bajo presión, donde la conservación de los microhábitats que sustentan la diversidad en puntos como MADREVIEJA_META_02 y META_CLE_01 resulta crucial para mantener la funcionalidad ecológica del conjunto. Estos patrones coinciden con lo reportado en estudios similares en sistemas neotropicales, donde la fragmentación del hábitat y la estacionalidad generan respuestas diferenciales en las comunidades acuáticas (Gómez et al., 2017). La presencia simultánea de puntos con diversidad aceptable y otros críticamente pobres señala la necesidad de enfoques de manejo adaptativo que consideren esta heterogeneidad espacial en la planificación de estrategias de conservación.

Tabla 3.3.3-394 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Meta Época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_META_01	0.0035	1	0	1	
MADREVIEJA_META_02	0.0363	3	0.974	0.406	0.887
META_CLE_01	0.0131	3	1.011	0.389	0.92

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton tanto en sistemas lóticos como lénticos durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). Por otro lado, en sistemas lénticos, la contracción del espejo de agua y el aumento de la estratificación térmica también afectan negativamente el éxito reproductivo y la viabilidad del ictioplancton. Además, la época seca no coincide con los aumentos de caudal que estimulan la reproducción en muchas especies migratorias, lo que reduce la probabilidad de presencia de estados larvales en el ambiente (Winemiller K. O., 1989). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El análisis del perifiton en los tres puntos de muestreo (META_CL_01A, META_CL_02 y META_CL_03) del sistema lótico del río Meta durante la época seca revela una comunidad dominada por diatomeas (Heterokontophyta) y algas verdes (Chlorophyta), con una abundancia total de 264 Ind/cm^2. La estación META_CL_03 presenta la mayor abundancia (150.9 Ind/ cm^2) y diversidad de morfoespecies, destacándose los géneros *Ulnaria* (67.4 Ind/mL), *Pinnularia* (53.8 Ind/ cm^2) y *Aulacoseira* (29.9 Ind/ cm^2), que en conjunto representan el 57% de la comunidad total. Estos taxones, característicos de aguas bien oxigenadas, pero con cierta tolerancia a fluctuaciones de nutrientes, sugieren condiciones de corriente estable, pero con influencia de materia orgánica. Por su parte, META_CL_02 muestra una abundancia intermedia (92.1 Ind/ cm^2) con dominancia de *Ulnaria* (24.3 Ind/cm^2) y *Gyrosigma* (14.1 Ind/cm^2), mientras que META_CL_01A, con la menor abundancia (21 Ind/mL), presenta una comunidad más equilibrada entre *Pinnularia* (11.2 Ind/cm^2) y *Frustulia* (4.2 Ind/cm^2), indicando posiblemente condiciones más variables o con mayor influencia terrestre.

Desde la perspectiva de bioindicación, la presencia de *Aulacoseira* y *Ulnaria* en altas densidades señala condiciones de flujo moderado y buena disponibilidad de sílice, típicas de sistemas lóticos en épocas secas (Potapova & Charles, 2007). La notable abundancia de *Pinnularia*, género asociado a sustratos estables y aguas claras, refuerza esta interpretación. Por otro lado, la aparición de Chlorophyta como *Desmodesmus* y *Oedogonium* en META_CL_03 sugiere zonas con mayor retención de nutrientes, posiblemente por interacciones con áreas terrestres adyacentes o aportes de materia orgánica desde la llanura inundable. La interacción entre sistemas lóticos y terrestres se evidencia especialmente en la distribución de *Pediastrum* y *Cosmarium*, géneros que aprovechan microhábitats en zonas de transición agua-tierra.

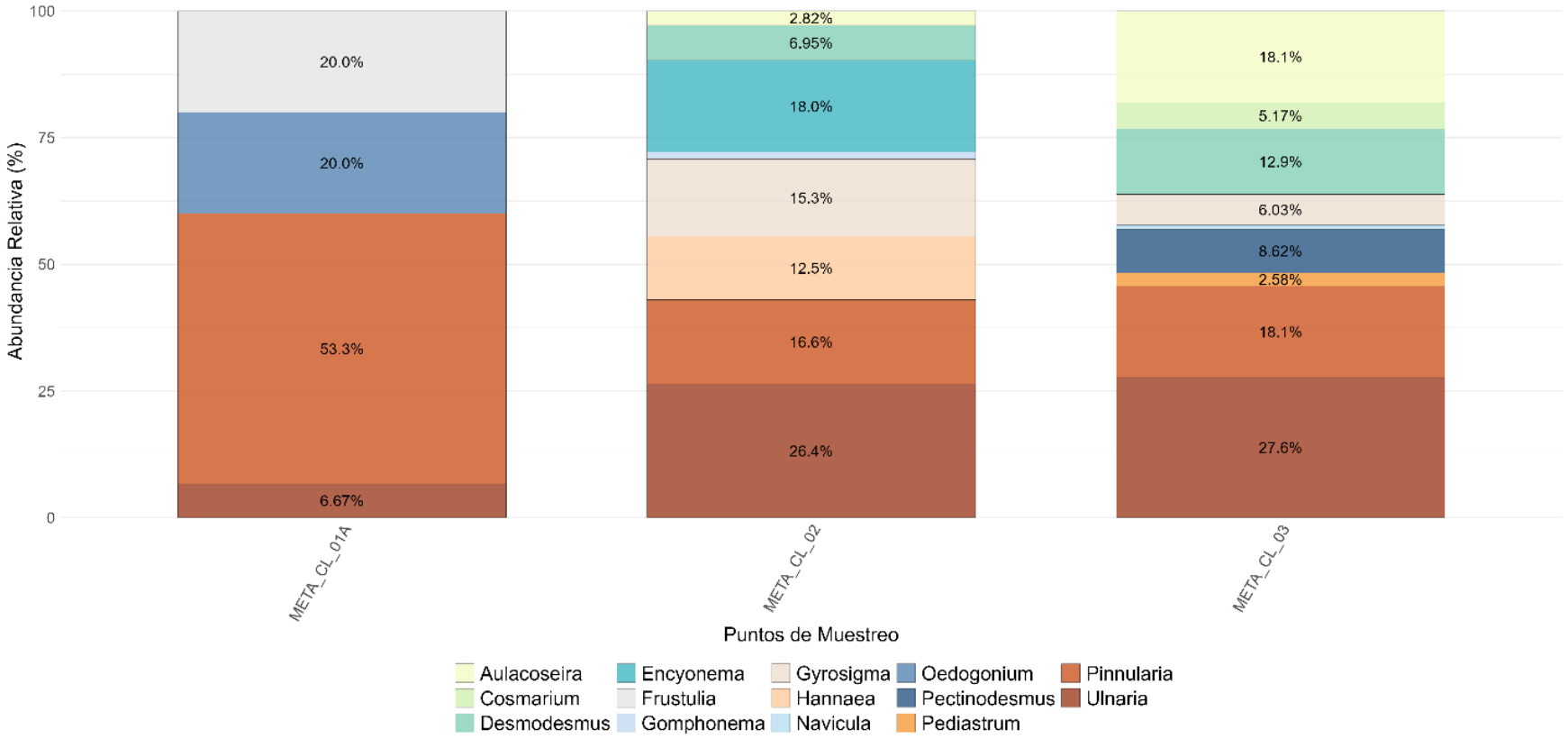


Figura 3.3.3-167 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta Época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En conclusión, el ensamble perifítico del río Meta durante la época seca refleja un sistema lótico con gradientes espaciales marcados, donde META_CL_03 actúa como zona de mayor productividad y diversidad, posiblemente por su posición en la red hidrográfica que favorece la retención de nutrientes. La presencia combinada de diatomeas indicadoras de buena calidad del agua (*Pinnularia*, *Gyrosigma*) con algas verdes tolerantes a condiciones variables (*Desmodesmus*) sugiere un sistema en transición entre condiciones lóticas y lenticas, característico de llanuras inundables en períodos de baja conectividad hidrológica. Estos resultados coinciden con estudios en otros sistemas neotropicales, donde la estructura del perifiton responde a la compleja interacción entre factores hidrológicos y aportes terrestres durante la estación seca (Biggs B. F., 1996); (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010). La conservación de estos ensambles requiere estrategias que consideren tanto la protección de los flujos hídricos como el manejo integrado de las áreas ribereñas adyacentes.

Tabla 3.3.3-395 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta Época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Meta			Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					META_CL_01A	META_CL_02	META_CL_03	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*		16,6		16,6
			Gomphonemataceae	*Gomphonema*		1,3		1,3
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	11,2	15,3	27,3	53,8
			Amphipleuraceae	*Frustulia*	4,2			4,2
			Naviculaceae	*Gyrosigma*		14,1	9,1	23,2
				Navicula			1,3	1,3
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	1,4	24,3	41,7	67,4
				Hannaea		11,5		11,5
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*		2,6	27,3	29,9
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	4,2			4,2
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*		6,4	19,5	25,9
				Pectinodesmus			13	13
			Hydrodictyaceae	*Pediastrum*			3,9	3,9
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*			7,8	7,8
Gran Total					**21**	**92,1**	**150,9**	**264**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad para la comunidad perifítica en los tres puntos de muestreo del sistema lótico del río Meta (META_CL_01A, META_CL_02 y META_CL_03) revelan patrones ecológicos significativos durante la época seca. La estación META_CL_03 presenta la mayor abundancia (150.9 Ind/ cm^2) y riqueza de especies de nueve géneros, acompañada de valores altos en los índices de Shannon (1.965) y Simpson (0.167), lo que indica una comunidad diversa con baja dominancia y buena distribución equitativa, a pesar del valor ligeramente reducido de Pielou (0.894) que sugiere una mínima influencia de factores limitantes. META_CL_02 muestra una abundancia considerable (92.1 Ind/cm^2) con ocho géneros y un perfil de diversidad similar (Shannon = 1.939, Simpson = 0.162), pero con mayor equitatividad (Pielou = 0.932), reflejando condiciones ambientales más estables. En contraste, META_CL_01A, con la menor abundancia (21 Ind/cm^2) y riqueza (4 especies), mantiene una diversidad aceptable (Shannon = 1.459) pero

con mayor dominancia (Simpson = 0.262) y un valor de Pielou de (1.0) (**Tabla 3.3.3-396**), que señalan condiciones microambientales particulares que favorecen una distribución extremadamente equitativa en una comunidad pobre.

La evaluación ecológica integrada de la Microcuenca sugiere un gradiente de calidad que mejora progresivamente desde META_CL_01A (condiciones moderadas) hasta META_CL_03 (óptimas). Esta variación espacial podría responder a diferencias en la conectividad hidrológica, disponibilidad de sustratos o aportes de nutrientes, donde los puntos con mayor abundancia y diversidad (META_CL_02 y META_CL_03) corresponderían a zonas con mayor estabilidad ambiental y posible influencia de áreas ribereñas que enriquecen el hábitat perifítico. La relativa baja dominancia en todos los puntos (Simpson menor a 0.3) indica ausencia de presiones ecológicas extremas, aunque la marcada diferencia en abundancia total sugiere que factores como la profundidad, velocidad de corriente o interacciones con el sistema terrestre están modulando la productividad del perifiton. En conjunto, la Microcuenca mostraría una calificación ecológica entre buena y muy buena, con particular resiliencia en sus sectores medios y bajos (META_CL_02 y META_CL_03), característica de sistemas lóticos bien conservados en llanuras inundables neotropicales durante períodos secos (Biggs B. F., 1996); (Stevenson et al., Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems, 2010).

Tabla 3.3.3-396 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Meta Época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
META_CL_01A	21	4	1.459	0.262	1.0
META_CL_02	92.1	8	1.939	0.162	0.93
META_CL_03	150.9	9	1.965	0.167	0.89

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el punto de monitoreo META_CL_01A, revela una comunidad extremadamente simplificada, con una única morfoespecie registrada perteneciente al phyllum Annelida, clase Clitellata, orden Lumbriculida, familia Lumbriculidae, con una abundancia de 16,7 individuos/m² (**Tabla 3.3.3-397**). En términos estructurales, al identificarse una única morfoespecie, sin diversidad de clases ni órdenes adicionales, imposibilita establecer una caracterización ecológica completa de la comunidad desde una perspectiva funcional y trófica.

Tabla 3.3.3-397 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta

Época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Meta	Abundancia Total Microcuenca (Ind/M2)
						META_CL_01A	
Annelida	Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	-	*Lumbriculidae* Mf.	16,7	16,7
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**17**	**17**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la bioindicación, la presencia exclusiva de oligoquetos de la familia Lumbriculidae es indicativa de condiciones ambientales adversas. Este grupo taxonómico es ampliamente reconocido por su alta tolerancia a ambientes empobrecidos en oxígeno, con altos niveles de materia orgánica y sedimentos finos, y por su capacidad para sobrevivir en hábitats perturbados o eutrofizados (Roldan G. , 1996; Timm & Veldhijzen van Zanten, 2002). Su dominio absoluto en el punto META_CL_01A sugiere un entorno con baja heterogeneidad estructural, potencialmente asociado a procesos de sedimentación intensa y condiciones hidrológicas limitantes propias de la época seca, que afectan la oxigenación del hábitat y restringen la presencia de otros macroinvertebrados más sensibles (Rosenberg & Resh, 1993).

La imposibilidad de calcular índices de diversidad alfa como Shannon, Simpson o Pielou, así como el índice BMWP/Col, se justifica por la carencia de riqueza taxonómica. Estos índices requieren la presencia de al menos dos morfoespecies para evaluar adecuadamente aspectos como la equitatividad y la sensibilidad de la comunidad, parámetros esenciales para una interpretación ecológica rigurosa (Magurran A. E., 2004; Roldan G. , 2003). La exclusividad de un solo taxón hace que cualquier valor calculado resulte inválido desde un punto de vista metodológico y ecológico.

En cuanto a la interacción ecosistémica, la pobreza del ensamble sugiere un bajo nivel de conectividad funcional entre sistemas lénticos, lóticos y terrestres en la Microcuenca del río Meta en este punto específico. La ausencia de insectos acuáticos, moluscos y otros grupos comúnmente presentes en cuerpos de agua con mayor integridad ecológica podría estar relacionada con la falta de refugios, vegetación ribereña o microhábitats que actúan como conectores ecológicos (Allan & Castillo, 2007). Esta condición puede verse intensificada durante la época seca, cuando la reducción del caudal limita aún más los intercambios ecológicos entre sistemas, fragmentando la funcionalidad del paisaje.

En conclusión, el punto META_CL_01A evidencia un estado de empobrecimiento ecológico extremo, caracterizado por una comunidad bentónica dominada por Lumbriculidae, lo que sugiere alteraciones severas en la calidad del hábitat y posibles presiones antrópicas o climáticas.

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico de la Microcuenca del Río Meta, presentó una comunidad notablemente reducida compuesta por seis (6) morfoespecies distribuidas en un (1) phylum (Arthropoda), una (1) clase (Insecta), tres (3) órdenes (Diptera, Coleóptera y Hemiptera), cinco (5) familias (Chironomidae, Ceratopogonidae, Dytiscidae, Hydrochidae y Naucoridae) y dos (2) géneros identificados (*Probezzia* y *Pelocoris*), con una abundancia total de 10 ind/m². La estación MADREVIEJA_META_01 mostró la mayor riqueza (4 morfoespecies) y abundancia (6 ind/m²), seguida de META_CLE_01 (1 morfoespecie, 3 ind/m²) y MADREVIEJA_META_02 (1 morfoespecie, 1 ind/m²), siendo *Probezzia* sp. el taxón más abundante (3,3 ind/m²) encontrado exclusivamente en META_CLE_01, mientras que los demás organismos se distribuyeron escasamente entre las otras estaciones (**Tabla 3.3.3-398**).

Tabla 3.3.3-398 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta Época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Meta			Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						MADREVIEJA_META_02	META_CLE_01	MADREVIEJA_META_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.			1,1	1,1
			Ceratopogonidae		Ceratopogonidae Mf.			2,2	2,2
				Probezzia	*Probezzia* sp.		3,3		3,3
		Coleóptera	Dytiscidae	-	Dytiscidae Mf.			1,1	1,1
			Hydrochidae		Hydrochidae Mf.			1,1	1,1
		Hemiptera	Naucoridae	*Pelocoris*	*Pelocoris* sp.	1,1			1,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**3**	**6**	**10**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad muestra características preocupantes, con predominio de grupos tolerantes como Chironomidae y Ceratopogonidae, y ausencia total de taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera o Trichoptera (EPT), lo que sugiere condiciones ambientales adversas para el desarrollo de comunidades acuáticas diversas (Roldan & Ramirez, 2008). La presencia aislada de *Pelocoris* sp. (Naucoridae) en MADREVIEJA_META_02 y de Dytiscidae en MADREVIEJA_META_01 indica cierta conexión ecológica con sistemas lóticos, aunque la escasa abundancia de estos organismos sugiere que estas interacciones son limitadas durante la época seca. La marcada pobreza de la comunidad en las tres estaciones, con abundancias totales extremadamente bajas (1-6 ind/m²), podría atribuirse a múltiples factores: condiciones naturales extremas propias de la época seca en la altillanura (disminución crítica del volumen de agua, aumento de temperatura, posible hipoxia), efectos de perturbaciones antropogénicas, o una combinación de ambos (Pinzón-Candelario et al., 2024).

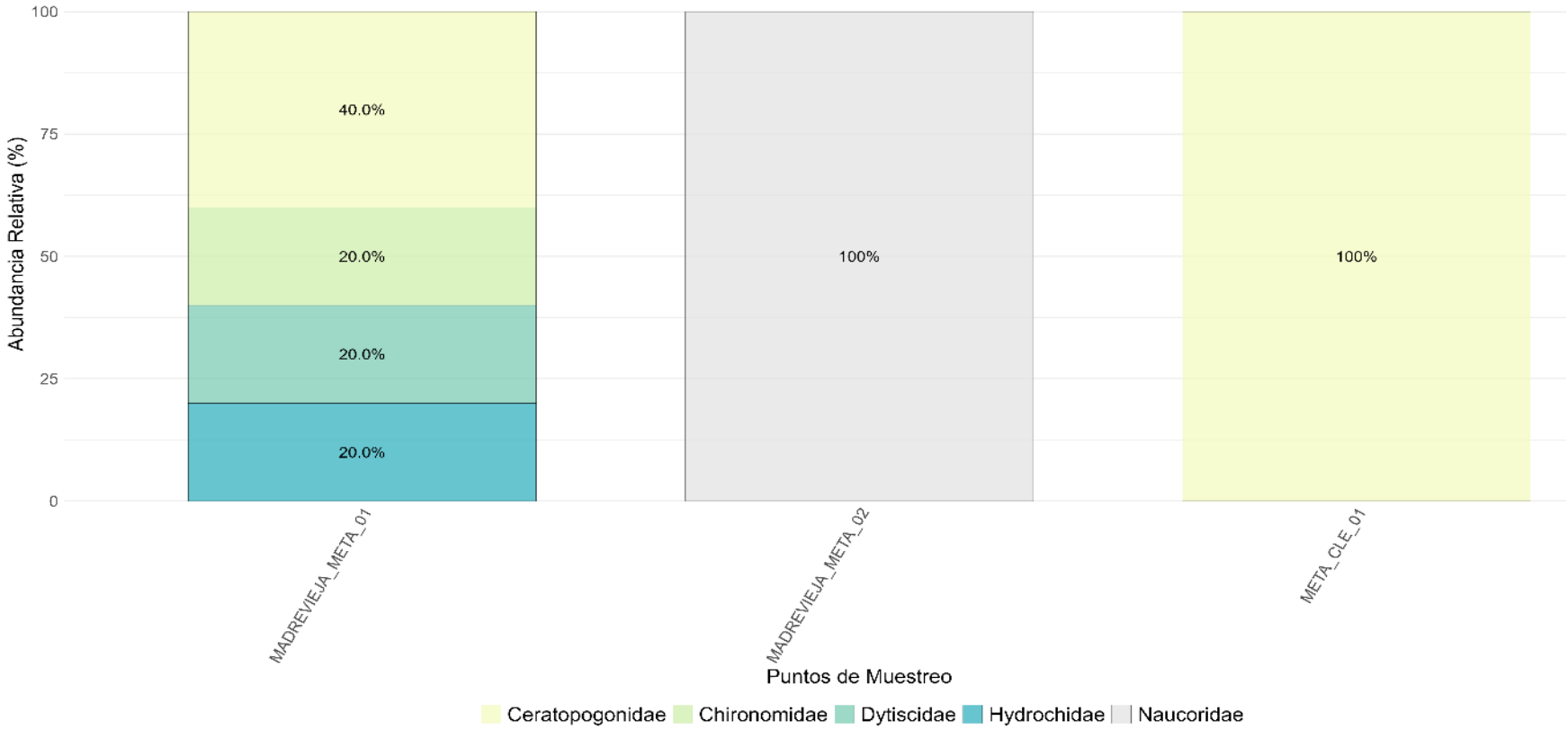


Figura 3.3.3-168 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta Época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Es así como la interacción con sistemas terrestres parece mínima, evidenciada por la ausencia de taxones típicamente asociados a interfaces ecológicas tierra-agua, mientras que la conexión con otros sistemas acuáticos queda sugerida únicamente por la presencia de Dytiscidae, familia que incluye especies con capacidad de dispersión aérea. La distribución desigual de las morfoespecies entre estaciones (ningún taxón compartido entre las tres estaciones) refleja una heterogeneidad espacial pronunciada en las condiciones del hábitat, donde cada punto parece funcionar como una unidad ecológica casi independiente durante el estiaje (Wantzen K. M. et al., 2008). La ausencia de moluscos y otros grupos típicamente asociados a sistemas lénticos estables refuerza la hipótesis de condiciones ambientales restrictivas en todo el sistema.

En conclusión, el ensamble estudiado en el Río Meta durante la época seca muestra características de un sistema ecológicamente limitado, con comunidades acuáticas extremadamente empobrecidas en todas las estaciones monitoreadas, lo que refleja probablemente las condiciones ambientales críticas del período de estiaje en la altillanura, aunque no puede descartarse la influencia de presiones antropogénicas. La escasa abundancia total (10 ind/m² en todo el sistema) y la baja riqueza específica (6 morfoespecies) sugieren una capacidad muy reducida para mantener interacciones biológicas significativas, mientras que la distribución desigual de los organismos entre estaciones indica una conectividad limitada entre los diferentes sectores del sistema durante la época seca (Dudgeon, 2020).

En relación con lo anterior, el análisis del índice BMWP/Col para los cuerpos de agua lénticos de la Microcuenca del río Meta, indica un estado ecológico muy comprometido. Todos los puntos se clasifican en la clase V, correspondiente a una calidad muy crítica, con valores de BMWP de 13, 8 y 5, respectivamente. Según la interpretación del índice adaptada para Colombia, estos puntajes reflejan una comunidad de macroinvertebrados dominada por taxones altamente tolerantes a la contaminación, lo que sugiere condiciones ambientales degradadas, aunque dentro del umbral que el índice clasifica como "aguas moderadamente contaminadas" (**Tabla 3.3.3-399**).

Tabla 3.3.3-399 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Meta Época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO META	MADREVIEJA_META_01	V	Muy crítica	13	Aguas moderadamente contaminadas
	MADREVIEJA_META_02	V	Muy crítica	8	Aguas moderadamente contaminadas
	META_CLE_01	V	Muy crítica	5	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Sin embargo, es importante considerar que el BMWP/Col fue originalmente diseñado para ecosistemas lóticos y se basa en la sensibilidad de ciertos grupos de macroinvertebrados a la contaminación orgánica en ríos y quebradas de corriente continua (Roldan G. , 2003). Su aplicación en ambientes lénticos, como madreviejas o lagunas, puede subestimar o sobreestimar el impacto real, debido a las diferencias en la estructura de la comunidad y la dinámica hidrobiológica de estos sistemas. Por ejemplo, en cuerpos de agua lénticos es común encontrar dominancia de géneros como Chironomidae o Naididae, que aunque son representativos de ambientes impactados, también son funcionalmente importantes en estos ecosistemas por su rol en el procesamiento de materia orgánica (Allan & Castillo, 2007).

La presencia exclusiva de organismos con bajos puntajes de sensibilidad en estos tres puntos sugiere ambientes con alta carga de sedimentos finos, escasa oxigenación, y probablemente un exceso de nutrientes, condiciones comunes en madreviejas durante la época seca, cuando disminuye el intercambio hidráulico con el cauce principal y se intensifica la descomposición de materia orgánica proveniente de macrófitas. Estas condiciones propician el establecimiento de ensambles con baja riqueza y dominancia de especies tolerantes, como se refleja en los valores bajos del índice.

En síntesis, los valores del BMWP/Col en estos sistemas lénticos reflejan una comunidad afectada por condiciones anóxicas, eutrofización o acumulación de materia orgánica, con baja diversidad y alta tolerancia a la contaminación.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa revelan una estructura de la comunidad altamente perturbada en el sistema léntico del Río Meta durante la época seca, mostrando patrones diferenciados entre las estaciones evaluadas. En MADREVIEJA_META_01 se registró una diversidad moderadamente baja (Shannon = 1.332) con relativa equitatividad (Pielou = 0.961), producto de la presencia de cuatro (4) morfoespecies con abundancias totales bajas (5.5 ind/m²). Este valor de Shannon, aunque superior a las demás estaciones, sigue siendo indicativo de una comunidad empobrecida, donde el índice de Simpson (0.28) muestra que existe un 28% de probabilidad de que dos organismos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (Magurran A. E., 2004). La alta equitatividad (Pielou cercano a 1) en este caso particular no indica salud ecológica, sino más bien una distribución uniforme de muy pocos individuos entre pocas especies, situación típica de comunidades en estrés ambiental (**Tabla 3.3.3-400**).

Tabla 3.3.3-400 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta

Época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO META	MADREVIEJA_META_01	5.5	4	1.332	0.28	0.961
	MADREVIEJA_META_02	1.1	1	0	1	
	META_CLE_01	3.3	1	0	1	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Las estaciones MADREVIEJA_META_02 y META_CLE_01 no presentaron un comportamiento de comunidad biológica, con diversidad nula (Shannon = 0) y dominancia absoluta (Simpson = 1), al estar representadas por una sola morfoespecie cada una (*Pelocoris sp.* y *Probezzia sp.* respectivamente).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la campaña de monitoreo realizada en época seca en la Microcuenca del río Meta, no se registró la presencia de macrófitas acuáticas en ninguno de los seis puntos de muestreo, tanto lóticos como lénticos. Esta ausencia puede atribuirse a diversos factores hidrológicos y ecológicos

característicos de la temporada seca en sistemas fluviales tropicales. En particular, la disminución del nivel del agua, el aumento de la velocidad del flujo en los ecosistemas lóticos y la reducción de zonas de inundación en los cuerpos lénticos limitan el establecimiento y desarrollo de macrófitas, las cuales requieren condiciones estables de inundación, sustratos adecuados y suficiente disponibilidad de nutrientes (Chambers, 2008). En el caso del río Meta, como ecosistema acuático dominante en esta Microcuenca, la marcada estacionalidad climática asociada al régimen de lluvias de la Orinoquia colombiana genera variaciones significativas en la dinámica hidráulica del sistema, lo que puede restringir la colonización por parte de estas comunidades vegetales durante la época seca (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989). Así, la ausencia de macrófitas en los puntos monitoreados refleja tanto condiciones naturales de estacionalidad hidrológica como posibles limitaciones fisicoquímicas del hábitat acuático durante este periodo.

- *Época lluvia*

  - ✓ *Fitoplancton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble fitoplanctónico estudiado en los cuerpos lénticos de la altillanura del río Meta, monitoreado durante la época de lluvias, revela una estructura comunitaria caracterizada por la presencia de cuatro divisiones principales, Euglenophyta, Chlorophyta, Heterokontophyta (específicamente Bacillariophyceae) y Charophyta. La Microcuenca presenta una riqueza total de 14 géneros distribuidos en tres estaciones, Madrevieja_Meta_01 (10 géneros), Madrevieja_Meta_02 (8 géneros) y Meta_Cle_01 (1 género), con una abundancia total de 0.307 Ind/mL. La estación Madrevieja_Meta_01 muestra la mayor abundancia (0.174 Ind/mL), seguida de Madrevieja_Meta_02 (0.123 Ind/mL) y Meta_Cle_01 (0.01 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-401**).

En Madrevieja_Meta_01, los géneros más representativos son *Euglena* (0.087 Ind/mL y 50.0% de la abundancia de la estación), *Lepocinclis* (0.019 Ind/Ml y 10.9%) y *Pinnularia* (0.014 Ind/Ml y 8.0%), indicando un ambiente con aportes orgánicos significativos, característico de sistemas lénticos someros con influencia terrestre (Wołowski et al., 2013). La presencia dominante de *Euglena*, un bioindicador de eutrofización que sugiere condiciones de alta productividad primaria asociada a la descomposición de materia vegetal durante las lluvias (Roldán, 2016). Madrevieja_Meta_02, por su parte, está dominada por diatomeas como *Pinnularia* (0.027 Ind/mL y 22.0%), *Nitzschia* (0.024 Ind/Ml y 19.5%) y *Navicula* (0,022 Ind/mL y 17.9%), que reflejan aguas moderadamente ricas en nutrientes y sílice, con menor impacto de materia orgánica (Round et al., 1990). Esta composición sugiere una mayor estabilidad ambiental y posible conexión con escorrentías superficiales que aportan minerales. En contraste, Meta_Cle_01 presenta exclusivamente *Closterium* (100% y una abundancia de 0.01 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-401**) (**Figura 3.3.3-169**), alga conjugante, que indica aguas oligotróficas y poco perturbadas, típicas de sistemas aislados con limitada influencia externa (Coesel & Meesters, 2007).

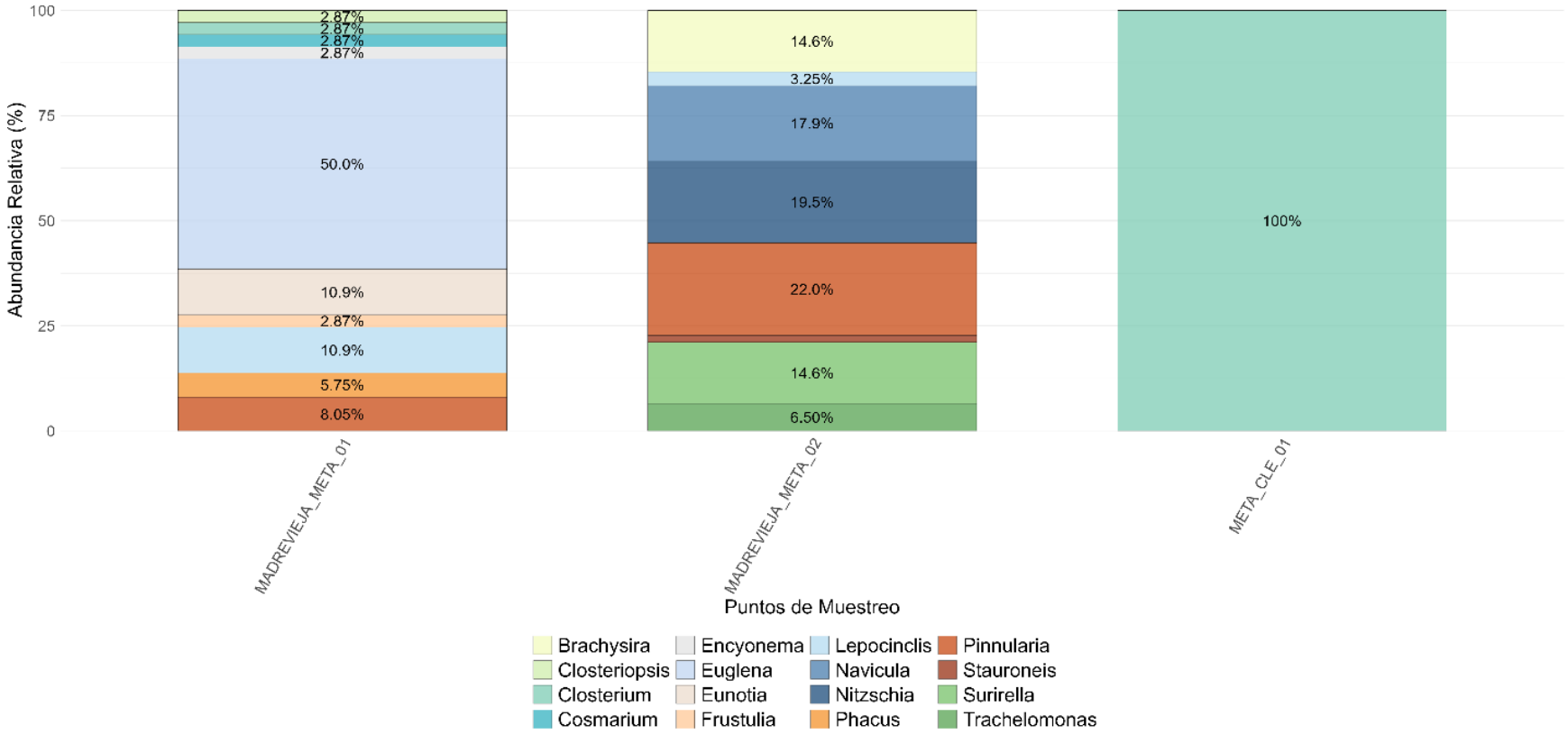


Figura 3.3.3-169 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos, terrestres y potenciales aportes lóticos se manifiesta en la distribución diferencial de los géneros. La altillanura, al carecer de la conectividad hídrica de las llanuras inundables, presenta cuerpos de agua con dinámicas más independientes. La predominancia de Euglenophyta en Madrevieja_Meta_01 refleja la influencia directa de la vegetación circundante y la acumulación de materia orgánica durante las lluvias, mientras que la diversidad de diatomeas en Madrevieja_Meta_02 sugiere un equilibrio entre aportes alóctonos (arrastre de sedimentos) y condiciones internas estables. La ausencia de géneros típicamente lóticos como *Melosira*, confirma el carácter léntico de estos sistemas, aunque la presencia de *Nitzschia* y *Surirella*, comunes en aguas con cierto flujo, podría indicar microcorrientes estacionales (Reynolds, 2006).

En conclusión, el ensamble fitoplanctónico de la altillanura del Meta evidencia un gradiente ecológico influenciado por la heterogeneidad espacial y la estacionalidad climática. La coexistencia de ambientes eutróficos (Madrevieja_Meta_01), mesotróficos (Madrevieja_Meta_02) y oligotróficos (Meta_Cle_01) subraya la diversidad funcional de estos sistemas lénticos, donde factores locales como el aislamiento, la profundidad y la vegetación ribereña determinan la estructura comunitaria. La alta abundancia de bioindicadores sensibles a la eutrofización como *Euglena* y la presencia de taxones exigentes como *Closterium*, resaltan la variabilidad, especialmente en una región donde los cuerpos de agua son vulnerables a cambios en el uso del suelo y al clima.

Tabla 3.3.3-401 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Fitoplancton Microcuenca río Meta Época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Meta			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_META_02	META_CLE_01	MADREVIEJA_META_01	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*	0,008			0,008
				Euglena			0,087	0,087
			Phacaceae	*Lepocinclis*	0,004		0,019	0,023
				Phacus			0,01	0,01
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	*Closteriopsis*			0,005	0,005
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	0,027		0,014	0,041
			Stauroneidaceae	*Stauroneis*	0,002			0,002
			Amphipleuraceae	*Frustulia*			0,005	0,005
			Naviculaceae	*Navicula*	0,022			0,022
			Brachysiraceae	*Brachysira*	0,018			0,018
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*			0,019	0,019
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	0,024			0,024
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*			0,005	0,005
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	0,018			0,018
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*		0,01	0,005	0,015
			Desmidiaceae	*Cosmarium*			0,005	0,005
Gran Total					0,123	0,01	0,174	0,307

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad para la comunidad fitoplanctónica en los tres puntos monitoreados (Madrevieja_Meta_01, Madrevieja_Meta_02 y Meta_Cle_01) revelan diferencias significativas en la estructura ecológica de cada sistema. La estación Madrevieja_Meta_01 presenta la mayor abundancia (0.174 Ind/mL) y riqueza (10 géneros), acompañada de un índice de Shannon de 1.729 y un Simpson de 0.277, lo que indica una diversidad moderada con cierta dominancia de algunos géneros, como se observó previamente con *Euglena*. El índice de Pielou (0.751) sugiere una distribución relativamente equitativa de las especies, aunque no óptima, lo que podría reflejar condiciones de eutrofización incipiente. En contraste, Madrevieja_Meta_02, con menor abundancia (0.123 Ind/mL) y riqueza (8 géneros), muestra un índice de Shannon más alto (1.968) y un Simpson más bajo (0.158), señalando una comunidad más diversa y equilibrada, respaldada por un Pielou cercano a 1 (0.946). Esta estación, dominada por diatomeas, evidencia un ambiente más estable y menos perturbado. Por otro lado, Meta_Cle_01 presenta valores extremadamente bajos en abundancia (0.01 Ind/mL) y riqueza (1 género), con un Shannon de 0.693 y un Simpson de 0.5 (**Tabla 3.3.3-402**), reflejando una comunidad muy pobre y dominada por *Closterium*, lo que sugiere un hábitat limitante, ya sea por condiciones físico-químicas restrictivas o aislamiento.

En conjunto, la Microcuenca presenta una calificación ecológica heterogénea, donde Madrevieja_Meta_02 destaca por su alta diversidad y equilibrio, indicando un sistema en buen estado ecológico. Madrevieja_Meta_01, aunque diversa, muestra señales de estrés moderado asociado a posibles aportes orgánicos. Meta_Cle_01, con su baja diversidad, representa un ambiente limitado y posiblemente vulnerable. Así, la Microcuenca en su totalidad podría clasificarse como moderadamente alterada, con áreas de alta resiliencia (Madrevieja_Meta_02) y otras que requieren atención por su baja diversidad (Meta_Cle_01). Esta variabilidad subraya la importancia de manejar estos sistemas considerando sus diferencias intrínsecas, especialmente en una región como la altillanura, donde la dinámica hídrica es estacional y los hábitats son sensibles a cambios en la calidad del agua. La presencia simultánea de puntos con alta y baja diversidad sugiere que, mientras algunas zonas mantienen condiciones adecuadas para el fitoplancton, otras están experimentando presiones que reducen su capacidad ecológica, lo que podría afectar la funcionalidad general del ecosistema acuático en la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-402 Índices Ecológicos de la Comunidad del Fitoplancton (Alfa) Microcuenca río Meta época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_META_01	0.174	10	1.729	0.277	0.751
MADREVIEJA_META_02	0.123	8	1.968	0.158	0.946
META_CLE_01	0.01	1	0.693	0.5	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Zooplancton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble zooplanctónico estudiado en los cuerpos lénticos de la altillanura del río Meta durante la época de lluvias presenta una estructura comunitaria dominada por cinco grupos taxonómicos

principales, Amoebozoa, Arthropoda, Cercozoa, Nematoda y Ciliophora. La Microcuenca muestra una riqueza total de 6 morfoespecies distribuidas en tres estaciones, Madrevieja_Meta_02 (3 morfoespecies), Madrevieja_Meta_01 (3 morfoespecies) y Meta_Cle_01 (1 morfoespecie) (, con una abundancia total de 0.0287 Ind/mL. La estación Madrevieja_Meta_02 registra la mayor abundancia (0.0138 Ind/mL), seguida de Madrevieja_Meta_01 (0.0102 Ind/mL) y Meta_Cle_01 (0.0047 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-403**).

En Madrevieja_Meta_02, las morfoespecies más representativas son *Arcella* (50.0% de la abundancia de la estación y una abundancia 0.0069 Ind/mL) y *Euglypha* (0.0046 Ind/mL y 33.3%), ambos protozoos testados que indican aguas con moderada materia orgánica y buena oxigenación (Foissner & Berger, 1996). La presencia de *Nematoda* Mf. (0.0023 In/mL y 16.7%) sugiere aportes de materia orgánica en descomposición desde la matriz terrestre. Madrevieja_Meta_01 muestra dominancia de *Arcella* (0.0034 Ind/mL y 33.3%), *Centropyxis* (0.0034 Ind/mL y 33.3%) y *Maxillopoda* Mf. (0.0034 Ind/mL y 33.3%), reflejando un ambiente con mayor heterogeneidad microhábitat. La combinación de protozoos testados (*Arcella*, *Centropyxis*) con microcrustáceos (*Maxillopoda* Mf.) apunta a un sistema con recursos tróficos diversificados (Pace & Orcutt, 1981). En contraste, Meta_Cle_01 presenta exclusivamente *Vorticella* (10.0047 Ind/mL y 100%) (**Tabla 3.3.3-403**) (**Figura 3.3.3-170**), un ciliado sésil indicador de aguas bien oxigenadas, pero con posible influencia de biofilms asociados a sustratos duros (Foissner & Berger, 1996).

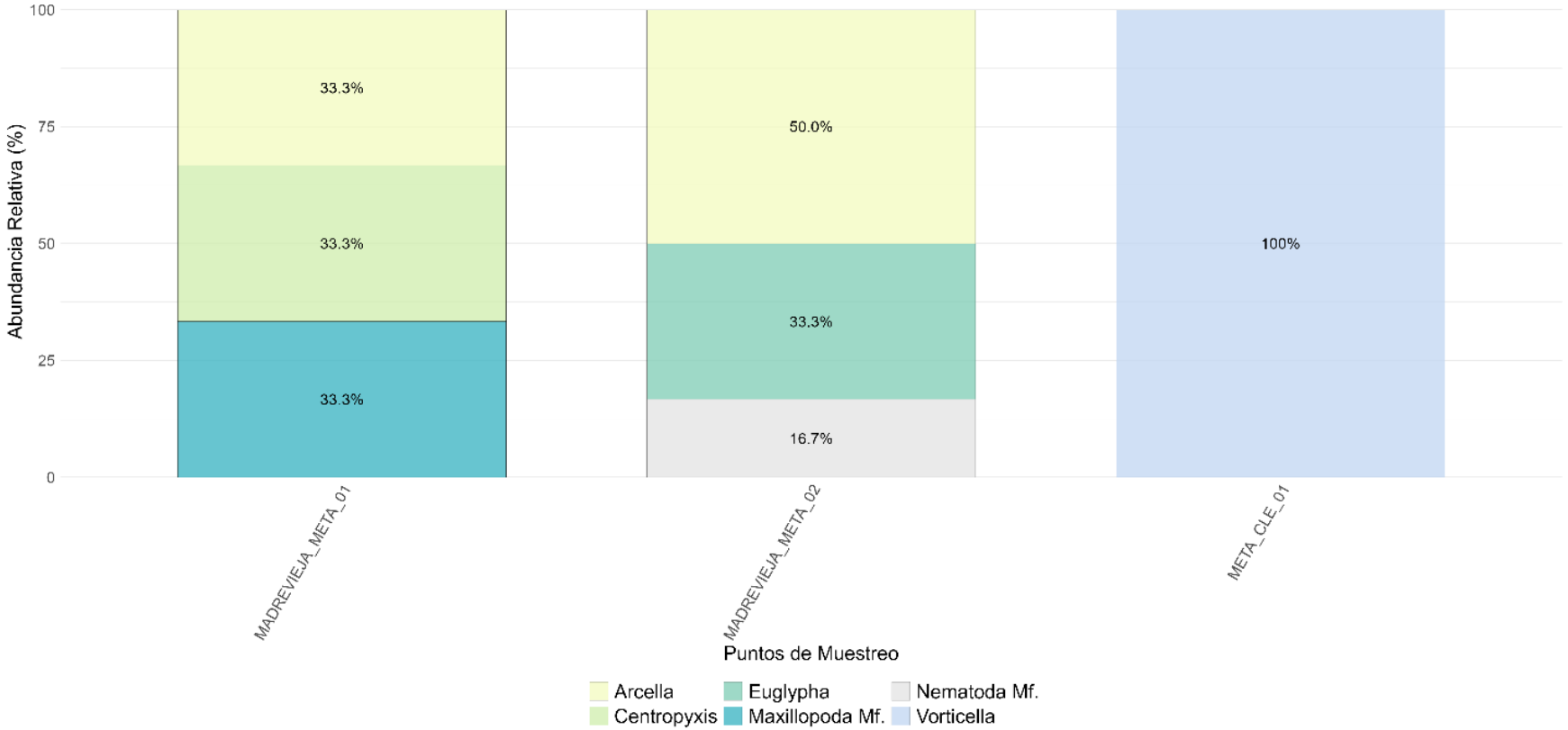


Figura 3.3.3-170 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lénticos y terrestres se evidencia en la presencia de taxones como *Nematoda* Mf. y *Centropyxis*, asociados a la interfase agua-sedimento-vegetación. La ausencia de rotíferos y cladóceros, típicos de sistemas con mayor conectividad, refuerza el carácter aislado de estos cuerpos de agua en la altillanura. La dominancia de protozoos testados (*Arcella*, *Euglypha*) sugiere que la comunidad zooplanctónica depende en gran medida de la producción bacteriana y detrítica, característica de sistemas lénticos con limitado aporte alóctono (Dumont, 1994). La baja abundancia general (0.0287 Ind/mL) (**Tabla 3.3.3-403**) es consistente con ambientes de altillanura donde el zooplancton enfrenta limitaciones por la temporalidad de los hábitats y la presión de depredación por invertebrados bentónicos (Donato-Rondón, 2016).

En conclusión, el ensamble zooplanctónico de la altillanura del Meta refleja un sistema con baja diversidad, pero alta especificidad ecológica, donde dominan grupos adaptados a condiciones lénticas temporales. La estructura comunitaria, dominada por protozoos testados y microcrustáceos, indica una red trófica basada en recursos detríticos y bacterianos, con escasa influencia de sistemas lóticos. La marcada diferencia entre estaciones con predominio de *Vorticella* en Meta_Cle_01 en contraste con la mezcla de taxones en las demás estaciones, subraya la importancia de factores locales como el tipo de sustrato y la vegetación ribereña en la configuración de estas comunidades. Estos hallazgos sugieren que los cuerpos de agua de la altillanura funcionan como microecosistemas independientes, vulnerables a cambios en el régimen de lluvias y a la alteración de su entorno terrestre inmediato.

Tabla 3.3.3-403 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Zooplancton Microcuenca río Meta Época lluvia

Filo	Clase	Orden	Familia	Morfoespecies	Río Meta			Abundancia Total Microcuenca (Ind/ml)
					MADREVIEJA_META_02	META_CLE_01	MADREVIEJA_META_01	
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella*	0,0069		0,0034	0,0103
			Centropyxidae	*Centropyxis*			0,0034	0,0034
Arthropoda	Maxillopoda	-	-	Maxillopoda Mf.			0,0034	0,0034
Cercozoa	Imbricatea	Euglyphida	Euglyphidae	*Euglypha*	0,0046			0,0046
Nematoda	-	-	-	Nematoda Mf.	0,0023			0,0023
Ciliophora	Oligohymenophorea	Sessilida	Vorticellidae	*Vorticella*		0,0047		0,0047
Gran Total					0,0138	0,0047	0,0102	0,0287

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad para la comunidad zooplanctónica en los tres puntos muestreados revelan un patrón ecológico característico de sistemas lénticos en la altillanura del Meta durante la época de lluvias. La estación Madrevieja_Meta_01 presenta una abundancia de 0.0102 Ind/mL con riqueza de 3 morfoespecies, mostrando un índice de Shannon de 1.099 y Simpson de 0.333 (**Tabla 3.3.3-404**), valores que indican una diversidad moderada pero con cierta dominancia de algunos taxa, corroborado por el índice de Pielou de 1 sugiere una distribución perfectamente equitativa entre las tres especies presentes (*Arcella*, *Centropyxis* y *Maxillopoda* Mf.). Esta aparente contradicción (Shannon moderado con Pielou máximo) se explica porque, al tener exactamente tres especies con abundancias idénticas (0.0034 Ind/mL cada una), el sistema

alcanza la máxima equitatividad posible para ese número de especies, pero la diversidad absoluta sigue siendo limitada por la baja riqueza total. En Madrevieja_Meta_02, con abundancia ligeramente mayor (0.0138 Ind/mL) e igual riqueza (3 morfoespecies), el índice de Shannon (1.011) y Simpson (0.389) reflejan una comunidad similar, aunque con menor equitatividad (Pielou = 0.92) debido a la dominancia relativa de *Arcella* (50% de la abundancia) frente a *Euglypha* (33.3%) y *Nematoda* Mf. (16.7%). Estos valores sugieren un ambiente con recursos tróficos heterogéneos, pero presión selectiva sobre ciertos grupos, típico de sistemas con mezcla de aportes orgánicos y minerales (Patterson & Hedley, 1992). En contraste, Meta_Cle_01 muestra una comunidad extremadamente pobre (abundancia: 0.0047 Ind/mL, riqueza: 1 morfoespecie), con índices de Shannon (0) y Simpson (1) (**Tabla 3.3.3-404**) que confirman la ausencia total de diversidad, característica de hábitats aislados o con condiciones restrictivas, como lo sugiere la presencia exclusiva del ciliado *Vorticella*, organismo asociado a microhábitats específicos (Lansac-Tôha et al., 2009).

En conjunto, la Microcuenca presenta una calificación ecológica moderadamente alterada, donde Madrevieja_Meta_01 y Madrevieja_Meta_02 funcionan como sistemas con capacidad de sostener comunidades zooplanctónicas básicas pero limitadas en diversidad, mientras que Meta_Cle_01 actúa como un ambiente muy simple. La baja abundancia general menor a (0.03 Ind/mL en total) y riqueza máxima (3 morfoespecies/estación) son indicativas de un ecosistema con productividad secundaria reducida, común en cuerpos de agua temporales de altillanura donde el zooplancton enfrenta estrés por fluctuaciones hidrológicas y recursos limitados (Finlay & Esteban, 1998). La relativa equitatividad en Madrevieja_Meta_01 podría reflejar una fase temprana de sucesión ecológica post-lluvias, donde ningún grupo ha alcanzado dominancia clara. No obstante, la presencia de taxones indicadores como *Arcella* (bioindicador de aguas bien oxigenadas) y *Vorticella* (asociado a sustratos estables) sugiere que, pese a la baja diversidad, los sistemas mantienen condiciones adecuadas para grupos especializados. Esta combinación de factores permite clasificar la Microcuenca como un sistema frágil pero funcional, donde la resiliencia ecológica depende críticamente de la mantención de los actuales regímenes hidrológicos y de la conectividad con la matriz terrestre circundante.

Tabla 3.3.3-404 Índices Ecológicos de la Comunidad del Zooplancton (Alfa) Microcuenca río Meta Época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_META_01	0.0102	3	1099	0.333	1
MADREVIEJA_META_02	0.0138	3	1011	0.389	0.92
META_CLE_01	0.0047	1	0	1	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos

específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

- ✓ *Perifiton*

  - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico estudiado en el sistema lótico de la altillanura del río Meta durante la época de lluvias revela una comunidad dominada por tres divisiones principales: Heterokontophyta (específicamente diatomeas), Chlorophyta y Charophyta. La Microcuenca presenta una riqueza total de 8 géneros distribuidos en tres estaciones: META_CL_01A (5 géneros), META_CL_02 (4 géneros) y META_CL_03 (3 géneros), con una abundancia total de 120.5 Ind/cm². La estación META_CL_03 muestra la mayor abundancia (66.5 Ind/cm²), seguida de META_CL_02 (30.5 Ind/cm²) y META_CL_01A (23.5 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-405**).

En META_CL_01A, los géneros más representativos son *Navicula* (37.4% de la abundancia de la estación y una densidad de 8.8 Ind/cm^2), *Nitzschia* (5.9 Ind/cm^2 y 25.1%) y *Pinnularia* (2.9 Ind/cm^2 y 12.3%), todas diatomeas que indican aguas con moderada corriente y buen aporte de nutrientes, características de sistemas lóticos bien oxigenados (Round et al., 1990). La presencia de *Eunotia* (2.9 Ind/cm^2 y 12.3%) sugiere microhábitats con menor flujo y posible influencia de materia orgánica. En META_CL_02, destacan *Ulnaria* (12 Ind/cm^2 y 39.3%) y *Desmodesmus* (10.6 Ind/cm^2 y 34.8%), donde *Ulnaria* es una diatomea típica de aguas con corriente moderada-alta, mientras que *Desmodesmus* (clorofícea) refleja zonas con mayor disponibilidad de luz y nutrientes (Stevenson et al., 2010). La estación META_CL_03 está dominada por *Eunotia* (31.7 Ind/cm^2 y 47.7%) y *Pinnularia* (27.2 Ind/cm^2 y 40.9%) (**Tabla 3.3.3-405**) (**Figura 3.3.3-171**), géneros que en conjunto sugieren un ambiente con flujo variable y posible influencia de sustratos rocosos o vegetación sumergida (Bellinger & Sigee, 2015). La presencia de *Spirogyra* (7.6 Ind/cm^2 y 11.4%), un alga filamentosa, indica zonas de menor corriente con acumulación de materia orgánica.

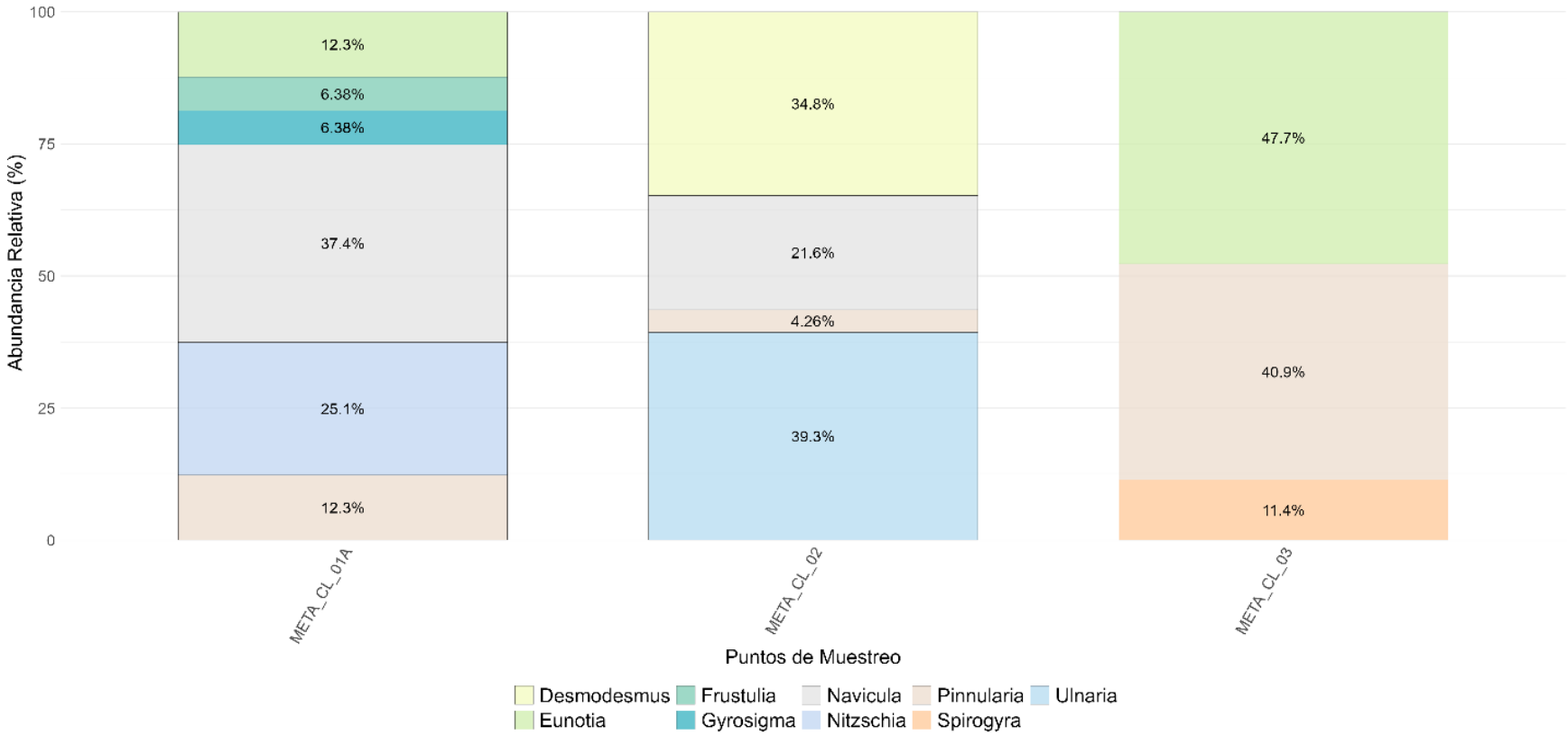


Figura 3.3.3-171 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta Época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la distribución de los géneros. La alta abundancia de diatomeas (*Pinnularia*, *Navicula*) en todas las estaciones confirma el carácter lótico del sistema, adaptado a corrientes continuas. Sin embargo, la presencia de *Spirogyra* (típica de aguas quietas) en META_CL_03 sugiere zonas de remanso o influencia de charcas temporales, común en la altillanura durante lluvias. La predominancia de *Eunotia* en META_CL_01A y META_CL_03, un género asociado a aguas ácidas o con humus, refleja aportes terrestres desde suelos ricos en materia orgánica (Lowe & Pan, 1996). La ausencia de géneros estrictamente lénticos como *Euglena*, refuerza la naturaleza fluvial del sistema, aunque la variabilidad en la composición sugiere microambientes con condiciones hidrodinámicas heterogéneas.

En conclusión, el ensamble perifítico de la altillanura del Meta evidencia un sistema lótico funcionalmente diverso, donde las diatomeas dominan en respuesta a las condiciones de corriente y aporte de nutrientes. La coexistencia de géneros como *Ulnaria* (adaptada a flujo) y *Spirogyra* (de aguas quietas) subraya la complejidad hidrológica de la altillanura, donde los pulsos de lluvia generan hábitats transicionales. La alta abundancia total (120.5 Ind/cm²) y la riqueza moderada (9 géneros) (**Tabla 3.3.3-405**) indican un ecosistema productivo y estable, aunque con vulnerabilidad a cambios en el régimen hídrico.

Tabla 3.3.3-405 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Meta Época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Meta			Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					META_CL_01A	META_CL_02	META_CL_03	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	2,9	1,3	27,2	31,4
			Amphipleuraceae	*Frustulia*	1,5			1,5
			Naviculaceae	*Gyrosigma*	1,5			1,5
				Navicula	8,8	6,6		15,4
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	2,9		31,7	34,6
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		12		12
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	5,9			5,9
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus*		10,6		10,6
Charophyta	Zygnematophyceae	Spirogyrales	Spirogyraceae	*Spirogyra*			7,6	7,6
Gran Total					23,5	30,5	66,5	120,5

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad para la comunidad perifítica en los tres puntos de muestreo revela un patrón ecológico característico de sistemas lóticos en la altillanura del Meta. La estación META_CL_01A presenta la mayor riqueza (6 géneros) con una abundancia de 23.5 Ind/cm², mostrando valores de Shannon (1.581) y Simpson (0.242) que indican una diversidad moderada-alta con baja dominancia de especies, respaldado por un índice de Pielou de 0.882 que evidencia una distribución relativamente equitativa. Estos resultados sugieren un ambiente con condiciones estables y recursos disponibles para múltiples especies, característico de zonas con flujo moderado y buena disponibilidad de sustratos (Biggs B. F., 1996). En contraste, META_CL_02, aunque con mayor abundancia (30.5 Ind/cm²), muestra menor riqueza (4 géneros) pero un perfecto equilibrio

comunitario (Pielou = 1), reflejado en su índice de Shannon de 1.452 y Simpson de 0.255. Este patrón podría indicar un ambiente con recursos limitantes donde pocas especies compiten eficientemente, manteniendo un balance poblacional (Stevenson et al., 2010). La estación META_CL_03 destaca por su alta abundancia (66.5 Ind/cm²) pero baja riqueza (3 géneros), con valores de Shannon (1.273) y Simpson (0.309) (**Tabla 3.3.3-406**) que señalan menor diversidad y mayor dominancia de especies específicas, posiblemente asociado a microhábitats con condiciones más restrictivas o mayor presión de selección ambiental (Bellinger & Sigee, 2015).

La evaluación integral de la Microcuenca sugiere una calificación ecológica entre buena y muy buena. META_CL_01A representa el punto de mayor valor conservacionista por su diversidad y equilibrio comunitario, funcionando como potencial reservorio de biodiversidad. META_CL_02, aunque menos diversa, muestra una estructura comunitaria balanceada que indica condiciones ambientales estables. META_CL_03, pese a su menor diversidad, evidencia alta productividad en un ambiente aparentemente más selectivo. La presencia constante de diatomeas indicadoras de buena calidad de agua en todas las estaciones (Round et al., 1990) confirma el estado saludable del sistema lótico en su conjunto. Sin embargo, el gradiente descendente en riqueza específica desde META_CL_01A hasta META_CL_03 podría reflejar variaciones naturales en las características del hábitat (como cambios en la velocidad de corriente o tipo de sustrato) o diferentes niveles de influencia antropogénica.

Tabla 3.3.3-406 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Meta Época lluvia

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
META_CL_01A	23.5	6	1.581	0.242	0.882
META_CL_02	30.5	4	1.452	0.255	1
META_CL_03	66.5	3	1.273	0.309	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Río Meta, presenta una estructura de la comunidad particular que refleja las condiciones ambientales de este importante sistema fluvial. Los datos analizados corresponden a dos estaciones de muestreo (META_CL_02 y META_CL_03) que en conjunto registraron una abundancia total de 37 ind/m², distribuidos en cuatro (4) morfoespecies pertenecientes a un phylum (Arthropoda), dos (2) clases, cuatro (4) órdenes, cuatro (4) familias y tres (3) géneros identificados (*Leptonema*, *Anacroneuria* y *Macrobrachium*) (**Tabla 3.3.3-407**).

Tabla 3.3.3-407 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta, época lluvia

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Meta		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						META_CL_03	META_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.	9,1	15,6	24,7
		Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	*Leptonema* sp.		2,2	2,2
		Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	*Anacroneuria* sp.		1,1	1,1
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	Macrobrachium	*Macrobrachium* sp.	9,1		9,1
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**18**	**19**	**37**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En la estación META_CL_03 se registró una abundancia de 18 ind/m², dominada por dos morfoespecies: Chironomidae Mf. (familia: Chironomidae; 9.1 ind/m²) y *Macrobrachium sp.* (familia: Palaemonidae; 9.1 ind/m²). Esta composición sugiere un ambiente con influencia de materia orgánica (evidenciada por los quironómidos) pero que aún mantiene condiciones adecuadas para crustáceos decápodos, organismos considerados sensibles a la contaminación (Domínguez & Fernández, 2009). La ausencia de otros taxones en este punto podría indicar cierto grado de perturbación selectiva o características específicas del microhábitat muestreado.

Por su parte, la estación META_CL_02 presentó una abundancia similar (19 ind/m²) pero con mayor diversidad, incluyendo Chironomidae Mf. (15.6 ind/m²), *Leptonema* sp. (familia: Hydropsychidae; 2.2 ind/m²) y *Anacroneuria* sp. (familia: Perlidae; 1.1 ind/m²). La presencia de tricópteros (*Leptonema*) y plecópteros (*Anacroneuria*), ambos considerados excelentes bioindicadores de calidad de agua (Roldán & Ramírez, 2008), sugiere que este sector del río mantiene condiciones ambientales más favorables. La dominancia relativa de quironómidos, aunque presente, es menos marcada que en la otra estación.

Asociado con la bioindicación, la comunidad de macroinvertebrados muestra un gradiente particular. Mientras META_CL_03 presenta organismos con tolerancias contrastantes (quironómidos tolerantes y *Macrobrachium* sensibles), META_CL_02 alberga una comunidad más diversa con predominio de taxones sensibles. Esta diferencia podría reflejar variaciones en la calidad del agua, las características del sustrato o el grado de conexión con otros sistemas acuáticos (Allan & Castillo, 2007).

El análisis de las interacciones ecológicas revela conexiones importantes entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres. La presencia de *Macrobrachium* sp., que incluye especies con ciclos de vida que requieren tanto aguas corrientes como estancadas, sugiere interconexión con sistemas lénticos adyacentes (Magalhães, 1989). Por otro lado, los plecópteros (*Anacroneuria* sp.), con ninfas acuáticas y adultos terrestres, representan un vínculo clave con los ecosistemas ribereños (Merritt & Cummins, 2008). Los tricópteros (*Leptonema sp.*), constructores de refugios, indican sustratos estables y buena calidad de agua, siendo importantes en la transferencia de energía entre los componentes acuáticos y terrestres de la red trófica (Cummins et al., 2005).

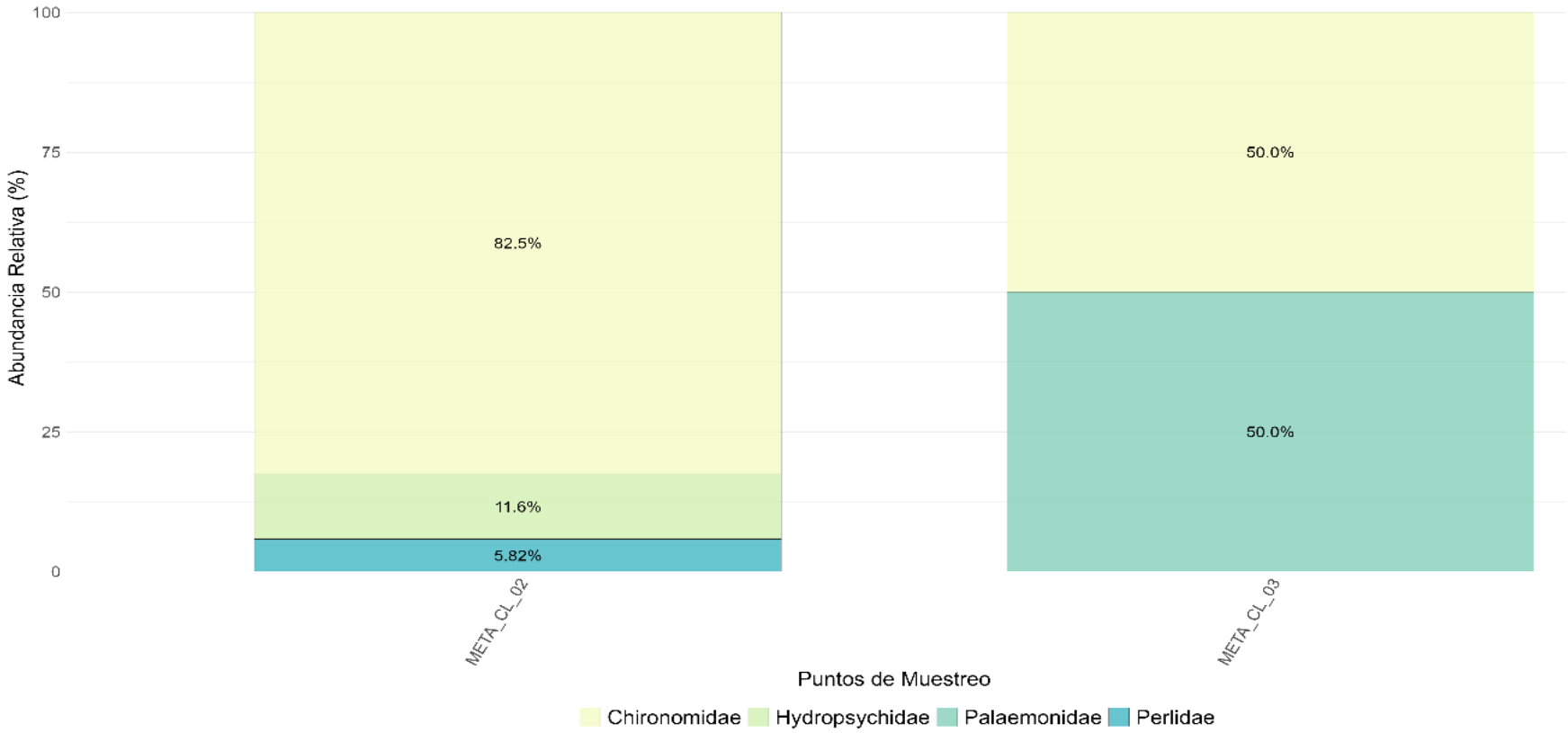


Figura 3.3.3-172 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta Época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos del Río Meta presenta diferencias espaciales significativas entre las estaciones analizadas, sugiriendo un sistema con microhábitats de calidad variable. Mientras META_CL_02 muestra características de un ambiente bien conservado (presencia de tricópteros y plecópteros), META_CL_03 presenta señales de posible perturbación (dominancia de quironómidos). La presencia de organismos con requerimientos ecológicos diversos (como *Macrobrachium* sp.) indica que el sistema mantiene cierta heterogeneidad ambiental y conexión con otros ecosistemas acuáticos.

Los resultados del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) en el Río Meta revelan condiciones ambientales preocupantes en ambos puntos de monitoreo, aunque con diferencias significativas en su grado de afectación. En la estación META_CL_02 se registró un valor de 19, clasificándola en la Clase IV (Crítica), mientras que META_CL_03 presentó un valor más bajo (10), ubicándose en la Clase V (Muy crítica) (**Tabla 3.3.3-408**). Esta diferencia en los resultados refleja variaciones espaciales en la calidad del agua a lo largo del mismo sistema fluvial.

La mejor calificación relativa de META_CL_02 (BMWP=19) se explica principalmente por la presencia de taxones sensibles como *Leptonema sp.* (Trichoptera: Hydropsychidae) y *Anacroneuria sp.* (Plecoptera: Perlidae), organismos considerados excelentes bioindicadores de buena calidad de agua (Roldán & Ramírez, 2008). Sin embargo, la categoría "Crítica" indica que estos organismos sensibles aparecen en bajas abundancias (2.2 y 1.1 ind/m² respectivamente), mientras que los quironómidos (Chironomidae Mf.*),* más tolerantes a la contaminación, dominan la comunidad con 15.6 ind/m². Esta composición sugiere un ambiente bajo presión, donde, aunque se mantienen condiciones para algunos organismos sensibles, el sistema muestra claros signos de deterioro (Domínguez & Fernández, 2009).

Tabla 3.3.3-408 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Meta época lluvia

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO META	META_CL_02	IV	Critica	19	Aguas muy contaminadas
	META_CL_03	V	Muy crítica	10	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En contraste, META_CL_03 (BMWP=10) presenta una situación más crítica, donde solo se registraron dos morfoespecies: *Chironomidae Mf.* (9.1 ind/m²) y *Macrobrachium sp*. (9.1 ind/m²). La presencia de este último taxa, aunque considerado moderadamente sensible, no fue suficiente para compensar la dominancia de quironómidos y la ausencia de otros taxones indicadores. Este patrón es típico de ambientes con fuertes perturbaciones, donde solo persisten organismos con alta tolerancia a condiciones adversas (Buss et al., 2015). La marcada diferencia entre ambas estaciones, separadas por solo 10 puntos en el BMWP pero en categorías distintas, resalta la sensibilidad de este índice para detectar gradientes de calidad del agua.

Desde la perspectiva de la bioindicación, estos resultados muestran que el Río Meta presenta un gradiente de calidad del agua, siendo META_CL_02 un sector con cierto potencial de recuperación (por la presencia de tricópteros y plecópteros), mientras que META_CL_03 evidencia un deterioro más avanzado. La ausencia de organismos del orden Ephemeroptera en ambos puntos es particularmente preocupante, ya que este grupo suele ser uno de los primeros en desaparecer ante contaminación orgánica (Allan & Castillo, 2007).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa analizados para las estaciones META_CL_02 y META_CL_03 en el Río Meta revelan diferencias significativas en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, a pesar de presentar abundancias totales similares (18.9 vs 18.2 ind/m² respectivamente).

En la estación META_CL_02 se registró una mayor riqueza (3 morfoespecies) en comparación con META_CL_03 (2 morfoespecies). Este mayor número de taxones se refleja claramente en el índice de Shannon (H'=1.115), que muestra una diversidad significativamente más alta que en META_CL_03 (H'=0.693). Este patrón se confirma con el índice de Simpson (D=0.384 en META_CL_02 vs 0.5 en META_CL_03) (**Tabla 3.3.3-409**), indicando una menor dominancia de especies en META_CL_02 (Magurran, 2004).

Los valores del índice de Pielou presentan particular interés en este análisis. En META_CL_02 se obtuvo J'=1.015, ligeramente superior al máximo teórico de 1, lo que podría sugerir que la única morfoespecie adicional en META_CL_02 está representada por muy pocos individuos. En META_CL_03, el valor de Pielou exactamente igual a 1 (J'=1) para una comunidad de solo 2 morfoespecies indica una distribución perfectamente equitativa, lo que estadísticamente es posible pero ecológicamente poco común en sistemas naturales (Domínguez & Fernández, 2009).

Tabla 3.3.3-409 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Meta época lluvia

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO META	META_CL_02	18.9	3	1.115	0.384	1.015
	META_CL_03	18.2	2	0.693	0.5	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva ecológica, estos resultados sugieren que el punto META_CL_02 mantiene condiciones ambientales que permiten el establecimiento de una comunidad ligeramente más diversa. La mayor equitatividad en META_CL_03 podría indicar condiciones más extremas que favorecen a solo dos morfoespecies en proporciones similares. Teniendo así que ambos puntos presentan comunidades empobrecidas en comparación con sistemas fluviales bien conservados

La combinación de estos índices con los resultados previos del BMWP/Col refuerza la interpretación de que META_CL_02 representa un ambiente de mejor calidad que META_CL_03, aunque ambos muestran signos de perturbación. La mayor diversidad en META_CL_02 coincide con la presencia de taxones sensibles (Tricópteros y Plecópteros) detectados en el análisis de bioindicación (Roldán & Ramírez, 2008).

✓ *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

- Composición y estructura de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico del Río Meta, ubicado en la altillanura colombiana y monitoreado durante la época de lluvias, presenta una comunidad acuática notablemente reducida en términos de diversidad biológica. El estudio abarcó dos estaciones de muestreo (MADREVIEJA_META_01 y MADREVIEJA_META_02) que en conjunto registraron una abundancia total de 30 ind/m², distribuidos en solamente dos (2) morfoespecies pertenecientes a dos (2) phylllum (Arthropoda y Mollusca), dos (2) clases, dos (2) órdenes, dos (2) familias y un género identificado (*Eupera sp.*) (**Tabla 3.3.3-410**).

Tabla 3.3.3-410 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta época lluvia

Pyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Meta		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						MADREVIEJA_META_02	MADREVIEJA_META_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.	10	10	20
Mollusca	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	Eupera	*Eupera* sp.		10	10
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**10**	**20**	**30**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En la estación MADREVIEJA_META_01 se registró una abundancia de 20 ind/m², representada por dos morfoespecies: *Chironomidae Mf.* (10 ind/m²) y *Eupera sp.* (10 ind/m²). Esta composición particular, que combina un insecto díptero con un molusco bivalvo, sugiere condiciones ambientales específicas que favorecen la coexistencia de grupos taxonómicos muy distintos. Los quironómidos (Chironomidae Mf.) (**Figura 3.3.3-173**), organismos generalmente tolerantes a diversas condiciones ambientales (Roldán & Ramírez, 2008), aparecen en igual proporción que los bivalvos (*Eupera* sp.), que son filtradores sensibles a la contaminación por sedimentos finos (Darrigran, 2002). Esta combinación podría indicar un ambiente con aportes orgánicos moderados pero con buena disponibilidad de partículas en suspensión para los organismos filtradores.

Por otro lado, la estación MADREVIEJA_META_02 presentó una abundancia menor (10 ind/m²) compuesta exclusivamente por Chironomidae Mf. La ausencia de *Eupera sp.* en este punto podría deberse a diferencias en las características del sustrato, la profundidad o la disponibilidad de alimento, factores conocidos por afectar la distribución de los bivalvos en sistemas lénticos (Gutierrez et al., 2010). La dominancia absoluta de quironómidos en esta estación sugiere condiciones más homogéneas y posiblemente más afectadas por factores de estrés ambiental que limitan la presencia de otros grupos taxonómicos.

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de *Eupera sp.* en MADREVIEJA_META_01 es particularmente relevante. Estos pequeños bivalvos son considerados buenos indicadores de condiciones estables en sistemas lénticos, ya que requieren sustratos adecuados para su establecimiento y son sensibles a cambios bruscos en la calidad del agua (Bouchard, 2004). Su coexistencia con quironómidos en proporciones iguales sugiere un ambiente con características intermedias, donde persisten tanto organismos tolerantes como algunos más sensibles. En

contraste, la comunidad exclusivamente compuesta por quironómidos en MADREVIEJA_META_02 apunta hacia condiciones más perturbadas, donde solo los organismos más resistentes pueden prosperar (Domínguez & Fernández, 2009).

El análisis de las interacciones ecológicas en este sistema revela conexiones interesantes entre los componentes lénticos, lóticos y terrestres del ecosistema. La presencia de *Eupera sp.*, un organismo típico de ambientes lénticos de aguas quietas, confirma el carácter de madre vieja (humedal asociado a río) del sistema estudiado. Por otro lado, los quironómidos, muchos de cuyos adultos son voladores, representan un importante vínculo trófico entre los sistemas acuáticos y terrestres (Armitage et al., 1995). La ausencia de organismos típicamente lóticos (como tricópteros o efemerópteros) sugiere que la conexión con el cauce principal del Río Meta puede ser limitada o estacional, concentrándose probablemente durante los periodos de crecientes en la época de lluvias.

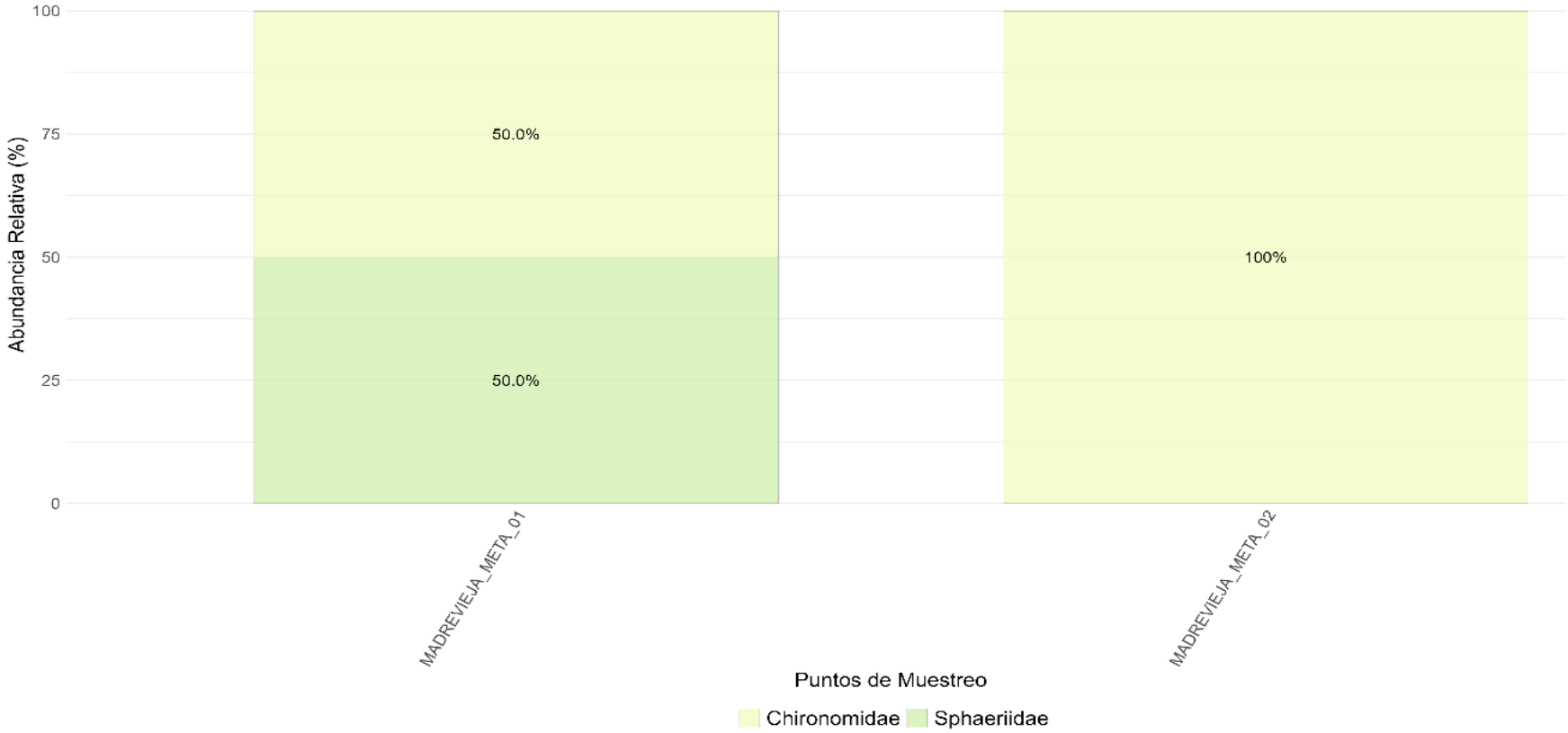


Figura 3.3.3-173 Familias de macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta época lluvia

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El ensamble de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico del Río Meta presenta una comunidad acuática de baja diversidad pero con diferencias significativas entre las estaciones estudiadas. Mientras MADREVIEJA_META_01 muestra una comunidad más diversa (aunque con solo dos especies) que incluye un bivalvo indicador de cierta estabilidad ambiental, MADREVIEJA_META_02 está dominada exclusivamente por quironómidos, sugiriendo condiciones más perturbadas. Esta variación espacial en la composición de la comunidad podría reflejar diferencias en la conectividad con el sistema lótico principal, las características del sustrato, el grado de protección frente a perturbaciones externas o la disponibilidad de recursos alimenticios.

El análisis del índice BMWP/Col aplicado a los puntos de monitoreo Madrevieja_Meta_01 y Madrevieja_Meta_02, localizados en la Microcuenca del río Meta, muestra un panorama de calidad ecológica altamente deteriorada en ambos sitios, clasificados dentro de la clase V, que corresponde a condiciones "muy críticas" (**Tabla 3.3.3-411**).

En el punto Madrevieja_Meta_02, se obtuvo un valor de BMWP/Col = 2, lo que representa una de las puntuaciones más bajas posibles dentro del índice, y que refleja la presencia exclusiva o dominante de taxones altamente tolerantes a la contaminación orgánica y a condiciones de estrés ambiental severo (**Tabla 3.3.3-411**). Este resultado indica una comunidad bentónica empobrecida, dominada por organismos con alta capacidad de supervivencia en ambientes con deficiencia de oxígeno disuelto, alta carga de materia orgánica o condiciones fisicoquímicas degradadas. De acuerdo con Roldán (2003), valores tan bajos en el índice están asociados a cuerpos de agua con muy baja calidad y con una funcionalidad ecosistémica alterada.

En el caso de Madrevieja_Meta_01, el valor registrado fue de BMWP/Col = 10, también clasificado como "muy crítica" pero con una ligera presencia de morfoespecies con un poco más de sensibilidad en comparación con el punto anterior. No obstante, este valor sigue representando un estado ecológico muy comprometido, donde predominan grupos tolerantes, y no permite evidenciar una comunidad bentónica estructurada ni una función ecológica saludable en términos de procesamiento de materia orgánica o filtración natural.

Tabla 3.3.3-411 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Meta época lluvia

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO META	MADREVIEJA_META_02	V	Muy crítica	2	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	MADREVIEJA_META_01	V	Muy crítica	10	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La concordancia en la categoría de "aguas fuertemente contaminadas, situación crítica" en ambos puntos sugiere que el sistema de madreviejas del río Meta está influenciado por presiones ambientales severas, posiblemente asociadas a procesos de sedimentación, estancamiento, descargas difusas o acumulación de nutrientes y contaminantes orgánicos, típicos en sistemas lénticos conectados intermitentemente con grandes ríos.

- Diversidad alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para las comunidades de macroinvertebrados asociados a macrófitas en el sistema léntico del Río Meta revelan una situación ecológica particularmente crítica, especialmente en la estación MADREVIEJA_META_02. Los resultados muestran diferencias significativas entre las dos estaciones monitoreadas, a pesar de tratarse del mismo cuerpo de agua.

En la estación MADREVIEJA_META_01 se registró una abundancia de 20 ind/m² distribuida en 2 morfoespecies, lo que permitió el cálculo de los tres índices de diversidad. El valor del índice de Shannon (H'=0.693) indica una diversidad muy baja, característica de comunidades dominadas por pocas especies. Este resultado se corrobora con el índice de Simpson (D=0.5), que muestra una dominancia intermedia entre las dos especies presentes. El índice de Pielou (J'=1) alcanza su valor máximo teórico, indicando una distribución perfectamente equitativa entre las dos morfoespecies registradas (Chironomidae Mf. y *Eupera* sp., ambas con 10 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-412**). Esta equitatividad máxima, aunque estadísticamente posible, es ecológicamente inusual y sugiere condiciones ambientales muy particulares que favorecen por igual a dos organismos con requerimientos ecológicos distintos (Magurran, 2004).

Tabla 3.3.3-412 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados asociados a macrófitas Microcuenca río Meta época lluvia

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO META	MADREVIEJA_META_01	20	2	0.693	0.5	1
	MADREVIEJA_META_02	10	1	-	-	-

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La situación es aún más crítica en MADREVIEJA_META_02, donde la comunidad está representada por una sola morfoespecie (*Chironomidae Mf.*) con una abundancia de 10 ind/m². Esta extrema pobreza biológica hace imposible el cálculo de los índices de diversidad (representados por guiones en los resultados), ya que matemáticamente requieren al menos dos especies para su determinación (Domínguez & Fernández, 2009). La presencia de una sola morfoespecie en esta estación es un indicador claro de condiciones ambientales adversas que limitan drásticamente el establecimiento de una comunidad diversa.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias en la Microcuenca del río Meta, se registró una notable presencia de macrófitas acuáticas, con un total de 10 morfoespecies distribuidas en dos divisiones principales: Tracheophyta (plantas vasculares terrestres adaptadas al medio acuático) y, dentro de esta, las clases Polypodiidae (helechos acuáticos como *Salvinia* sp. y *Azolla* sp.) y Magnoliidae, representada por órdenes como Alismatales, Poales, Caryophyllales, Nymphaeales y Malpighiales. La mayor diversidad taxonómica y estructural se concentró en los cuerpos de agua lénticos, mientras que los ecosistemas lóticos mostraron una composición mucho más pobre, o incluso nula, en términos de cobertura y riqueza de especies (**Tabla 3.3.3-413**).

En los cuerpos de agua lénticos, particularmente en los puntos MADREVIEJA_META_01, MADREVIEJA_META_02 y META_CLE_01, se observó una alta cobertura vegetal (hasta 159,33% en MADREVIEJA_META_01, considerando superposición de especies), lo cual refleja condiciones favorables para la colonización de macrófitas: aguas de flujo bajo, mayor permanencia del agua y mayor acumulación de materia orgánica y nutrientes (Junk W. J., 2011), (Sculthorpe, The Biology of Aquatic Vascular Plants, 1985). En MADREVIEJA_META_01 se registraron cuatro morfoespecies, con clara dominancia de *Salvinia* sp. (52,09% de abundancia relativa) y *Panicum* sp. (32,22%), ambas especies adaptadas a condiciones de inundación prolongada y ambientes ricos en nutrientes. En MADREVIEJA_META_02 también se observaron cuatro morfoespecies, siendo Panicum sp. dominante (68,09%), acompañada de especies como *Azolla* sp. y *Nymphaea* sp., esta última típica de aguas tranquilas y de buen desarrollo estructural vertical. En META_CLE_01 se registraron únicamente dos morfoespecies, pero con predominancia absoluta de Juncaceae Mf. (100% de abundancia relativa), lo que indica condiciones de borde o margen ribereño colonizadas por macrófitas emergentes tolerantes a suelos saturados (**Tabla 3.3.3-413**).

En contraste, los cuerpos de agua lóticos, representados por los puntos META_CL_01A (punto de captación autorizado), META_CL_02 y META_CL_03, presentaron una diversidad muy baja o nula de macrófitas. En META_CL_01A solo se identificaron dos especies (*Xanthosoma* sp. y *Rinorea* sp.), con un total de cobertura de 11%, reflejando condiciones de mayor velocidad de corriente, escasa estabilidad del sustrato y posiblemente perturbaciones físicas asociadas a la captación de agua (Esteves F. A., 2011). En META_CL_03 se registró únicamente *Eleusine* sp. (100% de abundancia relativa con baja cobertura: 3,33%), una gramínea de zonas húmedas que puede soportar condiciones temporales de anegamiento. En META_CL_02 no se encontraron especies de macrófitas acuáticas, lo que podría deberse a un régimen hidráulico más dinámico o a condiciones físico-químicas menos favorables, como baja transparencia o pobre desarrollo de sustrato para anclaje, lo cual ha sido ampliamente documentado como limitante para la colonización de vegetación acuática en ríos tropicales (Chambers, 2008) (**Tabla 3.3.3-413**).

En términos de estructura, se identificaron tres formas de vida principales: flotantes libres (*Salvinia* sp., *Azolla* sp., *Limnobium* sp.), emergentes (*Panicum* sp., *Persicaria* sp., *Xanthosoma* sp.), y flotantes enraizadas o con hojas flotantes (*Nymphaea* sp.), lo cual indica una comunidad funcionalmente diversa en cuerpos lénticos, aspecto clave para procesos ecológicos como el reciclaje de nutrientes, la oxigenación del agua y el hábitat de organismos acuáticos (Wetzel R. G., 2001).

Tabla 3.3.3-413 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Meta época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Meta										
				Punto De Muestreo	MADREVIEJA_META_01		MADREVIEJA_META_02		META_CLE_01		META_CL_01A		META_CL_03		META_CL_02
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura
Tracheophyta	Polypodiidae	Salviniales	Salviniaceae	*Salvinia* sp.	83	52,09	3,67	7,81							No se encontraron especies
				Azolla sp.			0,33	0,70							
	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	*Xanthosoma* sp.					3	24,33					
			Hydrocharitaceae	*Limnobium* sp.	3	1,88									
		Poales	Juncaceae	Juncaceae Mf.							11	100,00			
			Poaceae	*Eleusine* sp.									3,33	100,00	
				Panicum sp.	51,33	32,22	32	68,09							
		Caryophyllales	Polygonaceae	*Persicaria* sp.	22	13,81									
		Nymphaeales	Nymphaeaceae	*Nymphaea* sp.			11	23,40							
		Malpighiales	Violaceae	*Rinorea* sp.					9,33	75,67					
Cobertura Total general					**159,33**	**100**	**47**	**100**	**12,33**	**100**	**11**	**100**	**3,33**	**100**	**0**
Morfoespecies por Punto					**4**		**4**		**2**		**1**		**1**		**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**10**										

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Meta durante la temporada de lluvias evidenció una comunidad moderadamente diversa en los cuerpos de agua lénticos, específicamente en los puntos MADREVIEJA_META_01 y MADREVIEJA_META_02, donde se registraron cuatro morfoespecies en cada sitio. En MADREVIEJA_META_01, la riqueza se acompañó de una alta abundancia total (159,33%), un índice de Shannon-Wiener (H') de 1,044 y una equidad de Pielou (J') de 0,753, indicando una comunidad relativamente equilibrada con dominancia parcial de ciertas especies como *Salvinia* sp. y *Panicum* sp. En el punto MADREVIEJA_META_02, aunque la riqueza fue igual (4), se registró menor abundancia (47%) y un índice H' de 0,833, así como una equidad más baja (J' = 0,601), lo cual sugiere una distribución más desigual entre las especies presentes, probablemente por la mayor dominancia de *Panicum* sp. en ese punto (**Tabla 3.3.3-414**). Estos valores reflejan comunidades con diversidad intermedia, típicas de cuerpos de agua con relativa estabilidad y hábitats heterogéneos, características propias de las madreviejas (Junk W. J., 2011).

Por otro lado, en los puntos META_CLE_01, META_CL_01A, META_CL_03 y META_CL_02 no se calcularon índices de diversidad debido a que presentaron menos de tres morfoespecies, lo cual limita la aplicabilidad de métricas como Shannon o Simpson que requieren una riqueza mínima para ofrecer información significativa (Magurran A. E., 2004). De estos, el punto META_CL_02 no presentó ninguna especie de macrófita acuática, evidenciando condiciones altamente restrictivas para la colonización vegetal, lo cual es común en cuerpos de agua lóticos con alto dinamismo hidrológico y escasa heterogeneidad estructural (Esteves F. A., 2011).

Estos resultados reafirman el patrón ecológico ampliamente documentado en ambientes acuáticos neotropicales, donde los ecosistemas lénticos como las madreviejas tienden a presentar mayor diversidad y complejidad estructural de macrófitas en comparación con ambientes lóticos, debido a su mayor estabilidad hídrica, disponibilidad de nutrientes y menor velocidad de flujo (Aca) (Wetzel R. G., 2001).

Tabla 3.3.3-414 Índices de diversidad alfa para macrófitas acuáticas Microcuenca río Meta época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MADREVIEJA_META_01	159.33	4	1.044	0.4	0.753
MADREVIEJA_META_02	47	4	0.833	0.527	0.601

- *Drenajes directos al río Meta*

Aquí se presentan y evalúan los puntos OCmn4 ubicado en el caño Santa Marta y el punto OCMY7 ubicado en el caño NN ambos ocupaciones de cauce. Estos puntos se ubicaron en drenajes muy cortos en los que no se encontró actividad humana que impactara el drenaje y con patrones de drenaje sin cambios a lo largo del cuerpo de agua, verificados por el estudio de suelos y por imágenes tomadas por drones.

✓ *Época seca*

- Macroinvertebrados bentónicos

Composición y estructura de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en los sistemas lóticos directos al río Meta durante la época seca revela una comunidad reducida y simplificada. En total, se identificaron cuatro (4) morfoespecies pertenecientes al phylum Arthropoda, todas ellas correspondientes a la clase Insecta, distribuidas en tres (3) órdenes (Diptera, Coleóptera y Coleóptera con familias diferenciadas), que a su vez agrupan cuatro (4) familias (Chironomidae, Noteridae, Hydrophilidae y Scirtidae), con representación de tres (3) géneros (Hydrocanthus, Tropisternus y Scirtidae sin determinación de género, más Chironomidae como morfoespecie no determinada) (**Tabla 3.3.3-415**). La abundancia total fue de 4 ind/m², evidenciando una baja densidad poblacional y, en consecuencia, un bajo nivel de complejidad estructural de la comunidad.

Tabla 3.3.3-415 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos directos al río Meta, época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Directos Al Río Meta	Abundancia Total (Ind/m2)
						OCMY7	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	*Chironomidae Mf.*	1,1	1,1
		Coleóptera	Noteridae	Hydrocanthus	*Hydrocanthus sp.*	1,1	1,1
			Hydrophilidae	Tropisternus	*Tropisternus sp.*	1,1	1,1
			Scirtidae	Scirtidae	*Scirtidae Mf.*	1,1	1,1
ABUNDANCIA TOTAL (Ind/m2)						**4**	**4**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La composición de la comunidad estuvo dominada por taxones generalistas y con amplia tolerancia a condiciones de estrés ambiental. Los Chironomidae (Diptera) son conocidos por su alta plasticidad ecológica y su capacidad de colonizar hábitats con bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de materia orgánica (Roldan G. , 1996), lo que indica que el tramo evaluado del río Meta puede estar influenciado por aportes alóctonos de sedimentos y nutrientes, posiblemente asociados a actividades antrópicas en la cuenca. En cuanto a los coleópteros, se registraron representantes de Noteridae (*Hydrocanthus* sp.), Hydrophilidae (*Tropisternus* sp.) y Scirtidae, grupos generalmente asociados a ambientes con vegetación acuática, zonas someras y con acumulación de detritos orgánicos, lo que sugiere que estas morfoespecies cumplen un rol funcional en la descomposición de materia y en la regulación de microhábitats (Merritt & Cummins, 2008). Sin embargo, la baja abundancia y diversidad de estas familias evidencia una comunidad limitada en su capacidad de resiliencia frente a presiones ambientales (**Figura 3.3.3-174**).

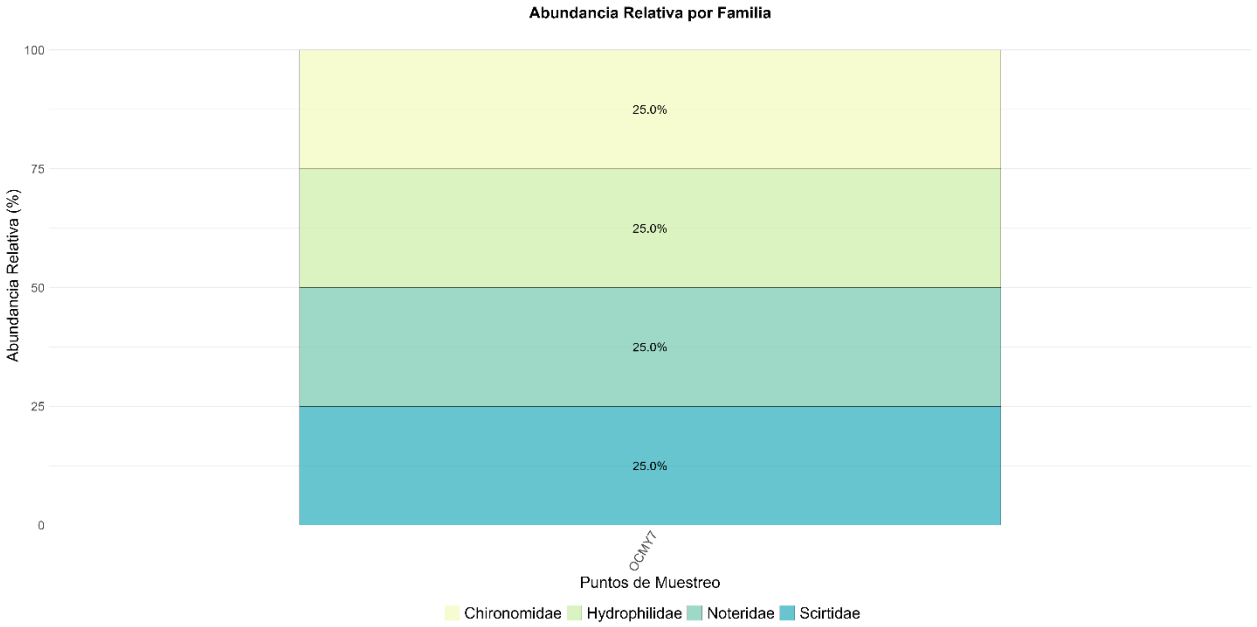


Figura 3.3.3-174 Familias de macroinvertebrados bentónicos directos al río Meta, época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de Chironomidae como taxón predominante y de otros coleópteros oportunistas indica condiciones ambientales de calidad Muy Crítica, con posibles episodios de eutrofización y alteraciones hidromorfológicas. Este patrón contrasta con lo esperado en sistemas lóticos de buen estado ecológico, donde se registraría una mayor representación de órdenes como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), considerados sensibles a la contaminación (Roldán, 2016; Bonada et al., 2006). Tal como lo representa el índice BMWP el cual arroja un valor de 9 para OCMY7, con un significado de aguas fuertemente contaminadas, lo cual se encuentra asociado también a la baja diversidad reportada, no permitiendo que este valor sea completamente concluyente (**Tabla 3.3.3-416**).

Tabla 3.3.3-416 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) directos al río Meta época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
DIRECTOS AL RIO META	OCMY7	V	Muy crítica	9	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción de estos organismos con los sistemas lénticos y terrestres de la cuenca del Meta se refleja en la movilidad y dispersión de los adultos alados, que cumplen un rol clave en la transferencia de energía entre ambientes acuáticos y terrestres (Baxter et al., 2005). En particular, los coleópteros y quironómidos actúan como eslabones en el flujo trófico, dado que sus larvas participan en la descomposición y procesamiento de la materia orgánica en los cuerpos de agua, mientras que los adultos sirven de recurso alimenticio para aves y otros depredadores terrestres.

Sin embargo, la baja riqueza y abundancia limitan la capacidad de los sistemas acuáticos para sostener interacciones ecológicas robustas y equilibradas.

En conclusión, el análisis del ensamble de macroinvertebrados bentónicos en los sistemas lóticos directos al río Meta durante la época seca refleja un estado ecológico empobrecido, caracterizado por una baja riqueza taxonómica y abundancias reducidas, con dominancia de organismos tolerantes y oportunistas. Esta simplificación comunitaria sugiere presiones ambientales que afectan la calidad del hábitat, limitando la función ecológica de los macroinvertebrados como bioindicadores de buena calidad del agua. Si bien persisten vínculos entre los sistemas acuáticos y terrestres a través de la dispersión de adultos y el flujo trófico, la resiliencia del sistema es baja.

Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para el punto OCMY7 (sistema lótico directo al río Meta) muestra una comunidad de macroinvertebrados bentónicos con características de baja complejidad estructural y un ensamble reducido. La abundancia total registrada fue de 4,4 ind/m², correspondiente a cuatro (4) morfoespecies. Estos valores reflejan una riqueza muy limitada si se comparan con ecosistemas de mejor calidad ambiental, donde usualmente la diversidad de taxones es más alta debido a la disponibilidad de hábitats y recursos (Roldán, 2016).

Tabla 3.3.3-417 Índices de diversidad alfa para macroinvertebrados bentónicos directos al río Meta época seca

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
DIRECTOS AL RIO META	OCMY7	4.4	4	1.386	0.25	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En cuanto a los índices de diversidad, el valor de Shannon (H' = 1,386) indica una diversidad baja-media, puesto que en sistemas naturales bien conservados este índice puede superar valores de 2,5 a 3,0. El índice de Simpson (D = 0,25) sugiere que la comunidad presenta una dominancia relativamente alta, con unas pocas especies ejerciendo un mayor peso ecológico en el ensamble, lo que es típico en ambientes sometidos a presión antrópica o con limitaciones naturales de hábitat (Magurran, 2004). Sin embargo, la equitatividad de Pielou (J' = 1,0) muestra que, a pesar de la baja riqueza, las especies registradas están distribuidas de manera uniforme en términos de abundancia, sin que exista un grupo claramente dominante sobre el resto (**Tabla 3.3.3-417**).

La interpretación integrada de estos índices permite concluir que el ensamble bentónico en el punto OCMY7 corresponde a una comunidad empobrecida, con baja abundancia y riqueza, en la que la uniformidad en la distribución de individuos entre las pocas morfoespecies presentes da lugar a un balance aparente, pero que en realidad refleja condiciones ambientales restrictivas que limitan el establecimiento de grupos más sensibles. Estos resultados sugieren que el sistema lótico en esta zona del río Meta presenta condiciones ambientales pobres, donde la baja diversidad puede deberse tanto a presiones antrópicas como a factores naturales de estacionalidad (época seca), generando un ensamble poco representativo de la biodiversidad potencial de la cuenca.

✓ *Macrofitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

La comunidad de macrófitas acuáticas en los drenajes directos al río Meta (caño Santa Marta y caño NN) durante la temporada seca presenta una estructura extremamente simplificada, con una drástica reducción en riqueza y cobertura en comparación con la temporada de lluvias. La comunidad está representada exclusivamente por una única morfoespecie de la familia Malvaceae (División Tracheophyta, Clase Magnoliopsida, Orden Malvales), que alcanza el 100% de abundancia relativa en el punto de muestreo OCMY7. Esta dominancia absoluta sugiere condiciones ambientales críticas donde solo especies con adaptaciones específicas a estrés hídrico pueden persistir. La ausencia total de macrófitas en el punto OCmn4 evidencia la severidad de la sequía, donde la reducción en los niveles de agua y la posible exposición del sustrato eliminan los hábitats adecuados para la supervivencia de especies acuáticas. Esta simplificación estructural es característica de humedales estacionales bajo régimen de inundación pulsante, donde la sequía actúa como un filtro ambiental que restringe la diversidad a taxones tolerantes (Junk et al., 1989). La presencia de Malvaceae, familia conocida por incluir especies con adaptaciones a ambientes disturbados y secos (como estructuras de resistencia y metabolismos eficientes), coincide con lo reportado por (Pott, 2000) para sistemas neotropicales estacionales. La extrema reducción en la diversidad confirma que la variabilidad hidrológica estacional es el principal driver ecológico estructurador de estas comunidades acuáticas (**Tabla 3.3.3-418**).

Tabla 3.3.3-418 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Drenajes directos al río Meta época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Drenajes Directos Al Río Meta			
				Punto De Muestreo	OCmn4		OCMY7	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Malvales	Malvaceae	Malvaceae Mf.	SECO		3,5	100
Morfoespecies por Punto							**1**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Cabe destacar que ambos puntos (OCMY7 y OCmn4) fueron excluidos del análisis cuantitativo de diversidad alpha mediante índices ecológicos debido a la insuficiencia de datos: OCMY7 por presentar solo una especie y OCmn4 por ausencia total de macrófitas. Según (Magurran A. E., 2004), el cálculo de índices de diversidad como Shannon-Wiener o Simpson requiere de un número mínimo de especies para ser ecológicamente significativos, condición que no se cumple en este caso.

- ✓ *Época lluvia*

  - Perifiton

Composición y Estructura de la comunidad

El estudio de la comunidad perifítica en las estaciones OCMY7 y OCmn4 de sistemas lóticos que drenan directamente a la Microcuenca del Río Meta durante la época de lluvias revela un ensamble ecológico diverso y abundante, compuesto por diatomeas (Heterokontophyta), algas verdes conjugadas (Charophyta) y euglenoides (Euglenophyta), con una riqueza total de 13 géneros y una abundancia agregada de 269.1 Ind/cm² (**Tabla 3.3.3-419**). La estación OCmn4 presenta una abundancia significativamente mayor (226.8 Ind/cm²) y diversidad taxonómica (11 géneros) (**Tabla 3.3.3-419**) en comparación con OCMY7 (42.3 Ind/cm² y 5 géneros) (**Tabla 3.3.3-419**), lo que evidencia una heterogeneidad espacial marcada en la Microcuenca.

Los géneros más abundantes y con mayor porcentaje de abundancia son *Ulnaria* (41.9 Ind/cm² y 18.5%), *Achnanthes* (41.9 Ind/cm² y 18.5%), *Rhopalodia* (32 Ind/cm² y 14.1%) y *Nitzschia* (28.3 Ind/cm² y 12.5%) **(Figura 3.3.3-175)**, las cuales se reportan únicamente en el punto OCMN4 y por el contrario los géneros a continuación se reportan en ambos puntos de monitoreo con abundancias totales de *Eunotia* (36.5 Ind/cm²) y *Pinnularia* (33.6 Ind/cm²) **(Tabla 3.3.3-419)** en conjunto los géneros mencionados anteriormente representan el 78% de la comunidad total.

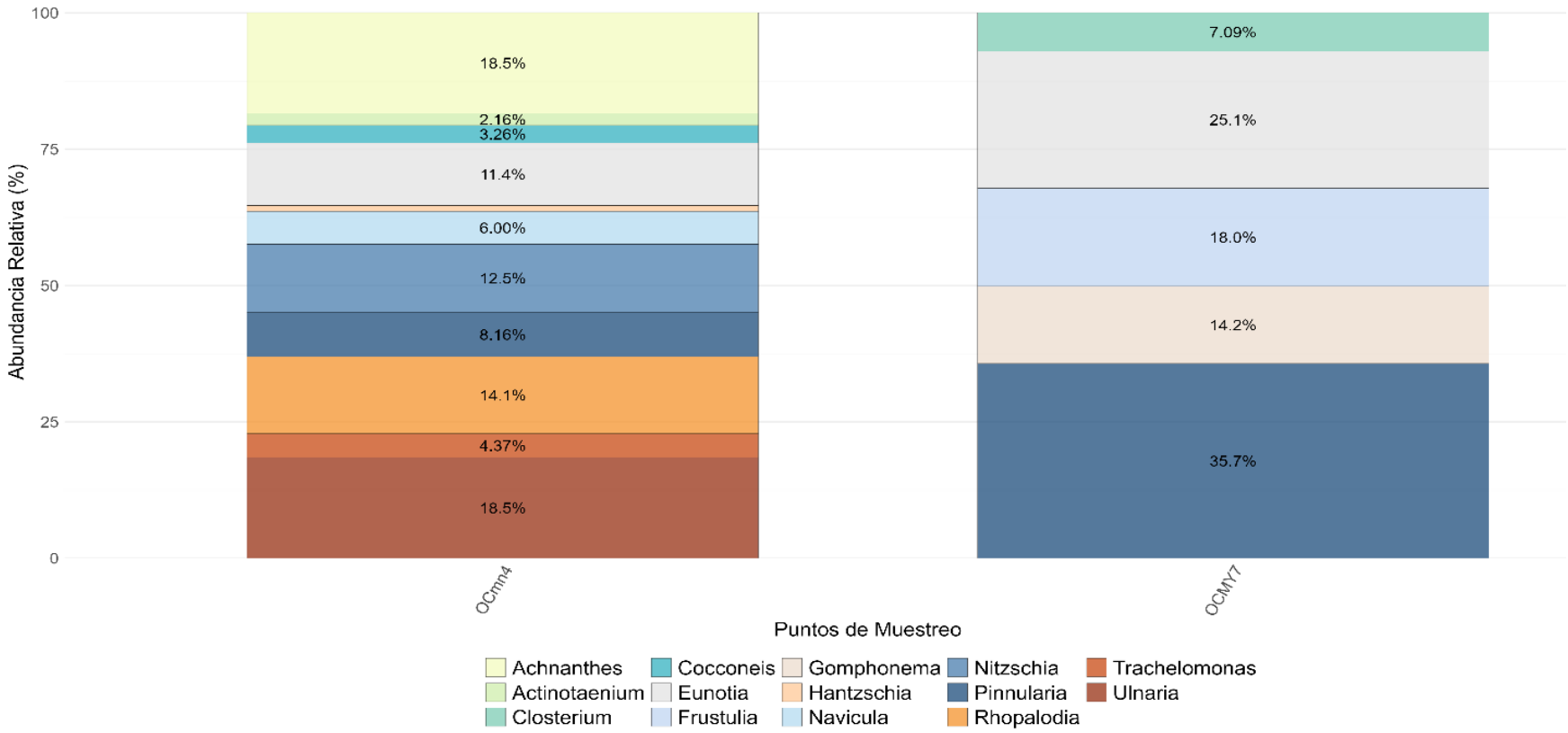


Figura 3.3.3-175 Porcentajes de Abundancia de los Drenajes directo a la Microcuenca del río Meta

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La composición taxonómica está dominada por diatomeas pennadas bentónicas, con una notable representación de géneros indicadores de aguas bien oxigenadas y moderadamente eutróficas, como *Achnanthes* y *Cocconeis*, son frecuentes en sustratos estables con buen flujo de agua (Potapova & Charles, 2007). La presencia de *Ulnaria* y *Rhopalodia*, asociadas a aguas con moderado contenido de nutrientes y alta conductividad, sugiere un aporte significativo de solutos desde las áreas terrestres circundantes durante las lluvias (Round et al., 1990). La interacción con sistemas lénticos se infiere por la presencia de *Closterium* (3 Ind/cm²) y *Trachelomonas* (9.9 Ind/cm²) **(Tabla 3.3.3-419)**, géneros típicos de ambientes con retención de agua y materia orgánica en descomposición, mientras que la conexión con sistemas terrestres queda evidenciada por la abundancia de *Gomphonema* (6 Ind/cm²) y *Frustulia* (7.6 Ind/cm²) **(Tabla 3.3.3-419)**, (Stevenson & Bahls, 1999). La marcada diferencia entre las estaciones sugiere que OCmn4 es una comunidad diversa y abundante versus OCMY7 con una comunidad más simplificada, sugiere variaciones en la disponibilidad de sustratos, la velocidad de corriente o el aporte de nutrientes, posiblemente relacionadas con la geomorfología local y el uso del suelo en las áreas adyacentes.

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad sugiere una calidad del agua buena a moderada, con predominio de taxones sensibles a la contaminación *Eunotia, Frustulia,* pero con una significativa presencia de indicadores de eutrofización incipientes *Nitzschia, Ulnaria*. La alta abundancia de *Achnanthes*, un género típico de aguas bien oxigenadas, pero con tolerancia a nutrientes elevados, alerta sobre posibles entradas de nutrientes desde actividades agrícolas o urbanas en la Microcuenca.

De acuerdo a lo anterior se puede considerar que todos los parámetros analizados de los drenajes directo a la Microcuenca del río Meta recibe una calificación ecológica "buena", y esto está sustentado bajo los parámetros de alta diversidad y abundancia de taxones sensibles, la equilibrada interacción entre componentes lóticos, lénticos y terrestres, y la capacidad del sistema para mantener comunidades estructuradas bajo condiciones dinámicas de lluvias.

Tabla 3.3.3-419 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton en los Drenajes directos al río Meta

División	Clase	Orden	Familia	Género	Directos Al Río Meta		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm2)
					OCMY7	OCmn4	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	6		6
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	15,1	18,5	33,6
			Amphipleuraceae	*Frustulia*	7,6		7,6
			Naviculaceae	*Navicula*		13,6	13,6
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	10,6	25,9	36,5
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*		41,9	41,9
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*		32	32
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*		41,9	41,9
			Cocconeidaceae	*Cocconeis*		7,4	7,4
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia*		2,5	2,5
				Nitzschia		28,3	28,3

División	Clase	Orden	Familia	Género	Directos Al Río Meta		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm2)
					OCMY7	OCmn4	
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Actinotaenium*		4,9	4,9
			Closteriaceae	*Closterium*	3		3
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas*		9,9	9,9
Gran Total					42,3	226,8	269,1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad alfa

El análisis de la comunidad perifítica en las estaciones OCMY7 y OCmn4, que representan drenajes directos a la Microcuenca del Río Meta durante la época de lluvias, revela un ensamble ecológico con características notablemente contrastantes que reflejan una heterogeneidad ambiental significativa dentro de la Microcuenca.

La estación OCmn4 presenta valores altos de abundancia (226.8 Ind/cm²) y riqueza (11 géneros) valores que superan a OCMY7 (42.3 Ind/cm² y 5 géneros) (**Tabla 3.3.3-420**), lo que sugiere diferencias en la disponibilidad de recursos, sustratos o condiciones hidrológicas entre ambos puntos.

Los índices de diversidad confirman esta diferencia OCmn4 registra un valor de Shannon de 2.239, indicativo de una diversidad alta, mientras que OCMY7 muestra un valor de 1.49, que refleja una diversidad moderada. El índice de Simpson, con valores de 0.125 en OCmn4 y 0.244 en OCMY7, demuestra una menor dominancia de especies en la primera estación, lo que sugiere una distribución más equilibrada de los individuos entre los taxones presentes. Los valores del índice de Pielou 0.934 en OCmn4 y 0.926 en OCMY7 (**Tabla 3.3.3-420**) indican una equitatividad casi perfecta en ambas estaciones, característica de comunidades no perturbadas donde los recursos se distribuyen uniformemente entre las especies.

Esta combinación de parámetros ecológicos sugiere que OCmn4 representa un ambiente con condiciones óptimas para el desarrollo del perifiton, posiblemente asociado a una mayor estabilidad de sustratos, mejor calidad de agua o mayor disponibilidad de nutrientes, mientras que OCMY7 podría estar sujeto a limitaciones ambientales que restringen su diversidad, como fluctuaciones en el caudal, sombreado excesivo o disponibilidad limitada de nutrientes (Stevenson et al., 2010). Considerando ambos puntos en conjunto, la Microcuenca directa al Río Meta recibe una calificación ecológica "muy buena", esta calificación se soporta en las características de alta diversidad y equitatividad observada en OCmn4, que compensa la menor diversidad de OCMY7. La capacidad del sistema para mantener comunidades bien estructuradas y equilibradas, incluso bajo las condiciones dinámicas de la época de lluvias, refleja una buena salud ecológica general y una resiliencia adecuada frente a perturbaciones naturales.

Tabla 3.3.3-420 Diversidad Ecológica de los Drenajes que van directo a la Microcuenca del río Meta

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCMY7	42.3	5	1.49	0.244	0.926
OCmn4	226.8	11	2.239	0.125	0.934

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Macroinvertebrados bentónicos

Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico de los puntos OCMY7 y Ocmn4 cuerpos de agua directos al rio Meta, monitoreado durante la época de lluvias, presenta una comunidad acuática extremadamente reducida en términos de biodiversidad. El estudio registró una abundancia total de apenas 5,5 ind/m², distribuidos en solamente tres (3) morfoespecies pertenecientes exclusivamente al phylum Arthropoda, clase Insecta, con representantes de los órdenes Diptera y Coleóptera. Esta composición extremadamente simple sugiere condiciones ambientales particularmente adversas para el desarrollo de una comunidad bentónica diversificada (**Tabla 3.3.3-421**).

Tabla 3.3.3-421 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos drenajes directos al rio Meta, época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Directos Al Rio Meta		Abundancia Total (Ind/m2)
						OCMY7	OCmn4	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Stilobezia	*Stilobezia sp.*		1,1	1,1
				Probezzia	*Probezzia sp.*	3,3		3,3
		Coleóptera	Hydrophilidae	Berosus	*Berosus sp.*	1,1		1,1
ABUNDANCIA TOTAL (Ind/m2)						**4**	**1**	**5,5**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad estuvo compuesta por *Stilobezia sp.* (1,1 ind/m²), *Probezzia sp.* (3.3 ind/m²) y *Berosus sp.* (1.1 ind/m²), organismos con requerimientos ecológicos contrastantes que aportan información valiosa para la interpretación de las condiciones del sistema. Los ceratopogónidos (*Stilobezia* y *Probezzia*) son dípteros de pequeño tamaño cuyas larvas se desarrollan en ambientes acuáticos variados, mostrando cierta tolerancia a condiciones de contaminación orgánica moderada (Roldán & Ramírez, 2008). Por otro lado, los hidrofílidos (*Berosus*) son coleópteros acuáticos considerados buenos indicadores de calidad del agua, particularmente sensibles a contaminantes químicos (Domínguez & Fernández, 2009) (**Figura 3.3.3-176**). La coexistencia de estos dos taxones sugiere un ambiente con posible estrés ambiental, pero que aún mantiene condiciones para el desarrollo de organismos relativamente sensibles.

Desde la perspectiva de la bioindicación, la presencia de *Berosus* sp., aunque en baja abundancia, es particularmente significativa. Los hidrofílidos son coleópteros depredadores que ocupan un nivel trófico superior en las comunidades bentónicas, y su presencia indica cierta integridad en la red trófica acuática (Merritt et al., 2008). Sin embargo, la escasez absoluta de individuos (solo 1.1 ind/m²) y la ausencia de otros taxones esperados en sistemas lóticos (como efemerópteros,

tricópteros o demás coleópteros) señalan un ecosistema fuertemente impactado o con condiciones ambientales extremas.

El análisis de las interacciones ecológicas en este sistema revela limitaciones significativas debido a la pobreza extrema de la comunidad. La ausencia de organismos de otros grupos (como moluscos o anélidos) y la baja representación de órdenes de insectos sugieren una desconexión ecológica con sistemas lénticos adyacentes y limitado intercambio con el entorno terrestre (Allan & Castillo, 2007). Los adultos alados presentes representan el principal vínculo con el ecosistema terrestre, aunque su escasa abundancia limita significativamente este flujo trófico.

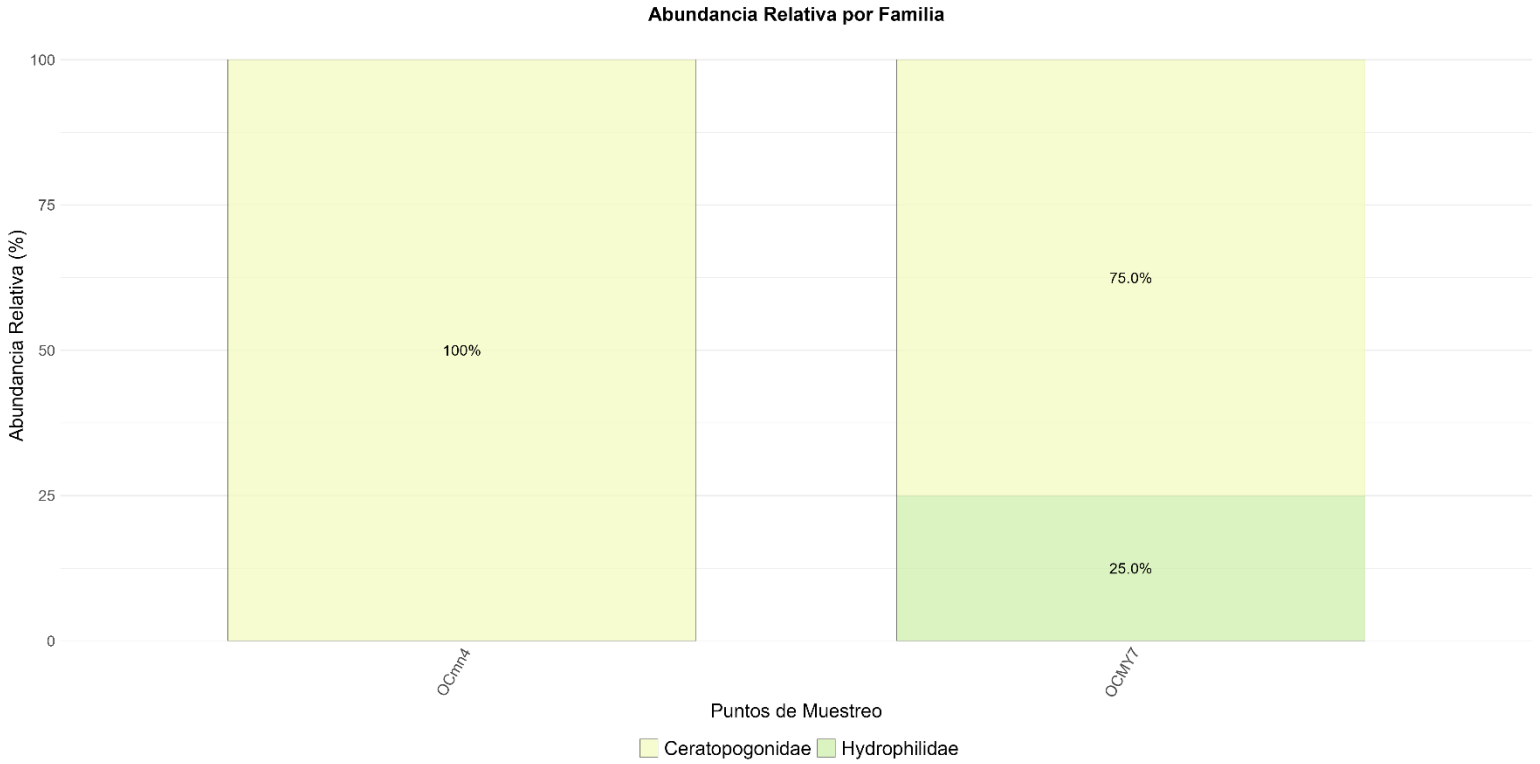


Figura 3.3.3-176 Familias de macroinvertebrados bentónicos drenajes directos al rio Meta, época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El ensamble de macroinvertebrados bentónicos de los drenajes directos al rio Meta muestra una comunidad acuática críticamente empobrecida, con solo dos morfoespecies presentes en muy bajas densidades. Esta situación podría deberse a condiciones naturales extremas del hábitat, impactos antropogénicos recientes y severos y/o limitaciones en el método de muestreo. La presencia de *Berosus* sp., un coleóptero relativamente sensible, sugiere que el sistema aún mantiene cierto potencial para la recuperación de comunidades más diversas si se identifican y controlan los factores de estrés (Archangelsky, 1997).

Los resultados del índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) estos cuerpos de agua confirman el estado crítico de estos sistemas lóticos detectado previamente mediante el análisis de la comunidad bentónica. Las estaciones OCMY7 (BMWP= 8) y OCmn4 (BMWP=5), se clasifican en la categoría V (Muy crítica) (**Tabla 3.3.3-422**), indicando condiciones de contaminación severa que afectan drásticamente la comunidad acuática (Roldán & Ramírez, 2008).

La puntuación obtenida para OCMY7 resulta principalmente de la presencia de *Berosus sp.* (Coleoptera: Hydrophilidae), que como coleóptero acuático aporta una puntuación significativa al índice. Sin embargo, la baja abundancia de este organismo (1.1 ind/m²) y la predominancia de *Probezzia sp.* (Diptera: Ceratopogonidae), grupo con menor puntaje en el BMWP/Col, limitan considerablemente el valor final del índice (Domínguez & Fernández, 2009). Esta combinación de taxones con diferente sensibilidad ambiental es característica de sistemas acuáticos sometidos a fuertes presiones, donde solo algunos organismos más resistentes logran mantener poblaciones significativas (Buss et al., 2015). En el caso de OCmn4, al presenta un solo organismo (Stilobezia), el índice no permite obtener resultados concluyentes sobre su calidad actual, aunque estos ceratopogonidos son considerados buenos indicadores de calidad moderadamente contaminada.

Tabla 3.3.3-422 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) drenajes directos al rio meta, época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	Bmwp	Significado
DIRECTOS AL RIO META	OCMY7	V	Muy crítica	8	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
	OCmn4	V	Muy crítica	5	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La ausencia total de otros grupos sensibles como efemerópteros, tricópteros o plecópteros, que normalmente contribuirían con puntajes altos al BMWP/Col, explica la clasificación en la categoría más crítica. El valor de 8 puntos se encuentra justo en el límite inferior del rango para la Clase V (6-10 puntos según la adaptación colombiana del índice), lo que refuerza la gravedad de la situación ecológica detectada.

Desde la perspectiva de la bioindicación, este resultado concuerda completamente con los datos de composición y estructura comunitaria analizados previamente. Tanto la extrema pobreza de especies (solo 3 morfoespecies) como la baja abundancia total (5,5 ind/m²) son consistentes con

ambientes acuáticos fuertemente impactados, donde el BMWP típicamente arroja valores inferiores a 10 (Alba-Tercedor, 1996).

Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la comunidad bentónica en la estación OCMY7 revelan una situación ecológica crítica, consistente con los resultados del BMWP/Col previamente analizados. Los valores obtenidos reflejan una comunidad acuática extremadamente pobre en términos de biodiversidad, con características típicas de ecosistemas fuertemente perturbados.

El índice de Shannon (H'=0.562) muestra una diversidad muy baja, lo que concuerda con la presencia de solo dos morfoespecies (*Probezzia sp.* y *Berosus sp.*) en la muestra (**Tabla 3.3.3-423**). Este valor se encuentra muy por debajo del rango esperado para sistemas lóticos bien conservados, donde normalmente se registran valores superiores a 2.5 (Magurran, 2004). La baja diversidad confirma el estado crítico del ecosistema identificado mediante otros indicadores.

El índice de Simpson (D=0.625) indica una dominancia moderadamente alta de las morfoespecies presentes (**Tabla 3.3.3-423**). Este valor refleja la distribución desigual observada entre las dos morfoespecies, donde los ceratopogónidos representan el 75% de la comunidad. Esta dominancia de un grupo taxonómico es característica de ambientes acuáticos sometidos a estrés ambiental (Domínguez & Fernández, 2009).

El índice de Pielou (J'=0.811) muestra una equitatividad relativamente alta para una comunidad tan pobre, lo que parece contradictorio con el claro dominio de *Probezzia sp.*, (**Tabla 3.3.3-423**). Esta aparente discrepancia se explica porque el índice de Pielou alcanza su valor máximo teórico (J'=1) cuando todas las morfoespecies presentes tienen exactamente la misma abundancia, y en este caso no es lo suficientemente desigual para producir valores bajos de equitatividad en solo dos taxa (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 3.3.3-423 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos drenajes directos al rio Meta, época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
DIRECTOS AL RIO META	OCMY7	4.4	2	0.562	0.625	0.811

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Estos resultados sugieren la posible presencia de contaminación orgánica (por dominancia de dípteros), alteración del sustrato (por ausencia de grupos bentónicos típicos) y posible toxicidad (por escasez generalizada de organismos).

En el caso del punto OCmn4, este no fue valorado como una comunidad propiamente dicha, al reportar un único organismo (Stilobezia), por lo cual no es posible realizar el análisis de índices de diversidad.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y estructura de la comunidad

El análisis de la comunidad de macrófitas acuáticas en los drenajes (caño Santa Marta y caño NN) que fluyen hacia el río Meta, durante la temporada de lluvias, revela una estructura comunitaria dominada por angiospermas (plantas con flor) de la división Tracheophyta, lo que indica su adaptación evolutiva para colonizar ambientes terrestres y acuáticos con éxito (Sculthorpe, The biology of aquatic vascular plants, 1985). La comunidad se encuentra estructurada en dos clases principales: Magnoliopsida (dicotiledóneas) y Liliopsida (monocotiledóneas), siendo esta última la de mayor representatividad en términos de riqueza de órdenes y familias, un patrón común en humedales neotropicales donde las monocotiledóneas suelen ser componentes principales de la vegetación ribereña y acuática (Rial, 2008) (**Tabla 3.3.3-424**).

En el punto OCmn4 se observa una comunidad significativamente más diversa, compuesta por ocho morfoespecies distribuidas en tres órdenes (Myrtales, Poales, Zingiberales) y cuatro familias. La familia Poaceae (gramíneas) y Onagraceae demuestran una clara dominancia ecológica. Específicamente, *Panicum* sp. y *Ludwigia* sp. presentan los valores más altos de cobertura (59% y 51.67%) y abundancia relativa (41.16% y 36.04% respectivamente), actuando como especies clave que definen la fisonomía de la vegetación en este punto (**Tabla 3.3.3-424**). Su alta cobertura sugiere condiciones de sustrato posiblemente inestables o períodos de inundación variables, ya que estas especies son pioneras y tolerantes a disturbios (Pott, 2000). La presencia de familias como Cyperaceae (juncos) y Marantaceae, con valores de cobertura menores, añade complejidad estructural al ensamblaje, indicando microhabitats con diferentes condiciones de humedad.

Por el contrario, la comunidad en el punto OCMY7 exhibe una estructura extremadamente simplificada, dominada casi en su totalidad por una única morfoespecie de la familia Araceae (90.47% de abundancia relativa), la cual comparte el espacio con una especie de Marantaceae (*Calathea* sp.) (**Tabla 3.3.3-424**). Esta baja diversidad y la alta dominancia de una sola familia sugieren condiciones ambientales particulares o presiones selectivas intensas. Las Araceae, muchas de ellas con hábitos trepadores o de crecimiento en grandes matas, pueden formar cortinas densas que limitan la penetración de luz, suprimiendo así el establecimiento de otras especies (Bove, 2018). Esta drástica diferencia en la composición entre puntos de muestreo tan cercanos subraya la alta heterogeneidad espacial y la influencia de factores locales (e.g., profundidad, velocidad de la corriente, sombreado, tipo de sustrato) en la estructuración de las comunidades de macrófitas, incluso dentro de un mismo sistema de drenaje (Murphy, 2021).

En conclusión, la comunidad de macrófitas en el área de estudio durante la época de lluvias está caracterizada por una diversidad moderada pero con una distribución heterogénea. Mientras un punto (OCmn4) presenta una comunidad típica de herbazal húmedo o de orilla, con múltiples especies coexistiendo, el otro (OCMY7) muestra un ecosistema altamente especializado y dominado por una sola familia. Este contraste resalta la importancia de realizar muestreos a microescala para comprender la verdadera diversidad beta y los procesos ecológicos que gobiernan estas comunidades en los ecosistemas asociados al río Meta.

Tabla 3.3.3-424 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Drenajes directos al río Meta época lluvia

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Drenajes Directos Al Río Meta			
				Punto De Muestreo	OCmn4		OCMY7	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	Araceae Mf.			63,33	90,47
		Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia peploides*	2,34	1,63		
			Onagraceae	*Ludwigia hyssopifolia*	0,67	0,47		
			Onagraceae	*Ludwigia* sp.	51,67	36,04		
		Poales	Poaceae	*Panicum* sp.	59	41,16		
			Poaceae	*Axonopus* sp.	4,33	3,02		
			Cyperaceae	*Cyperus odoratus*	6,67	4,65		
			Cyperaceae	*Rhynchospora* sp.	6	4,19		
		Zingiberales	Marantaceae	*Calathea* sp.			6,67	9,53
		Zingiberales	Marantaceae	*Maranta* sp.	12,67	8,84		
Cobertura Total general					**143,35**	**100**	**70**	**100**
Morfoespecies por Punto					**8**		**2**	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad para la comunidad de macrófitas acuáticas en el drenaje directo al río Meta (punto OCmn4) revela un ensamblaje con una diversidad moderada, característica de ambientes en etapas sucesionales tempranas o bajo cierta presión antrópica. Un valor del Índice de Shannon-Wiener (H') de 1.412 sugiere un nivel de diversidad de especies que puede considerarse bajo a moderado. Este valor, alejado de cero pero lejos de valores superiores a 3 o 4 que son comunes en comunidades muy diversas, indica que unas pocas especies dominan la comunidad (Moreno, Métodos para medir la biodiversidad. M & T–Manuales y Tesis SEA, 2001). Esta interpretación se corrobora con el Índice de Simpson (1-D) de 0.314, el cual representa una probabilidad baja (31.4%) de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes, confirmando la elevada dominancia ecológica en el sistema. La estructura de la comunidad está fuertemente influenciada por la alta abundancia relativa de unas pocas especies, como *Panicum* sp. y *Ludwigia* sp., lo que es típico de humedales con condiciones ambientales fluctuantes o disturbio (Murphy, 2021). Finalmente, un valor del Índice de Equitatividad de Pielou (J') de 0.788 se acerca al máximo de 1, lo que indica que, a pesar de la dominancia, las especies presentes en la comunidad tienen una distribución de abundancias relativamente equitativa entre sí. Esto sugiere que las especies menos abundantes logran coexistir y ocupar nichos ecológicos disponibles, evitando una dominancia absoluta de una sola especie (Magurran A. E., 2004). En conjunto, estos índices pintan el perfil de una comunidad acuática con baja riqueza de especies (8), donde la biomasa está concentrada en unos pocos taxones dominantes, pero con una distribución de recursos que permite una participación significativa de especies acompañantes.

Tabla 3.3.3-425 Índices de diversidad comunidad de macrófitas acuáticas Drenajes directos al río Meta, época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
OCmn4	143.35	8	1.412	0.314	0.788

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Es crucial destacar que el punto OCMY7 fue excluido de este análisis cuantitativo de diversidad alpha debido a que su comunidad estuvo representada por solo dos especies (riqueza = 2). Un tamaño de comunidad tan reducido hace que el cálculo de los índices de diversidad pierda significado ecológico y poder estadístico, ya que estos índices son altamente sensibles al tamaño de la muestra y al número de especies (Magurran A. E., 2004). Como se observó en la composición florística, este punto presentó una dominancia abrumadora de una morfoespecie de la familia Araceae (90.47% de abundancia relativa), lo que resultaría en valores extremadamente bajos de los índices de Shannon y Simpson, reflejando no necesariamente una baja diversidad en un sentido ecológico amplio, sino una comunidad altamente especializada y monopolizada por una sola especie. Por lo tanto, su inclusión en un análisis comparativo de diversidad con el punto OCmn4, que presenta una comunidad más rica y equitativa, sería metodológicamente incorrecto y ecológicamente engañoso. La decisión de analizar solo el punto con una riqueza adecuada (OCmn4) permite una interpretación más robusta y confiable de las métricas de diversidad en el área de estudio.

3.3.3.2.26 Microcuenca río Metica

La Microcuenca del río Metica, forma parte del sistema hidrográfico del río Meta y de los Llanos Orientales y se constituye en un componente fundamental para el equilibrio ecológico y el bienestar social de la región. Esta Microcuenca, de carácter predominantemente lótico, presenta una fisiografía característica de planicies aluviales con una red de drenaje densa y una altitud promedio inferior a los 500 msnm, lo que facilita la conformación de hábitats acuáticos diversos y dinámicos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). El río Metica, al ser tributario del río Meta, cumple un papel estratégico en la conectividad ecológica y en el mantenimiento de los procesos ecosistémicos locales, como la regulación hídrica, el transporte de sedimentos y la provisión de hábitats para numerosas especies acuáticas. En este contexto, el monitoreo de comunidades hidrobiológicas en tres puntos lóticos de la Microcuenca resulta esencial para evaluar la salud ecológica del ecosistema fluvial, dado que estas comunidades responden de manera sensible a las alteraciones físico-químicas y estructurales del medio, actuando como bioindicadores del estado del recurso hídrico (Merritt & Cummins, 2008). Además de su relevancia ecológica, el río Metica sustenta actividades agropecuarias, abastecimiento de agua y pesca artesanal, lo que lo convierte en un recurso vital para las comunidades humanas asentadas en su entorno (Corporinoquia, Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Metica (POMCA), 2020) . Por ello, el seguimiento de su integridad ecológica mediante el análisis de macroinvertebrados y otras comunidades biológicas constituye una herramienta clave para la gestión sostenible de la Microcuenca.

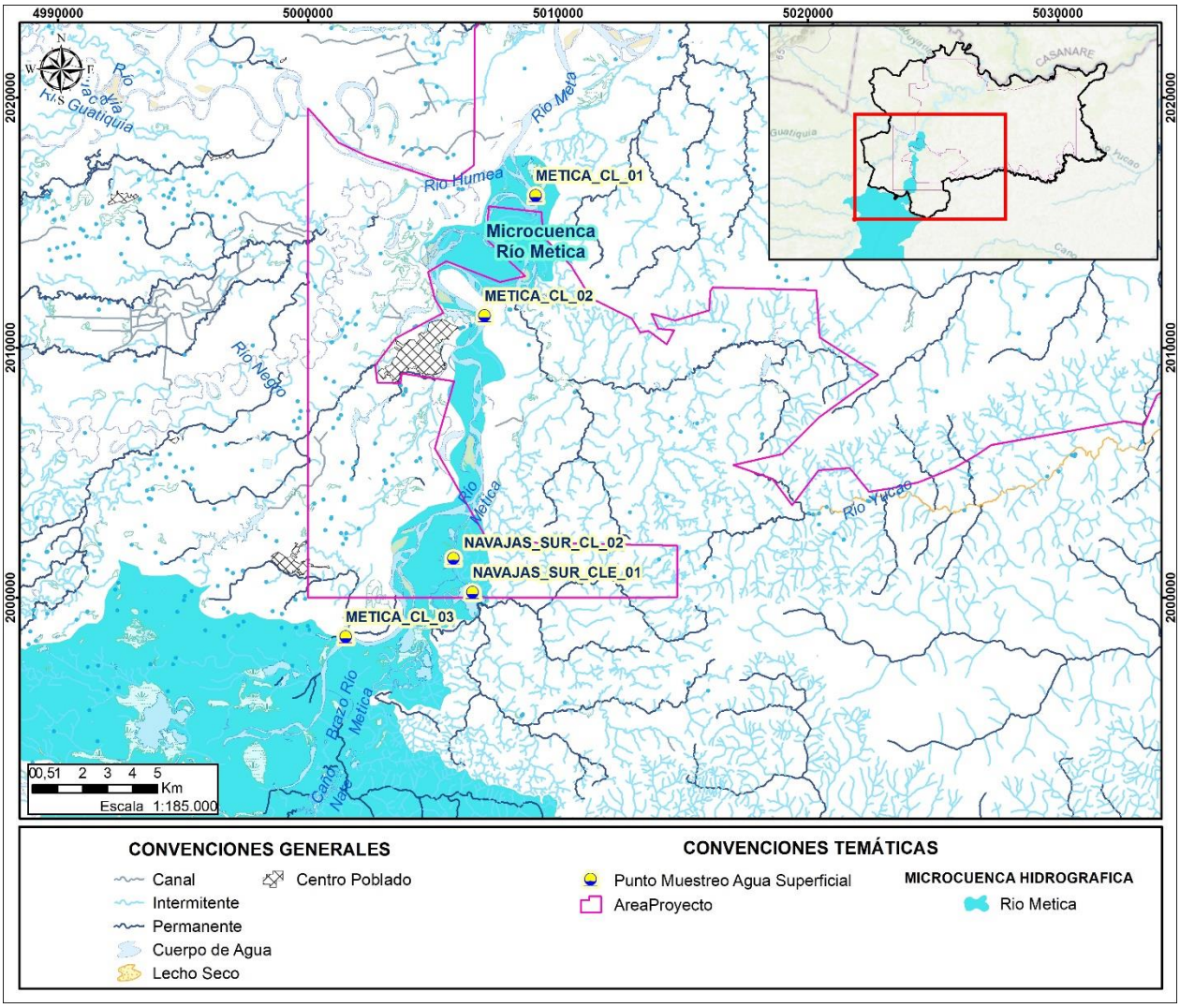


Figura 3.3.3-177 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Metica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el río Metica, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton en el río Metica durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la

columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico de la Microcuenca Río Mética, analizado durante la época seca en tres estaciones (METICA_CL_03, METICA_CL_01 y METICA_CL_02), presenta una comunidad acuática con características ecológicas particulares que reflejan las condiciones de un sistema lótico tropical en período de estiaje. La abundancia total de 65.9 Ind/cm² muestra una distribución desigual entre las estaciones, siendo METICA_CL_03 la de mayor densidad biológica con (37.7 Ind/cm²), seguida por METICA_CL_02 (22.2 Ind/cm²) y METICA_CL_01 (6 Ind/cm²). La riqueza taxonómica incluye 10 géneros pertenecientes a tres divisiones principales Heterokontophyta, Chlorophyta y Charophyta, con una marcada dominancia de diatomeas que representan el 92.4% de la abundancia total. La estructura comunitaria está liderada por *Aulacoseira* (23.1 Ind/cm², 35.1% del total) y *Ulnaria* (19.1 Ind/cm², 29%), seguidos de *Pinnularia* (9.1 Ind/cm², 13.8%), patrón que concuerda con lo reportado por (Roldán, 2016) para ríos de altillanura con influencia de sedimentos en suspensión (**Tabla 3.3.3-426**).

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad revela condiciones ambientales contrastantes la presencia de *Aulacoseira* (23.1 Ind/cm²), diatomea típica de aguas turbulentas con alto contenido de sílice según (Round et al., 1990), coexiste con *Ulnaria* (19.1 Ind/cm²), indicadora de aguas moderadamente contaminadas (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008). Esta combinación sugiere un sistema con variabilidad hidrodinámica, donde zonas de corriente rápida (favorables para *Aulacoseira*) alternan con áreas de flujo reducido propicias para *Ulnaria*. La baja representación de *Nitzschia* (3.9 Ind/cm²) con un porcentaje de abundancia (10.34%) y ausencia de especies altamente tolerantes a contaminación orgánica como *Oscillatoria* indican que el sistema no presenta eutrofización avanzada, aunque la presencia de *Stigeoclonium* (4 Ind/cm²) con un porcentaje de abundancia (18.02%) en METICA_CL_02 podría señalar áreas con moderado contenido orgánico. La limitada presencia de *Eunotia* (0.8 Ind/cm²) y una representación de (3.60%) (**Figura 3.3.3-178**), tradicional bioindicadora de aguas limpias y ácidas, sugiere que estas condiciones solo persisten en microhábitats muy específicos del sistema.

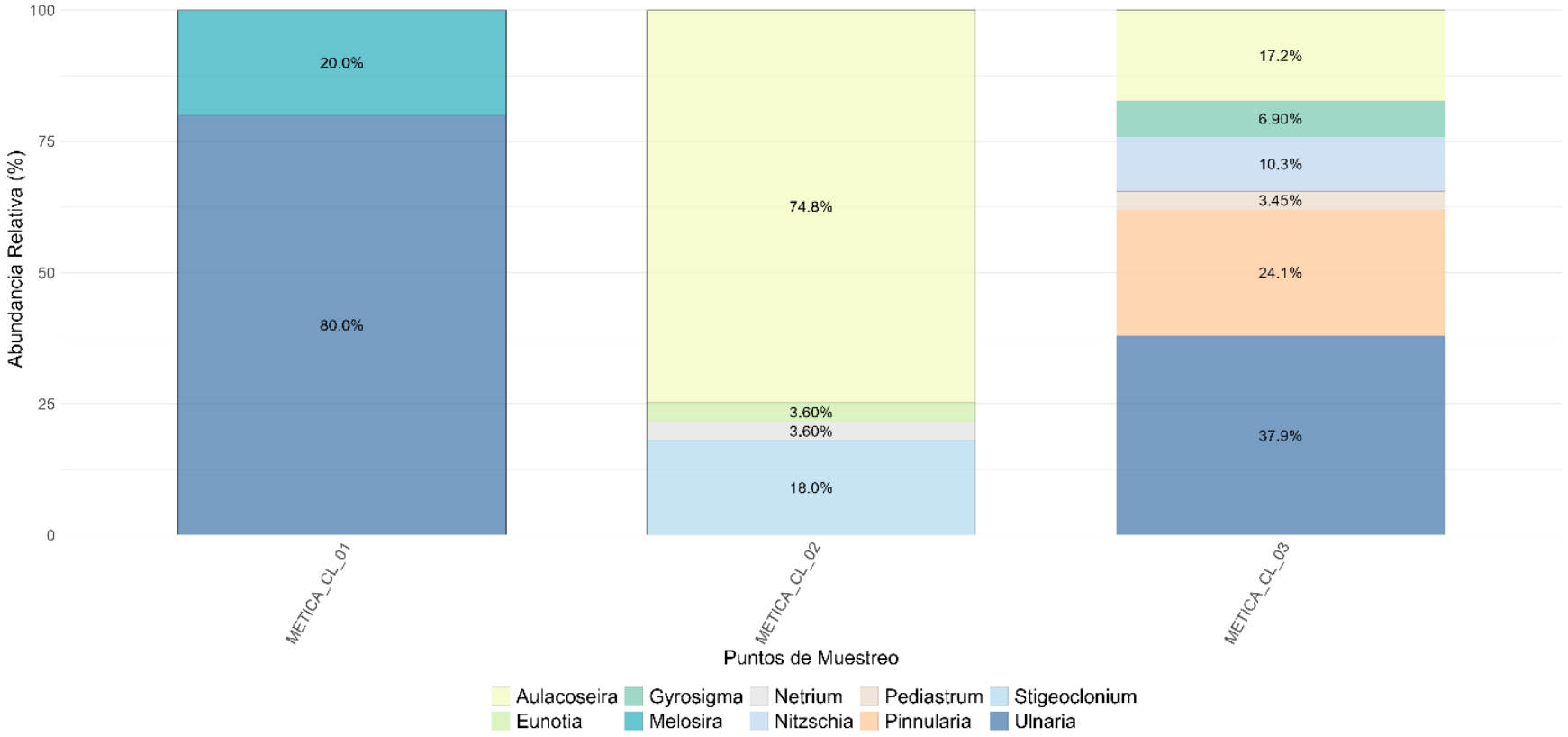


Figura 3.3.3-178 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la distribución diferencial de géneros entre estaciones (*Aulacoseira* dominante en METICA_CL_02 vs *Ulnaria* en METICA_CL_03), la presencia de *Netrium* (0.8 Ind/cm²), alga característica de humedales adyacentes, y la posible influencia de aportes terrestres se evidencia por la abundancia de *Melosira* (1.2 Ind/cm²), diatomea típica de aguas con alta carga sedimentaria. Estos patrones coinciden con los descritos por (Donato-Rondón, 2016) para sistemas fluviales de la Orinoquia con limitada conectividad durante la época seca.

En conclusión, la Microcuenca del Río Metica presenta una condición ecológica moderada, caracterizada por una comunidad con dominancia de diatomeas tolerantes (*Aulacoseira*, *Ulnaria*), baja representación de bioindicadores sensibles (solo 0.8 Ind/cm² de *Eunotia*), y abundancias totales reducidas típicas de época seca. Esta evaluación sugiere que el sistema enfrenta presiones ambientales moderadas, posiblemente asociadas a variabilidad hidrológica natural más que a contaminación antrópica severa.

Tabla 3.3.3-426 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Metica			Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					METICA_CL_03	METICA_CL_01	METICA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	9,1			9,1
			Naviculaceae	*Gyrosigma*	2,6			2,6
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*			0,8	0,8
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	14,3	4,8		19,1
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	3,9			3,9
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*		1,2		1,2
		Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira*	6,5		16,6	23,1
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium*			4	4
		Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	*Pediastrum*	1,3			1,3
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Mesotaeniaceae	*Netrium*			0,8	0,8
Gran Total					**37,7**	**6**	**22,2**	**65,9**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de diversidad en las tres estaciones monitoreadas de la Microcuenca del Río Mética revela un gradiente ecológico significativo durante la época seca. La estación METICA_CL_03 destaca como la más diversa, con valores de Shannon (H'=1.729) que superan considerablemente a las demás estaciones, combinados con una alta equitatividad (Pielou=0.965) y riqueza moderada de seis géneros, lo que sugiere condiciones ambientales más estables y favorables para el desarrollo del perifiton. Estos valores, analizados en conjunto con su abundancia (37.7 Ind/cm²), indican una comunidad estructurada donde ninguna especie domina de manera marcada (Simpson=0.206), patrón característico de sistemas bien conservados según (Magurran A. E., 2004). En contraste, METICA_CL_02 presenta una situación ecológica más comprometida, con baja diversidad (Shannon=0.761) y equitatividad (Pielou=0.549) a pesar de su mayor abundancia (22.2 Ind/cm²), lo que refleja condiciones de estrés ambiental donde pocas especies logran prosperar. La estación METICA_CL_01 muestra una situación particular, con la menor abundancia (6 Ind/cm²) y riqueza DE dos géneros, pero con una equitatividad teóricamente

perfecta (Pielou=1) (**Tabla 3.3.3-427**), valor que sugiere una equidad en las abundancias de los géneros reportados.

Considerando los patrones espaciales observados, la Microcuenca del Río Mética presenta una calificación ecológica heterogénea, oscilando entre moderada en METICA_CL_03 y degradada en METICA_CL_02, según los estándares de bioindicación propuestos por (Roldán, 2016) para sistemas tropicales. La marcada diferencia en los valores de diversidad entre estaciones (Shannon desde 0.761 hasta 1.729) (**Tabla 3.3.3-427**) sugiere la existencia de microambientes con condiciones ecológicas muy diferenciadas dentro del mismo sistema fluvial, fenómeno documentado por (Donato-Rondón, 2016) en ríos de altillanura durante períodos de estiaje. La presencia simultánea de áreas con alta diversidad (METICA_CL_03) y zonas con comunidades empobrecidas (METICA_CL_02) podría relacionarse con variaciones en la disponibilidad de sustratos, calidad del agua o conectividad con sistemas terrestres adyacentes.

Tabla 3.3.3-427 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Metica época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
METICA_CL_01	6	2	0.95	0.44	1
METICA_CL_02	22.2	4	0.761	0.597	0.549
METICA_CL_03	37.7	6	1.729	0.206	0.965

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos registrado en el sistema lótico del río Metica, ubicado en la altillanura colombiana y monitoreado durante la época seca, evidencia una comunidad compuesta por un total de cuatro morfoespecies, distribuidas en dos (2) phyllum (Arthropoda y Mollusca), dos (2) clases (Insecta, Bivalvia), tres (3) órdenes (Diptera, Coleóptera y Sphaeriida), cuatro (4) familias (Chironomidae, Muscidae, Elmidae y Sphaeriidae) y dos (2) géneros, alcanzando una abundancia total de 26,3 individuos/m². Las estaciones de monitoreo incluidas fueron METICA_CL_01 y METICA_CL_03, con mayor representatividad de individuos en la estación METICA_CL_03 (**Tabla 3.3.3-428**).

Tabla 3.3.3-428 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Metica		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						METICA_CL_03	METICA_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.	21,2		21,2
			Muscidae		*Muscidae* Mf.		1,1	1,1
		Coleóptera	Elmidae	*Phanocerus*	*Phanocerus* sp.		1,1	1,1
Mollusca	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	*Pisidium*	*Pisidium* sp.	2,2		2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**23**	**2**	**26**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista bioecológico, el grupo con mayor representación fue Chironomidae Mf. (Diptera: Chironomidae), con una abundancia de 21,2 individuos/m², lo que representa aproximadamente el 80,6% del total registrado. Este grupo es ampliamente reconocido por su tolerancia a condiciones ambientales adversas, incluyendo altos niveles de materia orgánica, bajas concentraciones de oxígeno disuelto y alteración del sustrato (Roldán, 2003; Tachet et al., 2010). La presencia dominante de chirónomidos sugiere una posible condición de estrés ambiental o alteración del hábitat, particularmente asociada a condiciones tróficas elevadas o colmatación del fondo.

La aparición de representantes de *Phanocerus sp*. (Coleoptera: Elmidae), aunque con baja abundancia (1,1 ind/m²), resulta destacable debido a su asociación con aguas con mayor oxigenación, flujos constantes y presencia de microhábitats como hojarasca o rocas sumergidas, lo cual podría evidenciar cierta heterogeneidad del sistema o una condición de transición ecológica favorable. Asimismo, la detección de Pisidium sp. (Bivalvia: Sphaeriidae) en METICA_CL_03, con 2,2 ind/m², refuerza la hipótesis de ambientes lóticos poco profundos con sedimentos blandos, donde estos bivalvos pueden desarrollarse.

Por otro lado, la familia Muscidae, identificada a nivel de morfoespecie en la estación METICA_CL_01, es inusual como componente dominante de comunidades acuáticas bentónicas, y su presencia puede responder a estadios larvales incidentales o condiciones marginales en el sistema acuático (**Figura 3.3.3-179**). Esto evidencia una posible interacción entre el sistema terrestre (vía caída de materia orgánica, insectos adultos o larvas transportadas) y el acuático, sugiriendo una conectividad ecosistémica activa, aunque limitada.

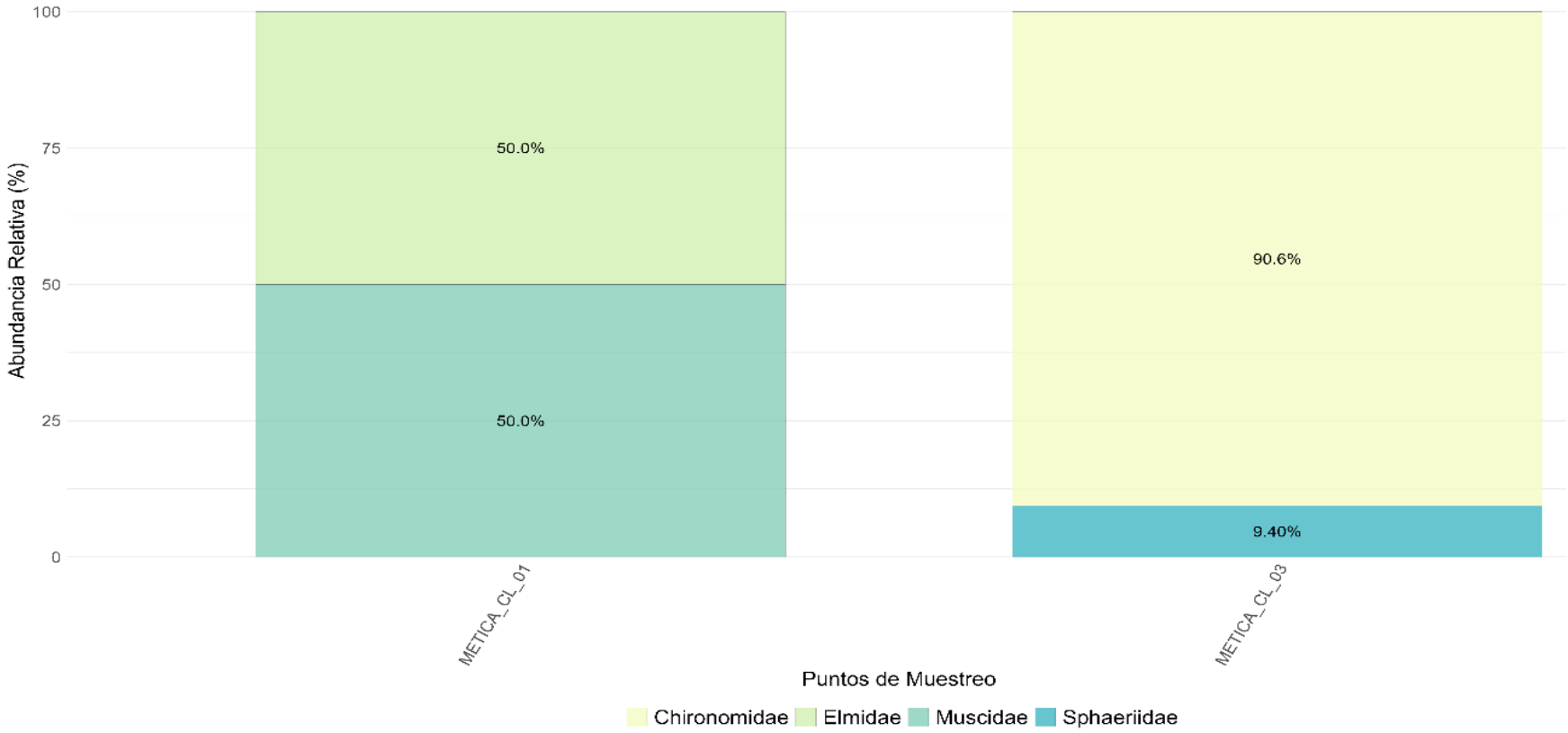


Figura 3.3.3-179 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La coexistencia de moluscos bivalvos, coleópteros acuáticos y larvas de dípteros sugiere que, a pesar de la dominancia de morfoespecies tolerantes, existen elementos estructurales en el ecosistema que podrían estar proporcionando microhábitats diferenciados. Sin embargo, la baja riqueza y la dominancia de un solo taxón reflejan una comunidad aún en condiciones subóptimas o con perturbaciones recurrentes.

En términos de interpretación ecológica, este ensamble sugiere un ecosistema lótico con baja diversidad estructural, dominado por taxones generalistas y tolerantes, y con escasa representación de bioindicadores sensibles. Lo anterior limita la funcionalidad ecosistémica y puede ser el resultado de impactos acumulativos como erosión, deforestación de zonas riparias, aporte de materia orgánica, o disminución de caudales superficiales durante la época seca (Merritt & Cummis, 2008; Bonada et al., 2006).

En conclusión, aunque el sistema del río Metica mantiene una comunidad de macroinvertebrados bentónicos activa, su composición sugiere condiciones de presión ecológica moderada a alta. La dominancia de Chironomidae y la baja representación de grupos sensibles reducen su capacidad de autorregulación y resistencia ecológica. Se recomienda un monitoreo continuo que incorpore variables fisicoquímicas, hidromorfológicas y análisis multitemporales para determinar la tendencia ecológica del sistema y proponer estrategias de restauración ambiental si se confirman condiciones de degradación.

Con respecto al análisis del índice BMWP/Col, este presenta una situación de alta degradación ecológica, con valores respectivos de 10 y 7, ambos clasificados dentro de la categoría de calidad "Muy crítica", correspondiente a aguas moderadamente contaminadas (**Tabla 3.3.3-429**).

El índice BMWP/Col evalúa la calidad del agua a partir de la tolerancia diferencial de las familias de macroinvertebrados bentónicos a la contaminación, asignando valores altos a las familias más sensibles (como Perlidae o Heptageniidae) y bajos a las más tolerantes (como Chironomidae o Tubificidae) (Roldán, 2003). En este caso, los puntajes bajos reflejan la ausencia total de familias bioindicadoras sensibles, y una comunidad dominada probablemente por taxones como Chironomidae y otros grupos tolerantes, tal como se evidencia en el análisis del ensamble ecológico de la Microcuenca.

Tabla 3.3.3-429 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Metica época seca

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO METICA	METICA_CL_03	V	Muy crítica	10	Aguas moderadamente contaminadas
	METICA_CL_01	V	Muy crítica	7	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Ambos valores están significativamente por debajo del umbral mínimo de 30 puntos, que indica una calidad del agua aceptable o buena, lo que sugiere que el río Metica, en las estaciones evaluadas durante época seca, presenta condiciones ambientales desfavorables para el desarrollo de una comunidad acuática diversa y funcional. Estos resultados podrían asociarse a factores

como el descenso en los caudales, incremento de la temperatura, disminución del oxígeno disuelto, o procesos de colmatación del sustrato, comunes durante la época seca en sistemas lóticos de la altillanura (Bonada et al., 2006).

En conclusión, los bajos valores del índice BMWP/Col en la Microcuenca del río Metica reflejan una comunidad acuática empobrecida, dominada por grupos tolerantes, lo que es consistente con un estado ecológico muy crítico.

- Diversidad Alfa

El análisis de los índices de diversidad alfa para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la Microcuenca del río Metica, en época seca, revela una estructura de la comunidad con baja diversidad taxonómica y dominancia moderada, con presencia restringida de morfoespecies tolerantes y escasa heterogeneidad ecológica.

En el punto METICA_CL_01, se registró una abundancia total de 2.2 individuos/m², con una riqueza de solo dos morfoespecies. El índice de Shannon fue de 0.693, mientras que el índice Simpson fue de 0.5, lo que indica una equidad intermedia en la distribución de los individuos entre las morfoespecies presentes. La equitatividad de Pielou es igual a 1, lo cual sugiere una distribución completamente equitativa, aunque este valor debe interpretarse con cautela, dado el bajo número de especies y abundancia registrada (**Tabla 3.3.3-430**).

En el punto METICA_CL_03, con una abundancia de 23.4 individuos/m² y también dos morfoespecies, se obtuvo un índice de Shannon de 0.86, un valor ligeramente mayor, lo que indica una diversidad levemente superior, probablemente asociada a una distribución más balanceada de los individuos. Sin embargo, el índice de Simpson fue de 0.488, indicando una dominancia intermedia. La equitatividad de Pielou fue de 1.241, lo cual excede el rango teórico máximo de 1 para este índice, sugiriendo posibles inconsistencias en el cálculo o una interpretación incorrecta de los valores relativos en proporción al número de especies presentes (**Tabla 3.3.3-430**) (Magurran, 2004).

Tabla 3.3.3-430 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época seca.

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO METICA	METICA_CL_01	2.2	2	0.693	0.5	1
	METICA_CL_03	23.4	2	0.86	0.488	1.241

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Ambas estaciones presentan una riqueza muy baja (2 morfoespecies), lo que limita la complejidad funcional del ensamble y reduce su capacidad de resiliencia ecológica. Esta baja diversidad podría estar influenciada por condiciones ambientales restrictivas en época seca, como baja disponibilidad de oxígeno, disminución de caudales, homogeneidad de hábitat o presiones antrópicas locales.

En conjunto, los resultados muestran que los ensambles de macroinvertebrados bentónicos en esta Microcuenca durante época seca se caracterizan por comunidades empobrecidas, con baja

diversidad alfa, dominadas por pocas especies tolerantes. Este patrón refleja un deterioro ecológico moderado a severo y resalta la necesidad de fortalecer los programas de monitoreo con especial énfasis en el período de estiaje, que representa un momento crítico para la integridad ecológica de los sistemas lóticos en regiones de altillanura.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada seca, la comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca del río Metica dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5 mostró una baja diversidad florística, representada por tres morfoespecies distribuidas en dos divisiones taxonómicas: Tracheophyta (plantas vasculares con semillas) y Lycopodiopsida (plantas vasculares sin semillas), lo cual es característico de ecosistemas acuáticos lóticos con variaciones estacionales marcadas (Chambers, 2008)- En el punto METICA_CL_01 se encontró una única morfoespecie perteneciente a la familia Poaceae (Poaceae Mf.) con un 100 % de cobertura, lo que sugiere condiciones favorables para especies helófitas de crecimiento rápido, típicas de bordes ribereños con suelos expuestos en época seca (Cronk, 2001). En METICA_CL_02 se identificaron dos morfoespecies: *Isoetes* sp. (familia Isoetaceae) con un 94,23 % de abundancia relativa y *Ludwigia* sp. (familia Onagraceae) con 5,77 %, evidenciando una mayor heterogeneidad estructural del hábitat que podría estar asociada a microambientes con retención de humedad y diferencias en velocidad de corriente o sustrato. En contraste, el punto METICA_CL_03 no presentó presencia de macrófitas acuáticas, lo cual puede atribuirse a factores como mayor turbulencia del flujo, escasa acumulación de sedimentos o alteración antrópica directa (Baattrup-Pedersen, 2006). En conjunto, la composición observada sugiere una comunidad simplificada, posiblemente influenciada por condiciones hidrológicas restrictivas en temporada seca, con dominancia de especies resistentes o tolerantes a estrés hídrico (**Tabla 3.3.3-431**). Este patrón coincide con lo documentado para otras Microcuencas tropicales donde la estacionalidad marca significativamente la estructura de las comunidades vegetales acuáticas (Junk et al., 1989). El bajo número de morfoespecies y la distribución espacial discontinua reflejan la importancia de conservar las condiciones fisicoquímicas y morfológicas del cauce para favorecer la resiliencia ecológica de estas comunidades.

Tabla 3.3.3-431 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Metica época seca

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Metica				
				Punto De Muestreo	METICA_CL_01		METICA_CL_02		METICA_CL_03
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura
Tracheophyta	Magnoliidae	Myrtales	Onagraceae	*Ludwigia* sp.			1	5,77	No se encontraron especies
		Poales	Poaceae	Poaceae Mf.	5	100			
	Lycopodiopsida	Isoetales	Isoetaceae	*Isoetes* sp.			16,33	94,23	
Cobertura Total general					**5**	**100**	**17,33**	**100**	**0**
Morfoespecies por Punto					**1**		**2**		**0**
Morfoespecies por Microcuenca					**3**				

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

La ausencia de índices de diversidad en la temporada seca para los puntos de muestreo del río Metica se justifica debido a la baja riqueza específica registrada, situación que limita el cálculo de métricas ecológicas como los índices de Shannon-Wiener o Simpson, los cuales requieren una cantidad mínima de especies para generar resultados representativos y comparables (Magurran A. E., 2004). En el punto METICA_CL_02 solo se identificaron dos morfoespecies, mientras que en METICA_CL_01 se encontró una única morfoespecie, y en METICA_CL_03 no se registró presencia de macrófitas acuáticas. Esta baja diversidad puede estar relacionada con condiciones ambientales restrictivas propias de la temporada seca, como la disminución del caudal, la exposición de sustratos, y el aumento de la temperatura y la concentración de solutos, factores que afectan negativamente la colonización y el establecimiento de especies acuáticas (Chambers, 2008), (Junk et al., 1989). Además, estudios previos han señalado que en ecosistemas lóticos tropicales la estacionalidad puede generar fuertes fluctuaciones en la composición y estructura de las comunidades vegetales, haciendo que en ciertas épocas del año las condiciones sean subóptimas para el desarrollo de macrófitas (Baattrup-Pedersen, 2006). Por lo tanto, la ausencia de valores de diversidad en este caso no representa una omisión metodológica, sino una respuesta esperada ante una comunidad extremadamente simplificada.

➢ *Época lluvia*

✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en el río Metica puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en la Microcuenca del Río Mética, evaluado en tres estaciones (METICA_CL_03, METICA_CL_01 y METICA_CL_02) durante la época lluviosa en la altillanura, presenta una comunidad con abundancia total de 159.0 ind/cm² distribuida de manera heterogénea. La estación METICA_CL_01 muestra la mayor abundancia (60.1 ind/cm²), dominada

por *Eunotia* (20.9 ind/cm², 34.8%) y *Cymatopleura* (12.6 ind/cm², 21.0%), seguida por METICA_CL_02 (52.4 ind/cm²) con predominio de *Pinnularia* (22.7 ind/cm², 43.3%) y *Eunotia* (15.7 ind/cm², 30.0%), mientras METICA_CL_03 (46.5 ind/cm²) destaca por *Pinnularia* (24.2 ind/cm², 52.0%) y *Navicula* (11.2 ind/cm², 24.1%) (**Tabla 3.3.3-432**) (**Figura 3.3.3-180**). La riqueza específica varía entre estaciones, con 6 géneros en METICA_CL_01, 4 en METICA_CL_02 y 5 en METICA_CL_03, siendo *Pinnularia* el más abundante a nivel de Microcuenca (55.3 ind/cm²), seguido por *Eunotia* (36.6 ind/cm²) y *Closterium* (15.1 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-432**).

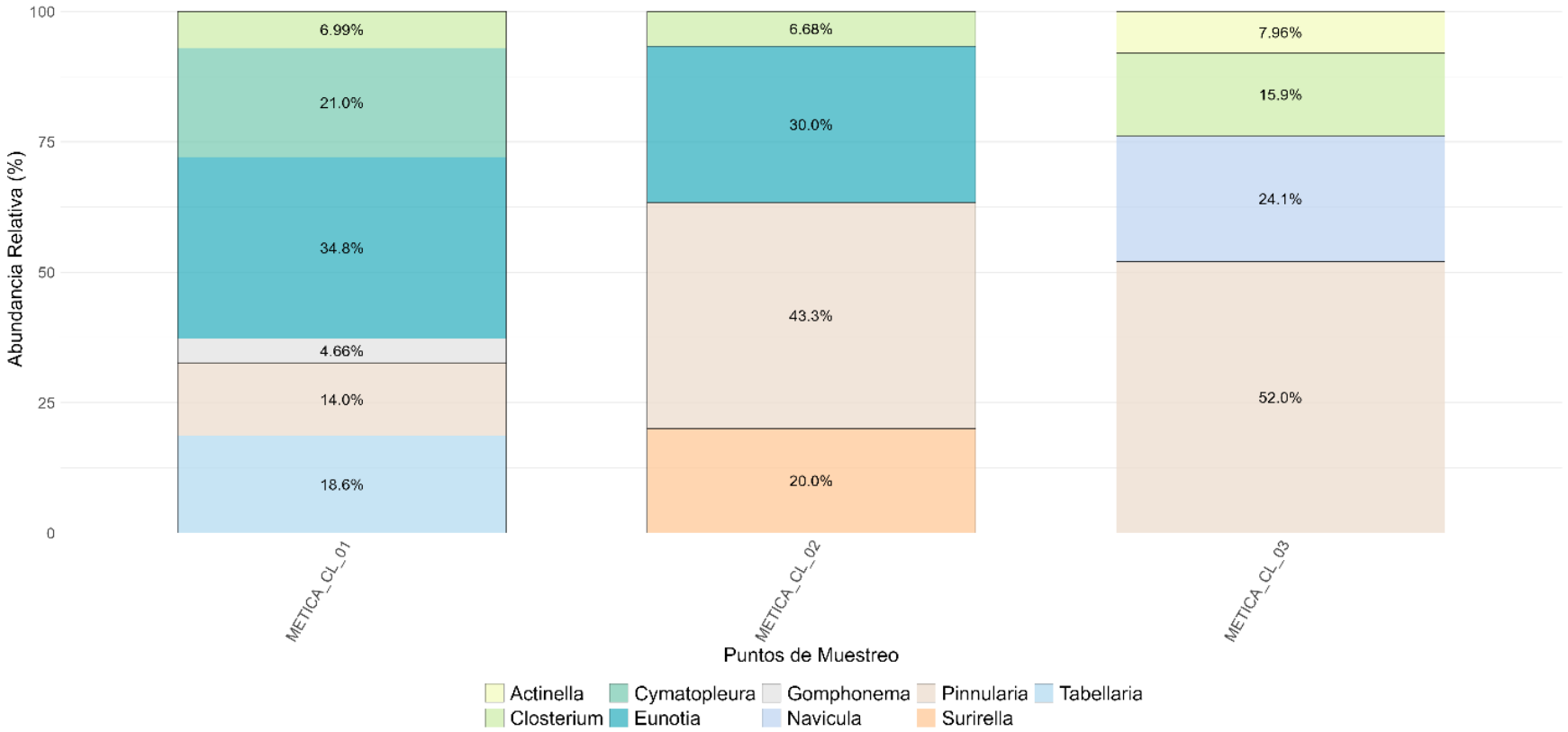


Figura 3.3.3-180 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La presencia de *Eunotia* (indicadora de aguas ácidas y oligotróficas) junto con *Pinnularia* (típica de aguas bien oxigenadas) sugiere condiciones ambientales variables en la Microcuenca (Round et al., 1990). La aparición de *Closterium* y *Surirella*, asociados a sistemas lénticos, indica una limitada interacción con ambientes de aguas estancadas, particularmente en METICA_CL_02 donde representan el 26.7% de la abundancia local. La distribución desigual de los taxones, con *Cymatopleura* exclusivo de METICA_CL_01 (21.0% local) y *Actinella* solo presente en METICA_CL_03 (8.0% local), refleja microhábitats diferenciados dentro del sistema lótico.

Considerando los patrones de distribución, los géneros bioindicadores y la estructura comunitaria, la Microcuenca recibe una calificación ecológica buena, con METICA_CL_01 como la estación más diversa y equilibrada, aunque la dominancia de *Pinnularia* en METICA_CL_03 (52.0%) y la presencia de taxones tolerantes (*Navicula*) sugieren presiones ambientales locales.

Tabla 3.3.3-432 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Metica época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Metica			Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					METICA_CL_03	METICA_CL_01	METICA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		2,8		2,8
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*			10,5	10,5
				Cymatopleura		12,6		12,6
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	24,2	8,4	22,7	55,3
			Naviculaceae	*Navicula*	11,2			11,2
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*		20,9	15,7	36,6
				Actinella	3,7			3,7
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*		11,2		11,2
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium*	7,4	4,2	3,5	15,1
Gran Total					46,5	60,1	52,4	159

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en las tres estaciones monitoreadas (METICA_CL_01, METICA_CL_02 y METICA_CL_03) del Río Mética revela un gradiente de diversidad característico de sistemas lóticos bien conservados. La estación METICA_CL_01 presenta los valores más altos de diversidad, con un índice de Shannon de 1.645 (diversidad moderada-alta), Simpson de 0.215 (baja dominancia) y Pielou de 0.918 (equitatividad casi perfecta), acompañados de la mayor riqueza específica (6 géneros). Estas características la posicionan como el punto mejor conservado de la Microcuenca. METICA_CL_02 muestra valores intermedios (Shannon 1.24, Simpson 0.316), mientras que METICA_CL_03, a pesar de su similar riqueza (4 géneros), presenta los índices más bajos (Shannon 1.157, Simpson 0.373) (**Tabla 3.3.3-433**), lo que sugiere una mayor dominancia de especies, particularmente de *Pinnularia* que representa el 52% de su abundancia.

La progresión descendente en los valores de diversidad desde METICA_CL_01 hasta METICA_CL_03 podría reflejar variaciones naturales en las condiciones del hábitat o presiones ambientales diferenciadas a lo largo del cauce.

Considerando el conjunto de estaciones, donde todas mantienen valores aceptables de diversidad (Shannon >1) y equitatividad (Pielou >0.8) (**Tabla 3.3.3-433**), la Microcuenca del Río Mética recibe una calificación ecológica buena, con METICA_CL_01 como zona de excelencia ecológica y METICA_CL_03 como área que requiere atención por su tendencia a la dominancia específica. Esta evaluación destaca la importancia de mantener la conectividad fluvial que permite la distribución heterogénea pero complementaria de las comunidades de perifiton a lo largo del sistema.

Tabla 3.3.3-433 Índices de Diversidad de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Metica época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
METICA_CL_01	60.10	6	1.65	0.22	0.92
METICA_CL_02	52.40	4	1.24	0.32	0.89
METICA_CL_03	46.50	4	1.16	0.37	0.84

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Río Mética y monitoreado durante la época de lluvias, fue evaluado en tres estaciones (METICA_CL_01, METICA_CL_02 y METICA_CL_03). La comunidad registró una abundancia total de 19 ind/m², distribuida en cuatro (4) morfoespecies pertenecientes a un phyllum (Arthropoda), dos (2) clases, tres (3) órdenes, cuatro (4) familias y dos (2) géneros identificados (*Aphrosylus* y *Macrobrachium*) (**Tabla 3.3.3-434**).

Tabla 3.3.3-434 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Metica			Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						METICA_CL_03	METICA_CL_01	METICA_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.		12,2		12,2
			Dolichopodidae	*Aphrosylus*	*Aphrosylus* sp.	1,1			1,1
		Lepidóptera	Pyralidae	-	Pyralidae Mf.		1,1		1,1
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.		1,1	3,3	4,4
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**1**	**14**	**3**	**19**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estación METICA_CL_01 presentó la mayor abundancia (14 ind/m²) y riqueza (3 morfoespecies), dominada por *Chironomidae* Mf. (12,2 ind/m², 87,1% de la abundancia en esta estación), acompañada de *Pyralidae* Mf. (1,1 ind/m²) y *Macrobrachium* sp. (1,1 ind/m²) (**Figura 3.3.3-181**). Esta composición sugiere un ambiente con fuerte influencia de materia orgánica (evidenciado por la dominancia de quironómidos) pero que aún mantiene condiciones para el desarrollo de otros grupos como los decápodos (Domínguez & Fernández, 2009). La presencia de Macrobrachium sp., un organismo sensible a la contaminación, aunque en baja

abundancia, indica cierta preservación de la calidad del agua en este sector (Roldán & Ramírez, 2008).

METICA_CL_02 mostró una comunidad más reducida (3 ind/m², 1 morfoespecie), compuesta exclusivamente por *Macrobrachium* sp. (3,3 ind/m²) (**Figura 3.3.3-181**). La ausencia de otros taxones podría deberse a condiciones particulares del sustrato o a factores de estrés localizados, aunque la presencia del decápodo sugiere que el ambiente no está completamente degradado (Buss et al., 2015). Por su parte, METICA_CL_03 registró la menor abundancia (1,1 ind/m²) con solo *Aphrosylus* sp. (Dolichopodidae), un díptero depredador que indica conexiones con sistemas terrestres a través de sus formas adultas voladoras (Merritt et al., 2008).

Desde la perspectiva de la bioindicación, el ensamble revela un sistema con presiones ambientales heterogéneas. La marcada dominancia de Chironomidae Mf. en METICA_CL_01 (87,1% de su comunidad) es característica de ambientes con aportes orgánicos significativos, mientras que la presencia de *Macrobrachium* sp. en METICA_CL_01 y METICA_CL_02 señala sectores con mejor calidad de agua (**Figura 3.3.3-181**). La limitada diversidad general (4 morfoespecies en total) sugiere que el Río Mética enfrenta desafíos ecológicos, posiblemente relacionados con la alteración de su hábitat o la contaminación difusa (Allan & Castillo, 2007).

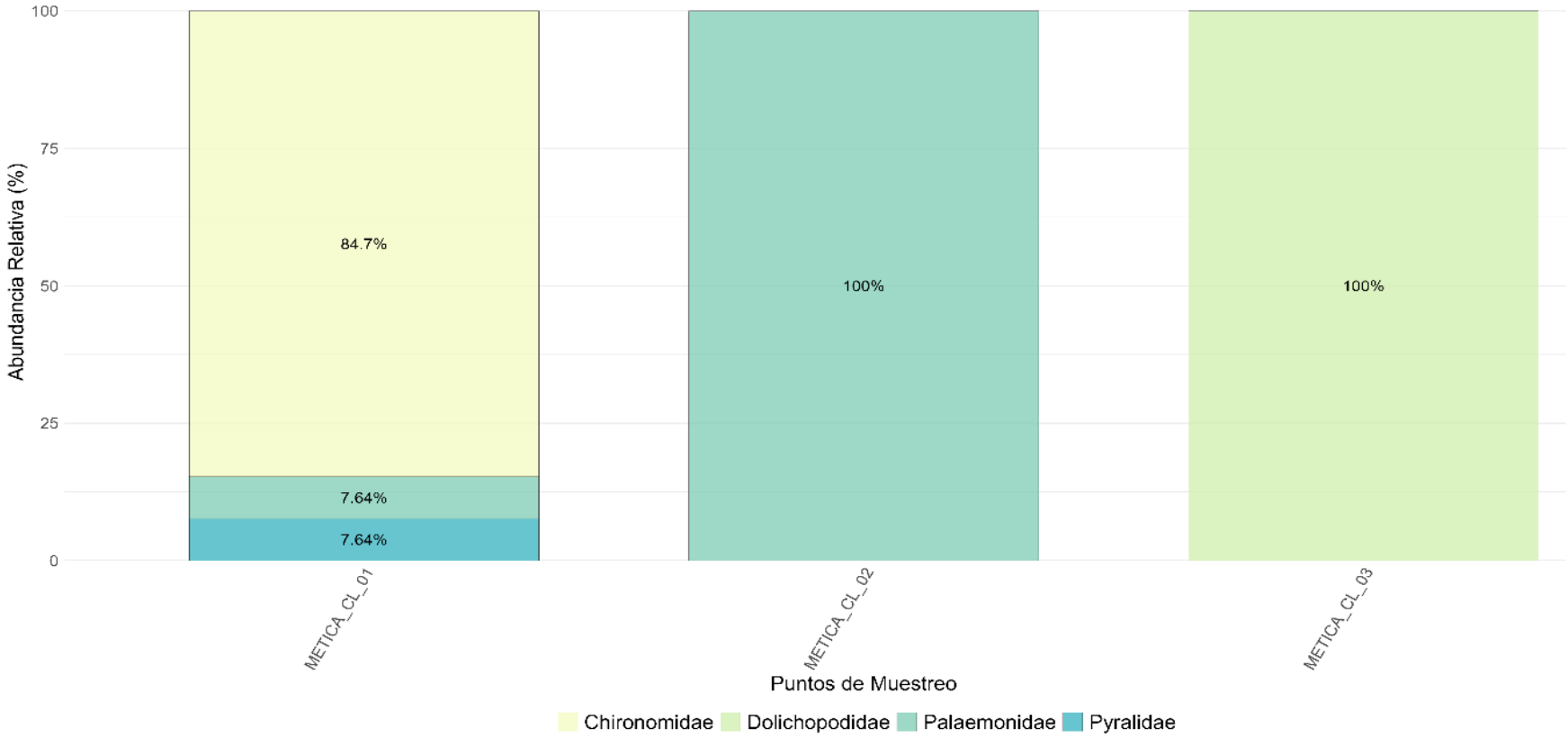


Figura 3.3.3-181 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Las interacciones ecológicas destacan la conectividad del sistema con otros ambientes acuáticos y terrestres. *Macrobrachium* sp. (presente en dos estaciones) indica vínculos con sistemas lénticos o estuarinos, esenciales para su ciclo de vida (Magalhães, 2005). Los dípteros (*Aphrosylus* sp. y *Chironomidae* Mf.) actúan como enlaces tróficos entre los sistemas acuáticos y terrestres, especialmente a través de sus formas adultas voladoras que sirven de alimento a aves y otros depredadores ribereños (Cummins et al., 2005). La ausencia de grupos típicamente sensibles como tricópteros o efemerópteros sugiere limitaciones en la calidad del hábitat o falta de conectividad con fuentes de colonización.

En conclusión, el ensamble del Río Mética refleja un sistema lótico con condiciones ambientales variables, donde predominan organismos tolerantes (Chironomidae) pero persisten taxones indicadores de calidad (*Macrobrachium* sp.). La heterogeneidad entre estaciones —desde la dominancia extrema de quironómidos en METICA_CL_01 hasta la presencia exclusiva de decápodos en METICA_CL_02— resalta la necesidad de manejar el río como un sistema con microhábitats diferenciados.

Los resultados del índice BMWP/Col muestran un gradiente de perturbación ambiental a lo largo de sus estaciones de monitoreo. La estación METICA_CL_01, con un valor de 17 puntos (Clase IV - Crítica) (**Tabla 3.3.3-435**), presenta la mejor condición relativa, debido principalmente a la presencia de *Macrobrachium* sp. (Decapoda: Palaemonidae), que como organismo sensible aporta una puntuación significativa al índice. Sin embargo, la dominancia de *Chironomidae* Mf. (12.2 ind/m²), grupo con baja puntuación en el BMWP, limita el valor final y mantiene la clasificación en la categoría crítica (Roldán & Ramírez, 2008). Esta composición mixta sugiere un ambiente con microhábitats que permiten la supervivencia de taxones sensibles, pero con una fuerte influencia de materia orgánica que favorece a los quironómidos (Domínguez & Fernández, 2009).

Las estaciones METICA_CL_02 y METICA_CL_03, clasificadas como Clase V (Muy crítica), no presentan un comportamiento como comunidad al encontrarse simplificadas con una sola morfoespecie cada una. METICA_CL_02 (BMWP=8) registró exclusivamente *Macrobrachium* sp. (3.3 ind/m²), lo que le confiere una puntuación mayor que METICA_CL_03 (BMWP=4), donde solo se encontró *Aphrosylus* sp. (1.1 ind/m²). Esta diferencia se explica porque los decápodos tienen mayor valor en el BMWP que los dípteros dolichopódidos (Buss et al., 2015). La presencia de *Macrobrachium* sp. como único representante en METICA_CL_02 indica que, aunque el ambiente es crítico, aún mantiene condiciones básicas para este crustáceo relativamente sensible.

Tabla 3.3.3-435 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Metica época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO METICA	METICA_CL_01	IV	Critica	17	Aguas muy contaminadas
	METICA_CL_02	V	Muy crítica	8	Aguas muy contaminadas
	METICA_CL_03	V	Muy crítica	4	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La ausencia total de grupos altamente sensibles (como tricópteros o efemerópteros) en todas las estaciones, y la marcada pobreza de especies en METICA_CL_02 y METICA_CL_03, sugieren que el Río Mética enfrenta presiones ambientales significativas. Los valores de BMWP en disminución

reflejan una pérdida progresiva de la complejidad biológica, posiblemente asociada con la contaminación orgánica creciente aguas abajo, la alteración física del hábitat, o la desconexión de corredores biológicos esenciales (Allan & Castillo, 2007).

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa reflejan una estructura comunitaria fuertemente alterada en el Río Mética, mostrando un gradiente de degradación ambiental entre las estaciones analizadas. En METICA_CL_01, los valores de Shannon (H'=0.536) y Simpson (D=0.728) indican una comunidad dominada por una morfoespecie (*Chironomidae* Mf. con 12.2 ind/m²) (**Tabla 3.3.3-436**), con baja diversidad y alta dominancia, característica de sistemas impactados. El índice de Pielou (J'=0.488) confirma una distribución desigual de individuos entre las tres morfoespecies presentes, donde los quironómidos representan el 84.7% de la abundancia total, mientras que *Pyralidae* Mf. y *Macrobrachium* sp. aparecen como componentes minoritarios (Domínguez & Fernández, 2009).

Las estaciones METICA_CL_02 y METICA_CL_03 presentan comunidades ecológicamente empobrecidas, con una sola morfoespecie cada una (*Macrobrachium* sp. y *Aphrosylus* sp. respectivamente), lo que imposibilita el cálculo de los índices de diversidad. Esta simplificación extrema de la comunidad bentónica es indicativa de condiciones ambientales críticas, donde solo organismos con estrategias ecológicas especializadas pueden persistir (Roldán & Ramírez, 2008). La presencia exclusiva de *Macrobrachium* sp. en METICA_CL_02 sugiere la existencia de microhábitats particulares que permiten la supervivencia de esta especie sensible, a pesar del colapso general de la comunidad.

Tabla 3.3.3-436 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Metica época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO METICA	METICA_CL_01	14.4	3	0.536	0.728	0.488
	METICA_CL_02	3.3	1	-	-	-
	METICA_CL_03	1.1	1	-	-	-

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de la teoría de comunidades, el sistema muestra un claro proceso de filtrado ambiental, donde las condiciones abióticas solo permiten el establecimiento de morfoespecies con tolerancias específicas. La dominancia de Chironomidae en METICA_CL_01 y la presencia de taxa únicos en las otras estaciones reflejan una pérdida de redundancia funcional, característica de ecosistemas acuáticos sometidos a estrés crónico (Buss et al., 2015). La ausencia de organismos con requerimientos ecológicos estrictos (como tricópteros o efemerópteros) sugiere que las condiciones actuales del río solo permiten la persistencia de bioindicadores tolerantes.

Los bajos valores de equitatividad (especialmente en METICA_CL_01) indican que, aunque existen múltiples especies en algunas estaciones, la comunidad está fuertemente dominada por un taxón, lo que reduce su estabilidad frente a perturbaciones adicionales (Magurran, 2004). Esta estructura comunitaria desbalanceada puede afectar los procesos ecosistémicos clave, como el reciclaje de nutrientes y la transferencia de energía a niveles tróficos superiores.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvia, la comunidad de macrófitas acuáticas registrada en la Microcuenca del río Metica dentro del área de influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5 presentó una mayor diversidad florística en comparación con la temporada seca, evidenciando un total de seis morfoespecies distribuidas en tres puntos de muestreo. Esta mayor riqueza específica es consistente con el patrón ecológico documentado para sistemas fluviales tropicales, donde la expansión del hábitat acuático y la estabilidad hídrica durante el periodo de lluvias favorecen la colonización y establecimiento de diversas especies (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989). En METICA_CL_01 se identificaron dos morfoespecies de la familia Poaceae (Panicum sp. y Axonopus sp.), con coberturas de 1,33 % y 1,67 % respectivamente, lo que refleja una comunidad dominada por especies graminoides, típicas de ambientes ribereños húmedos. En METICA_CL_02, la estructura comunitaria mostró mayor complejidad, con tres morfoespecies pertenecientes a distintas familias: *Ipomoea* sp. (Convolvulaceae), *Hyptis* sp. (Lamiaceae) y *Acalypha* sp. (Euphorbiaceae), con una cobertura total del 42,67 %, lo que sugiere condiciones ambientales más heterogéneas y potencialmente más estables. Por su parte, METICA_CL_03 estuvo dominado exclusivamente por Gynerium sp. (Poaceae), con una cobertura notable del 132 %, lo que indica una alta capacidad de propagación y crecimiento de esta especie en ambientes con abundante disponibilidad hídrica. Este tipo de dominancia por una sola especie puede estar relacionada con procesos de competencia interespecífica y adaptaciones morfológicas a flujos variables (Chambers, 2008). En conjunto, la composición taxonómica observada (con predominio de angiospermas pertenecientes a Tracheophyta, clase Magnoliidae) resalta la importancia de los pulsos hidrológicos en la dinámica de las comunidades vegetales acuáticas, al influir directamente en la estructura, cobertura y distribución de las especies (Esteves F. A., 2011) (**Tabla 3.3.3-437**). Esta información es clave para la gestión ecológica de la Microcuenca, ya que permite entender cómo la variabilidad estacional determina la composición florística en estos ecosistemas lóticos.

Tabla 3.3.3-437 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Metica Época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Metica					
				Punto De Muestreo	METICA_CL_01		METICA_CL_02		METICA_CL_03	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Poaceae	*Panicum* sp.	1,33	44,33				
				Axonopus sp.	1,67	55,67				
				Gynerium sp.					132	100
		Solanales	Convolvulaceae	*Ipomoea* sp.			11,33	26,55		
		Lamiales	Lamiaceae	*Hyptis* sp.			21,67	50,79		
		Malpighiales	Euphorbiaceae	*Acalypha* sp.			9,67	22,66		
Cobertura Total general					**3**	**100**	**42,67**	**100**	**132**	**100**
Morfoespecies por Punto					**2**		**3**		**1**	
Morfoespecies por Microcuenca					**6**					

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante la temporada de lluvias, el punto de muestreo METICA_CL_02 fue el único en el que se pudieron calcular índices de diversidad para la comunidad de macrófitas acuáticas, debido a que presentó una riqueza de tres morfoespecies. En contraste, los puntos METICA_CL_01 y METICA_CL_03 no fueron susceptibles de análisis de diversidad por presentar menos de tres especies, lo cual limita la aplicabilidad de estos índices, ya que métricas como Shannon-Wiener y Simpson requieren una mínima variabilidad en la composición para reflejar diferencias estructurales en la comunidad (Magurran A. E., 2004). En METICA_CL_02, el índice de Shannon alcanzó un valor de 1.04, indicando una diversidad moderada con una distribución relativamente balanceada entre las especies presentes. Este valor, junto con un índice de Simpson de 0.375 y una equidad de Pielou de 0.947, sugiere que, aunque la riqueza fue baja, la abundancia relativa entre las especies estuvo bien distribuida, sin dominancia marcada. Estos resultados son consistentes con lo reportado en ambientes fluviales tropicales, donde el régimen hidrológico influye directamente en la heterogeneidad del hábitat y, por ende, en la diversidad vegetal (Thomaz, 2003). La alta equidad observada es un indicador positivo de estabilidad estructural local, a pesar de la baja riqueza, lo cual puede reflejar una fase de recuperación o expansión temporal de la vegetación en respuesta a las condiciones favorables de la temporada de lluvias (Esteves F. A., 2011). La ausencia de valores en los demás puntos refuerza la necesidad de considerar la estacionalidad y la riqueza mínima como factores determinantes para la interpretación ecológica de estos índices.

- Comparación de la comunidad de macrófitas acuáticas entre épocas hidroclimáticas

En la comparación entre las temporadas seca y de lluvia en la Microcuenca del río Metica, se evidencian diferencias ecológicas marcadas en la diversidad de macrófitas acuáticas. En época seca, la comunidad presentó una composición simplificada con apenas tres morfoespecies en total y ausencia total en uno de los puntos (METICA_CL_03), impidiendo el cálculo de índices de diversidad. Este patrón puede atribuirse a la reducción del caudal, exposición del sustrato y estrés hídrico, condiciones que limitan el establecimiento y crecimiento de muchas especies acuáticas (Chambers, 2008), (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989). En contraste, durante la temporada de lluvias se registró una mayor riqueza (seis morfoespecies) y cobertura vegetal, favorecida por el aumento en disponibilidad de hábitat y estabilidad hidrológica. En METICA_CL_02, se obtuvo un índice de Shannon de 1.04 y una equidad de Pielou de 0.947, lo que indica una comunidad más diversa y equilibrada, típica de sistemas con mayor heterogeneidad ambiental (Murphy, 2021). Estos resultados reflejan la influencia directa de la estacionalidad sobre la estructura y funcionalidad ecológica de las comunidades de macrófitas en ríos tropicales, donde el pulso de inundación actúa como principal regulador de la biodiversidad vegetal (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989).

3.3.3.2.27 Microcuenca río Upía

El monitoreo de comunidades hidrobiológicas en la Microcuenca del río Upía se llevó a cabo en dos puntos de muestreo lóticos denominados UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02, con el propósito de evaluar la integridad ecológica de sus ecosistemas acuáticos. La Microcuenca del río Upía, ubicada

en la región Orinoquia de Colombia, abarca territorios de los departamentos de Cundinamarca, Meta y Casanare, y forma parte del sistema hidrográfico del río Meta, siendo una de las Microcuencas de mayor relevancia ecológica y social en esta región (IDEAM, Estudio nacional del agua, 2014). Fisiográficamente, la Microcuenca presenta una transición entre el piedemonte llanero y las llanuras de inundación, lo que favorece una alta heterogeneidad de hábitats acuáticos y terrestres. Ecológicamente, se caracteriza por albergar una rica biodiversidad, incluyendo especies endémicas y migratorias de peces, macroinvertebrados y flora riparia, que desempeñan un papel clave en los procesos ecológicos de regulación del ciclo del agua, purificación natural y conectividad biológica (Gutierrez et al., 2010). Además, el río Upía sostiene importantes actividades económicas como la pesca artesanal, la agricultura y la ganadería, lo que refuerza su importancia social para las comunidades locales.

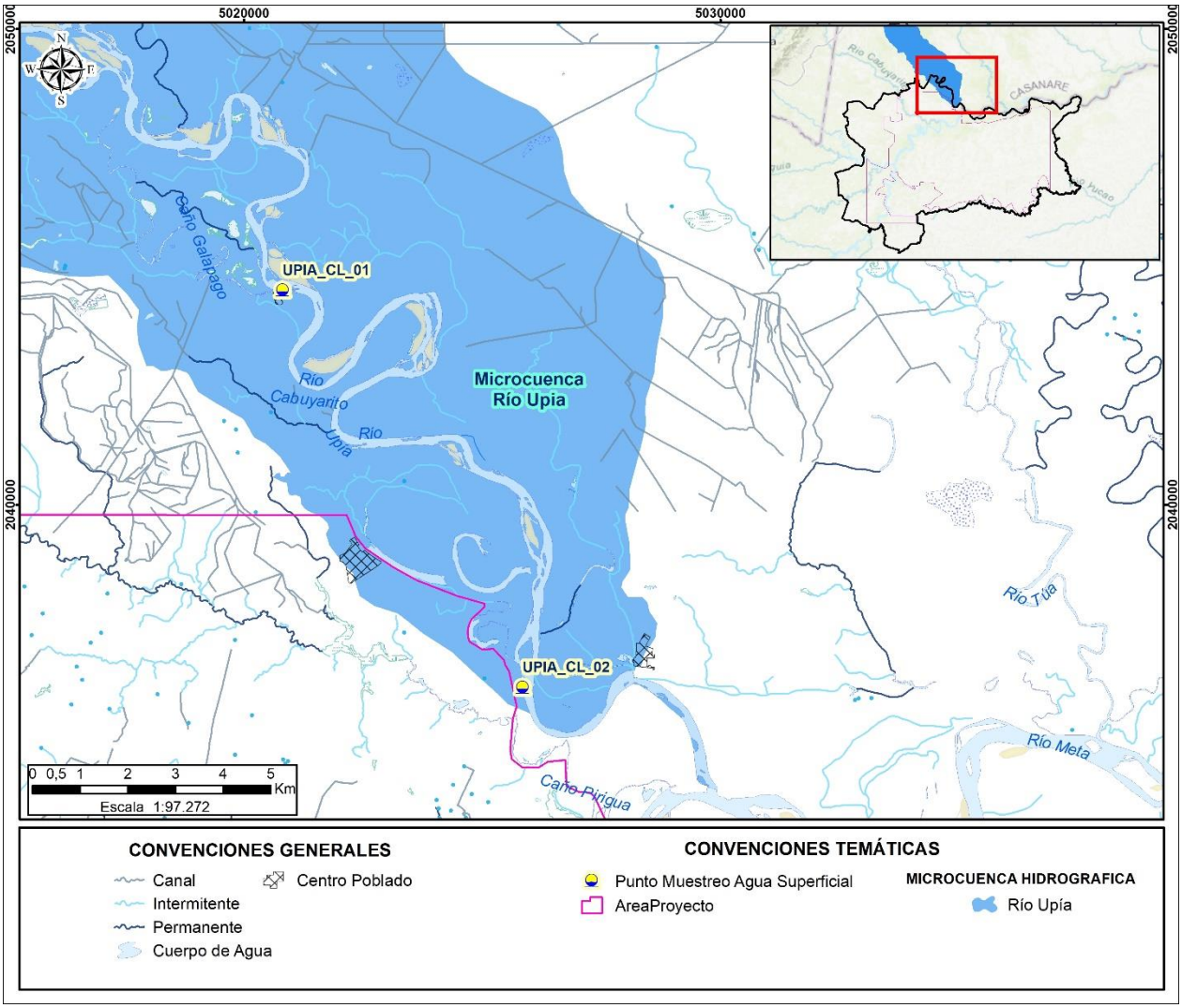


Figura 3.3.3-182 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Upía

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el río Upía, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton en el río Upía durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

  - ✓ *Perifiton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico de la Microcuenca del Río Upía, analizado durante la época seca en las estaciones UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02, revela una comunidad acuática estructurada con marcadas diferencias espaciales en su composición. La abundancia total de 205.4 Ind/cm² muestra una distribución desigual, siendo UPIA_CL_01 (166.3 Ind/cm²) significativamente más productiva que UPIA_CL_02 (39.1 Ind/cm²). La riqueza taxonómica incluye ocho géneros pertenecientes a cuatro divisiones Heterokontophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria y una representación mínima de Charophyta. La estructura comunitaria está dominada por *Gyrosigma* (152.3 Ind/cm²) abundancia dominante para el total del ensamble, seguido de *Oedogonium* (12.8 Ind/cm², 7.70%) y *Nitzschia* (10.2 Ind/cm², 6.13%) (**Tabla 3.3.3-438**)(**Figura 3.3.3-183**) estas representadas solo en la estación UPIA_CL_01, patrón atípico según lo reportado para sistemas similares, donde normalmente predominan diatomeas del género *Aulacoseira* en condiciones de flujo turbulento.

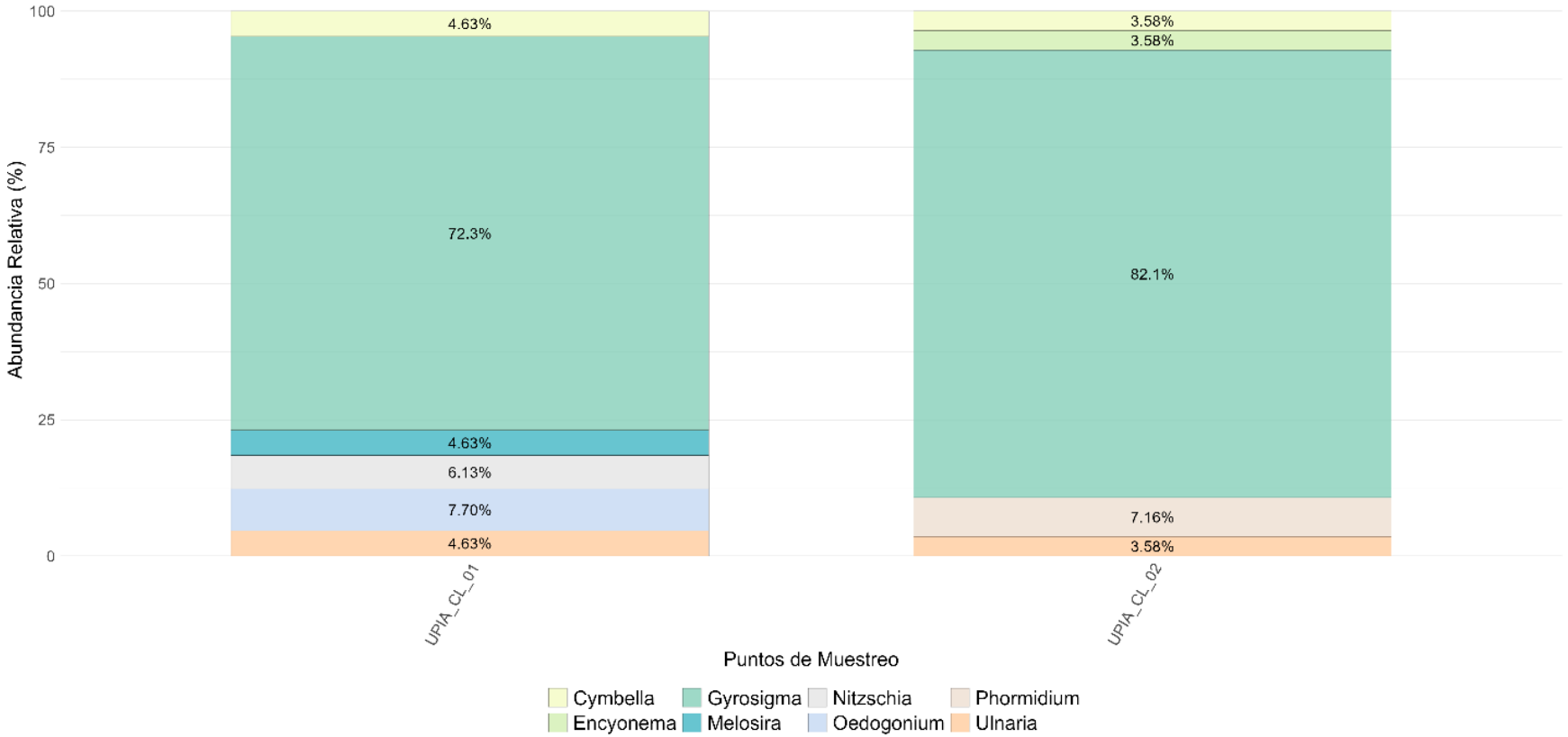


Figura 3.3.3-183 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía Época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad presenta señales ecológicas contrastantes. La dominancia de Gyrosigma, género asociado a aguas con moderado contenido orgánico según (Round et al., 1990), junto con la presencia significativa de *Nitzschia* (10.2 Ind/cm²) (Tabla 3.3.3-438), bioindicadora de eutrofización incipiente (Roldán, 2016), sugiere condiciones de enriquecimiento nutricional, particularmente en UPIA_CL_01. Sin embargo, la coexistencia de *Cymbella* (9.1 Ind/cm²) y *Ulnaria* (9.1 Ind/cm²), consideradas sensibles a perturbaciones, indica que el sistema mantiene áreas con buena calidad de agua. La presencia de *Phormidium* (2.8 Ind/cm²)(**Tabla 3.3.3-438**) exclusivamente en UPIA_CL_02, cianobacteria típica de aguas con estrés ambiental según (Wehr et al., 2015), refuerza la hipótesis de heterogeneidad espacial en las condiciones ecológicas del río.

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la distribución diferencial de géneros entre estaciones *Gyrosigma* dominante en UPIA_CL_01 vs mayor diversidad en UPIA_CL_02, la presencia de *Oedogonium*, alga filamentosa asociada a zonas de flujo reducido y conexión con humedales, y la ausencia de desmidiáceas, sugiriendo limitada conectividad con sistemas lénticos durante la época seca.

En conclusión, la Microcuenca del Río Upía presenta una condición ecológica moderadamente alterada, y es caracterizada por la dominancia de géneros indicadores de moderado impacto como *Gyrosigma* y *Nitzschia*, la presencia significativa pero minoritaria de bioindicadores sensibles de *Cymbella* y *Ulnaria*, y la heterogeneidad marcada entre estaciones. La evaluación sugiere que el sistema enfrenta presiones ambientales diferenciadas, con UPIA_CL_01 mostrando mayor influencia antrópica y UPIA_CL_02 condiciones relativamente mejores.

Tabla 3.3.3-438 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Upia		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					UPIA_CL_01	UPIA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	*Encyonema*		1,4	1,4
				Cymbella	7,7	1,4	9,1
		Naviculales	Naviculaceae	*Gyrosigma*	120,2	32,1	152,3
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	7,7	1,4	9,1
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	10,2		10,2
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira*	7,7		7,7
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium*	12,8		12,8
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Phormidium*		2,8	2,8
Gran Total					**166,3**	**39,1**	**205,4**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de diversidad de la Microcuenca del Río Upia, representado por las estaciones UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02, revela un sistema acuático con características ecológicas contrastantes durante la época seca. La estación UPIA_CL_01, pese a su alta abundancia (166.3 Ind/cm²), presenta valores bajos de diversidad (Shannon = 1.012) y equitatividad (Pielou = 0.565), combinados con una riqueza moderada de seis géneros. Estos resultados, particularmente el índice de Simpson (0.545) (**Tabla 3.3.3-439**), confirman la marcada dominancia de *Gyrosigma*, es un patrón característico de ambientes con desequilibrio ecológico según (Magurran

A. E., 2004). La estación UPIA_CL_02 muestra una situación aún más crítica, con baja diversidad (Shannon = 0.707), equitatividad reducida (Pielou = 0.439) y menor riqueza con cinco géneros, a pesar de su abundancia significativamente menor (39.1 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-439**). Esta combinación de índices sugiere un sistema bajo estrés ambiental, donde factores selectivos estarían favoreciendo fuertemente a especies oportunistas como *Gyrosigma* en detrimento de otros géneros.

La comparación inter-estaciones evidencia un gradiente de perturbación, UPIA_CL_01 presenta una comunidad ligeramente más diversificada (1.012 vs 0.707 en Shannon) pero con clara dominancia de una especie, mientras que UPIA_CL_02 muestra una estructura comunitaria aún más simplificada y desequilibrada. Esta diferencia podría relacionarse con variaciones en la carga de nutrientes, las características hidrodinámicas del sustrato o el grado de conexión con sistemas terrestres adyacentes. Los valores de Pielou (0.439-0.565) (**Tabla 3.3.3-439**), sustancialmente menores a los reportados para ríos bien conservados de la Orinoquia (0.7-0.9), refuerzan la hipótesis de condiciones ambientales subóptimas.

Considerando los patrones de diversidad en conjunto con la composición taxonómica, la Microcuenca del Río Upía presenta una calificación ecológica moderadamente alterada, con tendencia a degradada en UPIA_CL_02. Esta evaluación se fundamenta en los bajos valores de diversidad con Shannon y valores menos a 1.5 en ambas estaciones, la distribución desequilibrada de abundancias y según los valores de Pielou menores 0.6 (**Tabla 3.3.3-439**) y la dominancia de géneros como (*Gyrosigma*, *Nitzschia*) indicadores de impacto moderado. La marcada diferencia entre estaciones sugiere que las presiones ambientales actúan de forma heterogénea en el sistema, siendo UPIA_CL_01 el sector con mejores condiciones pese a su desbalance comunitario, y UPIA_CL_02 el más crítico.

Tabla 3.3.3-439 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Upía Época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
UPIA_CL_01	166.3	6	1.012	0.545	0.565
UPIA_CL_02	39.1	5	0.707	0.684	0.439

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

Durante el monitoreo de la estación UPIA_CL_01, ubicada en el sistema lótico del río Upía evaluada durante época seca, se registró una comunidad de macroinvertebrados bentónicos conformada por una única morfoespecie perteneciente al phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Coleóptera, familia Carabidae. Esta morfoespecie, referida como *Carabidae Mf.*, presentó una abundancia total de 10 individuos/m², lo cual también representa la riqueza total de la Microcuenca para este sitio (**Tabla 3.3.3-440**).

Tabla 3.3.3-440 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía

Época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Upia	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						UPIA_CL_01	
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Carabidae	-	Carabidae Mf.	10	10
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**10**	**10**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La familia Carabidae está mayormente representada por coleópteros terrestres, aunque algunas especies presentan hábitos semiacuáticos. Su hallazgo en un ambiente lótico sugiere una posible entrada desde hábitats terrestres cercanos, más que una residencia típica en el lecho bentónico del cuerpo de agua. Esto puede ser indicativo de una interacción importante entre los sistemas terrestres y acuáticos, en la cual la escasez de hábitats húmedos permanentes durante la época seca favorece el ingreso ocasional de especies más adaptadas a la vida terrestre, lo cual no representa necesariamente una comunidad acuática estable ((Archangelsky, 1997).

Desde el punto de vista ecológico, la baja diversidad registrada sugiere condiciones ambientales limitantes, como bajo caudal, escasa cobertura vegetal ribereña, aumento de temperatura del agua, y pérdida de refugios acuáticos, todos factores comunes en la época seca de la altillanura (Roldan G. , 1992; Springer, 2010). Adicionalmente, la ausencia de representantes sensibles o especializados en ambientes acuáticos indica que el ecosistema podría encontrarse en un estado degradado o transicional, donde la fauna bentónica típica es reemplazada por especies oportunistas o accidentalmente acuáticas.

No es posible calcular el índice BMWP/Col debido a que este indicador requiere la presencia de múltiples familias de macroinvertebrados acuáticos, cada una con un puntaje asignado de sensibilidad a la contaminación. Al encontrarse únicamente una familia, y además de preferencia terrestre como Carabidae, no se cumple el requisito mínimo para su aplicación (Roldan G. , 2003). Igualmente, no se pueden calcular los índices de diversidad alfa como Shannon, Simpson y Pielou, porque estos necesitan al menos dos categorías taxonómicas o morfoespecies para estimar adecuadamente la heterogeneidad, equidad y dominancia de la comunidad (Magurran, 2004).

En conclusión, la comunidad bentónica registrada en el río Upía es extremadamente pobre en diversidad y no representativa de un ecosistema acuático funcional. La dominancia exclusiva de una familia de hábitos terrestres sugiere una condición ambiental marginal, influenciada tanto por factores hidrológicos estacionales como por procesos de interacción entre los ecosistemas terrestres y acuáticos.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y Estructura de la comunidad

Durante el monitoreo realizado en temporada seca en los puntos de muestreo UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02 del río Upía, no se registró la presencia de macrófitas acuáticas. Esta ausencia puede

estar relacionada con factores hidrológicos y geomorfológicos propios del sistema lótico en dicha temporada, como la disminución del nivel del agua, el aumento de la velocidad de flujo y la reducción de zonas de remanso, condiciones que no son favorables para el establecimiento y desarrollo de comunidades de macrófitas (Esteves F. A., 2011). Las macrófitas, en general, requieren hábitats con relativa estabilidad hidráulica, disponibilidad de luz y condiciones adecuadas del sustrato para enraizar, lo cual suele estar limitado en ríos de corriente rápida durante épocas de estiaje (Thomaz, 2003). Además, la geomorfología del cauce y la escasa presencia de zonas de deposición de sedimentos finos en los sitios evaluados podrían haber contribuido a la ausencia de estas comunidades vegetales. Este tipo de resultado es común en sistemas fluviales con dinámica torrencial y régimen hidrológico fuertemente marcado por la estacionalidad.

- *Época lluvia*

  - ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

  - ✓ *Perifiton*

    - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en en la Microcuenca del Río Upía, evaluado en dos estaciones lóticas (UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02) durante la época lluviosa en la altillanura, presenta una comunidad con abundancia total de 46.8 ind/cm² (**Tabla 3.3.3-441**) distribuida de manera desigual entre las estaciones.

La estación UPIA_CL_01 muestra mayor abundancia (30.8 ind/cm²) y riqueza (6 géneros), dominada por *Pinnularia* (8.8 ind/cm², 28.6%) y *Gyrosigma* (7.3 ind/cm², 23.7%), mientras UPIA_CL_02 (16 ind/cm²) presenta menor diversidad (4 géneros) con predominio de *Navicula* (7.4 ind/cm², 46.3% local) y *Gomphonema* (4.9 ind/cm², 30.6%) (**Tabla 3.3.3-441**) (**Figura 3.3.3-184**).

A nivel de Microcuenca, *Navicula* (13.3 ind/cm²) y *Pinnulari* (11.3 ind/cm²) son los géneros más representativos. La presencia de *Pinnularia* (indicadora de aguas bien oxigenadas) junto con *Nitzschia* (4.4 ind/cm²) asociada a aguas eutrofizadas, sugiere condiciones ambientales contrastantes en la Microcuenca (Round et al., 1990). La baja abundancia de *Eunotia* (4.1 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-441**), típica de aguas ácidas, y la ausencia de taxones presentes en ecosistemas lénticos indican una limitada interacción con sistemas terrestres o estancados. La diferencia entre estaciones, donde UPIA_CL_01 duplica en abundancia a UPIA_CL_02, podría reflejar variaciones en el sustrato, caudal o calidad del agua.

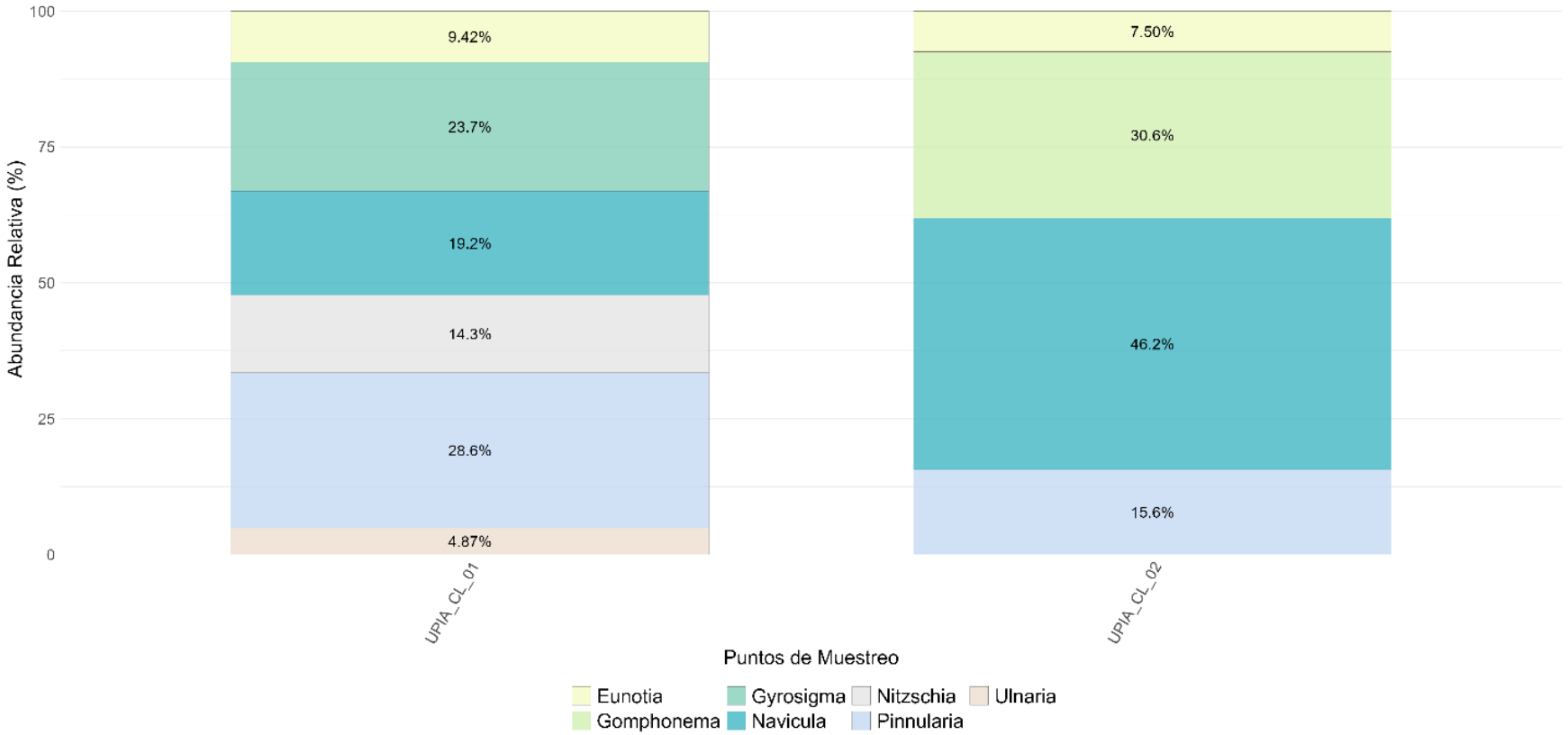


Figura 3.3.3-184 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Considerando la estructura comunitaria y los géneros bioindicadores, la Microcuenca recibe una calificación ecológica regular a buena, con UPIA_CL_01 mostrando mejores condiciones que UPIA_CL_02, donde la alta proporción de *Navicula* (tolerante a perturbaciones) sugiere mayor impacto antropogénico. La presencia simultánea de taxones sensibles (*Pinnularia*) y tolerantes (*Nitzschia*) resalta posibles fuentes de contaminación puntual.

Tabla 3.3.3-441 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Upía época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Upia		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					UPIA_CL_01	UPIA_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*		4,9	4,9
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	8,8	2,5	11,3
			Naviculaceae	*Gyrosigma*	7,3		7,3
				Navicula	5,9	7,4	13,3
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	2,9	1,2	4,1
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Ulnaria*	1,5		1,5
		Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	4,4		4,4
Gran Total					30,8	16	46,8

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Los índices ecológicos en las estaciones UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02 del Río Upía revela diferencias significativas en la estructura de la comunidad de perifiton. La estación UPIA_CL_01 presenta valores destacados de diversidad, con un índice de Shannon de 1.662 (diversidad moderada-alta), Simpson de 0.206 (baja dominancia) y Pielou de 0.928 (equitatividad casi perfecta), acompañados de la mayor riqueza específica (6 géneros) (. Estos parámetros la identifican como un ambiente bien conservado y equilibrado. En contraste, UPIA_CL_02 muestra valores inferiores en todos los índices Shannon 1.205 (diversidad moderada), Simpson 0.337 (mayor dominancia) y Pielou 0.869 (ligeramente menos equilibrado), con menor riqueza (4 géneros) (**Tabla 3.3.3-442**).

Esta diferencia podría deberse a variaciones naturales en las condiciones del hábitat o a presiones antropogénicas diferenciadas. La abundancia total en UPIA_CL_01 (30.8 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-442**) es mayor a la de UPIA_CL_02 (16 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-442**), mostrando mejores condiciones ecológicas en la primera estación.

Considerando ambos puntos de manera integral, la Microcuenca del Río Upía recibe una calificación ecológica buena, donde la excelente condición de UPIA_CL_01 compensa los valores más modestos de UPIA_CL_02. No obstante, la diferencia observada entre estaciones sugiere que hay factores, ambientales que afectan específicamente a UPIA_CL_02. La presencia de valores aceptables en ambas estaciones (todos los índices de Shannon >1 y Pielou >0.8) (**Tabla 3.3.3-442**) indica que, en conjunto, el sistema mantiene características ecológicas favorables para el desarrollo del perifiton.

Tabla 3.3.3-442 Índices Ecológico de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Upía época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
UPIA_CL_01	30.8	6	1.662	0.206	0.928
UPIA_CL_02	16	4	1.205	0.337	0.869

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Río Upia, monitoreado durante la época de lluvias en las estaciones UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02, presenta una comunidad acuática con características ecológicas particulares. El estudio registró una abundancia total de 8 ind/m², distribuida en tres (3) morfoespecies pertenecientes exclusivamente al phylum Arthropoda, con representantes de dos (2) clases, tres (3) órdenes, tres (3) familias y dos (2) géneros identificados (*Laccophilus* y *Macrobrachium*) (**Tabla 3.3.3-443**).

Tabla 3.3.3-443 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Upia		Abundancia Total Microcuenca (Ind/m²)
						UPIA_CL_01	UPIA_CL_02	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	-	Chironomidae Mf.		1,1	1,1
		Coleóptera	Dytiscidae	*Laccophilus*	*Laccophilus* sp.		1,1	1,1
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.	5,6		5,6
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**6**	**2**	**8**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La estación UPIA_CL_01 mostró una comunidad compuesta únicamente por Macrobrachium sp. (5.6 ind/m², 70% de la abundancia total), mientras que UPIA_CL_02 presentó dos morfoespecies: *Chironomidae* Mf. (1.1 ind/m²) y Laccophilus sp. (1.1 ind/m²). Ésta marcada diferencia en la composición entre estaciones sugiere una heterogeneidad ambiental significativa a lo largo del río. La presencia exclusiva de *Macrobrachium* sp. en UPIA_CL_01 indica condiciones particulares que favorecen a este decápodo, posiblemente relacionadas con la conectividad con sistemas lénticos o características específicas del sustrato (Magalhães, 2005). Por otro lado, la aparición de *Laccophilus* sp. (Coleoptera: Dytiscidae) junto a quironómidos en UPIA_CL_02 sugiere un ambiente con mayor diversidad de microhábitats (Roldán & Ramírez, 2008) (**Figura 3.3.3-185).**

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad estudiada muestra elementos contrastantes. La presencia de *Macrobrachium* sp., considerado un organismo relativamente sensible, en UPIA_CL_01 podría indicar cierta calidad del agua en este sector. Sin embargo, su dominancia absoluta (100% de la comunidad en esta estación) y la ausencia de otros taxones sugieren condiciones ambientales particulares que limitan el establecimiento de una comunidad

más diversa (Domínguez & Fernández, 2009). En UPIA_CL_02, la coexistencia de *Laccophilus* sp. (depredador) con Chironomidae Mf. (organismo tolerante) indica al menos una red trófica básica, aunque la baja abundancia total (2 ind/m²) señala limitaciones en la productividad del sistema (Buss et al., 2015).

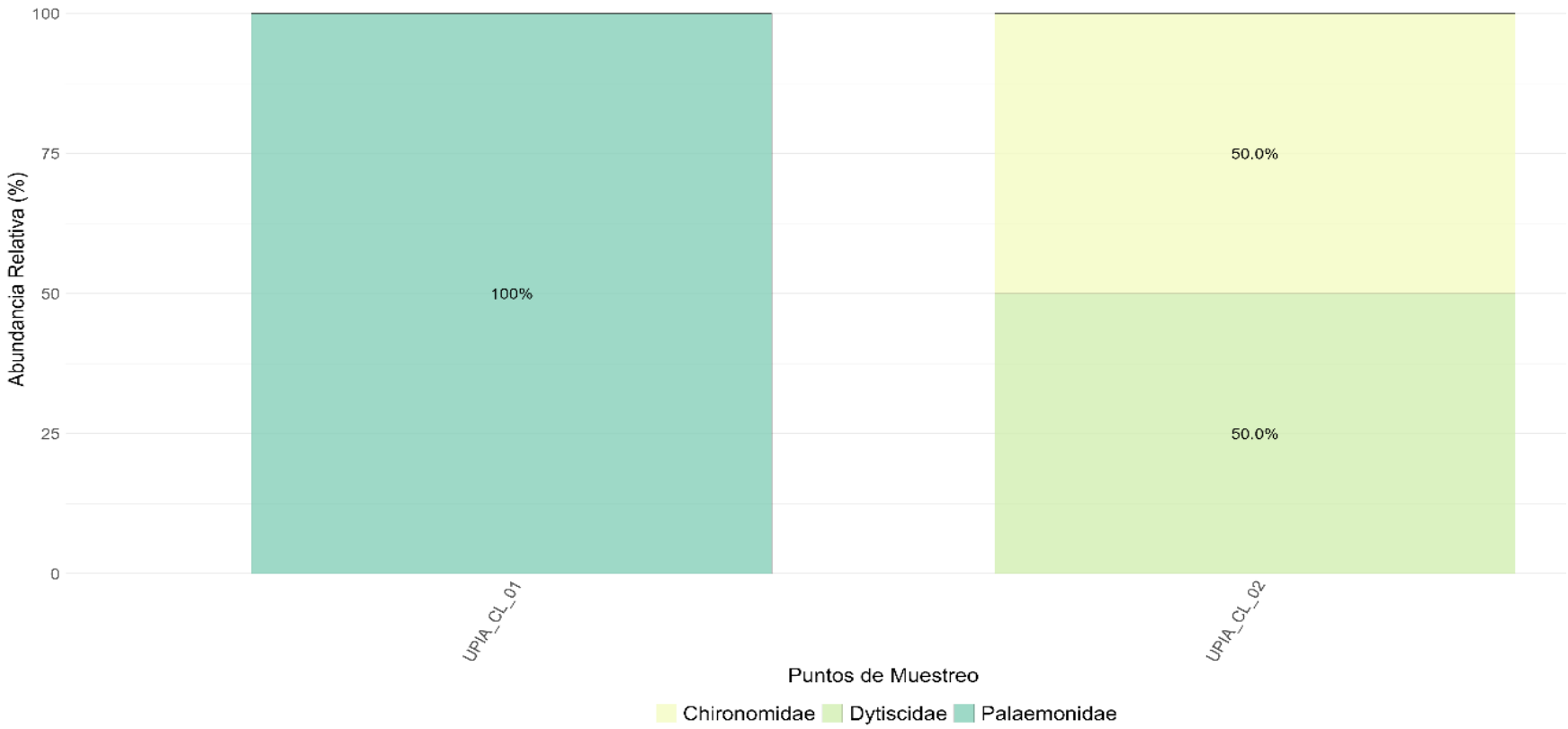


Figura 3.3.3-185 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de las interacciones ecológicas revela conexiones importantes con otros sistemas. *Macrobrachium* sp., presente en UPIA_CL_01, representa un vínculo potencial con ambientes lénticos o estuarinos, ya que muchas especies de este género requieren ambos tipos de hábitats para completar su ciclo de vida (Merritt & Cummins, 2008). Los coleópteros Dytiscidae (*Laccophilus* sp.) en UPIA_CL_02, con sus formas adultas voladoras, constituyen un puente ecológico entre los ambientes acuáticos y terrestres. La ausencia de grupos típicamente sensibles como tricópteros o efemerópteros en ambas estaciones sugiere que el Río Upia enfrenta desafíos ecológicos que limitan el establecimiento de comunidades más diversas.

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del Río Upia muestra una estructura comunitaria empobrecida pero con patrones espaciales diferenciados. La marcada diferencia entre UPIA_CL_01 (dominada por *Macrobrachium* sp.) y UPIA_CL_02 (con presencia de coleópteros y quironómidos) refleja la heterogeneidad ambiental del sistema.

Los resultados del índice BMWP/Col en el Río Upia revelan condiciones ambientales críticas en ambas estaciones monitoreadas, aunque con diferencias significativas en la magnitud del impacto. La estación UPIA_CL_01 obtuvo un valor de 8 puntos (Clase V - Muy crítica), puntuación que se explica exclusivamente por la presencia de *Macrobrachium* sp., un decápodo que aporta una puntuación intermedia en el sistema BMWP (**Tabla 3.3.3-444**). La ausencia total de otros taxones en esta estación, particularmente de grupos más sensibles, limita severamente el valor del índice y confirma el estado crítico del sistema (Roldán & Ramírez, 2008).

UPIA_CL_02 presenta una situación aún más deteriorada, con solo 2 puntos (Clase V - Muy crítica), resultado de la presencia de *Chironomidae* Mf. y *Laccophilus* sp. Los quironómidos, como grupo altamente tolerante, aportan mínima puntuación al índice, mientras que Laccophilus sp., aunque es un coleóptero depredador, no alcanza a compensar la dominancia de organismos resistentes (Domínguez & Fernández, 2009). La marcada diferencia entre estaciones evidencia la heterogeneidad espacial en la calidad del agua a lo largo del río, donde UPIA_CL_01 muestra cierta capacidad para mantener organismos Relativamente sensibles, mientras UPIA_CL_02 representa un ambiente extremadamente impactado.

Tabla 3.3.3-444 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Upía época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO UPIA	UPIA_CL_01	V	Muy crítica	8	Aguas muy contaminadas
	UPIA_CL_02	V	Muy crítica	2	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La clasificación en la categoría más crítica para ambas estaciones se debe fundamentalmente a la muy baja riqueza de especies (1-2 morfoespecies por estación), la ausencia total de grupos altamente sensibles como efemerópteros o tricópteros y la predominancia de organismos con alta tolerancia a condiciones adversas (Buss et al., 2015). Estos resultados son consistentes con los patrones de diversidad alfa observados, que muestran comunidades empobrecidas y dominadas por pocas especies.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa en el Río Upia muestran patrones ecológicos marcadamente diferentes entre las dos estaciones evaluadas, reflejando condiciones ambientales contrastantes. En UPIA_CL_01, los valores de Shannon (0) y Simpson (1) confirman una comunidad absolutamente dominada por una única especie (Macrobrachium sp. con 5.6 ind/m²), donde la diversidad es nula y la dominancia es total (**Tabla 3.3.3-445**). Esta situación extrema, con riqueza de 1 especie, imposibilita el cálculo del índice de Pielou y representa un ecosistema acuático severamente simplificado, típico de ambientes con fuertes presiones selectivas (Magurran, 2004).

UPIA_CL_02 presenta una estructura ligeramente más compleja, con 2 morfoespecies (Chironomidae Mf. y *Laccophilus* sp., ambas con 1.1 ind/m²) que generan un índice de Shannon de 0.693 (diversidad muy baja) y Simpson de 0.5 (dominancia intermedia). El valor de Pielou (1) alcanza su máximo teórico debido a la distribución perfectamente equitativa entre las dos especies presentes, aunque este resultado debe interpretarse con cautela dado el mínimo número de taxones (Domínguez & Fernández, 2009) (**Tabla 3.3.3-445**). Comparativamente, UPIA_CL_02 muestra mayor diversidad que UPIA_CL_01, pero ambas estaciones permanecen en el rango de comunidades extremadamente pobres caracterizadas por la ausencia de grupos sensibles, la baja abundancia total (8 ind/m² combinados) y la limitada complejidad trófica (Buss et al., 2015).

Tabla 3.3.3-445 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Upía época lluvias

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO UPIA	UPIA_CL_01	5.6	1	0	1	
	UPIA_CL_02	2.2	2	0.693	0.5	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La relación entre estos índices y los resultados del BMWP/Col (8 y 2 puntos respectivamente) revela coherencia ecológica: UPIA_CL_01, aunque monoespecífica, contiene *Macrobrachium* sp. (organismo con mayor valor en el BMWP), mientras UPIA_CL_02 combina un taxón tolerante (Chironomidae) con otro moderadamente sensible (*Laccophilus*). Esta complementariedad entre índices resalta que, a pesar de la simplicidad comunitaria, el sistema mantiene gradientes ambientales detectables que podrían aprovecharse en estrategias de recuperación focalizada.

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante la temporada de lluvias, el monitoreo de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Upía (un sistema fluvial que recorre predominantemente llanuras de inundación) reveló una comunidad vegetal con composición limitada en número de morfoespecies, pero con dominancia evidente en términos de cobertura y abundancia relativa. En el punto de muestreo UPIA_CL_01 se registró únicamente la presencia de *Urochloa* sp. (Poaceae), con una cobertura del 42,33 % y una abundancia relativa del 100 %, lo cual sugiere un hábitat posiblemente más homogéneo y con condiciones propicias para la dominancia de especies cespitosas adaptadas a condiciones de

anegamiento temporal (Cronk, 2001). En contraste, el punto UPIA_CL_02 presentó mayor diversidad, con tres morfoespecies: *Arundinella* sp. (47,23 %), *Eriochloa* sp. (42,07 %), ambas también de la familia Poaceae, e *Inga* sp. (Fabaceae) con una menor participación (10,71 %). La cobertura total en este punto fue de 90,33 %, evidenciando un ambiente más heterogéneo, posiblemente con mayor disponibilidad de microhábitats y condiciones físicas más estables para el desarrollo de múltiples especies (Junk W. J., 2011) (**Tabla 3.3.3-446**).

La familia Poaceae fue dominante en ambos sitios, lo cual es consistente con estudios realizados en sabanas inundables y planicies aluviales de la Orinoquia, donde estas gramíneas desempeñan un papel clave en la estructura de la vegetación acuática por su capacidad de adaptación a fluctuaciones hidrológicas y su rápido crecimiento durante los periodos de inundación (Rangel-Ch., 2004). La aparición de *Inga* sp. en el segundo punto sugiere la influencia de la vegetación riparia o de transición terrestre-acuática, indicando una posible interacción entre las zonas lóticas y los bordes boscosos del río, típica de ríos que recorren llanuras de inundación con conectividad lateral activa (Junk et al., The flood pulse concept in river-floodplain systems, 1989) (**Tabla 3.3.3-446**). En términos estructurales, la comunidad está compuesta mayoritariamente por formas emergentes cespitosas, que favorecen funciones ecológicas importantes como el control de erosión ribereña, la retención de nutrientes y el soporte de comunidades faunísticas asociadas (Wetzel R. G., 2001).

Tabla 3.3.3-446 Ensamble ecológico de la comunidad de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Upía época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Upia			
				Punto De Muestreo	UPIA_CL_01		UPIA_CL_02	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Poales	Poaceae	Urochloa sp.	42,33	100,00		
				Arundinella sp.			42,66	47,23
				Eriochloa sp.			38	42,07
		Fabales	Fabaceae	Inga sp.			9,67	10,71
Cobertura Total general					**42,33**	**100**	**90,33**	**100**
Morfoespecies por Punto					**1**		**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**			

- Diversidad Alfa

El análisis de la diversidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Upía durante la temporada de lluvias mostró diferencias claras entre los dos puntos de muestreo. En el punto UPIA_CL_01, no fue posible calcular los índices de diversidad ecológica debido a la presencia de una sola morfoespecie (*Urochloa* sp.), lo que refleja una comunidad monodominante sin heterogeneidad taxonómica. Esta baja diversidad es indicativa de un ambiente con condiciones ecológicas posiblemente homogéneas o alteradas, donde una sola especie logra establecerse y desplazar a otras, limitando la diversidad funcional y estructural del ecosistema (Magurran A. E., 2004). Por el contrario, en el punto UPIA_CL_02, se registró una mayor riqueza con tres morfoespecies, lo que permitió calcular un índice de Shannon de 0,965, un índice de Simpson de 0,407 y una equidad de Pielou de 0,878. Estos valores indican una comunidad con diversidad

moderada y buena equidad, donde las especies tienen una distribución relativamente equilibrada en términos de abundancia (Krebs, 2014). La dominancia no es absoluta y no hay una especie que excluya completamente a las demás, lo cual sugiere condiciones ambientales más favorables y heterogéneas. Esta variabilidad está asociada a la dinámica de ríos de llanura de inundación, como el Upía, donde los pulsos de inundación favorecen la creación de hábitats temporales y permanentes que permiten la coexistencia de múltiples formas de vida vegetal. En conjunto, estos resultados resaltan la importancia de considerar la variabilidad espacial y temporal en los análisis ecológicos para comprender la estructura y función de los ecosistemas acuáticos tropicales.

3.3.3.2.28 Microcuenca río Yucao

La Microcuenca del río Yucao, localizada en la región de la altillanura colombiana, constituye un ecosistema estratégico tanto por su importancia ecológica como por su papel en el desarrollo social y económico de la región de la Orinoquia. Este sistema fluvial, caracterizado por presentar una red de drenaje predominantemente lótica, fue objeto de un monitoreo de comunidades hidrobiológicas en dos puntos específicos (YUCAO_CL_01 y YUCAO_CL_02), con el fin de evaluar su estado ecológico y la calidad del agua a través de bioindicadores. El río Yucao recorre principalmente formaciones de altillanura plana y ondulada, con suelos ácidos y de baja fertilidad, típicos de los Llanos Orientales, y vegetación adaptada a condiciones de alta estacionalidad hídrica (IGAC, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta., 2010). Además, la Microcuenca alberga una notable biodiversidad acuática y terrestre, desempeñando un rol fundamental en la conectividad ecológica regional y en la provisión de servicios ecosistémicos como el abastecimiento de agua para consumo humano, riego y actividades ganaderas (Ramsar, 2018). Desde el punto de vista social, el río Yucao representa una fuente de vida y sustento para comunidades rurales y grupos étnicos asentados en su área de influencia, quienes dependen directamente de sus recursos para sus actividades diarias y culturales.

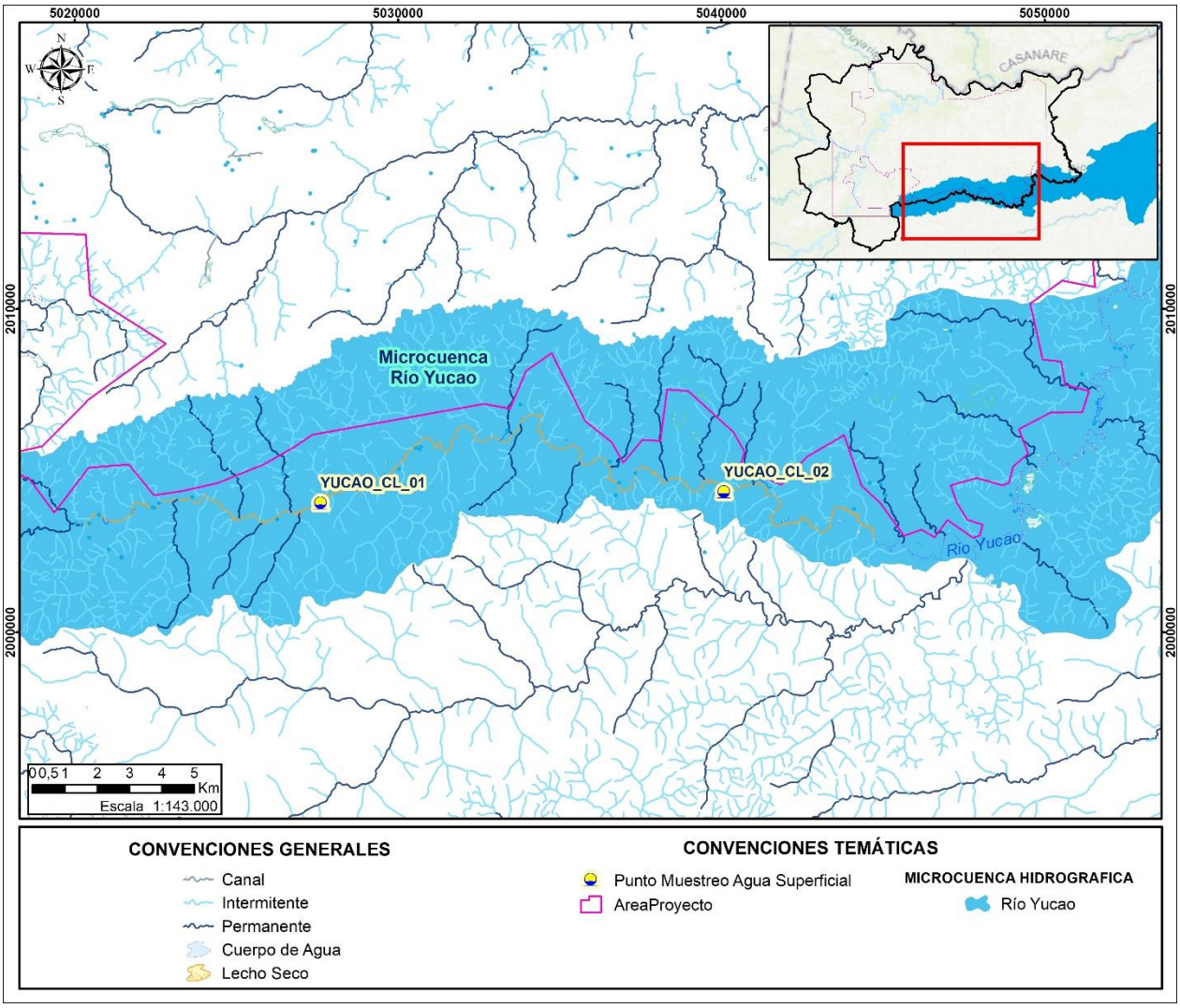


Figura 3.3.3-186 Localización de los puntos de muestreo Microcuenca río Yucao

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

A continuación, se realiza un análisis de las comunidades hidrobiológicas muestreadas en el río Yucao, en dos épocas hidroclimáticas contrastantes. Los resultados de los monitoreos y la información de campo y laboratorio, así como el registro fotográfico de cada comunidad se puede consultar en el **Anexo 3.3-6a_Reportes_Ep_Seca** y **3.3-6b_Reportes_Ep_Lluvia**.

- *Época seca*

  - ✓ *Ictioplancton*

A pesar de la implementación de muestreos específicos, la ausencia de capturas de ictioplancton en el río Yucao durante la época seca puede atribuirse a múltiples factores ecológicos y ambientales que limitan drásticamente la presencia y disponibilidad de huevos y larvas en la

columna de agua. En sistemas lóticos, la marcada reducción del caudal y la fragmentación del hábitat acuático disminuyen significativamente las zonas de reproducción y refugio, mientras que el incremento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto generan condiciones fisicoquímicas desfavorables para la supervivencia larval (Agostinho A. A., 2004). En conjunto, estas condiciones explican la baja o nula detección del componente ictioplanctónico durante el monitoreo en temporada seca, reflejando una fase de inactividad reproductiva o baja productividad larval.

✓ *Perifíton*

- Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble perifítico de la Microcuenca del Río Yucao, analizado durante la época seca en las estaciones YUCAO_CL_01 y YUCAO_CL_02, revela una comunidad acuática característica de sistemas lóticos tropicales con moderada intervención antrópica. La abundancia total de 96.4 Ind/cm² se distribuye asimétricamente entre ambas estaciones YUCAO_CL_01 (55.3 Ind/cm²) y (YUCAO_CL_02 (41.1 Ind/cm²), con una riqueza total de 13 géneros pertenecientes a tres divisiones principales: Heterokontophyta, Charophyta y Cyanobacteria. La estructura comunitaria está dominada por diatomeas pennadas, particularmente *Pinnularia* (16.7 Ind/cm²) y *Eunotia* (21.1 Ind/cm²), que en conjunto representan el 39.3% de la abundancia total, patrón consistente con lo reportado por (Roldan & Ramírez, Fundamentos de la Limnología Tropical, 2008) para ríos de altillanura en período de estiaje. La estación YUCAO_CL_01 muestra mayor diversidad de diatomeas siete géneros versus cuatro géneros en YUCAO_CL_02, mientras que YUCAO_CL_02 destaca por la presencia de desmidiáceas como *Closterium* (10.7 Ind/cm²) y un porcentaje de abundancia del (26.03%) (**Tabla 3.3.3-447**) (**Figura 3.3.3-104**), indicando diferencias microambientales dentro del mismo sistema fluvial.

Desde la perspectiva de bioindicación, la comunidad sugiere condiciones ambientales contrastantes la abundancia de *Eunotia* (21.1 Ind/cm²), *Tabellaria* (13.3 Ind/cm²) y *Gomphonema* (11.1 Ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-447**) reconocidos bioindicadores de aguas oligotróficas y ligeramente ácidas según (Round et al., 1990) coexiste con la presencia de *Closterium* (10.7 Ind/cm²), alga asociada a humedales adyacentes. Esta combinación, documentada por (Donato-Rondón, 2016) en sistemas similares, refleja la interacción entre el canal principal lótico (dominado por diatomeas) y zonas de inundación temporal (favoreciendo desmidiáceas). La escasa representación de Cyanobacteria (*Spirulina* 1 Ind/cm²) y la ausencia de especies altamente tolerantes a contaminación como *Oscillatoria* sugieren limitado impacto por eutrofización, aunque la presencia de *Navicula* (6.3 Ind/cm²) podría indicar áreas con moderado contenido orgánico.

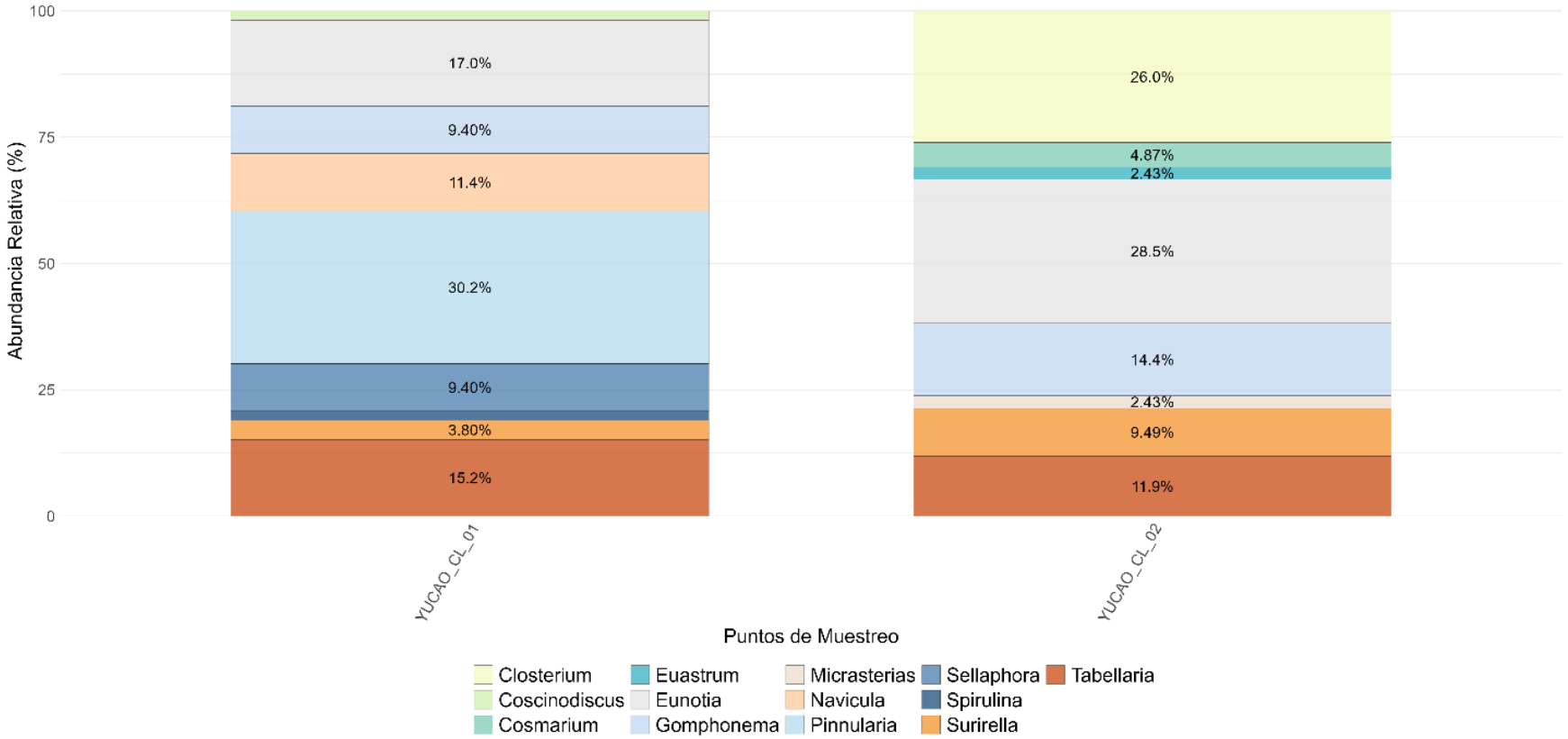


Figura 3.3.3-187 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época seca

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La interacción entre sistemas lóticos, lénticos y terrestres se manifiesta en la distribución diferencial de taxa entre estaciones (diatomeas lóticas en YUCAO_CL_01 vs desmidiáceas lénticas en YUCAO_CL_02), la presencia de *Coscinodiscus* (1 Ind/cm²), típico de aguas con conexión a planicies inundables y la abundancia relativa de *Eunotia*, género asociado a aportes de materia orgánica alóctona desde la vegetación ribereña (Wetzel R. G., 2001)

Conclusión sobre Calidad Ecológica de la Microcuenca del Río Yucao presenta una condición ecológica moderada-buena, caracterizada por el predominio de bioindicadores sensibles (*Eunotia*, *Pinnularia*), la baja representación de géneros tolerantes a contaminación y la estructura comunitaria típica de sistemas lóticos tropicales poco intervenidos. La presencia puntual de *Closterium* y *Navicula* sugiere áreas con influencia léntica y moderado contenido orgánico que merecen monitoreo específico.

Tabla 3.3.3-447 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época seca

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Yucao		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					YUCAO_CL_01	YUCAO_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	*Gomphonema*	5,2	5,9	11,1
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	2,1	3,9	6
		Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	16,7		16,7
			Naviculaceae	*Navicula*	6,3		6,3
			Sellaphoraceae	*Sellaphora*	5,2		5,2
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	9,4	11,7	21,1
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria*	8,4	4,9	13,3
	Coscinodiscophyceae	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	*Coscinodiscus*	1		1
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*		2	2
				Micrasterias		1	1
				Euastrum		1	1
			Closteriaceae	*Closterium*		10,7	10,7
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina*	1		1
Gran Total					**55,3**	**41,1**	**96,4**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de diversidad en las estaciones YUCAO_CL_01 y YUCAO_CL_02 de la Microcuenca Río Yucao revela un sistema acuático con características ecológicas destacables durante la época seca. La estación YUCAO_CL_01 presenta valores excepcionalmente altos de diversidad (Shannon = 2.121) y equitatividad (Pielou = 0.965), combinados con una riqueza de nueve géneros y abundancia moderada (55.3 Ind/cm²). Estos resultados, particularmente el índice de Simpson (0.131), indican una comunidad altamente diversificada y equilibrada, donde ninguna especie domina significativamente, patrón característico de ambientes bien conservados. La estación YUCAO_CL_02, aunque con valores ligeramente inferiores (Shannon = 1.787, Pielou = 0.859) (**Tabla 3.3.3-448**), mantiene una estructura comunitaria saludable, con ocho géneros distribuidos en 41.1 Ind/cm². La comparación inter-estaciones muestra que YUCAO_CL_01 alberga un ensamble más diverso (2.121 vs 1.787 en Shannon) y equilibrado (0.965 vs 0.859 en Pielou), mientras que YUCAO_CL_02 presenta mayor dominancia relativa (Simpson = 0.197 vs 0.131) (**Tabla 3.3.3-448**), diferencia que probablemente refleja variaciones microambientales dentro del mismo sistema fluvial.

Estos patrones de diversidad, analizados en conjunto con la composición taxonómica reportada previamente, dominando con los géneros de diatomeas sensibles como *Eunotia* y *Pinnularia*, permiten clasificar la Microcuenca del Río Yucao con una calificación ecológica buena. Los altos valores de equitatividad en ambas estaciones (0.859-0.965) son particularmente relevantes, ya que para ríos poco intervenidos de la Orinoquia se reportan valores de (0.6-0.8). La combinación de diversidad alfa elevada, la distribución equilibrada de abundancias y el predominio de bioindicadores sensibles, sugiere que el Río Yucao mantiene condiciones ambientales óptimas durante la época seca, con mínima influencia de perturbaciones antrópicas. No obstante, la diferencia significativa en abundancia total entre estaciones (55.3 vs 41.1 Ind/cm²) señala la existencia de microhábitats diferenciados.

Tabla 3.3.3-448 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Yucao época seca

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
YUCAO_CL_01	55.3	9	2.121	0.131	0.965
YUCAO_CL_02	41.1	8	1.787	0.197	0.859

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El análisis del ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del río Yucao, monitoreado durante la época seca en la estación YUCAO_CL_01, revela una comunidad extremadamente simplificada, conformada exclusivamente por una única morfoespecie perteneciente al phyllum Annelida, clase Clitellata, orden Lumbriculida y familia Lumbriculidae. Esta morfoespecie, registrada como Lumbriculidae Mf., presentó una abundancia de 8,3 individuos/m², representando la totalidad de la biocenosis observada en el sitio, lo cual limita significativamente la posibilidad de inferencias ecológicas amplias a partir de esta muestra (**Tabla 3.3.3-449**).

Tabla 3.3.3-449 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época seca

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Yucao	Abundancia Total Microcuenca (Ind/M2)
						YUCAO_CL_01	
Annelida	Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	-	Lumbriculidae Mf.	8,3	8,3
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**8**	**8**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Desde el punto de vista de la bioindicación, la presencia exclusiva de Lumbriculidae —una familia ampliamente reconocida por su alta tolerancia a condiciones de hipoxia, materia orgánica elevada y ambientes contaminados (Roldan & Ramirez, 2008; Tachet et al., 2002)— sugiere un estado ecológico alterado del sistema fluvial, probablemente influenciado por actividades antrópicas que promueven la degradación de la calidad del hábitat. Esta situación podría estar asociada al

incremento de sedimentos finos, disminución del oxígeno disuelto y eutrofización, condiciones que favorecen la colonización por taxones oportunistas y excluyen organismos más sensibles.

La baja riqueza observada también limita la interacción ecológica entre especies bentónicas, lo que se traduce en una comunidad con baja complejidad funcional y poca resiliencia ante disturbios. La ausencia de grupos indicadores sensibles y funcionalmente diversos (como Ephemeroptera, Trichoptera u Odonata) impide evaluar adecuadamente la conectividad entre hábitats acuáticos y terrestres o entre sistemas lóticos y lénticos, ya que no se evidencia un flujo biológico representativo entre estos ecosistemas (Merritt et al., 2008). La dominancia absoluta de un solo grupo reduce además la estabilidad ecológica del ensamble y señala condiciones de estrés ambiental sostenido.

Debido a la escasa riqueza taxonómica registrada, no es posible aplicar el índice BMWP/Col ni realizar un análisis de diversidad alfa. El BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) requiere la presencia de múltiples familias de macroinvertebrados para evaluar la calidad del agua a través de sus distintos niveles de sensibilidad a la contaminación (Roldán, 2003). En este caso, al contar solo con un taxón, el índice no puede calcularse ni representar adecuadamente la condición ecológica del sitio. De igual manera, los índices de diversidad alfa como Shannon, Simpson y Pielou requieren como mínimo dos morfoespecies para medir la heterogeneidad y equidad en la distribución de los individuos. Con una única morfoespecie, estos índices tienden a cero o no son representativos, por lo que su aplicación carece de valor interpretativo.

- ✓ *Macrófitas acuáticas*

  - Composición y Estructura de la comunidad

Durante el monitoreo realizado en temporada seca en los dos puntos de muestreo del río Yucao (YUCAO_CL_01 y YUCAO_CL_02), no se registró la presencia de macrófitas acuáticas, lo cual puede estar asociado a las condiciones hidrológicas y físico-químicas propias de los cuerpos lóticos de altillanura durante épocas de bajo caudal. En estos periodos, la disminución del nivel del agua, el aumento de la velocidad del flujo y la escasa profundidad pueden limitar el establecimiento y desarrollo de comunidades de macrófitas, especialmente aquellas de tipo emergente o flotante (Rangel-Ch, 2012). Adicionalmente, los sedimentos poco consolidados y la limitada disponibilidad de nutrientes, característica de los suelos ácidos y de baja fertilidad de la altillanura, también restringen el crecimiento de estas plantas acuáticas (Velásquez, 2013). La ausencia de macrófitas puede indicar una baja productividad primaria en el sistema en esta época del año, lo que a su vez influye en la estructura trófica y funcional de las comunidades hidrobiológicas evaluadas.

- ➢ *Época lluvia*

- ✓ *Ictioplancton*

Aunque la época de lluvias representa un periodo clave para la reproducción de muchas especies de peces, la ausencia de capturas de ictioplancton durante los muestreos en sistemas lóticos y lénticos puede deberse a varios factores hidrológicos y ecológicos que dificultan su detección. En

primer lugar, el aumento del caudal y la turbulencia en ríos y arroyos durante las lluvias puede provocar una alta dispersión de huevos y larvas, reduciendo su concentración en puntos específicos y dificultando su captura con métodos convencionales. De igual forma, la conexión de cuerpos de agua lénticos con llanuras de inundación o canales secundarios favorece una amplia distribución espacial del ictioplancton, dispersándolo en áreas poco accesibles o no incluidas en el diseño de muestreo (Winemiller K. O., 1989). Además, muchos eventos reproductivos ocurren de forma puntual y sincronizada con picos de descarga, lo que requiere un muestreo de alta frecuencia o adaptado al ritmo hidrológico para detectarlos (Agostinho A. A., 2004). Finalmente, factores metodológicos como el tipo de red, la hora del muestreo o la profundidad de arrastre también influyen en la eficiencia de captura. Por lo tanto, la ausencia de registros no necesariamente indica la falta de actividad reproductiva, sino que puede reflejar una limitación espacial, temporal o técnica en la estrategia de muestreo.

- ✓ *Perifíton*

  - Composición y Estructura de la comunidad

El ensamble ecológico del perifiton en el sistema lótico de la Microcuenca del Río Yucao, evaluado en las estaciones YUCAO_CL_01 y YUCAO_CL_02 durante la época lluviosa en la altillanura, presenta una comunidad con una abundancia total de 45 ind/cm² distribuida de manera desigual entre las estaciones. La estación YUCAO_CL_01 muestra mayor abundancia (29.6 ind/cm²) y riqueza (3 géneros), dominada por *Pinnularia* (15.7 ind/cm², 53%) y *Eunotia* (8.7 ind/cm², 29.4%), mientras YUCAO_CL_02 (15.4 ind/cm²) presenta menor diversidad (4 géneros) con predominio de *Pinnularia* (7 ind/cm², 45.5% local) y *Frustulia* (4.2 ind/cm², 27.3%) (**Tabla 3.3.3-450**)(**Figura 3.3.3-188**).

A nivel de Microcuenca, *Pinnularia* (22.7 ind/cm²) es el género más representativo, seguido de *Eunotia* (8.7 ind/cm², 19.3%) y *Cosmarium* (8 ind/cm²) (**Tabla 3.3.3-450**).

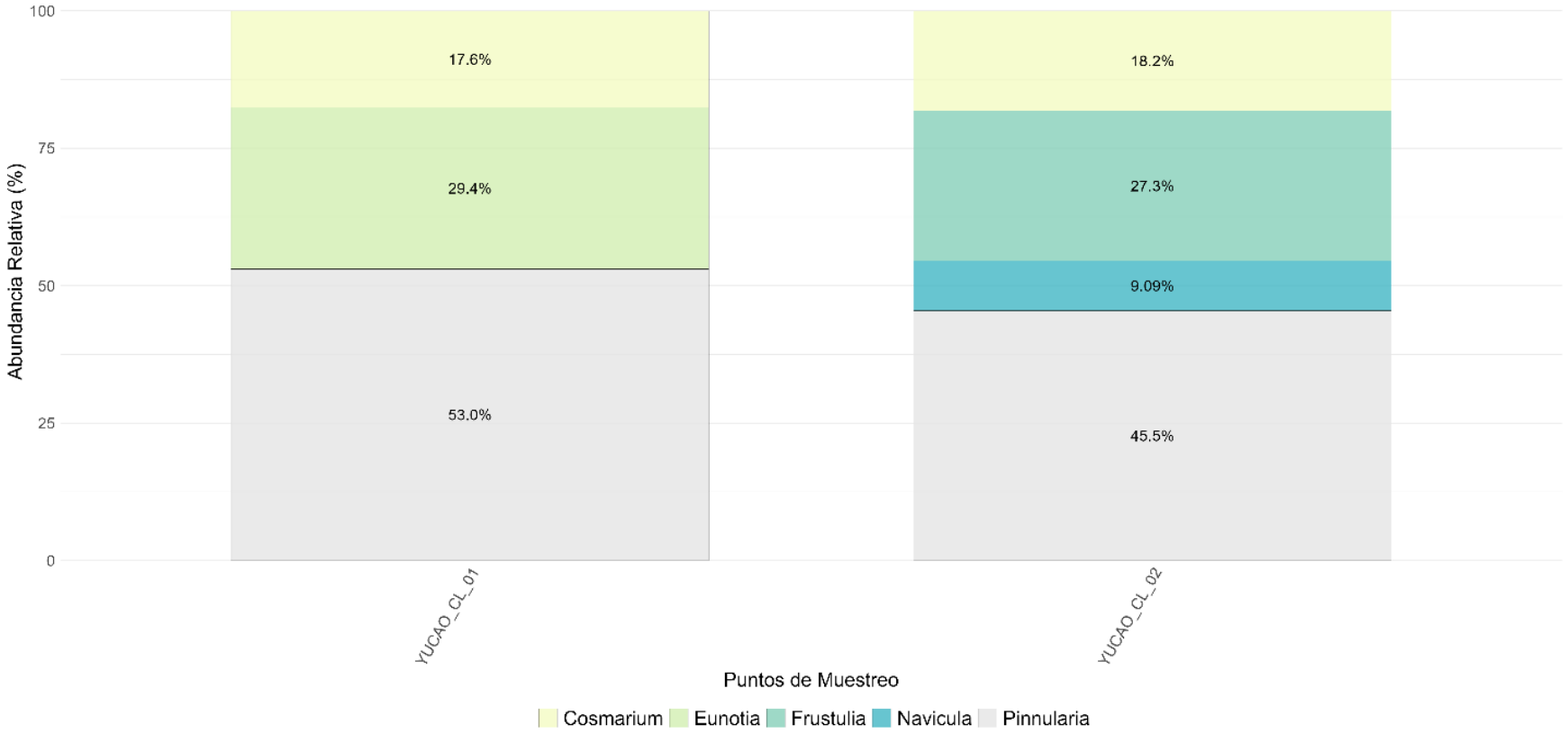


Figura 3.3.3-188 Porcentaje de Abundancia de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La marcada presencia de *Pinnularia* , bioindicadora de aguas bien oxigenadas junto con *Eunotia* asociada a aguas ácidas y oligotróficas, sugiere condiciones ambientales favorables en la Microcuenca (Round et al., 1990). La aparición de *Cosmarium* y *Frustulia*, con abundancias menores, indica una limitada interacción con sistemas lénticos o terrestres adyacentes. La diferencia entre estaciones, donde YUCAO_CL_01 es más abundante que YUCAO_CL_02, podría reflejar variaciones en las características del sustrato o en el régimen hidrológico local.

Considerando la estructura comunitaria y los géneros bioindicadores, la Microcuenca recibe una calificación ecológica buena, destacando YUCAO_CL_01 por su mayor productividad y dominancia de taxones sensibles. La ausencia de especies indicadoras de contaminación y la presencia mayoritaria de diatomeas características de aguas limpias justifican esta indicación.

Tabla 3.3.3-450 Ensamble Ecológico de la Comunidad del Perifiton Microcuenca río Yucao época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Río Yucao		Abundancia Total Microcuenca (Ind/cm²)
					YUCAO_CL_01	YUCAO_CL_02	
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pinnulariaceae	*Pinnularia*	15,7	7	22,7
			Amphipleuraceae	*Frustulia*		4,2	4,2
			Naviculaceae	*Navicula*		1,4	1,4
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia*	8,7		8,7
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium*	5,2	2,8	8
Gran Total					29,6	15,4	45

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los índices ecológicos en las estaciones YUCAO_CL_01 y YUCAO_CL_02 revela características contrastantes en la comunidad de perifiton en la Microcuenca de Río Yucao. La estación YUCAO_CL_01, pese a mostrar mayor abundancia (29.6 ind/cm²), presenta una diversidad relativamente baja (Shannon 1.011) y mayor dominancia (Simpson 0.389), lo que concuerda con su menor riqueza (3 géneros) y la marcada predominancia de *Pinnularia*. Este patrón sugiere condiciones ambientales que favorecen selectivamente a especies específicas. En contraste, YUCAO_CL_02, aunque con menor abundancia total (15.4 ind/cm²), exhibe mejores valores de diversidad (Shannon 1.241), menor dominancia (Simpson 0.322) y mayor riqueza (4 géneros), indicando una comunidad más equilibrada. La equitatividad en ambas estaciones se mantiene aceptable (Pielou 0.92 y 0.895 respectivamente) (**Tabla 3.3.3-451**), mostrando que las especies presentes se distribuyen relativamente bien a pesar de las diferencias en dominancia.

Esta divergencia entre estaciones podría reflejar variaciones microambientales en el cauce, donde YUCAO_CL_01 presenta condiciones más restrictivas que favorecen a *Pinnularia*, mientras YUCAO_CL_02 alberga un ensamble más diverso. Según los resultados reportados, la Microcuenca del Río Yucao recibe una calificación ecológica regular a buena, donde la mayor diversidad de YUCAO_CL_02 compensa parcialmente la baja diversidad de YUCAO_CL_01.

La presencia constante de taxones sensibles como *Pinnularia* y *Eunotia* en ambas estaciones sugiere que, pese a las diferencias observadas, el sistema mantiene características aceptables para el desarrollo del perifiton.

Tabla 3.3.3-451 Índices Ecológicos de la Comunidad del Perifiton (Alfa) Microcuenca río Yucao época lluvias

ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
YUCAO_CL_01	29.6	3	1.011	0.389	0.920
YUCAO_CL_02	15.4	4	1.241	0.322	0.895

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Macroinvertebrados bentónicos*

- Composición y ensamble de la comunidad

El ensamble ecológico de macroinvertebrados bentónicos en el sistema lótico del Río Yucao, ubicado en la altillanura colombiana y monitoreado durante la época de lluvias en la estación YUCAO_CL_01, presenta una comunidad acuática con características ecológicas particulares. El estudio registró una abundancia total de 17 ind/m², distribuida en cinco (5) morfoespecies pertenecientes a dos (2) phyllum (Annelida y Arthropoda), tres (3) clases, cuatro (4) órdenes, cinco (5) familias y tres (3) géneros identificados (*Simulium*, *Petrophila* y *Macrobrachium*) (**Tabla 3.3.3-452**).

Tabla 3.3.3-452 Ensamble ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época lluvias

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	Morfoespecie	Río Yucao	Abundancia Total Microcuenca (Ind/m2)
						YUCAO_CL_01	
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	-	Naididae Mf.	3,3	3,3
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae		Chironomidae Mf.	6,6	6,6
			Simuliidae	*Simulium*	*Simulium* sp.	3,3	3,3
		Lepidóptera	Crambidae	*Petrophila*	*Petrophila* sp.	1,1	1,1
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	*Macrobrachium* sp.	2,2	2,2
ABUNDANCIA TOTAL MICROCUENCA (Ind/m2)						**17**	**17**

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La comunidad estuvo dominada por Chironomidae Mf. (6.6 ind/m², 38.8% de abundancia relativa), seguido por Naididae Mf. (3.3 ind/m², 19.4%) y *Simulium* sp. (3.3 ind/m², 19.4%), con contribuciones menores de *Macrobrachium* sp. (2.2 ind/m², 12.9%) y *Petrophila sp*. (1.1 ind/m², 6.5%). Esta composición taxonómica muestra una estructura comunitaria donde coexisten organismos con diferentes requerimientos ecológicos y estrategias tróficas (Roldán & Ramírez, 2008). La presencia simultánea de Naididae (oligoquetos tubificidos), Chironomidae y Simuliidae (dípteros), junto con *Macrobrachium* (decapodo) y *Petrophila* (lepidóptero acuático), sugiere un ambiente con cierta heterogeneidad de microhábitats (**Figura 3.3.3-189**).

Desde la perspectiva de la bioindicación, la comunidad estudiada presenta elementos contrastantes. La dominancia de Chironomidae y Naididae, grupos generalmente considerados tolerantes a condiciones adversas, indicaría cierto grado de perturbación ambiental (Domínguez & Fernández, 2009). Sin embargo, la presencia de *Simulium* sp., organismo típico de aguas bien oxigenadas, y especialmente de *Petrophila* sp., un lepidóptero acuático relativamente sensible, sugiere que el sistema mantiene condiciones aceptables para el desarrollo de taxones con requerimientos ecológicos más estrictos (Buss et al., 2015). Macrobrachium sp., como depredador tope en esta comunidad, indica cierta integridad de la red trófica acuática (**Figura 3.3.3-189**).

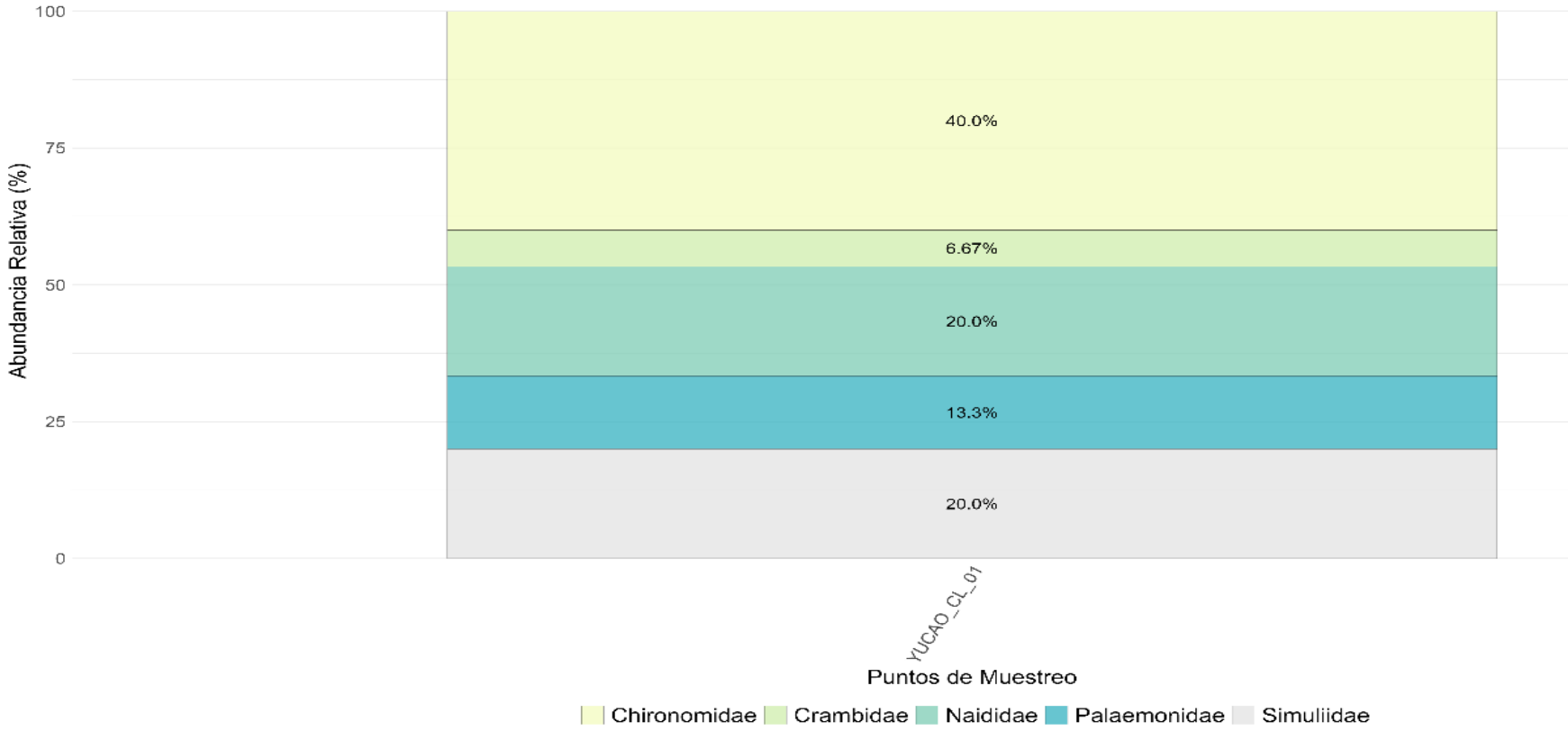


Figura 3.3.3-189 Familias de macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época lluvias

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El análisis de las interacciones ecológicas revela conexiones importantes entre los sistemas lóticos, lénticos y terrestres. Los simulidos, con larvas fijadoras en sustratos duros de aguas corrientes, confirman el carácter lótico del sistema. Los adultos de *Petrophila* sp. constituyen un puente ecológico entre los ambientes acuáticos y terrestres, ya que sus formas adultas son mariposas voladoras (Merritt & Cummins, 2008). *Macrobrachium* sp., por su parte, representa un vínculo con sistemas lénticos adyacentes, pues muchas especies de este género requieren ambientes estuarinos para completar su ciclo de vida (Magalhães, 1989). Esta diversidad de interacciones sugiere que el Río Yucao en YUCAO_CL_01 mantiene una conectividad ecológica funcional con otros componentes del paisaje.

La estructura trófica de la comunidad muestra una base dominada por colectores (Chironomidae, Naididae), filtradores (*Simulium* sp.), un depredador (*Macrobrachium* sp.) y un herbívoro especializado (*Petrophila* sp.). Esta organización refleja cierta complejidad funcional, aunque limitada por la baja abundancia de los niveles tróficos superiores (Cummins et al., 2005). La proporción entre grupos funcionales (70% colectores, 18% filtradores, 6% herbívoros y 6% depredadores) es característica de sistemas con aporte moderado de materia orgánica alóctona.

En conclusión, el ensamble de macroinvertebrados bentónicos del Río Yucao en la estación YUCAO_CL_01 presenta una comunidad acuática con diversidad moderada (5 morfoespecies) y estructura trófica relativamente equilibrada. La coexistencia de organismos tolerantes con taxones más sensibles sugiere un ambiente con cierto grado de perturbación, pero que aún mantiene condiciones para el desarrollo de una comunidad diversificada. La presencia de grupos con diferentes requerimientos ecológicos indica heterogeneidad de microhábitats y conectividad funcional con otros sistemas acuáticos y terrestres.

En concordancia con lo anterior, el índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia) arrojó un valor de 22 puntos, lo que clasifica este cuerpo de agua en la Clase IV (Crítica), correspondiente a aguas muy contaminadas (**Tabla 3.3.3-453**). Este resultado intermedio entre las categorías más extremas (III y V) refleja una situación ambiental preocupante pero con ciertos elementos de resiliencia en el sistema (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 3.3.3-453 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) Microcuenca río Yucao época lluvias

Microcuenca	Punto De Monitoreo	Clase	Calidad	BMWP	Significado
RÍO YUCAO	YUCAO_CL_01	IV	Critica	22	Aguas muy contaminadas

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La puntuación obtenida se explica por la presencia de taxones sensibles como *Petrophila* sp. (Lepidóptera: Crambidae) y *Simulium* sp. (Diptera: Simuliidae), que aportan puntajes altos al índice, organismos de tolerancia intermedia como *Macrobrachium* sp. (Decapoda: Palaemonidae) y grupos tolerantes como Chironomidae y Naididae que limitan el valor final del índice.

La clasificación en la categoría "Crítica" (aunque cerca del límite inferior de la Clase III) indica que aunque el sistema mantiene poblaciones de organismos relativamente sensibles, estos no

alcanzan a compensar la presencia dominante de grupos más tolerantes (Domínguez & Fernández, 2009). Esta situación es típica de sistemas que reciben cargas moderadas de contaminantes orgánicos o que han sufrido alteraciones físicas del hábitat, pero que conservan cierta capacidad de mantener comunidades acuáticas estructuradas (Buss et al., 2015).

Teniendo que algunos factores como el aporte moderado de materia orgánica (favorece quironómidos y naididos), la conservación de áreas con buen flujo y oxigenación (permite simúlidos), la presencia de microhábitats diversos (sustenta lepidópteros acuáticos) y la conectividad con otros sistemas acuáticos (favorece macrocrustáceos), podrían explicar este resultado.

- Diversidad Alfa

Los índices de diversidad alfa calculados para la comunidad bentónica del Río Yucao en la estación YUCAO_CL_01 revelan características ecológicas significativas que complementan los resultados del BMWP/Col. La comunidad, compuesta por 5 morfoespecies con una abundancia total de 16.5 ind/m², muestra un índice de Shannon (H'=1.864) que indica una diversidad moderadamente alta para este tipo de sistema acuático (**Tabla 3.3.3-454**) (Magurran, 2004). Este valor relativamente favorable sugiere una distribución equilibrada de los individuos entre las morfoespecies presentes, aunque debe interpretarse en el contexto de una riqueza específica limitada.

El índice de Simpson (D=0.164) muestra una baja dominancia, confirmando que ninguna especie ejerce un dominio extremo en la comunidad. Este valor es consistente con la distribución observada de abundancias: Chironomidae Mf. (6.6 ind/m², 40%), Naididae Mf. (3.3 ind/m², 20%), *Simulium* sp. (3.3 ind/m², 20%), *Macrobrachium* sp. (2.2 ind/m², 13.3%) y *Petrophila* sp. (1.1 ind/m², 6.7%) (**Tabla 3.3.3-454**). La relativa equidad en esta distribución, especialmente entre las tres especies más abundantes, explica el bajo valor de dominancia (Domínguez & Fernández, 2009).

El índice de Pielou (J'=1.158) presenta un valor superior a 1, lo que indica una limitación en la aplicación de este índice a comunidades con pocas morfoespecies. Esta ocurre porque el índice de Shannon observado (1.864) supera el Shannon máximo teórico para 5 morfoespecies (ln(5)≈1.609), situación que revela las restricciones de estos índices cuando se aplican a comunidades con riqueza específica menor a 10 especies (Roldán & Ramírez, 2008) (**Tabla 3.3.3-454**). Este resultado no invalida los otros índices, pero sugiere precaución en la interpretación de la equitatividad.

Tabla 3.3.3-454 Índices de diversidad Alfa para macroinvertebrados bentónicos Microcuenca río Yucao época lluvias.

MICROCUENCA	ID_PUNTO_M	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
RÍO YUCAO	YUCAO_CL_01	16.5	5	1.864	0.164	1.158

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Teniendo así que estos resultados permiten concluir que la diversidad moderada (Shannon) refleja una comunidad estructurada con múltiples nichos ecológicos, la baja dominancia (Simpson) indica

ausencia de especies invasoras o condiciones extremas, los valores deben considerarse junto con el BMWP/Col (22 puntos, Clase IV), la composición taxonómica muestra grupos funcionales diversos (filtradores, colectores, depredadores).

Y de acuerdo con la estructura de la comunidad, esta sugiere un sistema que presenta un aporte moderado de materia orgánica (base de quironómidos y naididos), zonas de corriente bien oxigenadas (simúlidos), conectividad con otros sistemas (macrocrustáceos) y la presencia de vegetación ribereña conservada (lepidópteros acuáticos).

✓ *Macrófitas acuáticas*

- Composición y Estructura de la comunidad

Durante el monitoreo de la temporada de lluvias en la Microcuenca del río Yucao, se registró una comunidad de macrófitas acuáticas compuesta por cuatro morfoespecies pertenecientes a la división Tracheophyta, distribuidas en tres órdenes taxonómicos: Alismatales y Poales, dentro de las clases Magnoliidae. Estas plantas se agrupan en tres familias: Araceae, Alismataceae y Cyperaceae, siendo esta última la de mayor representatividad en cuanto a diversidad de morfoespecies y cobertura. En el punto YUCAO_CL_01 se observaron dos morfoespecies con una cobertura total del 19%, destacándose Alisma sp. (Alismataceae) con una alta abundancia relativa (78,95%), lo que indica su dominancia en este tramo del río. En YUCAO_CL_02 se registraron tres morfoespecies, alcanzando una cobertura del 49,99%, donde *Cyperus* sp. (Cyperaceae) fue la especie dominante con un 46,67% de abundancia relativa, seguida por una morfoespecie no determinada de Araceae (**Tabla 3.3.3-455**). Este patrón sugiere una mayor heterogeneidad estructural y cobertura vegetal en este punto, posiblemente asociada a variaciones microambientales, como mayor retención de agua y condiciones edáficas favorables durante la temporada de lluvias. Las especies registradas corresponden a tipos morfofuncionales comúnmente asociados a sistemas lóticos con regímenes de inundación estacional, en los cuales las macrófitas emergentes y helófitas proliferan como respuesta a la mayor disponibilidad hídrica y nutrientes en suelos temporalmente saturados (Cronk, 2001). Estas comunidades cumplen un papel clave en la dinámica ecológica del ecosistema fluvial, al contribuir al ciclo de nutrientes, estabilizar los márgenes del cauce y ofrecer hábitat para numerosos organismos acuáticos.

Tabla 3.3.3-455 Ensamble ecológico de la comunidad de macrófitas acuáticas Microcuenca río Yucao época lluvias

División	Clase	Orden	Familia	Microcuenca	Río Yucao			
				Punto De Muestreo	YUCAO_CL_01		YUCAO_CL_02	
				Especie/Morfoespecie	% Cobertura	Abund. Relat.	% Cobertura	Abund. Relat.
Tracheophyta	Magnoliidae	Alismatales	Araceae	Araceae Mf.			19,33	38,67
			Alismataceae	*Alisma* sp.	15	78,95		
		Poales	Cyperaceae	*Cyperus* sp.	4	21,05	23,33	46,67
				Scleria sp.			7,33	14,66
Cobertura Total general					**19**	**100**	**49,99**	**263**
Morfoespecies por Punto					**2**		**3**	
Morfoespecies por Microcuenca					**4**			

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- Diversidad Alfa

Durante el monitoreo de la comunidad de macrófitas acuáticas en la Microcuenca del río Yucao, se registró una diversidad limitada en el punto de muestreo YUCAO_CL_01, donde solo se identificaron dos morfoespecies. Debido a esta baja riqueza específica, los índices de diversidad calculados, como Shannon (0,5), Simpson (0,68) y equidad de Pielou (0,721), reflejan una estructura comunitaria poco compleja y dominada por una especie con alta abundancia relativa. Sin embargo, debe considerarse que cuando la riqueza es muy baja —como en este caso— los índices de diversidad pueden resultar poco representativos del estado ecológico general, ya que presentan una sensibilidad reducida para distinguir patrones de equidad o dominancia (Magurran A. E., 2004). Según (Pielou, 1975), el índice de equidad puede sobrestimar la uniformidad en comunidades con pocas especies, y por ello, se recomienda utilizarlo con precaución en contextos de baja diversidad. En consecuencia, en el punto YUCAO_CL_01 no fue posible aplicar de forma robusta los análisis de diversidad, lo que indica la necesidad de considerar también factores ambientales locales, como el régimen hidrológico o las condiciones del hábitat, para una interpretación integral del ensamblaje de macrófitas en ecosistemas lóticos de altillanura.

3.3.3.2.29 Ictiofauna

Se estima que la biodiversidad global de peces es superior a las 35.500 especies (Fricke *et al*. 2020 citado en Jiménez-Segura y Lasso[57]), de las cuales, aproximadamente el 43% corresponden a especies estrictamente dulceacuícolas (Nelson *et al*. 2016 citado en Jiménez-Segura y Lasso199), estando concentradas tan sólo en Suramérica, alrededor de 5.160 especies.

El estado del conocimiento de la diversidad de peces de agua dulce en Colombia ha incrementado notablemente en los últimos tiempos, desde Fowler (1942), quien proporcionó la primera cifra total de especies conocidas para el país (387 spp.), pasando por los listados de Mojica (1999): 838 spp., Maldonado-Campo et al. (2008): 1494 spp., 1610 spp. (DoNascimiento et al. 2020), citados en L. Jiménez-Segura, C. A. Lasso. 2020[58]. Según la Lista de especies de peces de agua dulce de Colombia[59], publicada el 1 de febrero de 2024, para Colombia se registra un número total de especies de peces de agua 1692. La Microcuenca del río Orinoco en Colombia es una de las Microcuencas en donde mayores esfuerzos de muestreo de peces se han realizado en la última década y en la actualidad se registran en ella 767 especies que tienen su hábitat en la Microcuenca del Orinoco a la cual pertenece el río Meta y los caños, ríos, lagunas, pantanos y todos los cuerpos de agua lenticos dentro del AI del Área de Producción CPO-5.

- *Especies potenciales*

La Microcuenca del Meta drena sus aguas por zonas de montaña, piedemonte, altiplanicies y llanuras, un mosaico con singularidades bien definidas que dan a la Microcuenca una diversidad paisajística única y una reconocida megadiversidad biológica. Así, seis áreas prioritarias para la

[57] Jiménez-Segura, L. y C. A. Lasso (Eds.). 2020. XIX. Peces de la Microcuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. 434 pp.
[58] L. Jiménez-Segura, C. A. Lasso. 2020. XIX. Peces de la Microcuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible / editado por:; Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia, XIX – Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt,.
[59] https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=ictiofauna_colombiana_dulceacuicola

conservación de la biodiversidad del Orinoco han sido identificadas en la Microcuenca y de acuerdo a la composición de sus peces se han definido varias subregiones biogeográficas. En cuanto a la riqueza de peces de la Microcuenca del Meta, Mojica (1999) registró 255 especies, Maldonado-Ocampo (2004) 337, Lasso et al. (2004) 378, Cortes et al. (2006) 255 y Machado-Allison et al. (2010) más de 300 con un nivel medio en especies endémicas (10 – 15 spp.) y un nivel alto en especies amenazadas (> 10)[60]. Esta situación ha venido cambiando gracias a los estudios de la ictiofauna asociada al fondo del canal principal del río Meta y los inventarios realizados en el piedemonte y llanuras de los departamentos de Meta, Casanare, Arauca y Vichada (Villa-Navarro et al. 2011, 2012, 2014, Urbano-Bonilla & Maldonado-Ocampo 2013, Maldonado-Ocampo et al. 2013), cuyos resultados permitieron actualizar el listado de los peces registrados en la Microcuenca del Meta. Para la Microcuenca del río Meta se registra un total de 577 especies agrupadas en 251 géneros, 47 familias y 10 órdenes. El orden con mayor número de especies es Characiformes con 261 especies (45%), seguido de Siluriformes con 204 especies (35%), los restantes ocho ordenes presentaron entre una y 49 especies. La familia con el mayor número de especies es Characidae con 124 especies (21%), seguida de Loricaridae con 53 (10%) y Cichlidae con 45 (8%). Las familias restantes presentan entre una y 33 especies[61] (**Ver el Anexo 3.3-6d_Ictiofauna_Potencial).**

Los peces dependen de las condiciones medioambientales tanto bióticas como abióticas, ya sea en sistemas lóticos o lénticos, puesto que los ambientes no son uniformes ni espacial ni temporalmente, por lo que se han visto obligados a adaptarse a las fluctuaciones y condiciones que suceden naturalmente en el ecosistema[62], por lo que han desarrollado diferentes adaptaciones por el grado de explotación y la modificación de su ambiente[63].

La importancia de los peces como organismos bioindicadores radica en su capacidad para ocupar prácticamente todos los hábitats acuáticos que presenten agua durante gran parte del año incluyendo charcos, lagunas y caños. Su estructura y composición varía de acuerdo a la escala espacial, es decir, cuanto mayor es esta hay más detalle para conocer su organización tanto a nivel de comunidad como de población. De igual forma la variedad de peces se presenta tanto a nivel de Microcuenca como de hábitat (microhábitat) (Reeves et al., 2001). Según Wootton (1990) la diversidad íctica en sistemas lóticos se incrementa desde la cabecera hasta la desembocadura, es decir, aumenta de acuerdo al orden del río. Esta teoría se apoya de acuerdo a la relación especie-área establecida por Williams (1964) teoría ecológica de las comunidades, la cual establece que el número de especies se incrementa de acuerdo al aumento del área considerada; sin embargo, esto se encuentra condicionado a otros factores tales como el caudal, la turbulencia y la calidad del agua (Ricklefs, 1987), de lo cual nos daran cuenta las especies bioindicadoras.

[60] Trujillo, F., Antelo, R., Saulo Usma. 2016. Peces de la Microcuenca del río Meta. Fundación Omacha, Fundación Palmarito, WWF
[61] Usma, J.S., et. al. 2016. Biodiversidad de la Microcuenca baja y media del río Meta (pp.104-119) Publisher: Fundación Omacha, Fundación Palmarito, WWF.
[62] King, M. (1995) Fisheries biology, assessment and management. Fishing News Books, Oxford, 341.
[63] Gutiérrez, F. P. (2010). Los recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C. Colombia. 118 pp.

- *Importancia económica y cultural a nivel regional*

La importancia de la comunidad Ictica radica no sólo en que son parte importante en los procesos ecológicos, sino también porque son parte importante en la dieta de muchas comunidades asentadas a la ribera de los ríos principalmente Meta y Humea, además de que representan un renglón privilegiado en la economía local donde la pesca sigue siendo, aunque ha disminuído, una alternativa de empleo[64].

Un reglón importante para la economía regional y que poco se menciona pero que es de relevancia nacional es lo que menciona Blanco (2002)[65], indicando que los peces ornamentales comenzaron a aprovecharse en el país hace aproximadamente 35 años y aunque son cosiderables los estudios nacionales sobre diferentes aspectos, no responden todavía a las necesidades apremiantes de la dinámica del recurso, teniendo en cuenta su megadiversidad. La orinoquia es el área colombiana que más aporta en número y especies de peces ornamentales, ya que se calcula que del 60 al 80 % de peces exportados provienen de esta región, en donde los centros de acopio tradicionales se localizan en Puerto López, Puerto Gaitán, Villavicencio, Puerto Inhirida, Puerto Carreno y Arauca".

En la definición y clasificación de los servicios ecosistémicos, la pesca es uno de los servicios más valorados por los habitantes de las riberas de los ríos debido a que, además de contribuir a la seguridad alimentaria, constituye la principal fuente de ingresos y proteínas de muchos habitantes ribereños de los países tropicales. La asignación de categorías se basa en patrones conocidos para estas especies en la Microcuenca del Orinoco y los resultados de búsqueda. Por ejemplo, especies herbívoras/detritívoras como *Piaractus brachypomus* son ideales para acuicultura, mientras que carnívoras como *Serrasalmus* spp. son valoradas en pesca deportiva. Las especies introducidas (*Hypostomus* spp. y *Pterygoplichthys multiradiatus*) se identifican por su presencia en acuariofilia.

En resumen, se puede indicar que, del listado completo de especies potenciales de ictiofauna, según las listas roajs de la IUC, se encuentran 4 especies en categoría de amenaza en peligro (EN) y tres casi amenazadas NT, las restantes especies no se encuentran en categoría de amenaza. En relación con el listado de especies amenazadas en el territorio nacional (Res. 0126 de 2024) solo se reportan 3 especies En Peligro y tres como Vulnerables. Finalmente, listadas en CITES se reporta solo una especie (*Panaque nigrolineatus*) en el apéndice III.

- *Especies registradas*

La **Tabla 3.3.3-456** presenta un inventario detallado de 92 especies o morfoespecies de peces para el área de exploración CPO-5, organizadas taxonómicamente por phylum, clase, orden, familia y especie/morfoespecie, indicando su presencia en las temporadas seca y lluviosa. Todas las especies pertenecen al phylum Chordata, con la clase Actinopteri como la única registrada. Los órdenes más representativos son Characiformes, Siluriformes, Blenniiformes y Gymnotiformes, abarcando familias como Acestrorhamphidae (12 especies), Characidae (10

[64] Ajiaco-Martínez, R. E., Ramírez-Gil, H., & Bolaños-Briceño, J. A. 2015. La pesquería en Bocas del Guayuriba, alto río Meta, Orinoquia colombiana. Editorial Unillanos. Villavicencio, Colombia.
[65] Blanco, M. C. 2002. Consideraciones sobre los peces ornamentales de Colombia. En Sanabria O., Daza P., Beltrán I. Peces de la Orinoquía Colombia con énfasis en especies de interés ornamental. 2007. INCODER, Universidad Nacional de Colombia.

especies), Loricariidae (9 especies), Cichlidae (7 especies), Stevardiidae (4 especies), Curimatidae (4 especies), Serrasalmidae (4 especies), Callichthyidae (3 especies), Doradidae (3 especies), Heptapteridae (3 especies), Pimelodidae (3 especies), Anostomidae (3 especies), y otras con menor representación como Aspredinidae, Bryconidae, Cetopsidae, Chilodontidae, Erythrinidae, Gasteropelecidae, Hypopomidae, Iguanodectidae, Lebiasinidae, Prochilodontidae y Triportheidae. La tabla detalla la distribución estacional de estas especies, mostrando una mayor riqueza en la temporada lluviosa (70 especies) comparada con la temporada seca (39 especies), lo que sugiere una mayor disponibilidad de hábitats acuáticos durante el período lluvioso. Este registro permite analizar la diversidad taxonómica y los patrones ecológicos de estas especies en función de las condiciones estacionales.

Tabla 3.3.3-456 Clasificación taxonómica del ensamble general de peces registrados dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca y lluviosa.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Época Seca Enero 2025	Época Lluvias Julio 2024
Chordata	Actinopteri	Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens metae*	X	X
			Cichlidae	*Aequidens tetramerus*	X	X
		Siluriformes	Loricariidae	*Aphanotorulus ammophilus*		X
			Loricariidae	*Aphanotorulus emarginatus*		X
		Characiformes	Characidae	*Aphyocharax erythrurus*	X	X
		Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara sp.*		X
		Characiformes	Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	X	X
			Acestrorhamphidae	*Astyanax integer*		X
			Acestrorhamphidae	*Astyanax venezuelae*	X	X
			Acestrorhamphidae	*Astyanax siapae*	X	
			Acestrorhamphidae	*Astyanax sp.*	X	
		Blenniiformes	Cichlidae	*Bujurquina mariae*		X
		Gymnotiformes	Hypopomidae	*Brachyhypopomus brevirostris*		X
		Characiformes	Iguanodectidae	*Bryconops giacopinii*		X
		Siluriformes	Aspredinidae	*Bunocephalus aloikae*	X	X
			Cetopsidae	*Cetopsis coecutiens*		X
		Blenniiformes	Cichlidae	*Chaetobranchus flavecens*		X
		Characiformes	Chilodontidae	*Chilodus punctatus*		X
			Lebiasinidae	*Copella eigenmanni*		X
		Siluriformes	Callichthyidae	*Corydoras septentrionalis*		X
		Characiformes	Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	X	X
			Curimatidae	*Curimatella immaculata*		X
			Curimatidae	*Cyphocharax immaculata*		X
			Curimatidae	*Cyphocharax oenas*		X
		Siluriformes	Loricariidae	*Farlowella mariaelenae*		X
		Characiformes	Characidae	*Gephyrocharax valencia*	X	X
			Characidae	*Gymnocorymbus bondi*		X
			Characidae	*Gymnocorymbus thayeri*	X	
			Stevardiidae	*Hemibrycon metae*		X
			Acestrorhamphidae	*Hemigrammus barrigonae*	X	X
			Acestrorhamphidae	*Hemigrammus schmardae*	X	
			Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	X	X
			Erythrinidae	*Hoplerythrinus unitaeniatus*	X	X

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Época Seca Enero 2025	Época Lluvias Julio 2024
Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Callichthyidae	*Hoplosternum littorale*		X
			Callichthyidae	*Hyphessobrycon metae*		X
			Callichthyidae	*Hyphessobrycon otrynus*	X	X
		Characiformes	Acestrorhamphidae	*Hypostomus niceforoi*	X	X
			Acestrorhamphidae	*Hypostomus plecostomoides*	X	X
			Acestrorhamphidae	*Jupiaba polylepis*		X
			Stevardiidae	*Knodus alpha*	X	X
			Stevardiidae	*Knodus sp.*	X	
		Siluriformes	Loricariidae	*Lamontichthys llanero*		X
			Loricariidae	*Lasiancistrus tentaculatus*	X	
		Characiformes	Anostomidae	*Leporinus friderici*	X	X
			Anostomidae	*Leporinus gr. friderici*		X
			Anostomidae	*Leporinus ortomaculatus*	X	
		Siluriformes	Loricariidae	*Limatulichthys griseus*		X
			Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	X	X
		Blenniiformes	Cichlidae	*Lugubria lugubris*		X
		Characiformes	Stevardiidae	*Markiana geayi*	X	X
		Blenniiformes	Cichlidae	*Mesonauta egregius*		X
		Characiformes	Acestrorhamphidae	*Moenkhausia chrysargyrea*		X
			Acestrorhamphidae	*Moenkhausia collettii*		X
			Acestrorhamphidae	*Moenkhausia lepidura*	X	X
			Acestrorhamphidae	*Moenkhausia oligolepis*	X	X
			Characidae	*Mylossoma duriventre*		X
			Characidae	*Odontostilbe splendida*	X	X
		Siluriformes	Doradidae	*Oxydoras niger*		X
			Doradidae	*Oxydoras sifontesi*		X
		Characiformes	Serrasalmidae	*Piaractus brachypomus*		X
		Siluriformes	Heptapteridae	*Pimelodella metae*	X	X
			Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	X	X
			Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	X	X
		Characiformes	Acestrorhamphidae	*Poptella compressa*	X	X
			Curimatidae	*Potamorhina altamazonica*		X
			Prochilodontidae	*Prochilodus mariae*		X
		Siluriformes	Pimelodidae	*Pseudoplatystoma metaense*		X
			Doradidae	*Pterodoras rivasi*		X
			Loricariidae	*Pterygoplichthys multiradiatus*	X	X
		Characiformes	Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	X	X
		Siluriformes	Heptapteridae	*Rhamdia laukidi*		X
			Heptapteridae	*Rhamdia muelleri*		X
			Loricariidae	*Rineloricaria eigenmanni*	X	X
		Characiformes	Characidae	*Roeboides affinis*		X
			Characidae	*Roeboides dientonito*		X
			Bryconidae	*Salminus iquitensis*		X
		Blenniiformes	Cichlidae	*Satanoperca mapiritensis*		X

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Época Seca Enero 2025	Época Lluvias Julio 2024
Chordata	Actinopteri	Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus calmoni*		X
			Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	X	X
			Serrasalmidae	*Serrasalmus rhombeus*	X	X
			Serrasalmidae	*Serrasalmus striolatus*	X	X
			Curimatidae	*Steindachnerina argentea*	X	X
			Curimatidae	*Steindachnerina guentheri*		X
		Siluriformes	Loricariidae	*Steindachnerina pupula*		X
			Loricariidae	*Sturisoma tenuirostre*	X	X
		Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	X	X
			Characidae	*Tetragonopterus chalceus*		X
			Gasteropelecidae	*Thoracocharax stellatus*		X
			Triportheidae	*Triportheus orinocensis*		X
			Triportheidae	*Triportheus venezuelensis*	X	X
			Stevardiidae	*Creagrutus bolivari*	X	X
		Siluriformes	Doradidae	*Platydoras armatulus*	X	

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Época seca*

- Composición Taxonómica y Estructura de la comunidad de peces en Cuerpos Lénticos

Los datos sobre la abundancia y riqueza de peces en los cuerpos lénticos de la llanura de inundación dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca, abarcan las Microcuencas del Río Humea, del Caño Pirigua, del Caño Venturosa y del Caño Banderas. En la Microcuenca del Río Humea, la estación Madrevieja Humea 02 registró dos familias. La familia Heptapteridae, caracterizada por bagres pequeños a medianos con cuerpo delgado y barbillones largos, carnívoros o insectívoros, que habitan arroyos y lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 122), incluyó el género *Pimelodella*, de cuerpo delgado, nocturno, común en arroyos selváticos (Mojica *et al*., 2006, p. 272), representado por la especie *P. metae*, con un único individuo. La familia Serrasalmidae, caracterizada por peces con cuerpo discoidal, comprimido y dientes fuertes, que incluye pirañas carnívoras y pacús frugívoros o herbívoros, habitando ríos, lagunas y bosques inundados, con importancia económica (Mojica *et al*., 2006, p. 85), presentó el género *Serrasalmus*, pirañas con cuerpo comprimido y comportamiento depredador agresivo, comunes en lagunas y ríos (Mojica *et al*., 2006, p. 181), con la especie *S. striolatus*, también con un único individuo. La baja diversidad y abundancia en esta Microcuenca reflejan una comunidad íctica limitada en época seca

En la Microcuenca del Caño Pirigua, las estaciones Pirigua CLE 01 y Pirigua CLE 02 registraron únicamente la familia Characidae, caracterizada por peces de cuerpo generalmente comprimido, con escamas cicloides y una aleta adiposa, omnívoros o carnívoros, habitando desde arroyos selváticos hasta ríos principales, con importancia ecológica y pesquera (Mojica *et al*., 2006, p. 53). En la estación Pirigua CLE 01, se encontró el género *Odontostilbe*, conocido en la familia Characidae por incluir especies pequeñas, omnívoras, que habitan aguas poco profundas,

representado por *O. splendida*, con cuatro individuos. En la estación Pirigua CLE 02, se registraron dos géneros: *Odontostilbe*, con *O. splendida* (tres individuos), y *Aphyocharax*, de cuerpo pequeño, plateado, con aletas transparentes, que habita aguas superficiales y se alimenta de insectos (Mojica *et al.*, 2006, p. 91), con *A. erythrurus* (dos individuos). Esta estación mostró mayor diversidad de géneros dentro de la familia Characidae y la mayor abundancia total (nueve individuos) en comparación con otras Microcuencas.

En la Microcuenca del Caño Venturosa, las estaciones Venturosa CLE 02 y Venturosa CLE 03 presentaron una mayor diversidad de familias. En Venturosa CLE 02, se registraron dos familias: Characidae, con el género Tetragonopterus, de cuerpo comprimido, plateado, con aleta anal larga, abundante en aguas negras y blancas, omnívoro (Mojica et al., 2006, p. 224), representado por T. argenteus (tres individuos), y Acestrorhamphidae, similar a Characidae pero con hocico alargado y cuerpo fusiforme, carnívoros o insectívoros, comunes en aguas superficiales y bordes de vegetación (Mojica et al., 2006, p. 53), con el género Astyanax, de cuerpo pequeño, plateado, con mancha humeral, muy abundante en arroyos y lagunas (Mojica et al., 2006, p. 209), representado por A. bimaculatus (dos individuos). En Venturosa CLE 03, se encontraron tres familias: Pimelodidae, bagres de cuerpo robusto con barbillones largos y aleta adiposa, carnívoros o detritívoros, que habitan ríos y lagunas, de importancia pesquera (Mojica et al., 2006, p. 122), con el género Pimelodus, de cuerpo robusto y barbillones prominentes, común en ríos principales (Mojica et al., 2006, p. 249), representado por P. blochii (un individuo); la familia Doradidae, bagres con placas óseas laterales y barbillones sensoriales, que habitan fondos fangosos de ríos y lagunas alimentándose de detritos y pequeños organismos (Mojica et al., 2006, p. 122), con el género Platydoras con P. armatulus (un individuo); y la familia Serrasalmidae, con el género Pygocentrus, pirañas con dientes triangulares, carnívoras, abundantes en aguas lentas (Mojica et al., 2006, p. 181), con P. cariba (un individuo). Esta Microcuenca destacó por su diversidad de familias, con un total de siete individuos (**Tabla 3.3.3-457**).

Tabla 3.3.3-457 Clasificación taxonómica de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en la llanura de inundación dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca.

Bioma	Microcuenca	Punto de Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Llanura de Inundación	RÍO HUMEA	MADREVIEJA_HUMEA_02	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1
	CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CLE_02			Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus striolatus*	1
						Characidae	*Odontostilbe splendida*	3
							Aphyocharax erythrurus	2
		PIRIGUA_CLE_01					*Odontostilbe splendida*	4
	CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_02					*Tetragonopterus argenteus*	3
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
	CAÑO BANDERAS	BANDERAS_CLE_01				Serrasalmidae	*Serrasalmus rhombeus*	1
						Characidae	*Gymnocorymbus thayeri*	1
						Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1
	CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_03			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
						Doradidae	*Platydoras armatulus*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En la Microcuenca del Caño Banderas, la estación Banderas CLE 01 registró dos familias. La familia Serrasalmidae incluyó los géneros *Serrasalmus*, con *S. rhombeus* (un individuo), y *Pygocentrus*, con *P. cariba* (un individuo). La familia Characidae presentó el género *Gymnocorymbus*, con *G. thayeri* (un individuo). Cada género estuvo representado por una sola especie con un único individuo, resultando en una baja abundancia total de tres individuos. En términos de composición de especies, la familia Characidae fue la más representativa, presente en tres de las cuatro Microcuencas (Caño Pirigua, Caño Venturosa y Caño Banderas), con cuatro especies: *O. splendida*, *A. erythrurus*, *T. argenteus* y *G. thayeri*. La familia Serrasalmidae también apareció en tres Microcuencas (Río Humea, Caño Venturosa y Caño Banderas), con tres especies: *S. striolatus*, *S. rhombeus* y *P. cariba*. Las familias Heptapteridae, Pimelodidae, Doradidae y Acestrorhamphidae estuvieron presentes en una sola Microcuenca cada una, con una especie por familia: *P. metae*, *P. blochii*, *P. armatulus* y *A. bimaculatus*, respectivamente.

En cuanto a la abundancia, la Microcuenca del Caño Pirigua destacó con el mayor número de individuos (nueve en total). La estación Pirigua CLE 01 registró cuatro individuos de *O. splendida*, mientras que Pirigua CLE 02 registró tres de *O. splendida* y dos de *A. erythrurus*. La Microcuenca del Caño Venturosa también mostró una abundancia significativa, con tres individuos de *T. argenteus* y dos de *A. bimaculatus* en Venturosa CLE 02, y un individuo por especie en Venturosa CLE 03 (*P. blochii*, *P. armatulus* y *P. cariba*), totalizando siete individuos. En contraste, las Microcuencas del Río Humea y Caño Banderas presentaron la menor abundancia, con dos y tres individuos, respectivamente, todos con un solo individuo por especie.

Las similitudes entre las estaciones incluyen la presencia de las familias Characidae y Serrasalmidae en tres Microcuencas, lo que indica una distribución amplia de estas familias en cuerpos lénticos durante la época seca en el área de producción CPO-5. Sin embargo, las diferencias son notables en la diversidad y abundancia. La Microcuenca del Caño Venturosa destacó por su mayor diversidad, con cuatro familias en total, mientras que Caño Pirigua sobresalió por la mayor abundancia de individuos. Las Microcuencas del Río Humea y Caño Banderas mostraron menor diversidad (dos familias cada una) y baja abundancia. Además, *P. cariba* fue la única especie presente en dos Microcuencas (Caño Venturosa y Caño Banderas), y *O. splendida* fue la única especie registrada en dos puntos de muestreo dentro de la misma Microcuenca (Caño Pirigua).

En cuanto a la composición de especies, las principales observaciones indican que Characidae es la familia más representativa en términos de presencia y diversidad de especies en el muestreo de la comunidad de peces en cuerpos lénticos en la llanura de inundación dentro del área de producción CPO-5, reflejando su adaptabilidad a los cuerpos lénticos en época seca. La alta abundancia en Caño Pirigua, especialmente de *O. splendida*, sugiere que esta Microcuenca ofrece condiciones favorables para especies de Characidae. En la estación Pirigua CLE 01, se reportaron cuatro individuos de *O. splendida*, y en la estación Pirigua CLE 02, se registran tres individuos de *O. splendida* y dos de *A. erythrurus*, sumando un total de nueve individuos en esta Microcuenca. La mayor diversidad de familias en Caño Venturosa indica una mayor complejidad ecológica en esta Microcuenca, que muestra una abundancia significativa, con tres individuos de *T. argenteus* y dos de *A. bimaculatus* en el punto de muestreo Venturosa CLE 02, y un individuo por especie

en la estación Venturosa CLE 03 (*P. blochii*, *P. armatulus* y *P. cariba*), totalizando siete individuos. En contraste, la baja diversidad y abundancia en Río Humea y Caño Banderas pueden reflejar limitaciones ambientales en época seca, como menor disponibilidad de hábitat o recursos. La presencia de *P. cariba* en dos Microcuencas destaca su amplia distribución, mientras que la exclusividad de familias como Heptapteridae, Pimelodidae, Doradidae y Acestrorhamphidae en una sola Microcuenca subraya la importancia de conservar estos hábitats específicos para mantener la diversidad íctica.

- Diversidad Alfa

El conjunto de datos proporcionado contiene datos que detallan métricas de diversidad ecológica y la composición de especies en varios puntos de muestreo (estaciones) dentro de diferentes Microcuencas en un bioma de llanura de inundación (Llanura de Inundación). Se analizan los índices de diversidad—Abundancia, Riqueza, Shannon, Simpson y Pielou—para seis estaciones en cuatro Microcuencas: Caño Banderas, Río Humea, Caño Pirigua y Caño Venturosa. A continuación, se analiza los índices de diversidad por estación y Microcuenca, seguido de una comparación de similitudes y diferencias, concluyendo con los hallazgos principales (**Tabla 3.3.3-458**)

Tabla 3.3.3-458 Índices ecológicos de Abundancia, Riqueza, diversidad de Shannon, Simpson e índice de uniformidad de Pielou de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en la llanura de inundación dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca.

MICROCUENCA	PUNTO DE MUESTREO	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
CAÑO BANDERAS	BANDERAS_CLE_01	3	3	1,099	0,333	1
RÍO HUMEA	MADREVIEJA_HUMEA_02	2	2	0,693	0,5	1
CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CLE_01	4	1	0	1	
	PIRIGUA_CLE_02	5	2	0,637	0,556	0,919
CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_02	5	2	0,637	0,556	0,919
	VENTUROSA_CLE_03	3	3	1,099	0,333	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En la Microcuenca del Caño Banderas, la estación BANDERAS_CLE_01 presenta una abundancia de 3 individuos, una riqueza de 3 especies, un índice de Shannon de 1.099, un índice de Simpson de 0.333 y una equidad de Pielou de 1. El valor perfecto de Pielou (1) indica máxima equidad, con cada especie (*Serrasalmus rhombeus*, *Gymnocorymbus thayeri* y *Pygocentrus cariba*, cada una con abundancia de 1) igualmente representada. El valor moderado de Shannon refleja una diversidad equilibrada, mientras que el bajo índice de Simpson sugiere baja dominancia, consistente con una distribución equitativa de especies. En la Microcuenca del Río Humea, la estación MADREVIEJA_HUMEA_02 muestra menor diversidad, con una abundancia de 2 individuos y una riqueza de 2 especies (*Pimelodella metae* y *Serrasalmus striolatus*, cada una con abundancia de 1). El índice de Shannon es 0.693 y el índice de Simpson es 0.5, ambos indicando baja diversidad debido al número mínimo de especies e individuos. Sin embargo, la equidad de Pielou es 1, reflejando una equidad perfecta entre las dos especies.

En la Microcuenca del Caño Pirigua, la estación PIRIGUA_CLE_01 tiene una abundancia de 4 individuos, todos pertenecientes a una sola especie (*Odontostilbe splendida*), resultando en una

riqueza de 1, un índice de Shannon de 0, un índice de Simpson de 1 y una equidad de Pielou indefinida (debido a la dominancia de una sola especie). Esta estación no presenta diversidad, ya que todos los individuos son de una sola especie. En contraste, la estación PIRIGUA_CLE_02 tiene una abundancia de 5 individuos en 2 especies (*Odontostilbe splendida* con 3 individuos y *Aphyocharax erythrurus* con 2), dando una riqueza de 2, un índice de Shannon de 0.637, un índice de Simpson de 0.556 y una equidad de Pielou de 0.919. Los bajos valores de Shannon y el moderado Simpson indican una diversidad limitada, pero el alto valor de Pielou sugiere una distribución relativamente equilibrada de especies. En la Microcuenca del Caño Venturosa, la estación VENTUROSA_CLE_02 es similar a PIRIGUA_CLE_02, con una abundancia de 5 individuos, una riqueza de 2 especies (*Tetragonopterus argenteus* con 3 individuos y *Astyanax bimaculatus* con 2), un índice de Shannon de 0.637, un índice de Simpson de 0.556 y una equidad de Pielou de 0.919. Esta estación muestra una diversidad baja pero alta equidad. La estación VENTUROSA_CLE_03 tiene una abundancia de 3 individuos en 3 especies (*Pimelodus blochii*, *Platydoras armatulus* y *Pygocentrus cariba*, cada una con abundancia de 1), con un índice de Shannon de 1.099, un índice de Simpson de 0.333 y una equidad de Pielou de 1. Esta estación exhibe una diversidad moderada y una equidad perfecta debido a la representación equitativa de especies.

En todas las Microcuencas, las estaciones con múltiples especies (BANDERAS_CLE_01, MADREVIEJA_HUMEA_02, PIRIGUA_CLE_02, VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03) muestran alta equidad de Pielou (0.919–1), indicando distribuciones equilibradas de especies a pesar de la baja abundancia. Las estaciones con tres especies (BANDERAS_CLE_01 y VENTUROSA_CLE_03) comparten métricas de diversidad idénticas (Shannon = 1.099, Simpson = 0.333, Pielou = 1), reflejando estructuras ecológicas similares. Las estaciones con dos especies (PIRIGUA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_02) también tienen métricas idénticas (Shannon = 0.637, Simpson = 0.556, Pielou = 0.919), sugiriendo patrones de diversidad comparables. La dominancia de los órdenes Characiformes y Siluriformes en todas las estaciones indica una estructura comunitaria de peces compartida en el bioma de llanura de inundación. Sin embargo, las Microcuencas varían significativamente en diversidad. La estación PIRIGUA_CLE_01 de la Microcuenca del Caño Pirigua, destaca con diversidad cero (especie única), contrastando con otras estaciones. La Microcuenca del Caño Banderas y la estación VENTUROSA_CLE_03 tienen índices de Shannon más altos (1.099) que la Microcuenca del Río Humea (0.693) y otras estaciones de las Microcuencas del Caño Pirigua y Venturosa (0.637 o 0), reflejando mayor diversidad de especies. La composición de especies difiere notablemente: la Microcuenca del Caño Banderas y la estación VENTUROSA_CLE_03 presentan Serrasalmidae, con la especie *Pygocentrus cariba*, mientras que la Microcuenca del Caño Pirigua y la estación VENTUROSA_CLE_02 están dominados por la familia Characidae, con la especie *Odontostilbe splendida*. La estación de la Microcuenca del Río Humea (MADREVIEJA_HUMEA_02) tiene una combinación única de Siluriformes (Heptapteridae) y Characiformes (Serrasalmidae), no obtenida en otras estaciones. La abundancia varía desde 2 (MADREVIEJA_HUMEA_02) hasta 5 (estaciones PIRIGUA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_02), influyendo en los índices de diversidad.

- Composición Taxonómica y Estructura de la comunidad de peces en Cuerpos Lóticos

Los datos sobre la abundancia y riqueza de peces en dos biomas (Llanura de Inundación y Altillanura), abarcan múltiples estaciones y múltiples Microcuencas dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca. De acuerdo con la composición de familias y géneros, en el bioma Llanura de Inundación, se muestrearon las Microcuencas Caño El Totumal, Caño Yarico, Caño El Boral, Caño Güio, Río Metica y Bajo Río Negro. En la Microcuenca del Caño El Totumal, la estación PMASup DS 12 registró la familia Loricariidae, caracterizada por bagres con cuerpo aplanado, ventosa bucal y placas óseas, herbívoros o detritívoros que se adhieren a rocas o troncos en ríos y arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 122), con el género *Loricariichthys*, de cuerpo aplanado, detritívoro, común en lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 346), representado por *L. brunneus*. En la estación Totumal CL 01, la misma familia Loricariidae presentó el género *Sturisoma*, de cuerpo delgado con aletas largas, común en ríos claros (Mojica *et al*., 2006, p. 342), con *S. tenuirostre*. Esta estación registró solo Loricariidae, indicando baja diversidad.

En la Microcuenca del Caño Yarico, la estación PMASup DS 18 registró dos familias. La familia Cichlidae, caracterizada por peces con cuerpo comprimido, aletas espinosas y comportamiento territorial, que habitan lagunas, ríos y bosques inundados con dietas variadas (Mojica *et al*., 2006, p. 196), incluyó el género *Aequidens*, de cuerpo robusto y coloración variable, común en lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 395), con *A. metae*. La familia Acestrorhamphidae, similar a Characidae pero con hocico alargado y cuerpo fusiforme, carnívoros o insectívoros, comunes en aguas superficiales y bordes de vegetación (Mojica *et al*., 2006, p. 53), presentó los géneros *Ctenobrycon*, de cuerpo comprimido con aleta anal larga, que habita aguas lentas alimentándose de microorganismos (Mojica *et al*., 2006, p. 214), con *C. spilurus*, y *Astyanax*, de cuerpo pequeño, plateado, con mancha humeral, muy abundante en arroyos y lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 209), con *A. bimaculatus*. En la estación Yarico CL 03, la familia Loricariidae incluyó el género *Hypostomus*, de cuerpo robusto con ventosa bucal, común en ríos y lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 342), con *H. plecostomoides*. Esta Microcuenca mostró mayor diversidad de familias que Caño El Totumal.

En la Microcuenca del Caño El Boral, la estación PMASup DS 15 registró dos familias. La familia Cichlidae incluyó a *A. sp.*, y la familia Curimatidae, caracterizada por peces detritívoros con cuerpo comprimido y boca ventral, que habitan fondos fangosos de ríos y lagunas, importantes en la cadena trófica (Mojica *et al*., 2006, p. 73), presentó el género *Steindachnerina*, similar a *Cyphocharax*, con cuerpo comprimido, que habita lagunas y ríos (Mojica *et al*., 2006, p. 144), con *S. argentea*. Esta estación mostró baja diversidad con solo dos familias. En la Microcuenca del Caño Güio, la estación Güio CL 01 registró cuatro familias. La familia Acestrorhamphidae incluyó el género *Poptella*, de cuerpo pequeño, plateado, con aleta adiposa, que habita arroyos selváticos alimentándose de insectos y detritos (Mojica *et al*., 2006, p. 230), con *P. compressa*. La familia Loricariidae presentó a *H. niceforoi*, la familia Aspredinidae, caracterizada por bagres pequeños con cuerpo aplanado y textura rugosa, que habitan fondos arenosos o fangosos alimentándose de pequeños invertebrados (Mojica *et al*., 2006, p. 122), incluyó a *Bunocephalus*, de cuerpo aplanado con cabeza ancha, común en lagunas y arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 272), con *B. aloikae*, y la familia Serrasalmidae, caracterizada por peces con cuerpo discoidal, comprimido y

dientes fuertes, que incluye pirañas carnívoras y pacús frugívoros o herbívoros, habitando ríos, lagunas y bosques inundados, con importancia económica (Mojica *et al.*, 2006, p. 85), presentó el género *Serrasalmus*, pirañas con cuerpo comprimido y comportamiento depredador agresivo, comunes en lagunas y ríos (Mojica *et al.*, 2006, p. 181), con *S. irritans*. Esta Microcuenca destacó por su alta diversidad de familias (**Tabla 3.3.3-459**).

Tabla 3.3.3-459 Clasificación taxonómica de la comunidad de peces en cuerpos lóticos en los dos biomas (llanura de inundación y altillanura) dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca.

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Llanura de Inundación	CAÑO EL TOTUMAL	PMASup_DS_12	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	1
	CAÑO YARICO	PMASup_DS_18			Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens metae*	1
					Characiformes	Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
							Astyanax bimaculatus	2
		YARICO_CL_03			Siluriformes	Loricariidae	*Hypostomus plecostomoides*	1
	CAÑO EL BORAL	PMASup_DS_15			Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens sp.*	5
					Characiformes	Curimatidae	*Steindachnerina argentea*	18
						Acestrorhamphidae	*Poptella compressa*	1
	CAÑO GÜIO	GÜIO_CL_01			Siluriformes	Loricariidae	*Hypostomus niceforoi*	1
						Aspredinidae	*Bunocephalus aloikae*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	1
	CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CL_01			Siluriformes	Loricariidae	*Sturisoma tenuirostre*	2
Altillanura	CAÑO MENEGUA	OCMY18			Characiformes	Stevardiidae	*Creagrutus bolivari*	1
	CAÑO EMMA	OCMY15					*Creagrutus bolivari*	4
	RÍO META	META_CL_01A			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	3
	RÍO YUCAO	YUCAO_CL_01			Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens tetramerus*	2
					Characiformes	Erythrinidae	*Hoplerythrinus unitaeniatus*	1
						Anostomidae	*Leporinus friderici*	3
		YUCAO_CL_02				Acestrorhamphidae	*Poptella compressa*	1
							Moenkhausia oligolepis	1
						Anostomidae	*Leporinus ortomaculatus*	1
	CAÑO PIRIGUA	OCMY2			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	2
					Characiformes	Characidae	*Odontostilbe splendida*	2
		OCMY6			Siluriformes	Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1
					Characiformes	Characidae	*Odontostilbe splendida*	2
							Aphyocharax erythrurus	2
		OCmn2					*Odontostilbe splendida*	3
						Acestrorhamphidae	*Hyphessobrycon otrynus*	2
					Characiformes	Characidae	*Gephyrocharax valencia*	2
					Siluriformes	Loricariidae	*Rineloricaria eigenmanni*	1

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Altillanura	CAÑO EMMA	OCMY14	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Loricariidae	*Lasiancistrus tentaculatus*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens tetramerus*	1
					Characiformes	Acestrorhamphidae	*Moenkhausia oligolepis*	1
						Stevardiidae	*Creagrutus bolivari*	1
					Siluriformes	Loricariidae	*Rineloricaria eigenmanni*	1
		EMMA_CL_03			Characiformes	Acestrorhamphidae	*Hemigrammus schmardae*	2
							Astyanax sp.	4
	CAÑO IPAPA	OCMY7				Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	1
						Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
	CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_02				Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1
						Characidae	*Odontostilbe splendida*	4
		MACAPAY_CL_01				Stevardiidae	*Knodus alpha*	1
						Characidae	*Odontostilbe splendida*	6
						Stevardiidae	*Knodus alpha*	1
	CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CL_02			Siluriformes	Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	1
					Characiformes	Triportheidae	*Triportheus venezuelensis*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
		OCmn11				Stevardiidae	*Markiana geayi*	4
	CAÑO NAVAJITAS	NAVAJITAS_CL_01			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	1
	CAÑO MENEGUA	MENEGUA_CL_02			Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	2
	RÍO CABUYARITO	OCmn9				Stevardiidae	*Markiana geayi*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	2
							Moenkhausia lepidura	1
	CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01				Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	2
	RÍO UPIA	UPIA_CL_01				Acestrorhamphidae	*Astyanax venezuelae*	2
							Hemigrammus barrigonae	5
		UPIA_CL_02				Stevardiidae	*Creagrutus bolivari*	3
					Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	2
						Loricariidae	*Hypostomus niceforoi*	1
Llanura de Inundación	RÍO METICA	METICA_CL_01				Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	4

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Altillanura	CAÑO YURIMENA	YURIMENA_CL_03	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
						Loricariidae	*Pterygoplichthys multiradiatus*	1
	RÍO CABUYARITO	CABUYARITO_CL_01			Characiformes	Stevardiidae	*Creagrutus bolivari*	1
						Characidae	*Aphyocharax erythrurus*	2
		CABUYARITO_CL_02				Stevardiidae	*Knodus sp.*	3
	CAÑO IPAPA	OCMY9				Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	2
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
							Astyanax venezuelae	2
						Anostomidae	*Leporinus friderici*	2
	CAÑO EL ACEITE	OCmn17				Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	7
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
		ACEITE_CL_01				Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	4
						Acestrorhamphidae	*Astyanax siapae*	1
	CAÑO NAVAJAS SUR	NAVAJAS_SUR_CL_02			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	4
	CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02			Characiformes	Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	1
Llanura de Inundación	BAJO RÍO NEGRO	NEGRO_CL_01			Siluriformes	Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En la Microcuenca del Río Metica, la estación Metica CL 01 registró solo la familia Pimelodidae, caracterizada por bagres de cuerpo robusto con barbillones largos y aleta adiposa, carnívoros o detritívoros, que habitan ríos y lagunas, de importancia pesquera (Mojica *et al*., 2006, p. 122), con el género *Pimelodus*, de cuerpo robusto y barbillones prominentes, común en ríos principales (Mojica *et al*., 2006, p. 249), representado por *P. blochii*. La diversidad fue baja en esta estación. En la Microcuenca del Bajo Río Negro, la estación Negro CL 01 registró solo la familia Heptapteridae, caracterizada por bagres pequeños a medianos con cuerpo delgado y barbillones largos, carnívoros o insectívoros, que habitan arroyos y lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 122), con el género *Pimelodella*, de cuerpo delgado, nocturno, común en arroyos selváticos (Mojica *et al*., 2006, p. 272), representado por *P. metae*. La diversidad fue baja en esta estación.

De acuerdo con la composición de familias y géneros para el bioma Altillanura, se muestrearon las Microcuencas Caño Menegua, Caño Emma, Río Meta, Río Yucao, Caño Pirigua, Caño Ipapa, Caño Macapay, Caño Navajitas, Río Cabuyarito, Caño El Paso, Río Upia, Caño Yurimena, Caño El Aceite, Caño Navajas Sur y Caño Santoya. En la Microcuenca del Caño Menegua, la estación OCMY18 registró la familia Stevardiidae, caracterizada por peces pequeños con cuerpo comprimido, omnívoros, que habitan arroyos y ríos de corriente moderada (Mojica *et al*., 2006, p. 53), con el género *Creagrutus*, de cuerpo pequeño con aleta anal larga, común en arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 209), representado por *C. bolivari*. En la estación Menegua CL 02, la familia Characidae, caracterizada por peces de cuerpo comprimido con escamas cicloides y aleta adiposa, omnívoros o carnívoros, habitando desde arroyos selváticos hasta ríos principales, con importancia ecológica y pesquera (Mojica *et al*., 2006, p. 53), presentó el género *Tetragonopterus*, de cuerpo comprimido, plateado, con aleta anal larga, abundante en aguas negras y blancas, omnívoro (Mojica *et al*., 2006, p. 224), con *T. argenteus*. Cada estación registró una familia distinta, indicando baja diversidad por estación.

En la Microcuenca del Caño Emma, las estaciones OCMY15, OCMY14 y Emma CL 03 presentaron alta riqueza de familias. En OCMY15, la familia Stevardiidae incluyó *C. bolivari*. En OCMY14, se registraron cuatro familias: Loricariidae, con los géneros *Lasiancistrus*, con *L. tentaculatus*, y *Rineloricaria*, de cuerpo alargado con ventosa bucal, que habita aguas rápidas (Mojica *et al*., 2006, p. 342), con *R. eigenmanni*; la familia Cichlidae, con *A. tetramerus*; la familia Acestrorhamphidae, con el género *Moenkhausia*, de cuerpo pequeño con patrones de coloración variables, común en aguas negras, omnívoro (Mojica *et al*., 2006, p. 223), con *M. oligolepis*, y el género *Hemigrammus* con *H. schmardae*; y la familia Stevardiidae, con *C. bolivari*. En la estación Emma CL 03, la familia Acestrorhamphidae incluyó el género *Astyanax*, con *A. sp.* Esta Microcuenca destacó por su alta diversidad en OCMY14.

En la Microcuenca del Río Meta, la estación Meta CL 01A registró solo la familia Pimelodidae, con *P. blochii*, mostrando baja diversidad. En la Microcuenca del Río Yucao, la estación Yucao CL 01 registró tres familias: Cichlidae, con *A. tetramerus*; Erythrinidae, caracterizada por peces carnívoros con cuerpo alargado y mandíbulas fuertes, que habitan lagunas, arroyos y bosques inundados (Mojica *et al*., 2006, p. 53), con el género *Hoplerythrinus*, similar a *Hoplias*, con cuerpo más delgado, que habita lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 116), con *H. unitaeniatus*; y la familia Anostomidae, caracterizada por peces de cuerpo alargado con boca pequeña y dientes adaptados

para alimentarse de algas y material vegetal, que habitan aguas rápidas y fondos rocosos (Mojica *et al*., 2006, p. 53), con el género *Leporinus*, de cuerpo cilíndrico con patrones de bandas oscuras, herbívoro, común en ríos y arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 152), con *L. friderici*. En la estación Yucao CL 02, se registraron las familias Acestrorhamphidae, con *P. compressa* y *M. oligolepis*, y Anostomidae, con *L. ortomaculatus*. Esta Microcuenca mostró alta diversidad.

En la Microcuenca del Caño Pirigua, las estaciones OCMY2, OCMY6, OCmn2 y Pirigua CL 02 presentaron alta diversidad. En OCMY2, se registraron las familias Pimelodidae, con *P. blochii*, y Characidae, con el género *Odontostilbe*, con *O. splendida*. En el punto de muestreo OCMY6, se encontraron las familias Heptapteridae, con *P. metae*, y Characidae, con *O. splendida* y el género *Aphyocharax*, de cuerpo pequeño, plateado, con aletas transparentes, que habita aguas superficiales y se alimenta de insectos (Mojica *et al*., 2006, p. 91), con *A. erythrurus*. En OCmn2, se registraron las familias Characidae, con *O. splendida* y el género *Gephyrocharax*, con *G. valencia*, la familia Acestrorhamphidae, con el género *Hyphessobrycon*, con *H. otrynus*, y la familia Loricariidae, con *R. eigenmanni*. En el punto de muestreo Pirigua CL 02, se registraron las familias Loricariidae, con *L. brunneus*, la familia Triportheidae, con el género *Triportheus*, representado por *T. venezuelensis*, y la familia Acestrorhamphidae, con *A. bimaculatus*. Esta Microcuenca mostró la mayor diversidad de familias en Altillanura.

En la Microcuenca del Caño Ipapa, la estación OCMY7 registró las familias Serrasalmidae, con el género *Serrasalmus*, con *S. irritans*, y el género *Pygocentrus*, pirañas con dientes triangulares, carnívoras, abundantes en aguas lentas (Mojica *et al*., 2006, p. 181), con *P. cariba*, y la familia Erythrinidae, con el género *Hoplias*, depredadores robustos con dientes afilados, comunes en aguas estancadas (Mojica *et al*., 2006, p. 116), con *H. malabaricus*. En el punto de muestreo OCMY9, se registraron las familias Characidae, con *T. argenteus*, Acestrorhamphidae, con *A. bimaculatus* y *A. venezuelae*, y Anostomidae, con *L. friderici*. En la Microcuenca del Caño Macapay, las estaciones Macapay CL 01 y Macapay CL 02 registraron las familias Characidae, con *O. splendida*, y Stevardiidae, con el género *Knodus*, de cuerpo pequeño, omnívoro, común en ríos pequeños (Mojica *et al*., 2006, p. 209), con *K. alpha*. En la Microcuenca del Caño Navajitas, la estación Navajitas CL 01 registró solo la familia Pimelodidae, con *P. albofasciatus*, mostrando baja diversidad.

En la Microcuenca del Río Cabuyarito, la estación OCmn9 registró las familias Stevardiidae, con *Markiana*, de cuerpo comprimido con patrones de coloración distintivos, que habita arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 209), con *M. geayi*, Acestrorhamphidae, con *C. spilurus* y *M. lepidura*, y Characidae, con *A. erythrurus*. En Cabuyarito CL 01, se registraron Stevardiidae, con *C. bolivari*, y Characidae, con *A. erythrurus*. En Cabuyarito CL 02, solo Stevardiidae, con *Knodus*, con *K. sp*., estuvo presente. En la Microcuenca del Caño El Paso, la estación El Paso CL 01 registró Characidae, con *T. argenteus*, y Acestrorhamphidae, con *A. venezuelae*. En la Microcuenca del Río Upia, la estación Upia CL 01 registró Acestrorhamphidae, con *Hemigrammus*, con *H. barrigonae*, y Stevardiidae, con *C. bolivari*. En Upia CL 02, se registraron Pimelodidae, con *P. blochii*, y Loricariidae, con *H. niceforoi*. En la Microcuenca del Caño Yurimena, la estación Yurimena CL 03 registró Pimelodidae, con *P. blochii*, y Loricariidae, con *Pterygoplichthys*, no descrito en Mojica *et al*. (2006) pero conocido por incluir bagres grandes con ventosa bucal, con *P. multiradiatus*. En la

Microcuenca del Caño El Aceite, las estaciones OCmn17 y Aceite CL 01 registraron Characidae, con *T. argenteus*, y Acestrorhamphidae, con *A. bimaculatus* y *A. siapae* en Aceite CL 01. En la Microcuenca del Caño Navajas Sur, la estación Navajas Sur CL 02 registró solo Pimelodidae, con *P. blochii*. En la Microcuenca del Caño Santoya, la estación Santoya CL 02 registró solo Acestrorhamphidae, con *A. bimaculatus*.

En términos de composición de especies, la familia Characidae fue la más representativa en el bioma Altillanura, presente en siete Microcuencas (Caño Pirigua, Caño Macapay, Caño El Paso, Caño El Aceite, Río Cabuyarito, Caño Menegua y Caño Ipapa), con seis especies: *O. splendida*, *A. erythrurus*, *T. argenteus*, *G. valencia*, *K. alpha* y *M. geayi*. La familia Acestrorhamphidae apareció en siete Microcuencas (Caño Yarico, Caño Güio, Caño Pirigua, Caño Ipapa, Caño El Paso, Caño El Aceite y Caño Santoya), con siete especies: *C. spilurus*, *A. bimaculatus*, *P. compressa*, *M. oligolepis*, *H. otrynus*, *H. schmardae*, *A. venezuelae* y *A. siapae*. La familia Pimelodidae estuvo presente en seis Microcuencas (Río Meta, Caño Pirigua, Caño Navajitas, Caño Navajas Sur, Río Upia, Caño Yurimena y Río Metica), con *P. blochii* y *P. albofasciatus*. La familia Loricariidae apareció en seis Microcuencas (Caño El Totumal, Caño Yarico, Caño Güio, Caño Pirigua, Caño Emma, Río Upia y Caño Yurimena), con *L. brunneus*, *S. tenuirostre*, *H. plecostomoides*, *H. niceforoi*, *R. eigenmanni*, *L. tentaculatus* y *P. multiradiatus*. La familia Stevardiidae estuvo en cuatro Microcuencas (Caño Menegua, Caño Emma, Caño Macapay, Río Cabuyarito y Río Upia), con *C. bolivari*, *K. alpha*, *M. geayi* y *K. sp.*. La familia Cichlidae apareció en tres Microcuencas (Caño Yarico, Caño El Boral, Caño Emma y Río Yucao), con *A. metae*, *A. sp.* y *A. tetramerus*. Las familias Anostomidae, Erythrinidae y Serrasalmidae estuvieron en dos Microcuencas cada una, con *L. friderici* y *L. ortomaculatus* (Anostomidae), *H. unitaeniatus* y *H. malabaricus* (Erythrinidae), y *S. irritans* y *P. cariba* (Serrasalmidae). Las familias Curimatidae, Aspredinidae, Heptapteridae y Triportheidae estuvieron en una Microcuenca cada una, con *S. argentea*, *B. aloikae*, *P. metae* y *T. venezuelensis*, respectivamente.

En cuanto a la abundancia, la Microcuenca del Caño El Boral en la Llanura de Inundación destacó con 23 individuos, principalmente por *S. argentea* (18 individuos) y *A. sp.* (5 individuos). En Altillanura, el Caño Macapay registró 11 individuos, con *O. splendida* aportando 10 (6 en Macapay CL 01 y 4 en Macapay CL 02). El Caño El Aceite también registró 11 individuos, con *T. argenteus* aportando 11 (7 en OCmn17 y 4 en Aceite CL 01). El Caño Pirigua tuvo 14 individuos, con *O. splendida* (7 individuos) y *C. bolivari* (4 individuos) como los más abundantes. El Río Upia reportó 8 individuos, con *H. barrigonae* (5 individuos) como la más abundante. Otras Microcuencas, como Caño El Totumal, Caño Navajitas y Bajo Río Negro, tuvieron abundancias bajas, con 1-3 individuos por Microcuenca (Mojica *et al.*, 2006).

Las familias Characidae, Acestrorhamphidae, Pimelodidae y Loricariidae fueron comunes en ambos biomas, indicando su amplia distribución. Las especies *P. blochii* y *A. bimaculatus* estuvieron presentes en múltiples Microcuencas de ambos biomas, destacando su adaptabilidad. La Llanura de Inundación mostró menor número de familias (ocho) frente a nueve en Altillanura, pero con una distribución más concentrada. La familia Curimatidae (*S. argentea*) fue exclusiva de la Llanura de Inundación, mientras que las familias Stevardiidae, Anostomidae y Triportheidae fueron exclusivas de la Altillanura. La abundancia fue mayor en Caño El Boral (Llanura de Inundación)

con 23 individuos, frente a máximos de 11 en Caño El Aceite y Caño Macapay (Altillanura). La especie *S. argentea* mostró una abundancia excepcionalmente alta en Caño El Boral, mientras que en Altillanura ninguna especie superó los 7 individuos.

Las principales observaciones indican que las familias Characidae y Acestrorhamphidae dominan en número de especies en ambos biomas, reflejando su adaptabilidad a cuerpos lóticos en época seca. La alta abundancia en Caño El Boral, especialmente de *S. argentea*, sugiere condiciones favorables en la Llanura de Inundación. La mayor diversidad de familias en Caño Pirigua (Altillanura) y Caño Güio (Llanura de Inundación) resalta la complejidad ecológica de estas Microcuencas. La baja diversidad en Microcuencas como Río Metica, Bajo Río Negro y Caño Navajitas puede reflejar limitaciones ambientales en época seca. La presencia de especies exclusivas, como *S. argentea* y *T. venezuelensis*, subraya la importancia de conservar estos hábitats para mantener la diversidad íctica.

En cuanto a la composición de especies, se observa que para los cuerpos lóticos en época seca dentro del área de producción CPO-5, la Microcuenca del Caño El Boral destaca con la mayor abundancia, registrando 23 individuos, principalmente debido a *Steindachnerina argentea* (18 individuos) y *Aequidens* sp. (5 individuos). La Microcuenca del Caño Macapay sigue con 11 individuos, con *Odontostilbe splendida* contribuyendo con 10 individuos (6 en la estación Macapay CL 01 y 4 en la estación Macapay CL 02). La Microcuenca del Caño El Aceite registra 11 individuos, con *Tetragonopterus argenteus* aportando 11 individuos (7 en OCmn17 y 4 en Aceite CL 01). La Microcuenca del Caño Pirigua tiene 14 individuos, con *Odontostilbe splendida* (7 individuos) y *Creagrutus bolivari* (4 individuos) como los más abundantes. La Microcuenca del Río Upía reporta 8 individuos, con *Hemigrammus barrigonae* (5 individuos) como la especie más abundante. Otras Microcuencas, como Caño El Totumal, Caño Navajitas y Bajo Río Negro, tienen abundancias bajas, con 1 a 3 individuos por Microcuenca.

En cuanto a la composición de especies entre Biomas para los cuerpos lóticos en época seca dentro del área de producción CPO-5, se observa que las familias Characidae, Acestrorhamphidae, Pimelodidae, y Loricariidae son comunes en ambos biomas, indicando una amplia distribución de estas familias. La especie *Pimelodus blochii* está presente en ambos biomas (Microcuencas del Río Meta, Caño Pirigua, Caño Navajas Sur, Río Upia, Caño Yurimena en Altillanura y Microcuenca del Río Metica en Llanura de Inundación), al igual que *Astyanax bimaculatus* (Microcuencas del Caño Pirigua, Caño Ipapa, Caño El Aceite, Caño Santoya en Altillanura, y Microcuenca del Caño Yarico en Llanura de Inundación). Ambas familias Characidae y Acestrorhamphidae dominan en número de especies en ambos biomas.

La diferencia más notoria se observa en la Llanura de inundación, que tiene un menor número de familias (ocho familias: Loricariidae, Cichlidae, Acestrorhamphidae, Curimatidae, Aspredinidae, Serrasalmidae, Pimelodidae y Heptapteridae) en comparación con la Altillanura (nueve familias). La familia Curimatidae (*Steindachnerina argentea*) es exclusiva de la Llanura de Inundación (Microcuenca del Caño El Boral), mientras que las familias Stevardiidae, Anostomidae y Triportheidae son exclusivas de la Altillanura. En términos de abundancia, la Llanura de Inundación tiene el pico más alto de individuos en una sola Microcuenca (Caño El Boral, 23

individuos), mientras que la Altillanura muestra una distribución más uniforme, con máximos de 11 individuos en las Microcuencas del Caño El Aceite y del Caño Macapay. La especie *Steindachnerina argentea* en la Llanura de Inundación tiene una abundancia excepcionalmente alta (18 individuos), mientras que en la Altillanura ninguna especie supera los 7 individuos (*Tetragonopterus argenteus*).

- Diversidad Alfa

El conjunto de datos proporcionado contiene datos que detallan métricas de diversidad ecológica y la composición de especies en 37 puntos de muestreo dentro de 20 Microcuencas en dos biomas (llanura de inundación y Altillanura). Se analizan los índices de diversidad—Abundancia, Riqueza, Shannon, Simpson y Pielou por estación, Microcuenca y bioma, seguido de una comparación de similitudes y diferencias, concluyendo con los hallazgos principales (**Tabla 3.3.3-460**).

Tabla 3.3.3-460 Índices ecológicos de Abundancia, Riqueza, diversidad de Shannon, Simpson e índice de uniformidad de Pielou de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en la llanura de inundación y la Altillanura dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época seca

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
Altillanura	CAÑO EL ACEITE	ACEITE_CL_01	5	2	0,5	0,68	0,721
	RÍO CABUYARITO	CABUYARITO_CL_01	3	2	0,637	0,556	0,919
		CABUYARITO_CL_02	3	1	0	1	-
	CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01	4	2	0,693	0,5	1
	CAÑO EMMA	EMMA_CL_03	4	1	0	1	-
Llanura de Inundación	CAÑO GÜIO	GÜIO_CL_01	4	4	1,386	0,25	1
Altillanura	CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_01	7	2	0,41	0,755	0,592
		MACAPAY_CL_02	5	2	0,5	0,68	0,721
	CAÑO MENEGUA	MENEGUA_CL_02	2	1	0	1	-
	RÍO META	META_CL_01A	3	1	0	1	-
Llanura de Inundación		METICA_CL_01	4	1	0	1	-
Altillanura	CAÑO NAVAJAS SUR	NAVAJAS_SUR_CL_02	4	1	0	1	-
	CAÑO NAVAJITAS	NAVAJITAS_CL_01	1	1	0	1	-
Llanura de Inundación	BAJO RÍO NEGRO	NEGRO_CL_01	1	1	0	1	-
Altillanura	CAÑO EMMA	OCMY14	7	6	1,748	0,184	0,976
		OCMY15	4	1	0	1	-
	CAÑO MENEGUA	OCMY18	1	1	0	1	-
	CAÑO PIRIGUA	OCMY2	4	2	0,693	0,5	1
		OCMY6	5	3	1,055	0,36	0,96
	CAÑO IPAPA	OCMY7	3	2	1,099	0,333	1,586
		OCMY9	8	3	1,386	0,25	1,262
	CAÑO PIRIGUA	OCmn11	4	1	0	1	-
	CAÑO EL ACEITE	OCmn17	9	2	0,5	0,68	0,721
	CAÑO PIRIGUA	OCmn2	8	4	1,321	0,281	0,953
	RÍO CABUYARITO	OCmn9	4	3	1,04	0,375	0,947
	CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CL_02	4	3	1,04	0,375	0,947

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
Llanura de Inundación	CAÑO EL TOTUMAL	PMASup_DS_12	1	1	0	1	-
	CAÑO EL BORAL	PMASup_DS_15	23	2	0,5	0,68	0,721
	CAÑO YARICO	PMASup_DS_18	4	3	1,04	0,375	0,947
Altillanura	CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02	1	1	0	1	-
Llanura de Inundación	CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CL_01	2	1	0	1	-
Altillanura	RÍO UPIA	UPIA_CL_01	8	2	0,637	0,556	0,919
		UPIA_CL_02	3	2	0,637	0,556	0,919
Llanura de Inundación	CAÑO YARICO	YARICO_CL_03	1	1	0	1	-
Altillanura	RÍO YUCAO	YUCAO_CL_01	6	3	1,011	0,389	0,92
		YUCAO_CL_02	3	3	1,099	0,333	1
	CAÑO YURIMENA	YURIMENA_CL_03	2	2	0,693	0,5	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

Para el bioma de Altillanura, en la Microcuenca Caño El Aceite, el punto de muestreo ACEITE_CL_01 registra una abundancia de 5 individuos distribuidos en 2 especies (Tetragonopterus argenteus con 4 individuos y Astyanax siapae con 1). Su índice de Shannon es bajo (0.5), lo que refleja una distribución desigual, mientras que el índice de Simpson (0.68) indica moderada dominancia de T. argenteus. El índice de Pielou (0.721) sugiere uniformidad limitada debido a esta dominancia. Por su parte, la estación OCmn17 muestra una mayor abundancia (9 individuos) pero también solo 2 especies (Tetragonopterus argenteus con 7 individuos y Astyanax bimaculatus con 2 individuos). Los índices de Shannon (0.5), Simpson (0.68) y Pielou (0.721) son idénticos a los de ACEITE_CL_01, indicando que la alta abundancia no se traduce en mayor diversidad debido a la dominancia de una especie. La Microcuenca del Río Cabuyarito presenta tres puntos de muestreo. CABUYARITO_CL_01 tiene una abundancia de 3 individuos y 2 especies (Creagrutus bolivari con 1 individuo y Aphyocharax erythrurus con 2 individuos), con un Shannon de 0.637, Simpson de 0.556 y Pielou de 0.919, lo que refleja una distribución más equitativa y mayor diversidad que otros puntos con abundancia similar. En contraste, CABUYARITO_CL_02 tiene 3 individuos de una sola especie (Knodus sp.), resultando en Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, indicando ausencia de diversidad. El punto OCmn9 muestra 4 individuos y 3 especies (Markiana geayi, Ctenobrycon spilurus y Moenkhausia lepidura), con Shannon de 1.04, Simpson de 0.375 y Pielou de 0.947, lo que refleja una comunidad más diversa y equilibrada.

El punto muestreo EL_PASO_CL_01 en el Caño El Paso tiene 4 individuos y 2 especies (*Tetragonopterus argenteus* y *Astyanax venezuelae*, con 2 individuos cada una). Su Shannon de 0.693, Simpson de 0.5 y Pielou de 1 indican una distribución perfectamente equitativa, maximizando la uniformidad para su riqueza. Para la Microcuenca Caño Emma, el punto de muestreo EMMA_CL_03 registra 4 individuos de una sola especie (*Astyanax* sp.), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, mostrando diversidad nula. La estación OCMY14 es el punto más diverso del bioma Altillanura, con 7 individuos y 6 especies (incluyendo *Lasiancistrus tentaculatus* y *Aequidens tetramerus*), un Shannon de 1.748, Simpson de 0.184 y Pielou de 0.976, reflejando alta riqueza y uniformidad. Por otro lado, la estación OCMY15 tiene 4 individuos de una sola especie (*Creagrutus bolivari*), con índices de Shannon (0), Simpson (1) y Pielou indefinido, indicando baja diversidad. Para la Microcuenca del Caño Macapay, el punto de muestreo

MACAPAY_CL_01 presenta 7 individuos y 2 especies (*Odontostilbe splendida* con 6 y *Knodus alpha* con 1), con un Shannon bajo (0.41), Simpson de 0.755 y Pielou de 0.592, indicando dominancia de *O. splendida*. La estación MACAPAY_CL_02 tiene 5 individuos y 2 especies (*Odontostilbe splendida* con 4 y *Knodus alpha* con 1), con Shannon de 0.5, Simpson de 0.68 y Pielou de 0.721, mostrando una distribución ligeramente más equitativa.

Para la Microcuenca del Caño Menegua, la estación MENEGUA_CL_02 registra 2 individuos de una sola especie (*Tetragonopterus argenteus*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, indicando diversidad cero. El punto de muestreo OCMY18 tiene solo 1 individuo (*Creagrutus bolivari*), con los mismos índices, reflejando mínima diversidad. En la Microcuenca del Río Meta, el punto META_CL_01A tiene 3 individuos de una sola especie (*Pimelodus blochii*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, mostrando ausencia de diversidad. En la Microcuenca del Caño Navajas Sur, la estación NAVAJAS_SUR_CL_02 registra 4 individuos de una sola especie (*Pimelodus blochii*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, indicando nula diversidad. En la Microcuenca del Caño Navajitas, la estación NAVAJITAS_CL_01 tiene 1 individuo de una sola especie (*Pimelodus albofasciatus*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, mostrando la mínima diversidad posible. La Microcuenca del Caño Pirigua tiene varios puntos de monitoreo. La estación OCMY2 registra 4 individuos y 2 especies (*Pimelodus blochii* y *Odontostilbe splendida*), con Shannon de 0.693, Simpson de 0.5 y Pielou de 1, indicando equidad perfecta. La estación OCMY6 tiene 5 individuos y 3 especies (*Pimelodella metae*, *Odontostilbe splendida* y *Aphyocharax erythrurus*), con Shannon de 1.055, Simpson de 0.36 y Pielou de 0.96, reflejando buena diversidad. El punto de muestreo OCmn2 es notable, con 8 individuos y 4 especies (*Odontostilbe splendida*, *Hyphessobrycon otrynus*, *Gephyrocharax valencia* y *Rineloricaria eigenmanni*), Shannon de 1.321, Simpson de 0.281 y Pielou de 0.953, indicando alta diversidad. El punto de muestreo OCmn11 tiene 4 individuos de una sola especie (*Markiana geayi*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido. La estación PIRIGUA_CL_02 registra 4 individuos y 3 especies (*Loricariichthys brunneus*, *Triportheus venezuelensis* y *Astyanax bimaculatus*), con Shannon de 1.04, Simpson de 0.375 y Pielou de 0.947, mostrando diversidad moderada.

Para la Microcuenca del Caño Ipapa, la estación OCMY7 tiene 3 individuos y 2 especies (*Serrasalmus irritans*, *Hoplias malabaricus* y *Pygocentrus cariba*), con Shannon de 1.099, Simpson de 0.333 y Pielou de 1.586, indicando alta uniformidad. El punto de muestreo OCMY9 registra 8 individuos y 4 especies (*Tetragonopterus argenteus*, *Astyanax bimaculatus*, *Astyanax venezuelae* y *Leporinus friderici*), con Shannon de 1.386, Simpson de 0.25 y Pielou de 1.262, mostrando alta diversidad.

En la Microcuenca del Caño Santoya, la estación SANTOYA_CL_02 tiene 1 individuo de una sola especie (*Astyanax bimaculatus*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, indicando diversidad cero. Para la Microcuenca del Río Upía, la estación UPIA_CL_01 registra 8 individuos y 2 especies (*Hemigrammus barrigonae* con 5 y *Creagrutus bolivari* con 3), con Shannon de 0.637, Simpson de 0.556 y Pielou de 0.919, mostrando diversidad moderada. La estación UPIA_CL_02 tiene 3 individuos y 2 especies (*Pimelodus blochii* e *Hypostomus niceforoi*), con los mismos índices, indicando equidad. En la Microcuenca del Río Yucao, el punto de misterio YUCAO_CL_01 registra

6 individuos y 3 especies (*Aequidens tetramerus, Hoplerythrinus unitaeniatus* y *Leporinus friderici*), con Shannon de 1.011, Simpson de 0.389 y Pielou de 0.92, mostrando diversidad moderada. En la estación YUCAO_CL_02 tiene 3 individuos y 3 especies (*Poptella compressa*, *Moenkhausia oligolepis* y *Leporinus ortomaculatus*), con Shannon de 1.099, Simpson de 0.333 y Pielou de 1, reflejando alta uniformidad. Finalmente, para la Microcuenca del Caño Yurimena, el punto de muestreo YURIMENA_CL_03 tiene 2 individuos y 2 especies (*Pimelodus blochii* y *Pterygoplichthys multiradiatus*), con Shannon de 0.693, Simpson de 0.5 y Pielou de 1, indicando equidad perfecta.

Para el bioma Llanura de Inundación, en la Microcuenca del Caño Güio, la estación GÜIO_CL_01 registra 4 individuos y 4 especies (*Poptella compressa*, *Hypostomus niceforoi*, *Bunocephalus aloikae* y *Serrasalmus irritans*), con Shannon de 1.386, Simpson de 0.25 y Pielou de 1, mostrando alta diversidad y uniformidad perfecta. En la Microcuenca del Río Metica, la estación METICA_CL_01 tiene 4 individuos de una sola especie (*Pimelodus blochii*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, indicando diversidad nula. En la Microcuenca del Bajo Río Negro, la estación NEGRO_CL_01 registra 1 individuo de una sola especie (*Pimelodella metae*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, mostrando mínima diversidad. Para la Microcuenca del Caño El Totumal, la estación PMASup_DS_12 tiene 1 individuo de una sola especie (*Loricariichthys brunneus*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido. La estación TOTUMAL_CL_01 registra 2 individuos de una sola especie (*Sturisoma tenuirostre*), con los mismos índices, ambos con nula diversidad. En la Microcuenca del Caño El Boral, el punto de muestreo PMASup_DS_15 destaca con 23 individuos y 2 especies (*Aequidens* sp. con 5 y *Steindachnerina argentea* con 18), pero su Shannon (0.5), Simpson (0.68) y Pielou (0.721) son bajos debido a la fuerte dominancia de *S. argentea*. Finalmente, en la Microcuenca del Caño Yarico, la estación PMASup_DS_18 tiene 4 individuos y 3 especies (*Aequidens metae*, *Ctenobrycon spilurus* y *Astyanax bimaculatus*), con Shannon de 1.04, Simpson de 0.375 y Pielou de 0.947, mostrando diversidad moderada. La estación YARICO_CL_03 registra 1 individuo de una sola especie (*Hypostomus plecostomoides*), con Shannon de 0, Simpson de 1 y Pielou indefinido, indicando nula diversidad.

En general, en ambos biomas, numerosos puntos presentan riqueza de 1 especie, con Shannon de 0 y Simpson de 1 (por ejemplo, NAVAJITAS_CL_01 en Altillanura y METICA_CL_01 en Llanura de Inundación), sugiriendo comunidades simplificadas posiblemente debido a condiciones ambientales limitantes. Especies como *Pimelodus blochii* y *Creagrutus bolivari* están presentes en múltiples puntos de ambos biomas, indicando alta adaptabilidad a diferentes hábitats acuáticos.

Puntos de monitoreo como PMASup_DS_15 (Llanura de Inundación) y MACAPAY_CL_01 (Altillanura) muestran alta dominancia de una especie (*Steindachnerina argentea* y *Odontostilbe splendida*, respectivamente), lo que reduce los índices de diversidad. En cuanto a la abundancia, el bioma de la llanura de inundación exhibe mayor variabilidad, con un pico en la estación PMASup_DS_15 (23 individuos) impulsado por la especie *Steindachnerina argentea*. En el bioma de la Altillanura, la abundancia es más homogénea, con un máximo de 9 individuos en la estación OCmn17. En términos de riqueza, la Altillanura tiene puntos con mayor riqueza, como en la estación OCMY14 (6 especies), mientras que la Llanura de inundación no supera las 4 especies (estación GÜIO_CL_01), sugiriendo mayor complejidad en algunas Microcuencas de Altillanura.

Con respecto a los índices de diversidad, la Altillanura presenta valores más altos de Shannon (hasta 1.748 en la estación OCMY14) y Pielou (hasta 1.586 en el punto de muestreo OCMY7), reflejando mayor diversidad y uniformidad en ciertos puntos. En la Llanura de inundación, la dominancia de algunas especies reduce estos índices en varios puntos de monitoreo en términos de composición de especies, en la Altillanura predominan especies de la familia Characidae (por ejemplo, *Tetragonopterus argenteus* y *Astyanax bimaculatus*), mientras que en la Llanura de inundación destacan las familias Curimatidae (*Steindachnerina argentea*) y Cichlidae (*Aequidens* sp.), reflejando diferencias ecológicas entre los biomas.

✓ *Época lluvias*

- Composición Taxonómica y Estructura de la comunidad de peces en Cuerpos Lénticos

Los datos sobre la abundancia y riqueza de peces en dos biomas (Llanura de Inundación y Altillanura), abarcan múltiples estaciones y múltiples Microcuencas dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época lluviosa en cuerpos lénticos. Este análisis describe las familias y géneros presentes en cada estación, agrupados por Microcuenca y bioma, incorporando las características principales de las familias y géneros.

En el bioma Altillanura, se registraron datos en tres Microcuencas: RÍO META, CAÑO NAVAJAS SUR y CAÑO PIRIGUA, las cuales contienen un total de cuatro puntos de muestreo. En la Microcuenca RÍO META, la estación MADREVIEJA_META_01 presentó dos familias: *Cichlidae*, caracterizada por peces con cuerpo comprimido lateralmente, una sola narina por lado y una línea lateral interrumpida, a menudo con colores vivos y comportamientos reproductivos complejos como el cuidado parental (Mojica et al., 2006, p. 196); representada por el género *Satanoperca*, que incluye especies con cuerpo moderadamente alto y aletas dorsal y anal largas (Mojica et al., 2006, p. 199), con una especie (*S. mapiritensis*, 1 individuo); y *Serrasalmidae*, caracterizada por peces con cuerpo discoidal, comprimido, y dientes afilados en forma de sierra, adaptados para dietas omnívoras o carnívoras (Mojica et al., 2006, p. 85), con el género *Serrasalmus*, que presenta dientes triangulares y comportamiento depredador (Mojica et al., 2006, p. 85), y una especie (*S. irritans*, 2 individuos). En total, esta estación cuenta con 2 familias, 2 géneros y 2 especies/morfoespecies.

En la misma Microcuenca RÍO META, la estación MADREVIEJA_META_02 se identificaron dos familias: Cichlidae, con el género Satanoperca y la especie S. mapiritensis (1 individuo); y Pimelodidae, caracterizada por peces con cuerpo alargado, barbillones largos y piel desnuda sin escamas, adaptados a ambientes bentónicos (Mojica et al., 2006, p. 122), con el género Pseudoplatystoma, que incluye especies grandes con cuerpo robusto y barbillones maxilares largos (Mojica et al., 2006, p. 130), y la especie P. metaense (1 individuo). Esto resulta en 2 familias, 2 géneros y 2 especies/morfoespecies para esta estación. En la Microcuenca CAÑO NAVAJAS SUR, el punto de muestreo NAVAJAS_SUR_CLE_01 registró una sola familia: Doradidae, caracterizada por peces con placas óseas a lo largo del cuerpo, barbillones prominentes y espinas en las aletas pectorales y dorsales (Mojica et al., 2006, p. 125), con el género *Pterodoras*, que presenta un cuerpo robusto y espinas fuertes en las aletas (Mojica et al., 2006, p. 125), y la

especie *P. rivasi* (1 individuo). Por lo tanto, esta estación cuenta con 1 familia, 1 género y 1 especie/morfoespecie (**Tabla 3.3.3-461**).

En la Microcuenca CAÑO PIRIGUA, la estación PIRIGUA_CLE_01 presentó dos familias: *Loricariidae*, caracterizada por peces con cuerpo cubierto de placas óseas, boca en forma de ventosa y adaptaciones para alimentarse de algas y detritos (Mojica et al., 2006, p. 137), con el género *Sturisoma*, que tiene un cuerpo alargado y delgado con aletas largas (Mojica et al., 2006, p. 137), y la especie *S. tenuirostre* (3 individuos); y *Gasteropelecidae*, caracterizada por peces pequeños con aletas pectorales grandes que les permiten realizar saltos fuera del agua (Mojica et al., 2006, p. 84), con el género *Tetragonopterus*, que presenta un cuerpo comprimido y aletas cortas (Mojica et al., 2006, p. 53), y la especie *T. stellatus* (1 individuo). En total, esta estación tiene 2 familias, 2 géneros y 2 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca CAÑO PIRIGUA, la estación OCmn1 identificaron tres familias: *Prochilodontidae*, caracterizada por peces con boca protráctil y dientes numerosos para alimentarse de detritos y microorganismos (Mojica et al., 2006, p. 73), con el género *Prochilodus*, que tiene un cuerpo robusto y labios carnosos adaptados para succionar (Mojica et al., 2006, p. 73), y la especie *P. mariae* (1 individuo); *Callichthyidae*, caracterizada por peces con dos filas de placas óseas a lo largo del cuerpo y barbillones cortos (Mojica et al., 2006, p. 148), con el género *Hoplosternum*, que presenta un cuerpo comprimido y aletas pectorales fuertes (Mojica et al., 2006, p. 148), y la especie *H. littorale* (1 individuo); y *Loricariidae*, con el género *Pterygoplichthys*, que tiene un cuerpo robusto y aletas dorsal y ventral grandes (Mojica et al., 2006, p. 137), y la especie *P. multiradiatus* (1 individuo). Esto resulta en 3 familias, 3 géneros y 3 especies/morfoespecies.

Tabla 3.3.3-461 Clasificación taxonómica de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en los dos biomas (llanura de inundación y altillanura) dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época lluviosa

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Individuos
Altillanura	RÍO META	MADREVIEJA_META_02	Chordata	Actinopteri	Blenniiformes	Cichlidae	*Satanoperca mapiritensis*	1
Llanura de Inundación	CAÑO BANDERAS	BANDERAS_CLE_01			Characiformes	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
						Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1
							Serrasalmus rhombeus	4
					Siluriformes	Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	1
Altillanura	RÍO META	MADREVIEJA_META_01			Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	2
	CAÑO NAVAJAS SUR	NAVAJAS_SUR_CLE_01			Siluriformes	Pimelodidae	*Pseudoplatystoma metaense*	1
						Doradidae	*Pterodoras rivasi*	1
						Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	2
Llanura de Inundación	CAÑO BANDERAS	OCmn12			Blenniiformes	Cichlidae	*Mikrogeophagus ramirezi*	1
					Characiformes	Characidae	*Roeboides dientonito*	1
							Gymnocorymbus bondi	2
Altillanura	CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CLE_01			Siluriformes	Loricariidae	*Sturisoma tenuirostre*	3
	CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CLE_01			Characiformes	Gasteropelecidae	*Thoracocharax stellatus*	1
						Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	1
					Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	1
					Characiformes	Triportheidae	*Triportheus venezuelensis*	1
		SANTOYA_CLE_02			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	1
					Characiformes	Triportheidae	*Triportheus venezuelensis*	1
						Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	1
Llanura de Inundación	CAÑO VENTUROSA	VENTUROSA_CLE_02			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	2
					Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	2
		VENTUROSA_CLE_03			Blenniiformes	Cichlidae	*Mesonauta egregius*	1
					Siluriformes	Heptapteridae	*Rhamdia muelleri*	1
	CAÑO GÜIO	GÜIO_CLE_01			Characiformes	Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1
						Characidae	*Tetragonopterus chalceus*	1
							Odontostilbe splendida	1
						Curimatidae	*Steindachnerina argentea*	1
						Acestrorhamphidae	*Hyphessobrycon otrynus*	2
		GÜIO_CLE_02				Chilodontidae	*Chilodus punctatus*	1

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Individuos
Llanura de Inundación	CAÑO GÜIO	GÜIO_CLE_02	Chordata	Actinopteri	Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens metae*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	1
						Curimatidae	*Steindachnerina guentheri*	1
							Cyphocharax oenas	3
							Curimatella immaculata	2
						Acestrorhamphidae	*Hyphessobrycon otrynus*	1
							Ctenobrycon spilurus	1
	CAÑO YARICO	YARICO_CLE_02				Serrasalmidae	*Serrasalmus rhombeus*	1
							Pygocentrus cariba	3
						Curimatidae	*Steindachnerina guentheri*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens tetramerus*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	4
						Characidae	*Roeboides affinis*	3
					Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara sp.*	1
		YARICO_CLE_01			Characiformes	Acestrorhamphidae	*Hyphessobrycon otrynus*	3
							Astyanax bimaculatus	2
					Siluriformes	Loricariidae	*Rineloricaria eigenmanni*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Chaetobranchus flavecens*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus calmoni*	1
							Serrasalmus irritans	1
						Prochilodontidae	*Prochilodus mariae*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	5
	RÍO HUMEA	MADREVIEJA_HUMEA_01				Serrasalmidae	*Serrasalmus calmoni*	3
						Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	2
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
							Astyanax bimaculatus	1
							Astyanax venezuelae	1
		MADREVIEJA_HUMEA_02				Stevardiidae	*Markiana geayi*	1
	CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CLE_02			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	2
					Characiformes	Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
							Astyanax bimaculatus	1
					Siluriformes	Heptapteridae	*Rhamdia muelleri*	1

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Individuos
Llanura de Inundación	CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CLE_03	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	1
						Loricariidae	*Sturisoma tenuirostre*	1
	CAÑO EL BORAL	BORAL_CLE_01				Loricariidae	*Hypostomus plecostomoides*	1
		BORAL_CLE_02			Characiformes	Bryconidae	*Salminus iquitensis*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
						Triportheidae	*Triportheus orinocensis*	1
	BAJO RÍO NEGRO	MADREVIEJA_NEGRO_02				Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	2
							Pygocentrus cariba	1
						Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	2
						Acestrorhamphidae	*Jupiaba polylepis*	1
							Ctenobrycon spilurus	1
Altillanura	CAÑO PIRIGUA	OCmn1				Prochilodontidae	*Prochilodus mariae*	1
					Siluriformes	Callichthyidae	*Hoplosternum littorale*	1
						Loricariidae	*Pterygoplichthys multiradiatus*	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En el bioma Llanura de Inundación, se registraron datos en seis Microcuencas: CAÑO BANDERAS, CAÑO VENTUROSA, CAÑO GÜIO, CAÑO YARICO, RÍO HUMEA, CAÑO EL TOTUMAL, CAÑO EL BORAL y BAJO RÍO NEGRO, las cuales contienen un total de once puntos de muestreo. En la Microcuenca CAÑO BANDERAS, la estación BANDERAS_CLE_01 presentó tres familias: *Erythrinidae*, caracterizada por peces con cuerpo alargado, mandíbulas fuertes y comportamiento depredador (Mojica et al., 2006, p. 53), con el género *Hoplias*, que tiene un cuerpo robusto y cabeza grande (Mojica et al., 2006, p. 53), y la especie *H. malabaricus* (1 individuo); *Serrasalmidae*, con los géneros *Pygocentrus*, que presenta dientes afilados y cuerpo discoidal (Mojica et al., 2006, p. 85), (*P. cariba*, 1 individuo) y *Serrasalmus*, y la especie *S. rhombeus* (4 individuos); y *Loricariidae*, con el género *Loricariichthys*, que tiene un cuerpo aplanado y barbillones cortos (Mojica et al., 2006, p. 137), y la especie *L. brunneus* (1 individuo). En total, esta estación cuenta con 3 familias, 3 géneros y 3 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca CAÑO BANDERAS, la estación OCmn12 registró tres familias: *Loricariidae*, con el género *Loricariichthys* y la especie *L. brunneus* (2 individuos); *Cichlidae*, con el género *Mikrogeophagus*, que presenta un cuerpo pequeño y comprimido, adaptado a ambientes lóticos (Mojica et al., 2006, p. 199), y la especie *M. ramirezi* (1 individuo); y *Characidae*, caracterizada por peces con cuerpo generalmente comprimido, aletas adiposas y dientes bien desarrollados (Mojica et al., 2006, p. 53), con los géneros *Roeboides*, que tiene un cuerpo alargado y dientes pequeños (Mojica et al., 2006, p. 53), (*R. dientonito*, 1 individuo) y *Gymnocorymbus*, que presenta un cuerpo profundo y aletas cortas (Mojica et al., 2006, p. 53), (*G. bondi*, 2 individuos). Esto da un total de 3 familias, 3 géneros y 3 especies/morfoespecies.

En la Microcuenca CAÑO VENTUROSA, la estación VENTUROSA_CLE_02 presentó dos familias: *Pimelodidae*, con el género *Pimelodus*, que tiene un cuerpo alargado y barbillones maxilares prominentes (Mojica et al., 2006, p. 122), y la especie *P. blochii* (2 individuos), y *Characidae*, con el género *Tetragonopterus* y la especie *T. argenteus* (2 individuos). En total, esta estación tiene 2 familias, 2 géneros y 2 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca CAÑO VENTUROSA, la estación VENTUROSA_CLE_03 registró tres familias: *Cichlidae*, con el género *Mesonauta*, que tiene un cuerpo comprimido y aletas largas, adaptado a ambientes de aguas tranquilas (Mojica et al., 2006, p. 199), y la especie *M. egregius* (1 individuo); *Heptapteridae*, caracterizada por peces con cuerpo alargado, barbillones cortos y aletas adiposas pequeñas (Mojica et al., 2006, p. 153), con el género *Rhamdia*, que presenta un cuerpo robusto y barbillones maxilares largos (Mojica et al., 2006, p. 153), y la especie *R. muelleri* (1 individuo); y *Serrasalmidae*, con el género *Pygocentrus* (*P. cariba*, 1 individuo) y el género *Tetragonopterus* (*T. chalceus*, 1 individuo, de la familia *Characidae*). Esto resulta en 3 familias, 4 géneros y 4 especies/morfoespecies.

En la Microcuenca CAÑO GÜIO, la estación GÜIO_CLE_01 presentó una familia: *Characidae*, con los géneros *Odontostilbe*, que tiene un cuerpo pequeño y comprimido, adaptado a aguas rápidas (Mojica et al., 2006, p. 53), (*O. splendida*, 1 individuo), *Steindachnerina*, que presenta un cuerpo robusto y boca protráctil para alimentarse de detritos (Mojica et al., 2006, p. 73), (*S. argentea*, 1 individuo), y *Hyphessobrycon*, que tiene un cuerpo comprimido y colores brillantes (Mojica et al., 2006, p. 91), (*H. otrynus*, 2 individuos). En total, esta estación cuenta con 1 familia, 3 géneros y 3 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca CAÑO GÜIO, la estación GÜIO_CLE_02 registró cuatro familias: *Chilodontidae*, caracterizada por peces con cuerpo comprimido y dientes

especializados para raspar algas (Mojica et al., 2006, p. 53), con el género *Chilodus*, que tiene un cuerpo pequeño y dientes en forma de peine (Mojica et al., 2006, p. 53), y la especie *C. punctatus* (1 individuo); *Cichlidae*, con el género *Aequidens*, que presenta un cuerpo robusto y comportamiento territorial (Mojica et al., 2006, p. 199), y la especie *A. metae* (1 individuo); *Serrasalmidae*, con el género *Serrasalmus* y la especie *S. irritans* (1 individuo); y *Curimatidae*, caracterizada por peces con boca protráctil y sin dientes en las mandíbulas, adaptados para alimentarse de detritos (Mojica et al., 2006, p. 73), con los géneros *Steindachnerina* (*S. guentheri*, 1 individuo), *Cyphocharax*, que tiene un cuerpo comprimido y cabeza pequeña (Mojica et al., 2006, p. 73), (*C. oenas*, 3 individuos), y *Curimatella*, que presenta un cuerpo pequeño y aletas cortas (Mojica et al., 2006, p. 73), (*C. immaculata*, 2 individuos). Además, se encontró el género *Hyphessobrycon* (*H. otrynus*, 1 individuo) y *Ctenobrycon*, que tiene un cuerpo profundo y aletas cortas (Mojica et al., 2006, p. 91), (*C. spilurus*, 1 individuo) de la familia *Characidae*. Esto da un total de 4 familias, 6 géneros y 7 especies/morfoespecies.

En la Microcuenca CAÑO YARICO, la estación YARICO_CLE_01 presentó cinco familias: *Acestrorhamphidae*, caracterizada por peces con cuerpo alargado y hocico prolongado, adaptados a capturar presas pequeñas (Mojica et al., 2006, p. 91), con los géneros *Hyphessobrycon* (*H. otrynus*, 3 individuos), *Astyanax*, que tiene un cuerpo comprimido y dientes pequeños (Mojica et al., 2006, p. 91), (*A. bimaculatus*, 2 individuos) y *Ctenobrycon* (*C. spilurus*, 5 individuos); *Loricariidae*, con el género *Rineloricaria*, que presenta un cuerpo alargado y filamentos en los labios (Mojica et al., 2006, p. 137), y la especie *R. eigenmanni* (1 individuo); *Cichlidae*, con el género *Chaetobranchus*, que tiene un cuerpo comprimido y aletas largas (Mojica et al., 2006, p. 199), y la especie *C. flavecens* (1 individuo); *Serrasalmidae*, con el género *Serrasalmus* (*S. calmoni*, 1 individuo; *S. irritans*, 1 individuo); y *Prochilodontidae*, con el género *Prochilodus* y la especie *P. mariae* (1 individuo). En total, esta estación tiene 5 familias, 5 géneros y 7 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca CAÑO YARICO, la estación YARICO_CLE_02 presentó cuatro familias: *Serrasalmidae*, con los géneros *Serrasalmus* (*S. rhombeus*, 1 individuo; *S. irritans*, 1 individuo) y *Pygocentrus* (*P. cariba*, 3 individuos); *Curimatidae*, con el género *Steindachnerina* (*S. guentheri*, 1 individuo); *Cichlidae*, con los géneros *Aequidens* (*A. tetramerus*, 1 individuo) y *Andinoacara*, que tiene un cuerpo robusto y colores vivos (Mojica et al., 2006, p. 199), (*A. sp.*, 1 individuo); y *Acestrorhamphidae*, con los géneros *Ctenobrycon* (*C. spilurus*, 4 individuos) y *Roeboides* (*R. affinis*, 3 individuos). Esto resulta en 4 familias, 5 géneros y 7 especies/morfoespecies.

En la Microcuenca RÍO HUMEA, la estación MADREVIEJA_HUMEA_01 registró tres familias: *Serrasalmidae*, con el género *Serrasalmus* (*S. calmoni*, 3 individuos); *Characidae*, con los géneros *Tetragonopterus* (*T. argenteus*, 2 individuos), *Astyanax* (*A. bimaculatus*, 1 individuo; *A. venezuelae*, 1 individuo); y *Acestrorhamphidae*, con el género *Ctenobrycon* (*C. spilurus*, 1 individuo). En total, esta estación presenta 3 familias, 3 géneros y 5 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca RÍO HUMEA, la estación MADREVIEJA_HUMEA_02 registró la familia Stevardiidae, caracterizada por peces pequeños con cuerpo comprimido y aletas cortas, a menudo con dimorfismo sexual (Mojica et al., 2006, p. 91), con el género *Markiana*, que tiene un cuerpo alargado y aletas transparentes (Mojica et al., 2006, p. 91), y la especie *M. geayi* (1 individuo). Esto da un total de 1 familia, 1 género y 1 especie/morfoespecie.

En la Microcuenca CAÑO EL TOTUMAL, la estación TOTUMAL_CLE_02 presentó cuatro familias: *Pimelodidae*, con el género *Pimelodus* y la especie *P. blochii* (2 individuos); *Heptapteridae*, con el género *Rhamdia* y la especie *R. muelleri* (1 individuo); *Serrasalmidae*, con el género *Pygocentrus* (*P. cariba*, 1 individuo); y *Acestrorhamphidae*, con los géneros *Ctenobrycon* (*C. spilurus*, 1 individuo) y *Astyanax* (*A. bimaculatus*, 1 individuo). Esto resulta en 4 familias, 4 géneros y 5 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca CAÑO EL TOTUMAL, la estación TOTUMAL_CLE_03 presentó dos familias: *Pimelodidae*, con el género *Pimelodus* y la especie *P. albofasciatus* (1 individuo), y *Loricariidae*, con el género *Sturisoma* y la especie *S. tenuirostre* (1 individuo). En total, esta estación tiene 2 familias, 2 géneros y 2 especies/morfoespecies.

En la Microcuenca CAÑO EL BORAL, la estación BORAL_CLE_01 registró dos familias: *Loricariidae*, con el género *Hypostomus*, que tiene un cuerpo robusto y boca en ventosa grande (Mojica et al., 2006, p. 137), y la especie *H. plecostomoides* (1 individuo), y *Bryconidae*, caracterizada por peces con cuerpo alargado y fuerte musculatura, adaptados a aguas rápidas (Mojica et al., 2006, p. 53), con el género *Salminus*, que presenta un cuerpo robusto y mandíbulas fuertes (Mojica et al., 2006, p. 53), y la especie *S. iquitensis* (1 individuo). Esto da un total de 2 familias, 2 géneros y 2 especies/morfoespecies. En la misma Microcuenca CAÑO EL BORAL, la estación BORAL_CLE_02 presentó dos familias: *Acestrorhamphidae*, con el género *Ctenobrycon* y la especie *C. spilurus* (1 individuo), y *Triportheidae*, caracterizada por peces con cuerpo comprimido y aletas adiposas, adaptados a ambientes pelágicos (Mojica et al., 2006, p. 53), con el género *Triportheus*, que tiene un cuerpo alargado y aletas pectorales grandes (Mojica et al., 2006, p. 53), y la especie *T. orinocensis* (1 individuo). En total, esta estación cuenta con 2 familias, 2 géneros y 2 especies/morfoespecies.

En la Microcuenca BAJO RÍO NEGRO, la estación MADREVIEJA_NEGRO_02 presentó tres familias: *Serrasalmidae*, con los géneros *Serrasalmus* (*S. irritans*, 2 individuos) and *Pygocentrus* (*P. cariba*, 1 individuo); *Characidae*, con el género *Tetragonopterus* (*T. argenteus*, 2 individuos); y *Acestrorhamphidae*, con los géneros *Jupiaba*, que tiene un cuerpo pequeño y comprimido (Mojica et al., 2006, p. 91), (*J. polylepis*, 1 individuo) y *Ctenobrycon* (*C. spilurus*, 1 individuo). Esto resulta en 3 familias, 4 géneros y 4 especies/morfoespecies.

- Diversidad Alfa

El conjunto de datos proporcionado contiene datos que detallan métricas de diversidad ecológica y la composición de especies en dos biomas (llanura de inundación y Altillanura). Se analizan los índices de diversidad—Abundancia, Riqueza, Shannon, Simpson y Pielou por estación, Microcuenca y bioma, seguido de una comparación de similitudes y diferencias, concluyendo con los hallazgos principales.

En el bioma Altillanura, que incluye las Microcuencas RÍO META, CAÑO NAVAJAS SUR, CAÑO PIRIGUA y CAÑO SANTOYA con un total de seis estaciones de muestreo, se registraron 8 familias, 10 géneros, 12 especies/morfoespecies y 17 individuos. La Microcuenca CAÑO SANTOYA fue la más rica taxonómicamente, con 5 especies distribuidas en dos estaciones (SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02), cada una con 3 especies (*Tetragonopterus argenteus*, *Pimelodus albofasciatus, Triportheus venezuelensis*) y una abundancia de 3 individuos. Ambas estaciones

presentaron un índice de Shannon de 1.099, un índice de Simpson de 0.333 y un índice de Pielou de 1.0, lo que indica una alta equidad en la distribución de individuos entre especies, reflejando comunidades equilibradas sin dominancia marcada. La Microcuenca CAÑO PIRIGUA destacó por la estación PIRIGUA_CLE_01, que registró la mayor abundancia del bioma (4 individuos) con 2 especies (*Sturisoma tenuirostre* con 3 individuos y *Thoracocharax stellatus* con 1 individuo). Sin embargo, su índice de Shannon (0.562) y Pielou (0.811) son bajos debido a la dominancia de *S. tenuirostre* (17.6% de la abundancia total del bioma). La estación OCmn1 en la misma Microcuenca mostró 3 especies (*Prochilodus mariae*, *Hoplosternum littorale y Pterygoplichthys multiradiatus*) con 3 individuos, un Shannon de 1.099 y un Pielou de 1.0, indicando alta equidad. En la Microcuenca RÍO META, MADREVIEJA_META_01 registraron 3 individuos y 2 especies (*Serrasalmus irritans* con 2 individuos y *Satanoperca mapiritensis* con 1 individuo), con un Shannon de 0.637 y un Pielou de 0.919, mientras que MADREVIEJA_META_02 tuvo solo 1 especie (*S. mapiritensis*) y un Shannon de 0, reflejando mínima diversidad. La Microcuenca CAÑO NAVAJAS SUR (NAVAJAS_SUR_CLE_01) fue la menos diversa, con 1 especie (*Pterodoras rivasi*), 1 individuo y un Shannon de 0. La familia Loricariidae fue la más frecuente (presente en PIRIGUA_CLE_01 y OCmn1), mientras que *S. tenuirostre* fue la especie más abundante del bioma.

En el bioma Llanura de Inundación, que abarca las Microcuencas CAÑO BANDERAS, CAÑO VENTUROSA, CAÑO GÜIO, CAÑO YARICO, RÍO HUMEA, CAÑO EL TOTUMAL, CAÑO EL BORAL y BAJO RÍO NEGRO con once estaciones, se registraron 12 familias, 19 géneros, 25 especies/morfoespecies y 67 individuos, indicando una riqueza y abundancia significativamente mayores que en Altillanura. La Microcuenca CAÑO YARICO destacó como la más diversa, con 10 especies en dos estaciones (YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02), cada una con 15 individuos, 7 especies y altos índices de diversidad (Shannon: 1.859 y 1.899, Pielou: 0.955 y 0.976, respectivamente). YARICO_CLE_01 incluyó a los géneros *Ctenobrycon spilurus* (5 individuos), *Hyphessobrycon otrynus* (3 individuos), *Astyanax bimaculatus* (2 individuos), *Rineloricaria eigenmanni*, *Chaetobranchus flavecens*, *Serrasalmus calmoni* y *Serrasalmus irritans* (1 individuo cada una), mientras que YARICO_CLE_02 presentó a *Pygocentrus cariba* (3 individuos), *Roeboides affinis* (3 individuos), *Serrasalmus rhombeus*, *S. irritans*, *Steindachnerina guentheri*, *Aequidens tetramerus* y *Andinoacara sp.* (1 individuo cada una). La Microcuenca CAÑO GÜIO también mostró alta diversidad, especialmente en GÜIO_CLE_02 (11 individuos, 8 especies, Shannon: 1.972, Pielou: 0.948), con especies como *Cyphocharax oenas* (3 individuos), *Curimatella immaculata* (2 individuos) y *Chilodus punctatus*, *Aequidens metae*, *S. irritans*, *Steindachnerina guentheri*, *H. otrynus* y *C. spilurus* (1 individuo cada una). La familia Serrasalmidae fue la más frecuente, presente en cinco estaciones (BANDERAS_CLE_01, VENTUROSA_CLE_03, YARICO_CLE_01, YARICO_CLE_02, MADREVIEJA_NEGRO_02) con 16 individuos y 4 especies (*P. cariba* con 6 individuos, *S. rhombeus* con 5, *S. calmoni* con 4 y *S. irritans* con 5). La familia Acestrorhamphidae destacó por su abundancia, con *C. spilurus* como la especie más abundante del bioma (14 individuos, 20.9% del total, en cinco estaciones). La Microcuenca RÍO HUMEA mostró variabilidad: MADREVIEJA_HUMEA_01 tuvo 8 individuos, 4 especies (Shannon: 1.494, Pielou: 1.078), con *S. calmoni* (3 individuos) y *T. argenteus* (2 individuos), mientras que MADREVIEJA_HUMEA_02 tuvo solo 1 especie (*Markiana geayi*). La Microcuenca CAÑO EL BORAL fue la menos diversa, con BORAL_CLE_02 registrando 1 especie (*C. spilurus*) y un Shannon de 0.

Comparando biomas, Llanura de Inundación mostró una riqueza taxonómica (25 especies, 19 géneros, 12 familias) y abundancia (67 individuos) significativamente mayores que Altillanura (12 especies, 10 géneros, 8 familias, 17 individuos). La familia Serrasalmidae fue un elemento común, pero más dominante en Llanura de Inundación (16 individuos, 4 especies) que en Altillanura (2 individuos, 1 especie). La familia Characidae fue prominente en Llanura de Inundación (8 especies, 14 individuos), pero menos representada en Altillanura (2 especies, 2 individuos). La familia Loricariidae tuvo una presencia equilibrada (2 estaciones en cada bioma), pero con mayor abundancia en Altillanura (S. tenuirostre con 3 individuos).

Los índices de Shannon y Pielou reflejan mayor equidad y diversidad en Llanura de Inundación, especialmente en Microcuencas como CAÑO YARICO y CAÑO GÜIO, donde estaciones como YARICO_CLE_01, YARICO_CLE_02 y GÜIO_CLE_02 mostraron alta riqueza y distribución equitativa de individuos. En el bioma Altillanura, estaciones como SANTOYA_CLE_01, SANTOYA_CLE_02 y OCmn1 presentaron mayor equidad (Pielou: 1.0), pero la dominancia de *S. tenuirostre* en PIRIGUA_CLE_01 redujo la diversidad. El índice de Simpson, que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, fue más bajo en estaciones de alta diversidad como GÜIO_CLE_02 (0.157) y YARICO_CLE_02 (0.173), indicando baja dominancia, mientras que estaciones como MADREVIEJA_META_01 (0.556) mostraron mayor dominancia. Estos patrones sugieren que Llanura de Inundación alberga ecosistemas más heterogéneos con mayor capacidad para soportar comunidades diversas, mientras que Altillanura presenta comunidades más simplificadas, posiblemente limitadas por condiciones ambientales menos variables.

- Composición Taxonómica y Estructura de la comunidad de peces en Cuerpos Lóticos

Los datos sobre la abundancia y riqueza de peces en dos biomas (Llanura de Inundación y Altillanura), abarcan múltiples estaciones y múltiples Microcuencas dentro del área de influencia del Bloque CPO-5en época lluviosa en cuerpos lóticos. Este análisis describe las familias y géneros presentes en cada estación, agrupados por Microcuenca y bioma, incorporando las características principales de las familias y géneros. En el bioma Altillanura, se muestrearon múltiples Microcuencas, incluyendo Caño Macapay, Río Cabuyarito, Caño Menegua, Caño Ipapa, Caño Emma, Caño Barbascos, Caño El Paso, Río Meta, Caño Navajitas, Río Metica, Caño Pirigua, Caño La Lilbana, Río Upia, Caño Santoya, Caño Güio, Caño Yurimena, Caño El Boral, Piedra Candela y Río Humea (**Tabla 3.3.3-462**).

Tabla 3.3.3-462 Clasificación taxonómica de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en los dos biomas (llanura de inundación y altillanura) dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época lluviosa.

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Altillanura	CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_02	Chordata	Actinopteri	Characiformes	Serrasalmidae	*Piaractus brachypomus*	1
					Siluriformes	Pimelodidae	*Pseudoplatystoma metaense*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus rhombeus*	1
							Serrasalmus irritans	1
					Siluriformes	Loricariidae	*Sturisoma tenuirostre*	1
							Lamontichthys llanero	1
						Doradidae	*Oxydoras sifontesi*	1
						Loricariidae	*Aphanotorulus emarginatus*	2
						Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	5
		MACAPAY_CL_01				Loricariidae	*Sturisoma tenuirostre*	1
							Hypostomus niceforoi	1
	RÍO CABUYARITO	CABUYARITO_CL_01				Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	2
		CABUYARITO_CL_02					*Pimelodus blochii*	4
						Loricariidae	*Aphanotorulus ammophilus*	2
	CAÑO MENEGUA	MENEGUA_CL_02			Characiformes	Curimatidae	*Potamorhina altamazonica*	1
						Serrasalmidae	*Serrasalmus calmoni*	1
							Piaractus brachypomus	1
	CAÑO IPAPA	IPAPA_CL_01				Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	4
	CAÑO EMMA	EMMA_CL_03				Anostomidae	*Leporinus gr. friderici*	1
						Characidae	*Tetragonopterus chalceus*	1
						Acestrorhamphidae	*Moenkhausia chrysargyrea*	3
							Moenkhausia lepidura	1
	CAÑO BARBASCOS	BARBASCOS_CL_01				Characidae	*Tetragonopterus chalceus*	3
	CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01			Blenniiformes	Cichlidae	*Mesonauta egregius*	1
							Aequidens metae	2
					Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	1
						Serrasalmidae	*Serrasalmus striolatus*	2
						Acestrorhamphidae	*Moenkhausia oligolepis*	1
							Astyanax bimaculatus	1

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Altillanura	RÍO META	META_CL_01ª	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	4
						Loricariidae	*Aphanotorulus ammophilus*	2
							Lamontichthys llanero	1
							Sturisoma tenuirostre	1
						Doradidae	*Oxydoras niger*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	2
	CAÑO NAVAJITAS	NAVAJITAS_CL_01			Gymnotiformes	Hypopomidae	*Brachyhypopomus brevirostris*	1
	RÍO META	META_CL_03			Siluriformes	Cetopsidae	*Cetopsis coecutiens*	2
						Doradidae	*Pterodoras rivasi*	1
		META_CL_02				Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	2
						Doradidae	*Pterodoras rivasi*	1
Llanura de Inundación	BAJO RÍO NEGRO	NEGRO_CL_01			Characiformes	Characidae	*Mylossoma duriventre*	3
					Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
						Heptapteridae	*Rhamdia muelleri*	1
Altillanura	RÍO METICA	METICA_CL_02				Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
					Characiformes	Stevardiidae	*Knodus alpha*	1
	RÍO CABUYARITO	OCmn10			Siluriformes	Loricariidae	*Sturisoma tenuirostre*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens metae*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	4
						Prochilodontidae	*Prochilodus mariae*	1
						Characidae	*Aphyocharax erythrurus*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
							Astyanax bimaculatus	3
	Drenajes directos al río Meta	OCmn4				Characidae	*Roeboides affinis*	2
	CAÑO PIRIGUA	OCmn11			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
						Loricariidae	*Hypostomus niceforoi*	1
						Aspredinidae	*Bunocephalus aloikae*	1
					Characiformes	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
						Stevardiidae	*Markiana geayi*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	1
					Siluriformes	Loricariidae	*Rineloricaria eigenmanni*	1
		OCmn3			Characiformes	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Altillanura	CAÑO YURIMENA	OCmn18	Chordata	Actinopteri		Serrasalmidae	*Piaractus brachypomus*	1
	CAÑO LA VICTORIA	OCmn15			Blenniiformes	Cichlidae	*Satanoperca mapiritensis*	1
	CAÑO YURIMENA	OCmn16			Characiformes	Iguanodectidae	*Bryconops giacopinii*	2
						Lebiasinidae	*Copella eigenmanni*	1
						Acestrorhamphidae	*Moenkhausia oligolepis*	1
							Astyanax bimaculatus	2
Llanura de Inundación	CAÑO BANDERAS	OCmn13				Curimatidae	*Cyphocharax oenas*	1
						Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	1
						Curimatidae	*Cyphocharax immaculata*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
						Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
						Serrasalmidae	*Serrasalmus striolatus*	1
						Acestrorhamphidae	*Moenkhausia lepidura*	1
							Astyanax bimaculatus	2
Altillanura	CAÑO LA LILBANA	OCmn19			Siluriformes	Loricariidae	*Rineloricaria eigenmanni*	1
						Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	1
Llanura de Inundación	BAJO RÍO NEGRO	NEGRO_CL_02			Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	4
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	3
						Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1
						Characidae	*Roeboides affinis*	1
Altillanura	CAÑO PIRIGUA	OCMY6			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	6
						Loricariidae	*Lamontichthys llanero*	1
						Aspredinidae	*Bunocephalus aloikae*	1
		OCMY2			Characiformes	Stevardiidae	*Markiana geayi*	1
						Characidae	*Roeboides affinis*	1
	CAÑO YURIMENA	OCMY16				Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	3
						Stevardiidae	*Creagrutus taphorni*	1
	CAÑO EMMA	OCMY18					*Creagrutus taphorni*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	3
	CAÑO LA VICTORIA	OCMY11			Siluriformes	Loricariidae	*Hypostomus niceforoi*	1
						Aspredinidae	*Bunocephalus aloikae*	1
					Characiformes	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
						Stevardiidae	*Markiana geayi*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	1
					Siluriformes	Loricariidae	*Rineloricaria eigenmanni*	1

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Altillanura	PIEDRA CANDELA	OCMY10	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Loricariidae	*Farlowella mariaelenae*	1
					Characiformes	Iguanodectidae	*Bryconops giacopinii*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax venezuelae*	1
	CAÑO EMMA	OCMY17			Blenniiformes	Cichlidae	*Mesonauta egregius*	3
					Characiformes	Lebiasinidae	*Copella eigenmanni*	1
						Acestrorhamphidae	*Poptella compressa*	1
							Moenkhausia collettii	1
							Moenkhausia oligolepis	1
						Iguanodectidae	*Bryconops giacopinii*	1
		OCMY15				Stevardiidae	*Creagrutus bolivari*	2
		OCMY14			Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens metae*	2
					Characiformes	Acestrorhamphidae	*Hyphessobrycon metae*	1
	Drenajes directos al río Meta	OCMY7				Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	8
	CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CL_02			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
						Heptapteridae	*Rhamdia muelleri*	2
	RÍO UPIA	UPIA_CL_01				Loricariidae	*Aphanotorulus ammophilus*	3
						Doradidae	*Pterodoras rivasi*	1
					Characiformes	Stevardiidae	*Hemibrycon metae*	1
							Creagrutus bolivari	1
		UPIA_CL_02			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	5
						Loricariidae	*Hypostomus niceforoi*	1
						Doradidae	*Pterodoras rivasi*	1
						Pimelodidae	*Pseudoplatystoma metaense*	1
	RÍO YUCAO	YUCAO_CL_01			Characiformes	Acestrorhamphidae	*Hemigrammus barrigonae*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Mesonauta egregius*	1
							Aequidens metae	1
					Characiformes	Lebiasinidae	*Copella eigenmanni*	2
						Acestrorhamphidae	*Poptella compressa*	1
							Moenkhausia collettii	2
	PIEDRA CANDELA	PIEDRA_CANDELA_CL_01					*Astyanax bimaculatus*	2

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Altillanura	CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02	Chordata	Actinopteri	Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus chalceus*	2
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	2
							Astyanax bimaculatus	1
	CAÑO YURIMENA	YURIMENA_CL_03			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	3
						Doradidae	*Oxydoras sifontesi*	1
Llanura de Inundación	CAÑO YARICO	OCMY5			Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	1
					Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
					Characiformes	Prochilodontidae	*Prochilodus mariae*	1
						Bryconidae	*Salminus iquitensis*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	3
Altillanura	CAÑO GÜIO	OCMY4			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	3
						Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Crenicichla geayi*	1
Llanura de Inundación	CAÑO YARICO	YARICO_CL_03			Characiformes	Bryconidae	*Salminus iquitensis*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax integer*	4
						Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
		YARICO_CL_01			Siluriformes	Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus calmoni*	1
						Characidae	*Roeboides dientonito*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	4
	CAÑO EL TOTUMAL	OC12			Siluriformes	Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1
					Characiformes	Curimatidae	*Cyphocharax oenas*	3
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
							Astyanax bimaculatus	2
						Anostomidae	*Leporinus friderici*	1
	CAÑO EL BORAL	OC11			Siluriformes	Heptapteridae	*Rhamdia laukidi*	1
					Characiformes	Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	3
							Ctenobrycon spilurus	1
						Serrasalmidae	*Serrasalmus irritans*	1
		BORAL_CL_02				Acestrorhamphidae	*Poptella compressa*	4
							Astyanax bimaculatus	2

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Llanura de Inundación	CAÑO YARICO	YARICO_CL_02	Chordata	Actinopteri	Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	1
					Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
					Characiformes	Prochilodontidae	*Prochilodus mariae*	1
						Bryconidae	*Salminus iquitensis*	1
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	3
	CAÑO GÜIO	GÜIO_CL_02			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus albofasciatus*	3
						Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Crenicichla geayi*	1
					Characiformes	Bryconidae	*Salminus iquitensis*	1
	CAÑO EL BORAL	OC19			Siluriformes	Callichthyidae	*Corydoras septentrionalis*	1
					Characiformes	Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	2
						Stevardiidae	*Knodus alpha*	1
						Characidae	*Gephyrocharax valencia*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
		OC14			Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara sp.*	1
							Aequidens metae	1
							Aequidens tetramerus	1
					Characiformes	Curimatidae	*Cyphocharax oenas*	4
						Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
		OC13			Siluriformes	Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	1
					Characiformes	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
						Curimatidae	*Steindachnerina guentheri*	1
						Stevardiidae	*Markiana geayi*	4
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	1
	CAÑO GÜIO	GÜIO_CL_01			Siluriformes	Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara sp.*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	3
						Stevardiidae	*Markiana geayi*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	1

Bioma	Microcuenca	Punto De Muestreo	Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie/Morfoespecie	Abundancia
Llanura de Inundación	CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CL_01	Chordata	Actinopteri	Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
						Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Pygocentrus cariba*	1
						Curimatidae	*Steindachnerina pupula*	2
	RÍO HUMEA	HUMEA_CL_01A				Stevardiidae	*Knodus alpha*	2
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
	CAÑO EL BORAL	BORAL_CL_03			Siluriformes	Pimelodidae	*Pimelodus blochii*	1
						Heptapteridae	*Pimelodella metae*	1
						Aspredinidae	*Bunocephalus aloikae*	1
	CAÑO YARICO	OC18			Characiformes	Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
							Astyanax bimaculatus	2
					Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens metae*	1
	CAÑO EL BORAL	BORAL_CL_01			Characiformes	Acestrorhamphidae	*Ctenobrycon spilurus*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Lugubria lugubris*	1
					Characiformes	Serrasalmidae	*Serrasalmus rhombeus*	1
						Gasteropelecidae	*Thoracocharax stellatus*	1
						Curimatidae	*Cyphocharax oenas*	1
						Characidae	*Tetragonopterus argenteus*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
		OC15			Siluriformes	Loricariidae	*Limatulichthys griseus*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Bujurquina mariae*	1
					Characiformes	Curimatidae	*Cyphocharax oenas*	1
						Acestrorhamphidae	*Poptella compressa*	1
						Characidae	*Aphyocharax erythrurus*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax integer*	1
		OC17				Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
							Hoplerythrinus unitaeniatus	1
						Curimatidae	*Steindachnerina guentheri*	1
						Acestrorhamphidae	*Astyanax bimaculatus*	2
					Siluriformes	Loricariidae	*Loricariichthys brunneus*	1
					Blenniiformes	Cichlidae	*Aequidens metae*	1

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En la Microcuenca del Caño Macapay, las estaciones MACAPAY_CL_01 y MACAPAY_CL_02 registraron cinco familias. La familia *Serrasalmidae*, caracterizada por peces con cuerpo discoidal, comprimido y dientes fuertes, incluye pirañas carnívoras y pacús frugívoros o herbívoros, habitando ríos, lagunas y bosques inundados, con importancia económica (Mojica *et al.*, 2006, p. 85), presentó los géneros *Piaractus*, de cuerpo grande, comprimido y dieta frugívora, común en ríos principales y lagunas (Mojica *et al.*, 2006, p. 176), con *P. brachypomus*, y *Serrasalmus*, pirañas con cuerpo comprimido y comportamiento depredador agresivo, comunes en lagunas y ríos (Mojica *et al.*, 2006, p. 181), con *S. rhombeus* y *S. irritans*. La familia *Pimelodidae*, bagres de cuerpo robusto con barbillones largos y aleta adiposa, carnívoros o detritívoros, habitan ríos y lagunas y son de importancia pesquera (Mojica *et al.*, 2006, p. 122), incluyó *Pseudoplatystoma*, bagres grandes y depredadores comunes en ríos profundos (Mojica *et al.*, 2006, p. 249), con *P. metaense*, y *Pimelodus*, de cuerpo robusto y barbillones prominentes, común en ríos principales (Mojica *et al.*, 2006, p. 249), con *P. blochii*. La familia *Loricariidae*, bagres con cuerpo aplanado, ventosa bucal y placas óseas, herbívoros o detritívoros que se adhieren a rocas o troncos en ríos y arroyos (Mojica *et al.*, 2006, p. 122), presentó el género *Sturisoma*, de cuerpo delgado con aletas largas, común en ríos claros (Mojica *et al.*, 2006, p. 342), con *S. tenuirostre*, el género *Lamontichthys*, de cuerpo delgado con placas óseas, habitante de arroyos (Mojica *et al.*, 2006, p. 342), con *L. llanero*, el género *Aphanotorulus*, de cuerpo aplanado con ventosa bucal, común en ríos rápidos (Mojica *et al.*, 2006, p. 342), con *A. emarginatus*, y el género *Hypostomus*, de cuerpo robusto con ventosa bucal, común en ríos y lagunas (Mojica *et al.*, 2006, p. 342), con *H. niceforoi*. La familia *Doradidae*, bagres con placas óseas laterales y barbillones sensoriales, habitan fondos fangosos de ríos y lagunas alimentándose de detritos y pequeños organismos (Mojica *et al.*, 2006, p. 122), incluyó el género *Oxydoras*, de cuerpo robusto con espinas dorsales, común en aguas profundas (Mojica *et al.*, 2006, p. 249), con *O. sifontesi*. La diversidad de géneros de *Loricariidae* fue mayor en la estación MACAPAY_CL_02.

En la Microcuenca del Río Cabuyarito, las estaciones CABUYARITO_CL_01, CABUYARITO_CL_02 y OCmn10 registraron siete familias. Se encontraron *Pimelodidae* con *P. blochii*, *Loricariidae* con *A. ammophilus* y *S. tenuirostre*, y *Serrasalmidae* con el género *Pygocentrus*, pirañas con dientes triangulares, carnívoras, abundantes en aguas lentas (Mojica *et al.*, 2006, p. 181), representado por *P. cariba*. La familia *Cichlidae*, peces con cuerpo comprimido, aletas espinosas y comportamiento territorial, que habitan lagunas, ríos y bosques inundados con dietas variadas (Mojica *et al.*, 2006, p. 196), incluyó el género *Aequidens*, de cuerpo robusto y coloración variable, común en lagunas (Mojica *et al.*, 2006, p. 395), con *A. metae*. La familia *Characidae*, peces de cuerpo comprimido con escamas cicloides y aleta adiposa, omnívoros o carnívoros, habitando desde arroyos selváticos hasta ríos principales, con importancia ecológica y pesquera (Mojica *et al.*, 2006, p. 53), presentó el género *Aphyocharax*, de cuerpo pequeño, plateado, con aletas transparentes, que habita aguas superficiales y se alimenta de insectos (Mojica *et al.*, 2006, p. 91), con *A. erythrurus*. La familia *Prochilodontidae*, peces migratorios con boca protráctil y labios carnosos, adaptados para raspar detritos y algas, de gran importancia pesquera (Mojica *et al.*, 2006, p. 73), incluyó el género *Prochilodus*, de cuerpo robusto con migraciones estacionales, abundante en ríos principales (Mojica *et al.*, 2006, p. 144), con *P. mariae*. La familia *Acestrorhamphidae*, similar a *Characidae* pero con hocico alargado y cuerpo fusiforme, carnívoros o insectívoros, comunes en aguas superficiales y bordes de vegetación (Mojica *et al.*, 2006, p.

53), presentó el género *Ctenobrycon*, de cuerpo comprimido con aleta anal larga, que habita aguas lentas alimentándose de microorganismos (Mojica *et al*., 2006, p. 214), con *C. spilurus*, y el género *Astyanax*, de cuerpo pequeño, plateado, con mancha humeral, muy abundante en arroyos y lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 209), con *A. bimaculatus*. La familia *Characidae* destacó en OCmn10 por su abundancia.

En la Microcuenca del Caño Menegua, las estaciones MENEGUA_CL_02 y OCMY18 registraron tres familias. Se encontraron *Serrasalmidae* con *P. brachypomus* y *S. calmoni*, *Acestrorhamphidae* con *A. bimaculatus*, y *Stevardiidae*, peces pequeños con cuerpo comprimido, omnívoros, que habitan arroyos y ríos de corriente moderada (Mojica *et al*., 2006, p. 53), con el género *Creagrutus*, de cuerpo pequeño con aleta anal larga, común en arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 209), representado por *C. taphorni*. La familia *Serrasalmidae* fue notable en MENEGUA_CL_02 por su abundancia. . En la Microcuenca del Caño Ipapa, la estación IPAPA_CL_01 registró una familia. La familia Acestrorhamphidae incluyó a *Astyanax bimaculatus*.. En la Microcuenca del Caño Emma, las estaciones EMMA_CL_03 y OCMY17 registraron cinco familias. La familia *Anostomidae*, peces de cuerpo alargado con boca pequeña y dientes adaptados para alimentarse de algas y material vegetal, que habitan aguas rápidas y fondos rocosos (Mojica *et al*., 2006, p. 53), incluyó el género *Leporinus*, de cuerpo cilíndrico con patrones de bandas oscuras, herbívoro, común en ríos y arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 152), con *L. friderici*. La familia *Characidae* presentó *T. chalceus*, mientras que *Acestrorhamphidae* incluyó el género *Moenkhausia*, de cuerpo pequeño con patrones de coloración variables, común en aguas negras, omnívoro (Mojica *et al*., 2006, p. 223), con *M. chrysargyrea* y *M. lepidura*, *A. bimaculatus*, y el género *Poptella*, de cuerpo pequeño, plateado, con aleta adiposa, que habita arroyos selváticos alimentándose de insectos y detritos (Mojica *et al*., 2006, p. 230), con *P. compressa*. La familia *Cichlidae* incluyó el género *Mestskoma*, de cuerpo alto, omnívoro, que habita aguas con vegetación densa (Mojica *et al*., 2006, p. 395), con *M. egregius*. La familia *Lebiasinidae*, peces pequeños con cuerpo comprimido, que habitan aguas poco profundas con vegetación densa, insectívoros u omnívoros (Mojica *et al*., 2006, p. 53), presentó el género *Copella*, de cuerpo pequeño con aletas transparentes, común en arroyos selváticos (Mojica *et al*., 2006, p. 117), con *C. eigenmanni*. La diversidad fue mayor en OCMY17.

En la Microcuenca del Caño Barbascos, la estación BARBASCOS_CL_01 registró dos familias. La familia Characidae incluyó *T. chalceus*, y Acestrorhamphidae presentó A. bimaculatus. La especie *T. chalceus* predominó en abundancia. En la Microcuenca del Caño El Paso, la estación EL_PASO_CL_01 registró cuatro familias. La familia Cichlidae incluyó M. egregius y *A. metae*, Characidae presentó *T. argenteus*, Serrasalmidae incluyó *S. striolatus*, y Acestrorhamphidae contó con *M. oligolepis* y *A. bimaculatus*. En la Microcuenca del Río Meta, las estaciones META_CL_01A, META_CL_02 y META_CL_03 y los puntos realizados en el caño NN con el punto de muestreo OCMY7 (ocupación e cauce mayor), en el caño Santa Marta con el punto OCmn4 (ocupación de cauce menor) registraron siete familias. La familia Pimelodidae incluyó *P. blochii* y *P. metaense*, Loricariidae presentó *A. ammophilus*, *L. llanero* y *S. tenuirostre*, y Doradidae incluyó el género Pterodoras, similar al género Oxydoras, con cuerpo grande, habitante de ríos principales (Mojica et al., 2006, p. 249), con *P. rivasi*. La familia Serrasalmidae presentó *S. irritans*, y Cetopsidae, bagres pequeños, carnívoros, con cuerpo cilíndrico y ojos reducidos, que habitan aguas profundas de ríos principales (Mojica et al., 2006, p. 153), incluyó el género *Cetopsis*, de cuerpo delgado,

depredador, común en ríos profundos (Mojica et al., 2006, p. 303), con C. coecutiens. La familia Pimelodidae fue dominante en abundancia. La familia Characidae incluyó el género *Roeboides*, de cuerpo robusto con dientes fuertes, depredador de escamas y aletas de otros peces, común en lagunas y ríos (Mojica et al., 2006, p. 237), con *R. affinis*, y el género *Tetragonopterus*, de cuerpo comprimido, plateado, con aleta anal larga, abundante en aguas negras y blancas, omnívoro (Mojica et al., 2006, p. 224), con *T. argenteus*. La estación OCMY7 destacó por la alta abundancia de *T. argenteus*.

En la Microcuenca del Caño Navajitas, la estación NAVAJITAS_CL_01 registró una familia. La familia *Hypopomidae*, peces cuchillo pequeños con órganos eléctricos para navegación, que habitan aguas negras y lagunas alimentándose de invertebrados (Mojica *et al*., 2006, p. 179), presentó el género *Brachyhypopomus*, de cuerpo delgado con aleta anal larga, común en aguas poco profundas (Mojica *et al*., 2006, p. 363), con *B. brevirostris*. La diversidad fue baja en esta estación. En la Microcuenca del Río Metica, la estación METICA_CL_02 registró dos familias. La familia *Pimelodidae* incluyó *P. blochii*, y *Stevardiidae* presentó el género *Knodus*, de cuerpo pequeño, omnívoro, común en ríos pequeños (Mojica *et al*., 2006, p. 209), con *K. alpha*. La diversidad fue baja. En la Microcuenca del Caño Pirigua, las estaciones PIRIGUA_CL_02, OCMY6 y OCMY2 registraron siete familias. La familia *Pimelodidae* incluyó *P. blochii*, *Heptapteridae*, bagres pequeños a medianos con cuerpo delgado y barbillones largos, carnívoros o insectívoros, que habitan arroyos y lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 122), presentó el género *Rhamdia*, de cuerpo robusto, carnívoro, que habita diversos ambientes (Mojica *et al*., 2006, p. 272), con *R. muelleri*. La familia *Loricariidae* incluyó *L. llanero*, *H. niceforoi* y el género *Rineloricaria*, de cuerpo alargado con ventosa bucal, que habita aguas rápidas (Mojica *et al*., 2006, p. 342), con *R. eigenmanni*. La familia *Aspredinidae*, bagres pequeños con cuerpo aplanado y textura rugosa, que habitan fondos arenosos o fangosos alimentándose de pequeños invertebrados (Mojica *et al*., 2006, p. 122), presentó el género *Bunocephalus*, de cuerpo aplanado con cabeza ancha, común en lagunas y arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 272), con *B. aloikae*. La familia *Erythrinidae*, peces carnívoros con cuerpo alargado y mandíbulas fuertes, que habitan lagunas, arroyos y bosques inundados (Mojica *et al*., 2006, p. 53), incluyó el género *Hoplias*, depredadores robustos con dientes afilados, comunes en aguas estancadas (Mojica *et al*., 2006, p. 116), con *H. malabaricus*. La familia *Stevardiidae* presentó el género *Markiana*, de cuerpo comprimido con patrones de coloración distintivos, que habita arroyos (Mojica *et al*., 2006, p. 209), con *M. geayi*, y *Acestrorhamphidae* incluyó *A. bimaculatus*. La diversidad fue mayor en OCMY6.

En la Microcuenca del Caño La Lilbana, la estación OCmn19 registró dos familias. La familia *Pimelodidae* incluyó *P. albofasciatus*, y *Characidae* presentó *T. argenteus*, con alta abundancia de esta última especie. En la Microcuenca del Río Upia, las estaciones UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02 registraron cinco familias. La familia *Loricariidae* incluyó *A. ammophilus* y *H. niceforoi*, *Doradidae* presentó *P. rivasi*, *Pimelodidae* incluyó *P. blochii* y *P. metaense*, y *Stevardiidae* presentó el género *Hemibrycon*, similar a *Creagrutus*, con cuerpo plateado, que habita aguas claras (Mojica *et al*., 2006, p. 209), con *H. metae*, y *C. bolivari*. La familia *Pimelodidae* fue dominante en UPIA_CL_02. En la Microcuenca del Caño Santoya, la estación SANTOYA_CL_02 registró dos familias. La familia *Characidae* incluyó *T. chalceus*, y *Acestrorhamphidae* presentó *C. spilurus* y *A. bimaculatus*. En la Microcuenca del Caño Güio, las estaciones GÜIO_CL_01, GÜIO_CL_02 y OCMY4 registraron seis

familias. La familia *Pimelodidae* incluyó a *P. albofasciatus*, *Heptapteridae* presentó el género *Pimelodella*, de cuerpo delgado, nocturno, común en arroyos selváticos (Mojica *et al*., 2006, p. 272), con *P. metae*. La familia *Cichlidae* incluyó el género *Crenicichla*, de cuerpo alargado, piscívoro, que habita ríos y lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 395), con *C. geayi*, y el género *Andinoacara*, similar a *Aequidens*, con cuerpo comprimido, que habita aguas lentas (Mojica *et al*., 2006, p. 395), con *A. sp*. La familia *Bryconidae*, peces de cuerpo fusiforme, omnívoros o piscívoros, con aletas fuertes, que habitan ríos de corriente rápida (Mojica *et al*., 2006, p. 53), presentó el género *Salminus*, de cuerpo grande, depredador, común en ríos principales (Mojica *et al*., 2006, p. 231), con *S. iquitensis*. La familia *Loricariidae* incluyó el género *Loricariichthys*, de cuerpo aplanado, detritívoro, común en lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 346), con *L. brunneus*, y *Serrasalmidae* presentó *P. cariba*. La diversidad fue mayor en GÜIO_CL_01.

En la Microcuenca del Caño Yurimena, las estaciones YURIMENA_CL_03, OCmn16, OCmn18 y OCMY16 registraron cinco familias. La familia Pimelodidae incluyó *P. blochii*, Doradidae presentó O. sifontesi, Serrasalmidae incluyó *P. brachypomus*, Lebiasinidae presentó *C. eigenmanni,* y Acestrorhamphidae incluyó *M. oligolepis, A. bimaculatus* y *C. taphorni*. La estación OCMY16 (ocupación de cauce mayor) mostró mayor diversidad. En la Microcuenca del Caño El Boral, las estaciones OCMY2 (ocupación e cauce mayor), BORAL_CL_01, BORAL_CL_02, BORAL_CL_03 y OC19 (ocupación de cauce) registraron nueve familias. La familia Characidae incluyó el género *Roeboides*, de cuerpo robusto con dientes fuertes, depredador de escamas y aletas de otros peces, común en lagunas y ríos (Mojica et al., 2006, p. 237), con *R. affinis*, *T. argenteus*. La familia Acestrorhamphidae presentó *A. bimaculatus, C. spilurus* y *P. compressa*, Serrasalmidae incluyó a *S. rhombeus* y *S. irritans*, y Cichlidae presentó el género *Lugubria*, de cuerpo comprimido con patrones de coloración distintivos, común en lagunas (Mojica et al., 2006, p. 395), con *L. lugubris*. La familia Callichthyidae, bagres pequeños con cuerpo acorazado y dos filas de placas óseas, que habitan aguas poco profundas alimentándose de detritos e invertebrados (Mojica et al., 2006, p. 122), incluyó el género *Corydoras*, de cuerpo pequeño con barbillones cortos, común en lagunas y arroyos (Mojica et al., 2006, p. 321), con *C. septentrionalis*.

En la Microcuenca de Piedra Candela, las estaciones PIEDRA_CANDELA_CL_01 y OCMY10 (ocupación de cauce mayor) registraron tres familias. La familia *Acestrorhamphidae* incluyó *A. bimaculatus* y *A. venezuelae*, *Loricariidae* presentó el género *Farlowella*, de cuerpo alargado, filiforme, que habita aguas con vegetación (Mojica *et al*., 2006, p. 342), con *F. mariaelenae*, e *Iguanodectidae*, peces de cuerpo alargado con aletas anales largas, omnívoros, que habitan arroyos selváticos y ríos (Mojica *et al*., 2006, p. 53), incluyó el género *Bryconops*, de cuerpo pequeño, plateado, común en aguas rápidas (Mojica *et al*., 2006, p. 152), con *B. giacopinii*. Finalmente, en la Microcuenca del Río Humea, la estación HUMEA_CL_01A registró dos familias. La familia *Stevardiidae* incluyó a *K. alpha*, y *Acestrorhamphidae* presentó a *A. bimaculatus*.

En el bioma Llanura de Inundación, se muestrearon las Microcuencas Bajo Río Negro, Caño Banderas, Caño Yarico y Caño El Totumal. En la Microcuenca de Bajo Río Negro, las estaciones NEGRO_CL_01 y NEGRO_CL_02 registraron cuatro familias. La familia *Characidae* incluyó el género *Mylossoma*, con *M. duriventre*, y *R. affinis*. La familia *Pimelodidae* presentó a *P. blochii*, *Heptapteridae* incluyó a *R. muelleri*, y *Serrasalmidae* presentó a *P. cariba*. La familia *Pimelodidae*

fue dominante en NEGRO_CL_02. En la Microcuenca del Caño Banderas, la estación OCmn13 registró cinco familias. La familia *Curimatidae* incluyó a *C. oenas* y a *C. immaculata*, *Characidae* presentó a *T. argenteus*, *Acestrorhamphidae* incluyó a *C. spilurus*, *M. lepidura* y *A. bimaculatus*, *Erythrinidae* presentó a *H. malabaricus*, y *Serrasalmidae* incluyó a *S. striolatus*. La diversidad fue moderada en esta estación.

En la Microcuenca del Caño Yarico, las estaciones YARICO_CL_01, YARICO_CL_02, YARICO_CL_03, OC18 y OCMY5 registraron ocho familias. La familia *Acestrorhamphidae* incluyó a *A. integer*, *A. bimaculatus* y *C. spilurus*, *Erythrinidae* presentó *H. malabaricus*, *Loricariidae* incluyó a *L. brunneus*, *Serrasalmidae* presentó a *S. calmoni* y a *P. cariba*, *Characidae* incluyó a *R. dientonito* y a *T. argenteus*, *Prochilodontidae* presentó a *P. mariae*, *Bryconidae* incluyó a *S. iquitensis*, y *Cichlidae* presentó a *A. metae*. La estación YARICO_CL_01 mostró mayor diversidad.

En la Microcuenca del Caño El Totumal, las estaciones TOTUMAL_CL_01, OC12, OC13, OC14, OC15 y OC17 registraron diez familias. La familia *Pimelodidae* incluyó a *P. blochii*, *Heptapteridae* presentó a *P. metae*, *Serrasalmidae* incluyó a *P. cariba*, *Curimatidae* presentó el género *Steindachnerina*, similar a *Cyphocharax*, con cuerpo comprimido, que habita lagunas y ríos (Mojica *et al*., 2006, p. 144), con *S. pupula* y *S. guentheri*. La familia *Loricariidae* incluyó a *L. brunneus* y a el género *Limatulichthys*, similar a *Loricariichthys*, con cuerpo aplanado, que habita lagunas (Mojica *et al*., 2006, p. 346), con *L. griseus*. La familia *Cichlidae* presentó a *A. sp.*, *A. metae*, *A. tetramerus* y el género *Bujurquina*, de cuerpo pequeño, territorial, común en aguas con vegetación (Mojica *et al*., 2006, p. 395), con *B. mariae*. La familia *Erythrinidae* incluyó *H. malabaricus* y el género *Hoplerythrinus*, similar a *Hoplias*, con cuerpo más delgado (Mojica *et al*., 2006, p. 116), con *H. unitaeniatus*. La familia *Characidae* presentó a *A. erythrurus*, *Anostomidae* incluyó a *L. friderici*, y *Stevardiidae* presentó a *M. geayi*. La diversidad fue alta en OC14.

- Diversidad Alfa

El análisis integrado ofrece una visión detallada de la biodiversidad en ecosistemas lóticos de los biomas Altillanura y Llanura de Inundación. Se identificaron 18 familias, 27 géneros, 40 especies/morfoespecies y 211 individuos distribuidos en 43 estaciones de muestreo agrupadas en 17 Microcuencas. Este análisis examina la riqueza taxonómica (número de especies/morfoespecies), la abundancia (número de individuos) y los índices de diversidad (Shannon, Simpson y Pielou) por bioma, Microcuenca y estación, destacando las especies dominantes y las estaciones más relevantes en términos de biodiversidad, con un enfoque específico en las Microcuencas a las que pertenecen las estaciones (**Tabla 3.3.3-463**).

Tabla 3.3.3-463 Índices ecológicos de Abundancia, Riqueza, diversidad de Shannon, Simpson e índice de uniformidad de Pielou de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en la llanura de inundación y la Altillanura dentro del área de influencia del Bloque CPO-5 en época lluviosa.

Bioma	Cuenca	Punto De Muestreo	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
Altillanura	CAÑO BARBASCOS	BARBASCOS_CL_01	3	1	0	1	-
	RÍO CABUYARITO	CABUYARITO_CL_01	2	1	0	1	-
		CABUYARITO_CL_02	7	3	0,956	0,429	0,87
	CAÑO EL PASO	EL_PASO_CL_01	8	6	1,733	0,188	0,967

Bioma	Cuenca	Punto De Muestreo	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
Altillanura	CAÑO EMMA	EMMA_CL_03	6	3	1,242	0,333	1,131
	CAÑO IPAPA	IPAPA_CL_01	4	1	0	1	-
	CAÑO MACAPAY	MACAPAY_CL_01	2	2	0,693	0,5	1
		MACAPAY_CL_02	14	8	1,965	0,184	0,945
	CAÑO MENEGUA	MENEGUA_CL_02	2	2	0,693	0,5	1
	RÍO META	META_CL_01A	11	6	1,642	0,223	0,916
		META_CL_02	3	2	0,637	0,556	0,919
		META_CL_03	3	2	0,637	0,556	0,919
	RÍO METICA	METICA_CL_02	2	2	0,693	0,5	1
	CAÑO NAVAJITAS	NAVAJITAS_CL_01	1	1	0	1	-
Llanura de Inundación	BAJO RÍO NEGRO	NEGRO_CL_01	5	3	0,95	0,44	0,865
		NEGRO_CL_02	8	3	0,736	0,594	0,67
Altillanura	PIEDRA CANDELA	OCMY10	3	3	1,099	0,333	1
	CAÑO LA VICTORIA	OCMY11	6	6	2	0,167	1
	CAÑO EMMA	OCMY14	3	2	1	0,556	1
		OCMY15	2	1	0	1	-
	CAÑO YURIMENA	OCMY16	4	2	0,562	0,625	0,811
	CAÑO EMMA	OCMY17	8	5	1,667	0,219	1,036
	CAÑO EMMA	OCMY18	4	2	1	0,625	0,811
	CAÑO PIRIGUA	OCMY2	1	1	0	1	-
	CAÑO GÜIO	OCMY4	6	4	1,242	0,333	0,896
Llanura de Inundación	CAÑO YARICO	OCMY5	8	6	1,667	0,219	0,93
Altillanura	CAÑO PIRIGUA	OCMY6	3	3	1,099	0,333	1
	Drenajes directos al RÍO META	OCMY7	8	1	0	1	-
	RÍO CABUYARITO	OCmn10	12	7	1,748	0,208	0,898
	CAÑO PIRIGUA	OCmn11	7	7	1,946	0,143	1
Llanura de Inundación	CAÑO BANDERAS	OCmn13	10	8	2,164	0,12	1,041
Altillanura	CAÑO LA VICTORIA	OCmn15	3	2	0,637	0,556	0,919
	CAÑO YURIMENA	OCmn16	4	3	1,04	0,375	0,947
		OCmn18	1	1	0	1	-
	CAÑO LA LILBANA	OCmn19	8	3	1	0,406	0,887
	CAÑO PIRIGUA	OCmn3	1	1	0	1	-
	Drenajes directos al RÍO META	OCmn4	2	1	0	1	-
	PIEDRA CANDELA	PIEDRA_CANDELA_CL_01	2	1	0	1	-
	CAÑO PIRIGUA	PIRIGUA_CL_02	3	2	0,637	0,556	0,919
	CAÑO SANTOYA	SANTOYA_CL_02	5	3	1,055	0,36	0,96
	RÍO UPIA	UPIA_CL_01	6	4	1,242	0,333	0,896
		UPIA_CL_02	8	4	1,074	0,438	0,775
	RÍO YUCAO	YUCAO_CL_01	8	6	1,733	0,188	0,967
	CAÑO YURIMENA	YURIMENA_CL_03	4	2	0,562	0,625	0,811

Bioma	Cuenca	Punto De Muestreo	Abundancia	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
Llanura de Inundación	CAÑO EL BORAL	BORAL_CL_01	8	7	1,906	0,156	0,979
		BORAL_CL_02	8	4	1,213	0,344	0,875
		BORAL_CL_03	3	3	1,099	0,333	1
	CAÑO GÜIO	GÜIO_CL_01	7	5	1,475	0,265	0,916
		GÜIO_CL_02	6	4	1,242	0,333	0,896
	RÍO HUMEA	HUMEA_CL_01A	4	2	0,693	0,5	1
	CAÑO EL BORAL	OC11	4	2	0,562	0,625	0,811
	CAÑO EL TOTUMAL	OC12	8	5	1,494	0,25	0,928
	CAÑO EL BORAL	OC13	8	5	1,386	0,312	0,861
		OC14	8	4	1,386	0,312	1
		OC15	6	6	1,792	0,167	1
		OC17	7	6	1,748	0,184	0,976
	CAÑO YARICO	OC18	4	3	1,04	0,375	0,947
	CAÑO EL BORAL	OC19	7	5	1,55	0,224	0,963
	CAÑO EL TOTUMAL	TOTUMAL_CL_01	5	4	1,332	0,28	0,961
	CAÑO YARICO	YARICO_CL_01	7	4	1,154	0,388	0,832
		YARICO_CL_02	8	6	1,667	0,219	0,93
		YARICO_CL_03	6	3	0,868	0,5	0,79

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

El bioma Altillanura abarca 18 Microcuencas (CAÑO MACAPAY, RÍO CABUYARITO, CAÑO MENEGUA, CAÑO IPAPA, CAÑO EMMA, CAÑO BARBASCOS, CAÑO EL PASO, RÍO META (incluidos los drenajes directos al río Meta, caño NN y caño Santa Marta), CAÑO NAVAJITAS, RÍO METICA, CAÑO LA LILBANA, CAÑO GÜIO, CAÑO PIRIGUA, RÍO UPIA, RÍO YUCAO, CAÑO SANTOYA, CAÑO YURIMENA y PIEDRA CANDELA) con 25 estaciones, registrando 14 familias, 20 géneros, 28 especies/morfoespecies y 103 individuos. La familia Pimelodidae fue la más representativa, presente en ocho estaciones con 26 individuos y siete especies, siendo *Pimelodus blochii* la especie más abundante (28 individuos,). La familia Loricariidae apareció en siete estaciones con cinco especies (*Sturisoma tenuirostre, Aphanotorulus emarginatus, Aphanotorulus ammophilus, Lamontichthys llanero, Hypostomus niceforoi*), sumando 13 individuos. A continuación, se detalla el análisis por Microcuenca, destacando las estaciones más relevantes. La Microcuenca del CAÑO MACAPAY incluye dos estaciones (MACAPAY_CL_01 y MACAPAY_CL_02) y mostró una alta diversidad taxonómica. La estación MACAPAY_CL_02 registró ocho especies y 14 individuos (Shannon: 1.965, Pielou: 0.945, Simpson: 0.184), con *Pimelodus blochii* (cinco individuos) y *Aphanotorulus emargina*tus (dos individuos) como las especies más abundantes, junto a *Piaractus brachypomus*, Serrasalmus rhombeus, *Serrasalmus irritans*, *Sturisoma tenuirostre*, *Lamontichthys llanero* y *Oxydoras sifontesi* (un individuo cada una). La estación MACAPAY_CL_01 presentó dos especies (*Sturisoma tenuirostre* y *Hypostomus niceforoi*, dos individuos, Shannon: 0.693, Pielou: 1.0), reflejando alta equidad en la distribución de individuos. En total, la Microcuenca registró nueve especies, siendo *Pimelodus blochii* la más abundante, lo que sugiere un hábitat favorable para esta especie en ambientes lóticos.

La Microcuenca del RÍO CABUYARITO con tres estaciones (CABUYARITO_CL_01, CABUYARITO_CL_02, OCMn10), totalizó nueve especies y 21 individuos. La estación OCMn10 fue

la más diversa, con siete especies y 12 individuos (Shannon: 1.748, Pielou: 0.898), incluyendo *Pygocentrus cariba* (cuatro individuos), *Astyanax bimaculatus* (tres individuos), *Sturisoma tenuirostre*, *Aequidens metae*, *Prochilodus mariae*, *Aphyocharax erythrurus* y *Ctenobrycon spilurus* (un individuo cada una). CABUYARITO_CL_02 registró tres especies (*Pimelodus blochii* con cuatro individuos, *Aphanotorulus ammophilus* con dos, *Potamorhina altamazonica* con uno, Shannon: 0.956, Pielou: 0.87), mientras que CABUYARITO_CL_01 tuvo solo *Pimelodus blochii* (dos individuos, Shannon: 0), indicando baja diversidad debido a la dominancia de una especie. La abundancia de *Pimelodus blochii* (seis individuos en la Microcuenca) refuerza su importancia ecológica en esta Microcuenca.

La Microcuenca del RÍO META cuenta con cinco estaciones (META_CL_01A, META_CL_02, META_CL_03 y OCMY7 y OCmn4 como ocupaciones de cauce que se encuentran en los drenajes directos al río Meta denominados caño NN y caño Santa Marta respectivamente), registró diez especies y 21 individuos. La estación META_CL_01A destacó con seis especies (Pimelodus blochii con cuatro individuos, *Aphanotorulus ammophilus* con dos, *Lamontichthys llanero, Sturisoma tenuirostre, Oxydoras niger, Serrasalmus irritans* con dos individuos, Shannon: 1.642, Pielou: 0.916), mostrando una comunidad diversa y equilibrada. Las estaciones META_CL_02 y META_CL_03 tuvieron dos especies cada una (*Pimelodus blochii y Pterodoras rivasi* en ambas, Shannon: 0.637, Pielou: 0.919), reflejando menor diversidad debido a la baja riqueza. La estación OCMY7 fue dominada por *Tetragonopterus argenteus* (ocho individuos, Shannon: 0). La presencia de Pimelodus blochii y la familia Loricariidae sugiere condiciones adecuadas para especies bentónicas en esta Microcuenca. Para la Microcuenca del CAÑO IPAPA con una estación (IPAPA_CL_01), presentó una especie y 4 individuos (*Astyanax bimaculatus*, Shannon: 0). La baja diversidad en esta estación se debe a la dominancia de una sola especie, lo que indica condiciones homogéneas o limitadas en esta Microcuenca.

En la Microcuenca del CAÑO EMMA con cinco estaciones (EMMA_CL_03, OCMY14, OCMY15, OCMY17 y OCMY18, las últimas cuatro pertenecientes a ocupaciones de cauce mayores), se registraron cinco especies y 9 individuos. EMMA_CL_03 tuvo cuatro especies (Moenkhausia chrysargyrea con tres individuos, *Tetragonopterus chalceus* y *Leporinus* gr. *friderici* con un individuo cada una, Shannon: 1.242, Pielou: 1.131), mostrando alta equidad. OCMY17 registró cinco especies (*Mesonauta egregius* con tres individuos, *Copella eigenmanni*, *Poptella compressa*, *Moenkhausia collettii, Moenkhausia oligolepis*, Shannon: 1.667, Pielou: 1.036). OCMY14 tuvo dos especies (*Aequidens metae* con dos individuos, *Hyphessobrycon metae* con uno, Shannon: 0.637, Pielou: 0.919), OCMY15 tuvo una especie (*Creagrutus bolivari,* dos individuos, Shannon: 0) y OCMY18 tuvo dos especies (*Creagrutus taphorni* con 1 individuo y *Astyanax bimaculatus* con 3 individuos, Shannon: 1).. Para la Microcuenca del CAÑO LA VICTORIA con dos estaciones (OCMY11, OCMn15), se presentaron ocho especies y nueve individuos. OCMY11 destacó con seis especies (*Hypostomus niceforoi*, *Bunocephalus aloikae*, *Hoplias malabaricus*, *Markiana geayi*, *Astyanax bimaculatus*, *Rineloricaria eigenmanni*, Shannon: 1.792, Pielou: 1.0), mostrando alta riqueza y equidad. OCMn15 tuvo dos especies (*Satanoperca mapiritensis*, *Bryconops giacopinii*, Shannon: 0.637, Pielou: 0.919). La diversidad de OCMY11 refleja un hábitat heterogéneo en esta Microcuenca. La Microcuenca del CAÑO YURIMENA con tres estaciones (OCMY16, OCMn18, YURIMENA_CL_03), registró cinco especies y nueve individuos. OCMY16 tuvo dos especies

(*Astyanax bimaculatus* con tres individuos, *Creagrutus taphorni* con uno, Shannon: 0.562, Pielou: 0.811), mientras que YURIMENA_CL_03 registró dos especies (*Pimelodus blochii* con tres individuos, *Oxydoras sifontesi* con uno, Shannon: 0.562, Pielou: 0.811). OCMn18 tuvo una especie (*Piaractus brachypomus*, Shannon: 0). La baja diversidad en esta Microcuenca sugiere condiciones limitadas.

En la Microcuenca del RÍO UPIA con dos estaciones (UPIA_CL_01, UPIA_CL_02), se registraron siete especies y 14 individuos. UPIA_CL_02 tuvo cuatro especies (*Pimelodus blochii* con cinco individuos, *Hypostomus niceforoi*, *Pterodoras rivasi*, *Pseudoplatystoma metaense*, Shannon: 1.074, Pielou: 0.775), mientras que UPIA_CL_01 tuvo cuatro especies (*Aphanotorulus ammophilus* con tres individuos, *Pterodoras rivasi*, *Hemibrycon metae*, *Creagrutus bolivari*, Shannon: 1.242, Pielou: 0.896). La abundancia de *Pimelodus blochii* indica su adaptabilidad a esta Microcuenca. Para la Microcuenca del CAÑO EL PASO con una estación (EL_PASO_CL_01), se registraron seis especies y ocho individuos (Shannon: 1.733, Pielou: 0.967), incluyendo *Aequidens metae* (dos individuos), *Serrasalmus striolatus* (dos individuos), *Mesonauta egregius*, *Tetragonopterus argenteus*, *Moenkhausia oligolepis* y *Astyanax bimaculatus* (un individuo cada una). La alta diversidad refleja un hábitat favorable para múltiples familias. En las Microcuencas de los CAÑO BARBASCOS, CAÑO NAVAJITAS, RÍO METICA, CAÑO LA LILBANA, CAÑO GÜIO, CAÑO PIRIGUA, CAÑO SANTOYA, PIEDRA CANDELA se monitorearon una o dos estaciones cada una, con menor riqueza. En la Microcuenca del CAÑO BARBASCOS (BARBASCOS_CL_01) se registró una especie (*Tetragonopterus chalceus*, tres individuos, Shannon: 0), al igual que en la Microcuenca del CAÑO NAVAJITAS (NAVAJITAS_CL_01, *Brachyhypopomus brevirostris*, Shannon: 0). En la Microcuenca del CAÑO GÜIO (OCMY4) se tuvieron cuatro especies (*Pimelodus albofasciatus* con tres individuos, *Pimelodella metae*, Crenicichla geayi, *Salminus iquitensis*, Shannon: 1.242, Pielou: 0.896). En la Microcuenca del CAÑO SANTOYA (SANTOYA_CL_02) se obtuvieron tres especies (*Tetragonopterus chalceus* con dos individuos, *Ctenobrycon spilurus* con dos, *Astyanax bimaculatus* con uno, Shannon: 1.055, Pielou: 0.96). En la Microcuenca de PIEDRA CANDELA (PIEDRA_CANDELA_CL_01, OCMY10) se observó baja diversidad, con una y tres especies respectivamente. La baja diversidad en varias de estas Microcuencas sugiere condiciones más restrictivas.

Para el bioma Llanura de Inundación, se incluyen cinco Microcuencas (CAÑO EL BORAL, CAÑO YARICO, CAÑO BANDERAS, BAJO RÍO NEGRO, CAÑO EL TOTUMAL, CAÑO GÜIO, RÍO HUMEA) con 18 estaciones, registrando 12 familias, 20 géneros, 24 especies/morfoespecies y 108 individuos. La familia Acestrorhamphidae fue la más abundante, presente en nueve estaciones con siete especies y 34 individuos, destacando *Astyanax bimaculatus* (17 individuos) y *Ctenobrycon spilurus* (14 individuos). La familia Pimelodidae apareció en seis estaciones con cuatro especies (*Pimelodus blochii, Pimelodella metae, Rhamdia muelleri, Rhamdia laukidi*, 18 individuos). La Microcuenca del CAÑO EL BORAL con cinco estaciones (BORAL_CL_01, BORAL_CL_02, BORAL_CL_03, OC11, OC14, OC15, OC17, OC19), fue la más rica, con 12 especies y 36 individuos. BORAL_CL_01 destacó con siete especies y ocho individuos (Shannon: 1.906, Pielou: 0.979), incluyendo *Ctenobrycon spilurus*, *Serrasalmus rhombeus*, *Thoracocharax stellatus*, *Tetragonopterus argenteus, Astyanax bimaculatus*, *Cyphocharax oenas* y *Lugubria lugubris* (1–2 individuos). OC14 registró cuatro especies y ocho individuos (Shannon: 1.386, Pielou: 1.0), con

Cyphocharax oenas (cuatro individuos) como la más abundante. OC15 tuvo seis especies y seis individuos (Shannon: 1.792, Pielou: 1.0), mostrando alta equidad. Las estaciones OC17 y OC19 también mostraron alta diversidad (Shannon: 1.748 y 1.55, Pielou: 0.976 y 0.963, respectivamente).

La Microcuenca del CAÑO YARICO con cuatro estaciones (YARICO_CL_01, YARICO_CL_02, YARICO_CL_03, OCMY5), registró nueve especies and 29 individuos. La estación YARICO_CL_01 tuvo cuatro especies (*Ctenobrycon spilurus* con cuatro individuos, *Loricariichthys brunneus*, *Serrasalmus calmoni*, *Roeboides dientonito*, Shannon: 1.154, Pielou: 0.832), mientras que el punto de muestreo YARICO_CL_02 registró seis especies (*Tetragonopterus argenteus*, *Astyanax bimaculatus*, *Pimelodus blochii*, *Prochilodus mariae*, *Salminus iquitensis*, *Ctenobrycon spilurus* con tres individuos, Shannon: 1.667, Pielou: 0.93). la estación YARICO_CL_03 destacó con *Astyanax integer* (cuatro individuos, Shannon: 0.868). La Microcuenca del CAÑO BANDERAS con una estación (OCMn13), registró ocho especies y 10 individuos (Shannon: 2.164, Pielou: 1.041), incluyendo *Cyphocharax oenas*, *Tetragonopterus argenteus*, *Cyphocharax immaculata*, *Ctenobrycon spilurus*, *Hoplias malabaricus*, *Serrasalmus striolatus*, *Moenkhausia lepidura* y *Astyanax bimaculatus*. La alta diversidad refleja un hábitat heterogéneo.

La Microcuenca del BAJO RÍO NEGRO con dos estaciones (NEGRO_CL_01, NEGRO_CL_02), presentó cuatro especies y 13 individuos. La estación NEGRO_CL_02 tuvo tres especies (*Pimelodus blochii* con seis individuos, *Pygocentrus cariba*, *Roeboides affinis*, Shannon: 0.736, Pielou: 0.67), mostrando dominancia de *Pimelodus blochii*. El punto de muestreo NEGRO_CL_01 tuvo tres especies (*Mylossoma duriventre* con tres individuos, *Pimelodus blochii*, *Rhamdia muelleri*, Shannon: 0.95, Pielou: 0.865).

Finalmente, las Microcuencas del CAÑO EL TOTUMAL, CAÑO GÜIO, RÍO HUMEA tuvieron menor riqueza. La Microcuenca del CAÑO EL TOTUMAL (OC12, TOTUMAL_CL_01) registró seis especies, con OC12 destacando (cinco especies, Shannon: 1.494, Pielou: 0.928). la Microcuenca del CAÑO GÜIO (GÜIO_CL_01, GÜIO_CL_02) tuvo seis especies, con GÜIO_CL_01 mostrando cinco especies (Shannon: 1.475, Pielou: 0.916). la Microcuenca del RÍO HUMEA (HUMEA_CL_01A) tuvo dos especies (*Knodus alpha*, *Astyanax bimaculatus*, Shannon: 0.693, Pielou: 1.0).

- ✓ *Hábitos alimenticios*

Los hábitos tróficos de las especies de la Microcuenca del río Meta reflejan la diversidad ecológica de los peces neotropicales. Muchas especies, como *Astyanax bimaculatus*, *Tetragonopterus argenteus* y *Moenkhausia spp.*, son omnívoras, consumiendo una dieta variada de insectos, crustáceos, algas y detritos, lo que las hace adaptables a diferentes condiciones ambientales. Especies como *Piaractus brachypomus* y *Mylossoma duriventre* son principalmente herbívoras, alimentándose de frutas, semillas y vegetación acuática, lo que las convierte en candidatas ideales para acuicultura sostenible debido a su menor dependencia de proteínas animales (FAO, 2021). Por otro lado, depredadores como *Hoplias malabaricus, Pygocentrus cariba* y *Serrasalmus spp.* son carnívoros, consumiendo peces, crustáceos e insectos, lo que los hace atractivos para pesca deportiva, aunque su cultivo es más complejo debido a su dieta proteica. Bagres como *Pimelodus blochii* y *Pseudoplatystoma metaense* varían entre carnívoros y omnívoros, alimentándose de

peces pequeños y materia orgánica. Finalmente, especies como *Prochilodus mariae* y *Hypostomus plecostomoides* son detritívoras o herbívoras, consumiendo sedimentos orgánicos y algas, lo que las hace importantes para el equilibrio ecológico y la acuicultura de bajo impacto (Donascimiento *et al.*, 2016; Humboldt, 2015). Finalmente, se definieron los gremios tróficos de las especies registradas en los monitoreos de acuerdo a sus hábitos alimenticios, encontrando 16 especies con hábitos alimenticios carnívoros, 8 detritívoras, 14 herbívoras y 54 omnívoras (**Tabla 3.3.3-464**)

Tabla 3.3.3-464 Hábito alimenticio de las especies de la comunidad de ictiofauna dentro del área de influencia de Bloque CPO-5

Especie/Morfoespecie	Hábito Trófico
Aequidens metae	Omnívoro
Aequidens tetramerus	Omnívoro
Aphanotorulus ammophilus	Herbívoro
Aphanotorulus emarginatus	Herbívoro
Aphyocharax erythrurus	Omnívoro
Andinoacara sp.	Omnívoro
Astyanax bimaculatus	Omnívoro
Astyanax integer	Omnívoro
Astyanax venezuelae	Omnívoro
Astyanax siapae	Omnívoro
Astyanax sp.	Omnívoro
Bujurquina mariae	Omnívoro
Brachyhypopomus brevirostris	Carnívoro
Bryconops giacopinii	Omnívoro
Bunocephalus aloikae	Omnívoro
Cetopsis coecutiens	Carnívoro
Chaetobranchus flavecens	Omnívoro
Chilodus punctatus	Herbívoro
Copella eigenmanni	Omnívoro
Corydoras septentrionalis	Omnívoro
Ctenobrycon spilurus	Omnívoro
Curimatella immaculata	Detritívoro
Cyphocharax immaculata	Detritívoro
Cyphocharax oenas	Detritívoro
Farlowella mariaelenae	Herbívoro
Gephyrocharax valencia	Omnívoro
Gymnocorymbus bondi	Omnívoro
Gymnocorymbus thayeri	Omnívoro
Hemibrycon metae	Omnívoro
Hemigrammus barrigonae	Omnívoro
Hemigrammus schmardae	Omnívoro
Hoplias malabaricus	Carnívoro
Hoplerythrinus unitaeniatus	Carnívoro
Hoplosternum littorale	Omnívoro
Hyphessobrycon metae	Omnívoro
Hyphessobrycon otrynus	Omnívoro
Hypostomus niceforoi	Herbívoro

Especie/Morfoespecie	Hábito Trófico
Hypostomus plecostomoides	Herbívoro
Jupiaba polylepis	Omnívoro
Knodus alpha	Omnívoro
Knodus sp.	Omnívoro
Lamontichthys llanero	Herbívoro
Lasiancistrus tentaculatus	Herbívoro
Leporinus friderici	Omnívoro
Leporinus gr. friderici	Omnívoro
Leporinus ortomaculatus	Omnívoro
Limatulichthys griseus	Omnívoro
Loricariichthys brunneus	Herbívoro
Lugubria lugubris	Carnívoro
Markiana geayi	Omnívoro
Mesonauta egregius	Omnívoro
Moenkhausia chrysargyrea	Omnívoro
Moenkhausia collettii	Omnívoro
Moenkhausia lepidura	Omnívoro
Moenkhausia oligolepis	Omnívoro
Mylossoma duriventre	Herbívoro
Odontostilbe splendida	Omnívoro
Oxydoras niger	Omnívoro
Oxydoras sifontesi	Omnívoro
Piaractus brachypomus	Herbívoro
Pimelodella metae	Omnívoro
Pimelodus albofasciatus	Omnívoro
Pimelodus blochii	Omnívoro
Poptella compressa	Omnívoro
Potamorhina altamazonica	Detritívoro
Prochilodus mariae	Detritívoro
Pseudoplatystoma metaense	Carnívoro
Pterodoras rivasi	Omnívoro
Pterygoplichthys multiradiatus	Herbívoro
Pygocentrus cariba	Carnívoro
Rhamdia laukidi	Carnívoro
Rhamdia muelleri	Carnívoro
Rineloricaria eigenmanni	Herbívoro
Roeboides affinis	Carnívoro
Roeboides dientonito	Carnívoro
Salminus iquitensis	Carnívoro
Satanoperca mapiritensis	Omnívoro
Serrasalmus calmoni	Carnívoro
Serrasalmus irritans	Carnívoro
Serrasalmus rhombeus	Carnívoro
Serrasalmus striolatus	Carnívoro
Steindachnerina argentea	Detritívoro
Steindachnerina guentheri	Detritívoro
Steindachnerina pupula	Detritívoro

Especie/Morfoespecie	Hábito Trófico
Sturisoma tenuirostre	Herbívoro
Tetragonopterus argenteus	Omnívoro
Tetragonopterus chalceus	Omnívoro
Thoracocharax stellatus	Omnívoro
Triportheus orinocensis	Omnívoro
Triportheus venezuelensis	Omnívoro
Creagrutus bolivari	Omnívoro
Platydoras armatulus	Omnívoro

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Especies con valor ecológico, endémico o en amenaza y vedas*

Se realizó la revisión de los Apéndices I, II y III de la Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (CITES) vigente desde el 7 de febrero de 2025, encontrándose que ninguna de las especies reportadas en el estudio se encuentra categorizada en los apéndices de la Convención CITES. También se realizó la revisión de la lista roja de especies de la UICN (Versión 2025-2), donde, de las especies registradas durante los monitoreos, *Pseudoplatystoma metaense* esta categorizada como En (En peligro), *Hypostomus niceforoi* categorizada como DD (Deficiente de datos), *Andinoacara* sp., *Astyanax* sp., *Chaetobranchus flavecens, Cyphocharax immaculata, Leporinus gr. Friderici, Lugubria lugubris* y *Salminus iquitensis*, están categorizadas como No listadas, y el resto de especies reportadas se encuentran en la categoría de LC (Preocupación menor). Adicionalmente, se hace una revisión del listado de especies amenazadas para el territorio colombiano presentada en el Res. 0126 del 6 de febrero de 2024 (del Ministerio de Medio Ambiente) y no se encontró ninguna de las especies registradas en el estudio catalogadas en algún grado de amenaza.

Se consultó La Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), que, en Colombia, implementa vedas para garantizar la sostenibilidad de los recursos pesqueros, medida que busca proteger el periodo de reproducción y reclutamiento del recurso, garantizando su proceso reproductivo y disminuyendo la extracción de individuos jóvenes. De acuerdo con la, lista vigente de veda para el país según Resolución 00001924 de 3 noviembre de 2015, se tiene que las especies *Piaractus brachypomus, Prochilodus mariae, Serrasalmus irritans* y *S. rhombeus,* tienen veda todo el año en todo el territorio nacional, más exactamente la extracción y comercialización de alevinos y juveniles de las especies que provengan del medio natural, además de la captura del medio natural, transporte y comercialización de ejemplares vivos o huevos, por el peligro de distribuirlos en aguas diferentes a las de su origen (AUNAP, 2021). Para conocer las especies de peces endémicas o casi endémicas se consultaron bases de datos como Mojica, J. I., et al. (2012)[66], Lasso, C. A., et al. (Eds.). (2020)[67], Rodríguez-Olarte, D., et al. (2011)[68] y Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2023)[69] (**Tabla 3.3.3-465**).

[66] Mojica, J. I., et al. (2012). Peces dulceacuícolas de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Doi: 10.13140/RG.2.2.23369.08806
[67] Lasso, C. A., et al. (Eds.). (2020). Peces de la cuenca del Orinoco. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Doi: 10.21068/c2020
[68] Rodríguez-Olarte, D., et al. (2011). Peces del bajo río Orinoco, Venezuela: diversidad y conservación. Revista de Biología Tropical, 59(4), 1671-1688. Doi: 10.15517/rbt.v59i4.3417
[69] Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2023). FishBase. www.fishbase.org

Tabla 3.3.3-465 Categorías, grado de amenaza y vedas de las especies de la comunidad Ictica dentro del AI del Bloque CPO-5.

ESPECIE/MORFOESPECIE	UICN 2025-2	CITES	MINAMBIENTE	Vedas	ENDEMISMO
Aequidens metae	LC	No categorizado	Sin Amenaza	Sin veda específica	E
Aequidens tetramerus					
Aphanotorulus ammophilus					
Aphanotorulus emarginatus					
Aphyocharax erythrurus					
Andinoacara sp.	No listada				
Astyanax bimaculatus	LC				
Astyanax integer					
Astyanax venezuelae					
Astyanax siapae					E
Astyanax sp.	No listada				
Bujurquina mariae	LC				
Brachyhypopomus brevirostris					CE
Bryconops giacopinii					
Bunocephalus aloikae					E
Cetopsis coecutiens					
Chaetobranchus flavecens	No listada				
Chilodus punctatus	LC				
Copella eigenmanni					
Corydoras septentrionalis					E
Ctenobrycon spilurus					
Curimatella immaculata					
Cyphocharax immaculata	No listada				
Cyphocharax oenas	LC				
Farlowella mariaelenae					E
Gephyrocharax valencia					E
Gymnocorymbus bondi					
Gymnocorymbus thayeri					
Hemibrycon metae					E
Hemigrammus barrigonae					
Hemigrammus schmardae					
Hoplias malabaricus					
Hoplerythrinus unitaeniatus					
Hoplosternum littorale					
Hyphessobrycon metae					E
Hyphessobrycon otrynus					
Hypostomus niceforoi	DD				CE
Hypostomus plecostomoides	LC				
Jupiaba polylepis					
Knodus alpha					
Knodus sp.	No listada				
Lamontichthys llanero	LC				E
Lasiancistrus tentaculatus					
Leporinus friderici					
Leporinus gr. friderici	No listada				
Leporinus ortomaculatus	LC				
Limatulichthys griseus					
Loricariichthys brunneus					

ESPECIE/MORFOESPECIE	UICN 2025-2	CITES	MINAMBIENTE	Vedas	ENDEMISMO
Lugubria lugubris	No listada	No categorizado	Sin Amenaza		
Markiana geayi	LC				
Mesonauta egregius					
Moenkhausia chrysargyrea					
Moenkhausia collettii					
Moenkhausia lepidura					
Moenkhausia oligolepis					
Mylossoma duriventre					
Odontostilbe splendida					CE
Oxydoras niger					
Oxydoras sifontesi					E
Piaractus brachypomus				Todo el año	
Pimelodella metae				Sin veda específica	E
Pimelodus albofasciatus					
Pimelodus blochii					
Poptella compressa					
Potamorhina altamazonica					
Prochilodus mariae				Todo el año	
Pseudoplatystoma metaense	EN			Sin veda específica	CE
Pterodoras rivasi	LC				E
Pterygoplichthys multiradiatus					
Pygocentrus cariba					
Rhamdia laukidi					E
Rhamdia muelleri					
Rineloricaria eigenmanni					
Roeboides affinis					
Roeboides dientonito					
Salminus iquitensis	No listada				E
Satanoperca mapiritensis	LC				E
Serrasalmus calmoni					
Serrasalmus irritans				Todo el año	
Serrasalmus rhombeus				Todo el año	
Serrasalmus striolatus				Sin veda específica	
Steindachnerina argentea					
Steindachnerina guentheri					
Steindachnerina pupula					
Sturisoma tenuirostre					
Tetragonopterus argenteus					
Tetragonopterus chalceus					
Thoracocharax stellatus					
Triportheus orinocensis					
Triportheus venezuelensis					
Creagrutus bolivari					E
Platydoras armatulus					

E. Endémico, CE: Casi Endémico
Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Uso y aprovechamiento de las especies de ictiofauna*

Con base en la información obtenida en las encuestas no estructuradas realizadas para los monitoreos (**Anexo 3.3-6c_Encuestas_Pesqueras**) e información secundaria, se definió el uso de las especies registradas en los monitoreos, encontrando 6 aptas para acuicultura, 41 para pesca comercial, 9 para pesca deportiva, 54 ornamentales (actualmente) y 59 con potencial ornamental, 41 para consumo, y 3 introducidas (**Tabla 3.3.3-466**).

Tabla 3.3.3-466 Usos de las especies de la comunidad Ictica dentro del área de influencia del Bloque CPO-5.

ESPECIE/MORFOESPECIE	Acuicultura	Pesca Comercial	Pesca Deportiva	Ornamental /Acuariofilia	Consumo	Potencial Ornamental	Introducida
Aequidens metae	N	N	N	S	N	S	N
Aequidens tetramerus	N	N	N	S	N	S	N
Aphanotorulus ammophilus	N	N	N	N	N	S	N
Aphanotorulus emarginatus	N	N	N	N	N	S	N
Aphyocharax erythrurus	N	N	N	S	N	S	N
Andinoacara sp.	N	N	N	S	N	S	N
Astyanax bimaculatus	N	S	N	S	S	S	N
Astyanax integer	N	S	N	S	S	S	N
Astyanax venezuelae	N	S	N	S	S	S	N
Astyanax siapae	N	S	N	S	S	S	N
Astyanax sp.	N	S	N	S	S	S	N
Bujurquina mariae	N	N	N	S	N	S	N
Brachyhypopomus brevirostris	N	N	N	N	N	S	N
Bryconops giacopinii	N	N	N	S	N	S	N
Bunocephalus aloikae	N	N	N	S	N	S	N
Cetopsis coecutiens	N	N	N	N	N	N	N
Chaetobranchus flavecens	N	N	N	N	N	N	N
Chilodus punctatus	N	N	N	S	N	S	N
Copella eigenmanni	N	N	N	S	N	S	N
Corydoras septentrionalis	N	N	N	S	N	S	N
Ctenobrycon spilurus	N	N	N	S	N	S	N
Curimatella immaculata	N	S	N	N	S	N	N
Cyphocharax immaculata	N	S	N	N	S	N	N
Cyphocharax oenas	N	S	N	N	S	N	N
Farlowella mariaelenae	N	N	N	S	N	S	N
Gephyrocharax valencia	N	N	N	S	N	S	N
Gymnocorymbus bondi	N	N	N	S	N	S	N
Gymnocorymbus thayeri	N	N	N	S	N	S	N
Hemibrycon metae	N	N	N	S	N	S	N
Hemigrammus barrigonae	N	N	N	S	N	S	N
Hemigrammus schmardae	N	N	N	S	N	S	N
Hoplias malabaricus	N	S	S	N	S	S	N
Hoplerythrinus unitaeniatus	N	S	S	N	S	S	N
Hoplosternum littorale	N	S	N	N	S	N	N
Hyphessobrycon metae	N	N	N	S	N	S	N

ESPECIE/MORFOESPECIE	Acuicultura	Pesca Comercial	Pesca Deportiva	Ornamental /Acuariofilia	Consumo	Potencial Ornamental	Introducida
Hyphessobrycon otrynus	N	N	N	S	N	S	N
Hypostomus niceforoi	N	N	N	S	N	S	S
Hypostomus plecostomoides	N	N	N	S	N	S	S
Jupiaba polylepis	N	N	N	S	N	S	N
Knodus alpha	N	N	N	S	N	S	N
Knodus sp.	N	N	N	S	N	S	N
Lamontichthys llanero	N	N	N	S	N	S	N
Lasiancistrus tentaculatus	N	N	N	S	N	S	N
Leporinus friderici	S	S	N	N	S	N	N
Leporinus gr. friderici	S	S	N	N	S	N	N
Leporinus ortomaculatus	S	S	N	N	S	N	N
Limatulichthys griseus	N	N	N	N	N	N	N
Loricariichthys brunneus	N	N	N	S	N	S	N
Lugubria lugubris	N	N	N	N	N	N	N
Markiana geayi	N	S	N	N	S	N	N
Mesonauta egregius	N	N	N	S	N	S	N
Moenkhausia chrysargyrea	N	N	N	S	N	S	N
Moenkhausia collettii	N	N	N	S	N	S	N
Moenkhausia lepidura	N	N	N	S	N	S	N
Moenkhausia oligolepis	N	N	N	S	N	S	N
Mylossoma duriventre	S	S	N	N	S	N	N
Odontostilbe splendida	N	N	N	S	N	S	N
Oxydoras niger	N	S	N	N	S	N	N
Oxydoras sifontesi	N	S	N	N	S	N	N
Piaractus brachypomus	S	S	N	N	S	N	N
Pimelodella metae	N	S	N	N	S	N	N
Pimelodus albofasciatus	N	S	N	N	S	N	N
Pimelodus blochii	N	S	N	N	S	N	N
Poptella compressa	N	N	N	S	N	S	N
Potamorhina altamazonica	N	S	N	N	S	N	N
Prochilodus mariae	S	S	N	N	S	N	N
Pseudoplatystoma metaense	N	S	S	N	S	N	N
Pterodoras rivasi	N	S	N	N	S	N	N
Pterygoplichthys multiradiatus	N	N	N	S	N	S	S
Pygocentrus cariba	N	S	S	S	S	S	N
Rhamdia laukidi	N	S	N	N	S	N	N
Rhamdia muelleri	N	S	N	N	S	N	N
Rineloricaria eigenmanni	N	N	N	S	N	S	N
Roeboides affinis	N	N	N	N	N	N	N
Roeboides dientonito	N	N	N	N	N	N	N
Salminus iquitensis	N	S	S	N	S	N	N
Satanoperca mapiritensis	N	N	N	S	N	S	N
Serrasalmus calmoni	N	S	S	S	S	S	N
Serrasalmus irritans	N	S	S	S	S	S	N
Serrasalmus rhombeus	N	S	S	S	S	S	N
Serrasalmus striolatus	N	S	S	S	S	S	N

ESPECIE/MORFOESPECIE	Acuicultura	Pesca Comercial	Pesca Deportiva	Ornamental /Acuariofilia	Consumo	Potencial Ornamental	Introducida
Steindachnerina argentea	N	S	N	N	S	N	N
Steindachnerina guentheri	N	S	N	N	S	N	N
Steindachnerina pupula	N	S	N	N	S	N	N
Sturisoma tenuirostre	N	N	N	S	N	S	N
Tetragonopterus argenteus	N	S	N	S	S	S	N
Tetragonopterus chalceus	N	S	N	S	S	S	N
Thoracocharax stellatus	N	N	N	S	N	S	N
Triportheus orinocensis	N	S	N	N	S	N	N
Triportheus venezuelensis	N	S	N	N	S	N	N
Creagrutus bolivari	N	N	N	S	N	S	N
Platydoras armatulus	N	N	N	S	N	S	N

N (NO), S (SI)
Fuente: GessiG S.A.S., 2025

3.3.3.2.30 Diversidad Beta

- *Fitoplancton*

  - ✓ *Época seca*

El análisis de Bray-Curtis, se destacan dos pares de sitios que presentan una alta similitud en la composición de sus comunidades fitoplanctónicas. El primero, correspondiente al CAÑO EL TOTUMAL y el RÍO HUMEA, obtuvo un valor de 0.6687 (66.87%) (**Figura 3.3.3-190**), siendo el más alto registrado en el estudio. Este resultado sugiere que ambos cuerpos de agua comparten condiciones ecológicas similares o mantienen una conectividad biológica significativa que favorece la presencia de especies comunes. El segundo par, conformado por el CAÑO PIRIGUA y el RÍO HUMEA, presenta una similitud de 0.6292 (62.92%). Aunque ligeramente inferior, este valor también supera el umbral de 0.6, lo cual indica afinidades ecológicas relevantes entre estos sistemas acuáticos, sin embargo, el CAÑO PIRIGUA se agrupa con el CAÑO TOTUMAL Y EL RÍO HUMEA un porcentaje de similitud menor al umbral del 60%.

Al revisar los datos de presencia y abundancia de especies incluidos en el ensamble ecológico, se identifican algunos organismos que podrían explicar las similitudes observadas. La especie *Trachelomonas* aparece como altamente abundante tanto en el RÍO HUMEA (0.994 Ind/mL) como en el CAÑO EL TOTUMAL (0.566), siendo probablemente uno de los principales vectores de semejanza biológica. *Pinnularia* también se encuentra en ambos sitios, aunque en proporciones más bajas RÍO HUMEA (0.045 Ind/mL) y en el CAÑO EL TOTUMAL (0.014 Ind/mL). Si bien *Aulacoseira* se reporta únicamente en el RÍO HUMEA, la presencia compartida de otros géneros como *Phacus* y *Strombomonas* sugiere patrones de coexistencia que refuerzan la similitud.

Es particularmente interesante observar que el RÍO HUMEA se conecta ecológicamente con otro ambiente distinto el caño El Totumal. Esta afinidad sugiere que podría desempeñar el papel de "punto de conexión ecológica" dentro del paisaje hídrico. Tal condición podría estar relacionada

con la dinámica hidrológica de la zona, el transporte pasivo de organismos o incluso con similitudes en las condiciones fisicoquímicas que propician una composición biológica convergente.

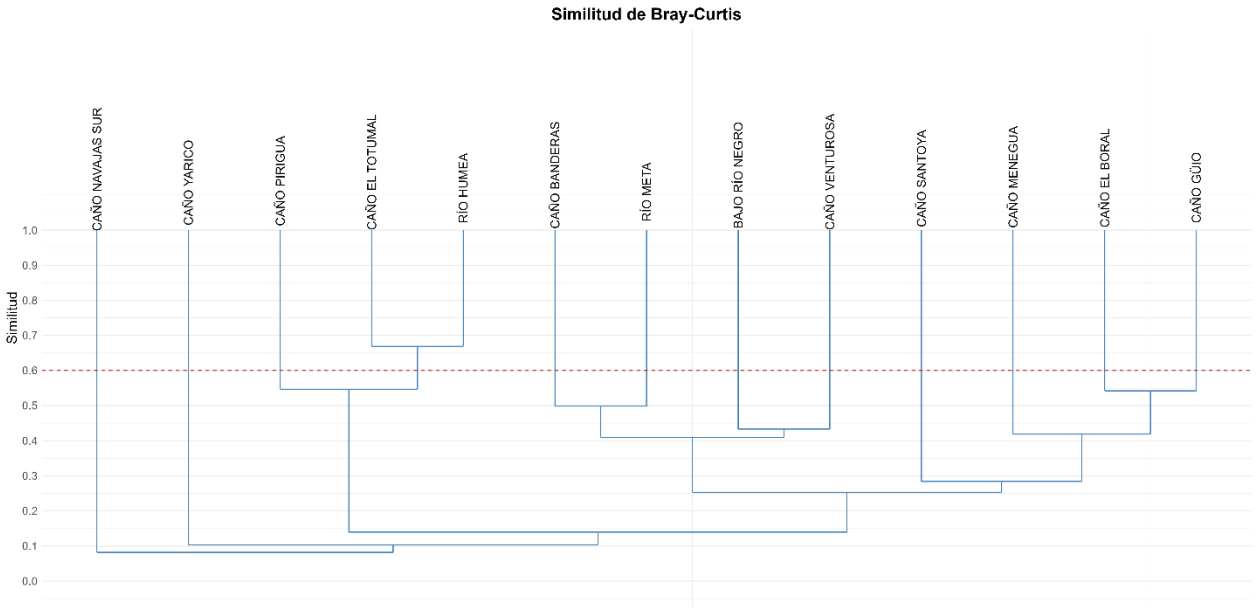


Figura 3.3.3-190 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Fitoplancton (Seca)

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Época lluvia*

En la revisión de la matriz de similitud fitoplanctónica, se evidenció que ningún par de sitios supera el umbral de similitud igual o mayor a 0.6 o 60% establecido para identificar afinidades ecológicas relevantes. El valor más alto registrado corresponde al par BAJO RÍO NEGRO y CAÑO MENEGUA, con un índice de 0.4777 (47.77%) (**Figura 3.3.3-191**), lo que indica que las comunidades fitoplanctónicas son moderadamente disímiles entre los sitios muestreados. Esta ausencia de agrupamientos altamente similares sugiere que las condiciones ambientales particulares de cada cuerpo de agua influyen de forma significativa en la conformación de sus ensambles biológicos.

Pese a ello, algunos pares de sitios mostraron valores superiores al 40% (**Figura 3.3.3-191**), lo que permite destacar ciertos patrones de afinidad. Es el caso del CAÑO PIRIGUA y el CAÑO YARICO, cuya similitud alcanzó el 40.53% (**Figura 3.3.3-191**). Este valor puede atribuirse a la presencia compartida de especies como *Pinnularia* en el CAÑO PIRIGUA con el (0.341 Ind/mL) y CAÑO YARICO con el (0.483 Ind/mL) y *Closterium* en el CAÑO PIRIGUA con el (0.097 Ind/mL) y CAÑO YARICO con el (0.257 Ind/mL), lo que sugiere condiciones ambientales parcialmente convergentes. Asimismo, el CAÑO PIRIGUA y el RÍO HUMEA mostraron una similitud del 36.20% (**Figura 3.3.3-191**), explicada por la presencia conjunta de géneros como *Eunotia* en el CAÑO PIRIGUA con el (0.100 Ind/mL) y el RÍO HUMEA con el (0.156 Ind/mL) y *Nitzschia* (CAÑO PIRIGUA con el (0.142 Ind/mL) y el RÍO HUMEA con el (0.127 Ind/mL).

El análisis ecológico revela que el CAÑO YARICO se distingue por su alta abundancia de *Pinnularia* (0.483 Ind/mL), *Aulacoseira* (0.404 Ind/mL) y *Stauroneis* (0.288 Ind/mL), lo que refuerza su carácter único dentro del conjunto de sitios evaluados. Por su parte, el CAÑO PIRIGUA sobresale como un punto de similitud fuerte, al conectarse con varios cuerpos de agua, incluyendo CAÑO YARICO y RÍO HUMEA, lo cual podría reflejar una diversidad estructural que facilita el establecimiento de múltiples asociaciones biológicas.

En conjunto, la baja similitud general observada en la matriz sugiere que cada cuerpo de agua mantiene condiciones ambientales específicas como la disponibilidad de nutrientes, la intensidad de luz o el régimen de flujo que favorecen ensambles fitoplanctónicos distintos. Este hallazgo resalta la necesidad de considerar la singularidad ecológica de cada sitio en los esfuerzos de monitoreo y gestión ambiental.

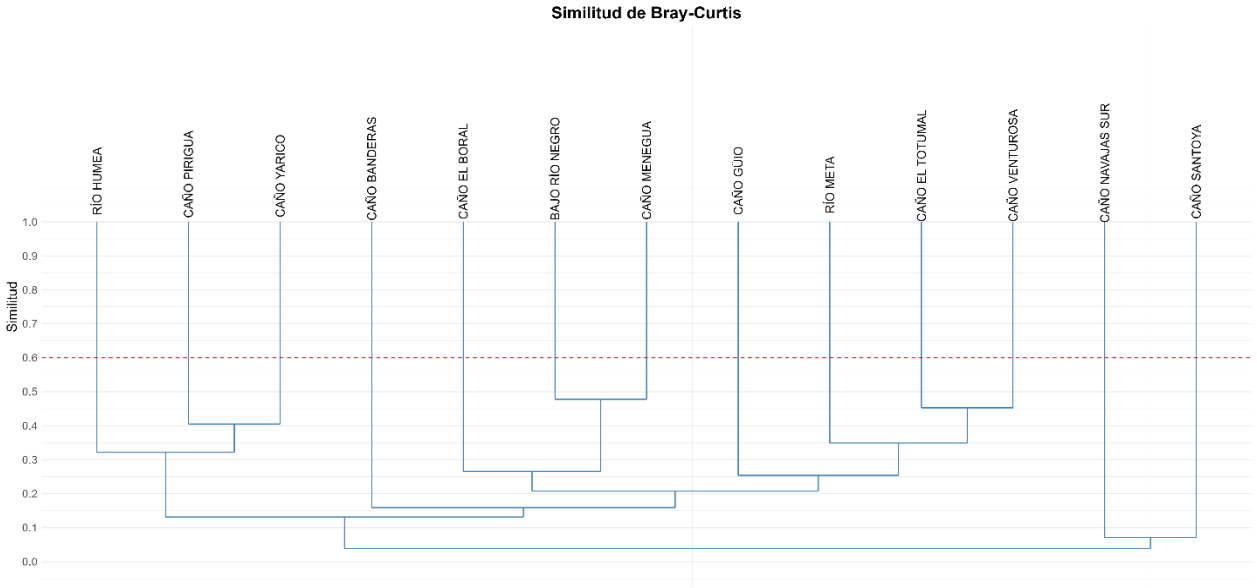


Figura 3.3.3-191 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Fitoplancton (Lluvia)

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Zooplancton*

  - ✓ *Época seca*

Durante el análisis de las comunidades zooplanctónicas, se observó que el par conformado por el CAÑO BANDERAS y el CAÑO GÜIO presenta la mayor similitud en cuanto a composición biológica, con un índice de Bray-Curtis de 0.6223 (62.23%) **(Figura 3.3.3-192**). Esta coincidencia puede atribuirse a la presencia compartida de ciertos organismos clave, como los rotíferos del género *Lecane* (Banderas: 0.0055 Ind/mL y Güio: 0.0052 Ind/mL) y los protozoos del género *Difflugia* (Banderas: 0.0028 Ind/mL y Güio: 0.0034 Ind/mL). Además, ambos cuerpos de agua se caracterizan por una baja abundancia de copépodos, destacando la ausencia de Cyclopoida Mf. en CAÑO GÜIO, lo que podría contribuir a la similitud estructural observada.

En cuanto al RÍO HUMEA, si bien la similitud con el CAÑO GÜIO es menor (índice de 0.4824, equivalente al 48.24%) (**Figura 3.3.3-192**) y no supera el umbral de relevancia ecológica establecido, este valor se posiciona como el tercero más alto en el estudio.

Por otro lado, también se identificaron especies que, por su distribución restringida, reducen la similitud entre ciertos sitios. Por ejemplo, el CAÑO PIRIGUA muestra una marcada dominancia de *Brachionus* (0.0322 Ind/mL), género ausente en el resto de las muestras analizadas. Asimismo, el RÍO META se distingue por albergar especies únicas como *Trinema* (0.0158 Ind/mL) y *Colurella* (0.0035 Ind/mL), lo que refuerza su singularidad biológica dentro del conjunto evaluado.

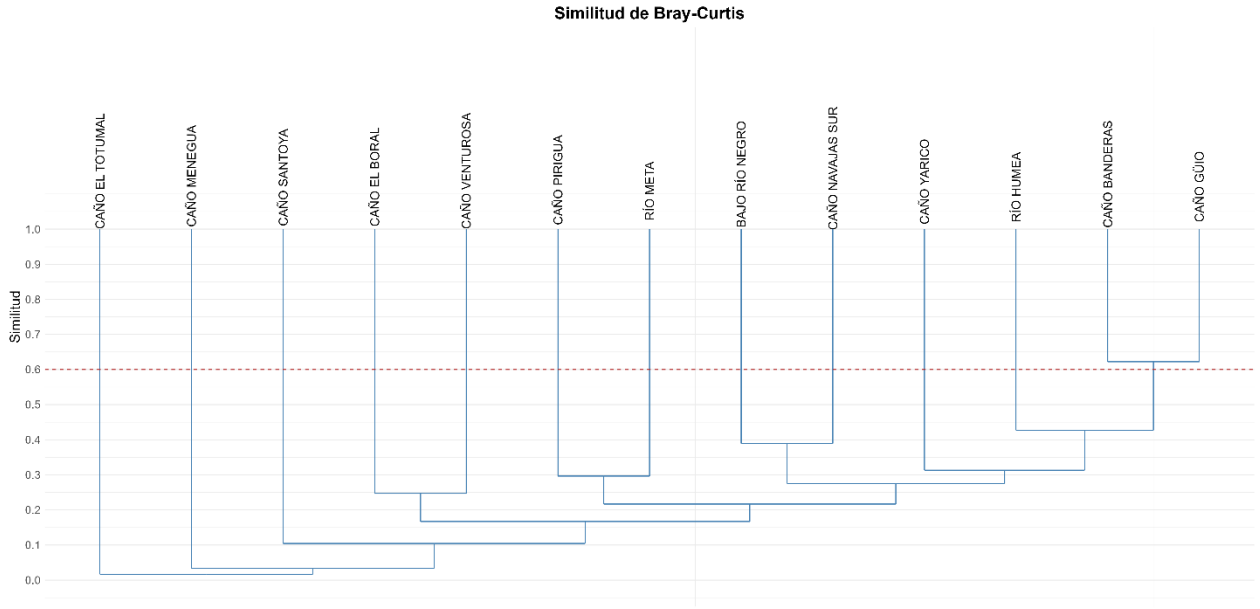


Figura 3.3.3-192 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Zooplancton (Seca)

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Época lluvia*

En el análisis de la matriz de similitud entre sitios, se identificaron varias parejas con valores relativamente altos (cercanos a 1), que indican composiciones biológicas similares en cuanto a la presencia de taxones. La mayor similitud registrada corresponde al par CAÑO VENTUROSA con el RÍO META, con un valor de 0.5932 (59%) (**Figura 3.3.3-193**). Esta coincidencia se explica por la presencia compartida de géneros como *Euglypha* y *Arcella*, aunque en proporciones distintas. Asimismo, el CAÑO GÜIO y el CAÑO VENTUROSA presentan una similitud de 0.5740 (57%) (**Figura 3.3.3-193**), resultado que podría estar asociado a la presencia de *Nematoda* y *Bdelloidea* en GÜIO y de *Euglypha* en VENTUROSA. Otro par relevante es el RÍO HUMEA con el CAÑO PIRIGUA, que alcanza un valor de 0.5563 (55%) (**Figura 3.3.3-193**), con taxones comunes como *Arcella* y *Difflugia*, aunque CAÑO PIRIGUA muestra una mayor diversidad global.

Por otro lado, se identificaron parejas de sitios con valores bajos o cercanos a cero, indicando comunidades altamente disímiles. El CAÑO MENEGUA destaca como el sitio más singular, con valores de similitud igual a cero frente a cuerpos como el BAJO RÍO NEGRO y el CAÑO BANDERAS. Esta baja similitud se atribuye a que MENEGUA solo registró la presencia de *Euglypha*, mientras que otros sitios contienen múltiples taxones. Una situación similar se observa entre el BAJO RÍO NEGRO y el CAÑO NAVAJAS SUR (similitud de 0.5783) (57%) (**Figura 3.3.3-193**), donde RÍO NEGRO presenta géneros como *Arcella* y *Difflugia*, mientras que NAVAJAS SUR solo contiene *Arcella*.

A partir de estos datos se pueden identificar ciertos patrones ecológicos. El CAÑO VENTUROSA, el RÍO META y el CAÑO GÜIO conforman un núcleo de similitud biológica, con valores superiores a 0.5 entre ellos. Esta convergencia podría relacionarse con condiciones ambientales comunes que favorecen el establecimiento de taxones similares. En contraste, el CAÑO MENEGUA emerge como el sitio más distinto dentro del conjunto evaluado, lo que lo posiciona como un ecosistema de características particulares o de baja conectividad biológica con el resto de los cuerpos de agua analizados.

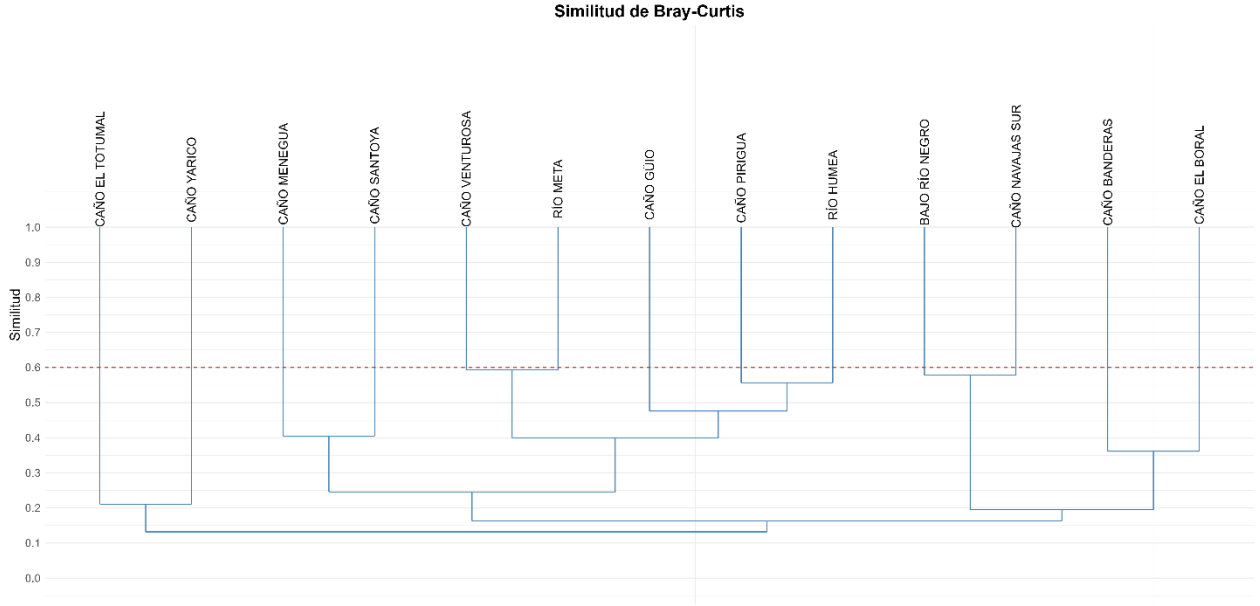


Figura 3.3.3-193 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Zooplancton (lluvia)

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Ictioplancton*

La marcada rareza del ictioplancton en este estudio, restringido a menos de cinco Microcuencas de las 28 Microcuencas evaluadas con una única morfoespecie y abundancias mínimas menores a (0.1 Ind/mL) exclusivamente durante lluvias, refleja dinámicas ecológicas documentadas en sistemas tropicales. La ausencia total en época seca coincide con los patrones reproductivos de peces tropicales que sincronizan su desove con el inicio de las precipitaciones (Lowe-McConnell,

1987), cuando el aumento progresivo del nivel del agua provee hábitats críticos para el desarrollo larvario (Humphries et al., 1999). Sin embargo, la extrema escasez incluso en lluvias sugiere que los pulsos reproductivos podrían ser más cortos que el intervalo de muestreo (Winemiller K. O., 1989), las larvas se concentran en microhábitats no muestreados como zonas ribereñas inundadas (Petry et al., Fish assemblages in tropical floodplain lagoons: Evaluating the role of connectivity in a dry year, 2003) o a que hay una alta depredación sobre estadios tempranos (Rodríguez et al., 2007). La inviabilidad del análisis Bray-Curtis se justifica estadísticamente cuando más de 90% de muestras son ceros, condición que se cumple aquí. Estos resultados, aunque aparentemente limitados, son valiosos ecológicamente pues evidencian que el reclutamiento ictiofaunístico en estos sistemas ocurre en ventanas espacio-temporales extremadamente restringidas, un fenómeno clave para diseñar estrategias de conservación en ambientes tropicales estacionales.

- *Perifíton*

  - ✓ *Época seca*

En el análisis de las comunidades perifíticas se identificaron tres pares de sitios con valores especialmente altos de similitud, lo que refleja patrones ecológicos comunes en cuanto a composición de especies. El primer par, conformado por el CAÑO LA LILBANA y el CAÑO EL ACEITE, presenta un índice de similitud aproximado de 0.75 (75%) (**Figura 3.3.3-194**). Este resultado sugiere una fuerte afinidad biológica entre ambos cuerpos de agua, posiblemente asociada a condiciones ambientales compartidas como el tipo de sustrato, niveles de sombra y disponibilidad de nutrientes. La presencia de diatomeas como *Pinnularia* en el CAÑO LA LILBANA (5.3 Ind/cm^2) y en CAÑO EL ACEITE (6.5 Ind/cm^2) y algas verdes como *Cosmarium* en el CAÑO LA LILBANA (2.8 Ind/cm^2) y en el CAÑO EL ACEITE con (1.3 Ind/cm^2) en ambos sitios refuerza esta interpretación, indicando ambientes bien oxigenados y posiblemente de baja perturbación.

El segundo par, compuesto por el CAÑO SANTOYA y el CAÑO IPAPA, alcanzó el valor más alto registrado en este estudio, con una similitud aproximado de 0.84 (84%) (**Figura 3.3.3-194**). Esta coincidencia biológica puede atribuirse a la notable presencia compartida de géneros como *Eunotia* en el CAÑO SANTOYA con el (30.8 Ind/cm^2) y CAÑO IPAPA con el (31.1 Ind/cm^2) y *Pinnularia* en el CAÑO SANTOYA con el (13.0 Ind/cm^2) y en el CAÑO IPAPA (21.9 Ind/cm^2), lo que sugiere condiciones limnológicas similares y potencialmente una conectividad natural que facilita el intercambio o establecimiento de especies comunes.

El tercer valor relevante corresponde al par entre el CAÑO LA VICTORIA y el CAÑO IPAPA, con una similitud aproximada de 0.74 (74%) (**Figura 3.3.3-194**). Este resultado refuerza el papel del CAÑO IPAPA como un "nodo de similitud" dentro del sistema hidro ecológico analizado, al presentar altos niveles de coincidencia biológica con múltiples sitios, incluyendo CAÑO SANTOYA y CAÑO LA VICTORIA.

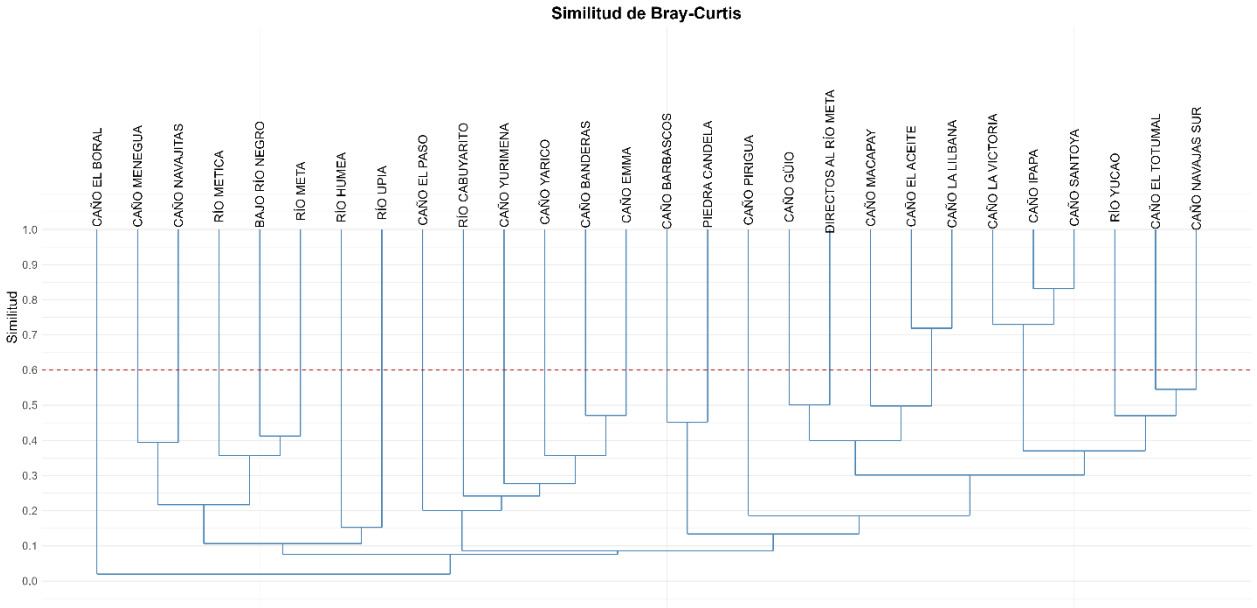


Figura 3.3.3-194 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Perifiton (Seca)

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

✓ *Época lluvia*

Dentro de la evaluación de la matriz de similitud taxonómica, se identificaron varios pares de sitios que comparten géneros claves, lo que permite establecer patrones ecológicos y distinguir subgrupos funcionales. Entre los pares destacados, el CAÑO MENEGUA y el CAÑO IPAPA presentan una similitud aproximada del 75% (índice de Bray-Curtis: 0.75) (**Figura 3.3.3-195**), con la presencia común de diatomeas acidófilas como *Pinnularia* en el CAÑO MENEGUA con el (26.0 Ind/cm^2) y en el CAÑO IPAPA con el (259.6 Ind/cm^2) y *Eunotia* en el CAÑO MENEGUA con el (19.8 Ind/cm^2) y en el CAÑO IPAPA con el (56.2 Ind/cm^2). Esta afinidad sugiere que ambos cuerpos de agua comparten condiciones ambientales favorables para este tipo de taxones, como pH bajo o presencia de sílice disponible. No obstante, la abundancia excepcional de *Pinnularia* en el CAÑO IPAPA podría indicar mayor estabilidad hidrológica o menor perturbación.

Otro par relevante es el RÍO YUCAO que se une al nodo nombrado anteriormente con un índice de similitud aproximado de 65% (0.65) (**Figura 3.3.3-195**), en los cuales se identifican coincidencias taxonómicas importantes como *Eunotia* y *Pinnularia*. Aunque ambos comparten diatomeas, todos los puntos reportan abundancias similares, sin embargo aunque para cada microcuenca se reportan géneros diferentes debido a diferencias diferencias en el régimen de flujo o en la estructura del hábitat.

Asimismo, el RÍO METICA y el RÍO HUMEA presentan una similitud del 65.1% (**Figura 3.3.3-195**), con la presencia compartida de *Eunotia* en el RÍO METICA con el (36.6 Ind/cm^2) y en el RÍO HUMEA con el (37.2 Ind/cm^2) y *Pinnularia* en el RÍO METICA con el (55.3 Ind/cm^2) y en el RÍO HUMEA con el (48.8 Ind/cm^2). Sin embargo, el RÍO HUMEA tiene una

marcada presencia de desmidiáceas como *Cosmarium* y *Desmidium*, lo que lo diferencia funcionalmente. Esta similitud puede deberse a condiciones químicas compatibles entre ambos ríos, como un pH bajo o la presencia de materia orgánica, aunque sus comunidades reflejan preferencias taxonómicas distintas.

Desde una perspectiva ecológica, se pueden delimitar ciertos patrones. El RÍO HUMEA , el RÍO METICA y PIEDRA CANDELA conforman un grupo de ecosistemas dominados por diatomeas acidófilas, principalmente *Pinnularia* y *Eunotia*, lo que apunta a ambientes con posible acidez elevada o acumulación de materia orgánica. El RÍO HUMEA, si bien se agrupa numéricamente con este conjunto, posee una composición más inclinada hacia algas verdes desmidiáceas, por lo que podría considerarse un subtipo dentro del mismo grupo, con condiciones fisicoquímicas similares, pero comunidades diferenciadas.

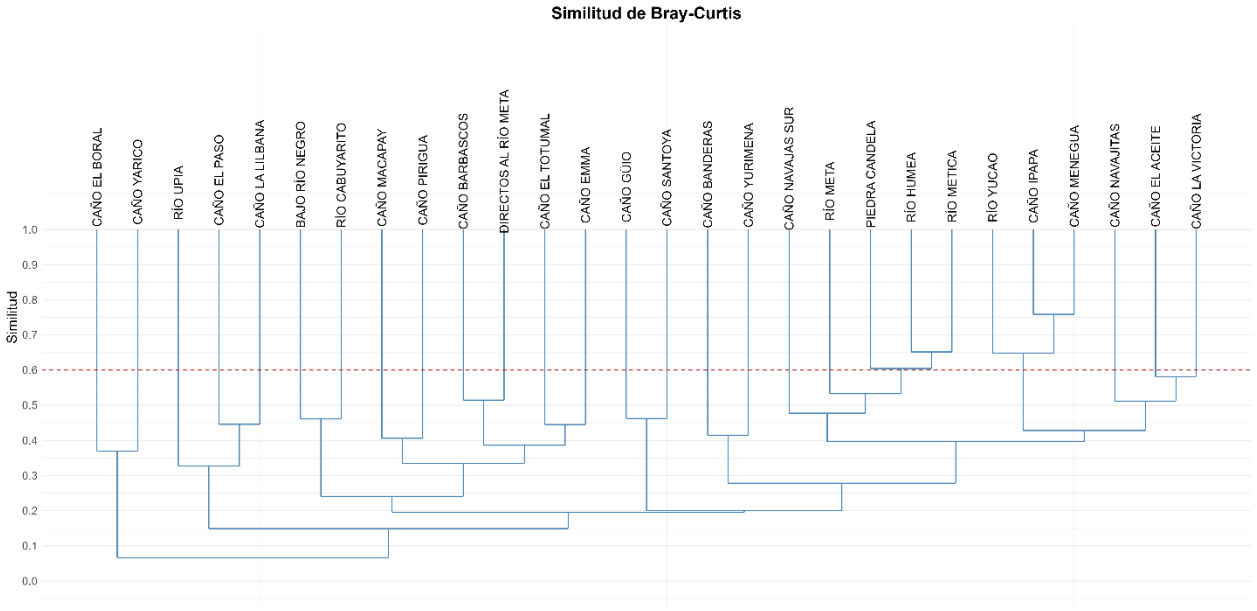


Figura 3.3.3-195 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Perifiton (lluvia)

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

- *Macroinvertebrados bentónicos*

  - ✓ *Época seca*

El análisis del índice de similitud de Bray-Curtis para las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en época seca, representado en la **Figura 3.3.3-196**, permite identificar patrones de agrupamiento entre las diferentes Microcuencas en cuerpos lóticos según la composición y abundancia relativa de morfoespecies. Este índice, que varía entre 0 (comunidades completamente disímiles) y 1 (comunidades idénticas en composición y abundancia), es una herramienta ampliamente utilizada para evaluar la similitud biológica entre sitios de muestreo.

En los resultados se observan pares de Microcuencas que comparten una alta similitud, con valores cercanos a uno, lo que indica que mantienen una composición de macroinvertebrados muy similar. Por ejemplo, la agrupación de Río Humea, Caño La Lilbana y Piedra Candela, muestran una similitud del 100% (**Figura 3.3.3-196**), lo que implica que comparten todas morfoespecie de macroinvertebrados durante la época seca. Estas coincidencias exactas pueden estar relacionadas con condiciones hidromorfológicas muy similares, como en el régimen de caudales, tipo de sustrato, niveles de contaminación, o cobertura vegetal ribereña. Asimismo, su proximidad geográfica puede jugar un papel importante el cual refleja que las condiciones ofrecidas por el entorno les permite contener una diversidad igual y que ciertas poblaciones se establezcan de manera continua en estos cuerpos de agua.

Por el contrario, en el caso de Caño Banderas, Caño El Paso, Caño La Victoria, Caño Navajas Sur, Caño Metica y Río Upía, los cuales presentan una similitud de cero con varios otros cuerpos hídricos (**Figura 3.3.3-196**), puede interpretarse como una señal de que estas Microcuencas no comparten condiciones ambientales o de hábitat, lo que impide la presencia de las mismas morfoespecies en proporciones comparables. También puede señalar una baja riqueza general de morfoespecies, lo que aumenta las diferencias entre comunidades.

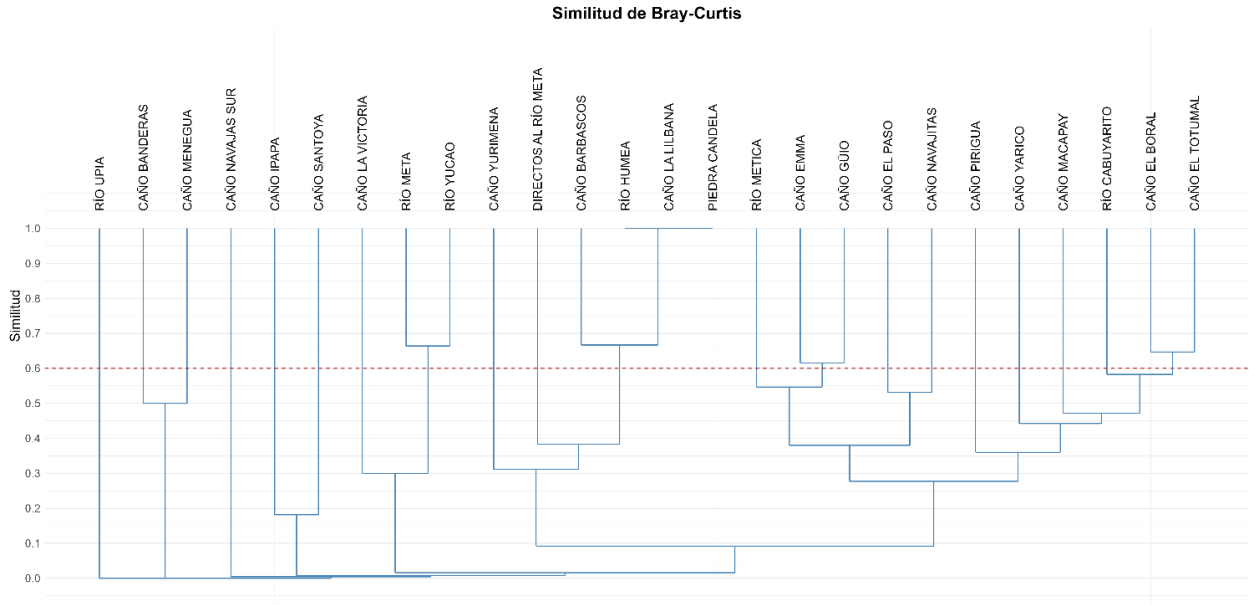


Figura 3.3.3-196 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados bentónicos en época seca.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En un grupo intermedio se encuentran Microcuencas como Caño El Boral, Caño Macapay, Río Cabuyarito y Río Metica, las cuales presentan valores de similitud moderados con varias otras Microcuencas, con valores de Bray-Curtis entre 0.3 y 0.6 (**Figura 3.3.3-196**). Esto indica que, si bien no comparten una comunidad idéntica, sí existen elementos comunes significativos en la composición de macroinvertebrados, lo que podría reflejar una conectividad funcional entre

ecosistemas acuáticos, o bien una transición ecológica entre regiones más conservadas y otras más degradadas.

Otro hallazgo importante es que Río Meta mostró valores de similitud de cero con casi todas las demás Microcuencas, lo cual puede reflejar una comunidad bentónica muy estable o poco diversa, con baja variabilidad espacial, posiblemente influida por condiciones hidrológicas específicas del río principal, como velocidad de corriente, profundidad o dinámica de sedimentos.

En síntesis, el análisis sugiere la existencia de tres patrones estructurales: Microcuencas con alta similitud que podrían formar un clúster ecológico funcionalmente conectado, Microcuencas intermedias que actúan como zonas de transición y Microcuencas altamente diferenciadas que indican aislamiento ecológico o condiciones extremas locales.

- ✓ *Época de lluvias*

El análisis de similitud de Bray-Curtis para macroinvertebrados bentónicos en época de lluvias en cuerpos lóticos revela una estructura compleja en las relaciones entre las diferentes Microcuencas estudiadas. Los valores obtenidos muestran una amplia gama de similitudes, desde pares con composiciones casi idénticas hasta aquellos que prácticamente no comparten morfoespecies. Algunas de las Microcuencas con un porcentaje medio de similitud se encuentran el Caño El Paso y Caño El Totumal (0.722), así como entre Caño Güio y Caño La Victoria (0.762) (**Figura 3.3.3-197**), lo que sugiere que estos sistemas comparten no solo morfoespecies sino también proporciones de abundancia comparables. Estos valores podrían explicarse por factores como la conectividad hidrológica durante la temporada de lluvias o condiciones ambientales equivalentes que favorecen el establecimiento de comunidades acuáticas semejantes.

Por otro lado, se observan casos extremos de baja similitud, particularmente en Caño Navajitas que muestra valores nulos en todas sus comparaciones, indicando una composición única de taxas. Igualmente llamativo es el caso de Caño Barbascos, que, aunque presenta similitud alta con Directos al rio Meta (0.75) (**Figura 3.3.3-197**), en general muestra valores muy bajos con las demás Microcuencas. Estas singularidades ecológicas podrían deberse a condiciones ambientales particulares, gradientes físico-químicos específicos o cierto grado de aislamiento geográfico que limita el intercambio de especies entre estas Microcuencas y las demás.

Un patrón interesante se presenta al analizar las relaciones de las Microcuencas principales. El Río Metica muestra valores de similitud moderados a altos con varios sistemas, destacando sus conexiones con Caño Güio (0.697) y Caño Menegua (0.661), lo que sugiere su papel potencial como corredor ecológico durante la época de lluvias. De manera parecida, Caño Emma presenta altos valores de similitud con múltiples Microcuencas, especialmente con Caño Menegua (0.660) y Caño El Boral (0.580), formando un núcleo de comunidades interconectadas. Estos patrones de conectividad podrían estar influenciados por el aumento del caudal y la conexión entre cuerpos de agua durante la temporada lluviosa.

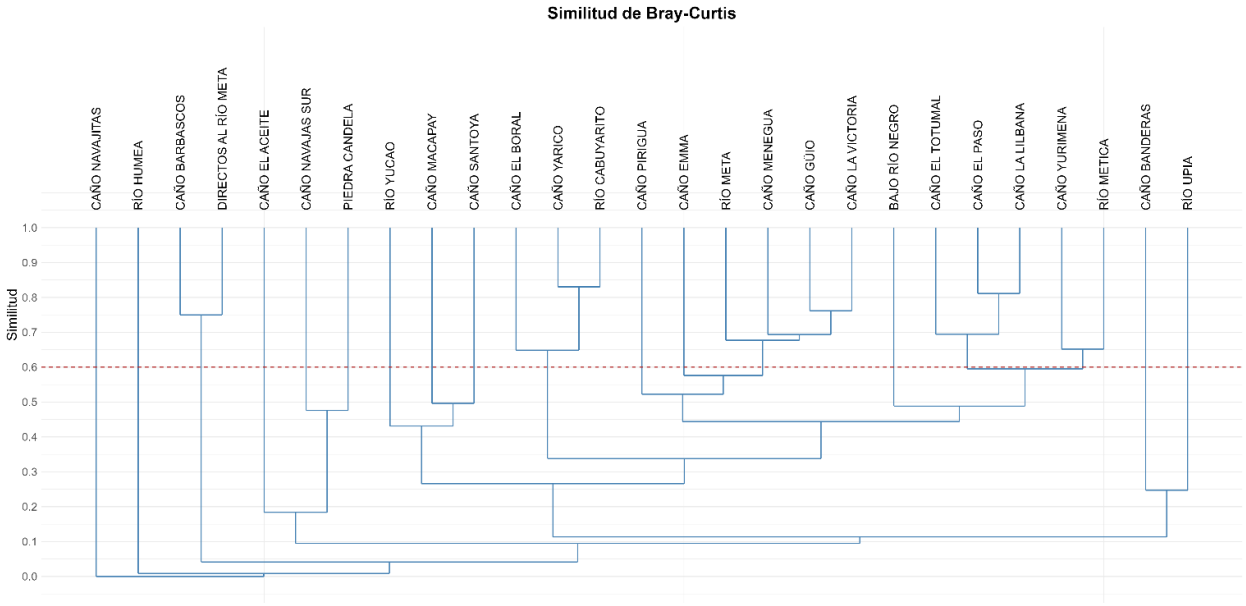


Figura 3.3.3-197 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados bentónicos en época de lluvias.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Las diferencias observadas en la composición de las comunidades bentónicas entre Microcuencas podrían reflejar variaciones en múltiples factores ecológicos. La presencia de diferentes tipos de sustrato, variaciones en la calidad del agua, o una variedad en la vegetación ribereña sugiere una explicación del por qué algunas Microcuencas mantienen comunidades distintivas. Además, el impacto de actividades humanas podría estar modulando estos patrones. Es particular cómo algunas Microcuencas pequeñas como Caño Yurimena muestran porcentajes de similitud relativamente altos con sistemas mayores como Río Metica (65%), lo que sugiere procesos de colonización efectivos durante los períodos de alta conectividad hídrica.

Desde una perspectiva ecológica, estos resultados resaltan la importancia de considerar tanto las Microcuencas con comunidades únicas como aquellas que actúan como nodos de conexión ecológica. La protección de los sistemas con composiciones singulares es crucial para mantener la diversidad beta regional, mientras que la conservación de las Microcuencas que muestran alta conectividad ecológica es esencial para preservar los procesos naturales de dispersión y recolonización. Este análisis proporciona una base valiosa para entender la estructura espacial de las comunidades bentónicas en sistemas lóticos durante la época de lluvias, aunque su interpretación completa se puede consultar en el análisis de la información sobre variables ambientales de cada Microcuenca en el numeral **Índice de Calidad Ecológica (ICE)**.

- *Macroinvertebrados asociados a macrófitas*

  - ✓ *Época seca*

El análisis de similitud de Bray-Curtis aplicado a la comunidad de macroinvertebrados asociados a macrófitas en cuerpos lóticos monitoreados durante la época seca revela un patrón complejo de interacción entre las diferentes Microcuencas. Este índice, que oscila entre 0 y 1, permite evaluar la similitud en la composición y abundancia relativa de morfoespecies, siendo los valores cercanos a cero indicativos de alta similitud (comparten muchas especies con proporciones similares) y los valores cercanos a uno, de alta disimilitud (baja o nula coincidencia de especies o dominancias muy distintas).

Entre las Microcuencas evaluadas, se observa que los sistemas monitoreados no comparten más del 50% de las morfoespecies reportadas para esta comunidad, teniendo que los valores más altos se asocian con las Microcuencas del Caño Menegua y Caño Santoya (0.4615). Esto indica que estas dos Microcuencas comparten muy pocas morfoespecies asociadas a macrófitas o presentan una dominancia completamente distinta. Este patrón puede ser resultado de diferencias marcadas en parámetros físico-químicos como pH, conductividad o carga orgánica, pero también del tipo de macrófitas predominantes, su estructura vertical, o la conectividad con zonas ribereñas o agrícolas.

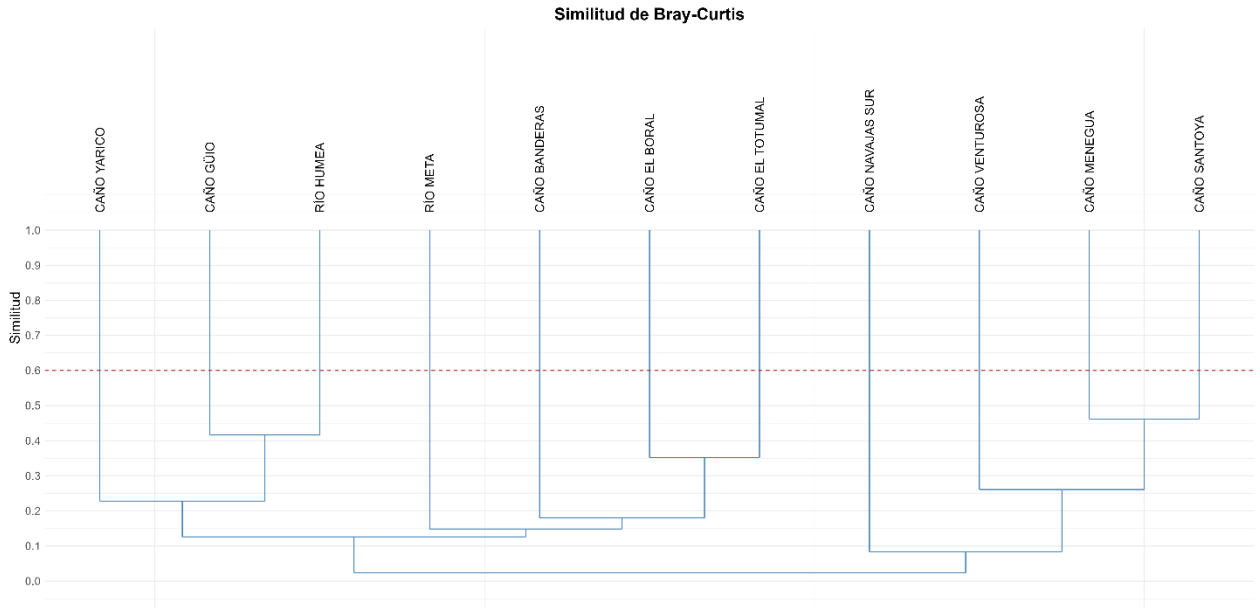


Figura 3.3.3-198 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados asociados a macrófitas en época seca.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Del mismo modo, se observa que Caño El Totumal y Caño El Boral tienen un valor de 0.3523, un nivel de disimilitud moderado que puede reflejar condiciones limnológicas intermedias o

respuestas ecológicas diferenciadas de las comunidades ante presiones ambientales puntuales. La baja similitud entre Caño Güio y Río Humea (0.4162) también sugiere una divergencia marcada en la estructura ecológica, lo que puede atribuirse a diferencias en el régimen hidrológico o a la variabilidad estructural del hábitat bentónico generado por las macrófitas sumergidas o emergentes.

En general, el análisis permite inferir que existe una heterogeneidad significativa en las comunidades bentónicas asociadas a macrófitas en cuerpos lóticos durante la época seca, con algunos núcleos de similitud media que posiblemente reflejan alguna continuidad ecológica, y otros con disimilitudes marcadas que señalan fragmentación funcional o diferencias en calidad de hábitat. Estas diferencias tienen importantes implicaciones para la conservación y el monitoreo de la biodiversidad acuática, dado que las macrófitas son estructuradores clave de hábitats y refugios para múltiples taxones de macroinvertebrados (Cummins et al., 2005; Rosenberg & Resh, 1993).

- ✓ *Época de lluvias*

El análisis de similitud de Bray-Curtis revela patrones interesantes en la composición de macroinvertebrados asociados a macrófitas entre las diferentes Microcuencas analizadas, tal como se evidencia en la **Figura 3.3.3-199**. Cabe destacar que este índice, que varía entre 0 (ninguna similitud) y 1 (comunidades idénticas), permite identificar qué cuerpos de agua comparten características ecológicas similares durante la época de lluvias. Al examinar los valores, se observa que las similitudes varían considerablemente según los pares de Microcuencas comparados.

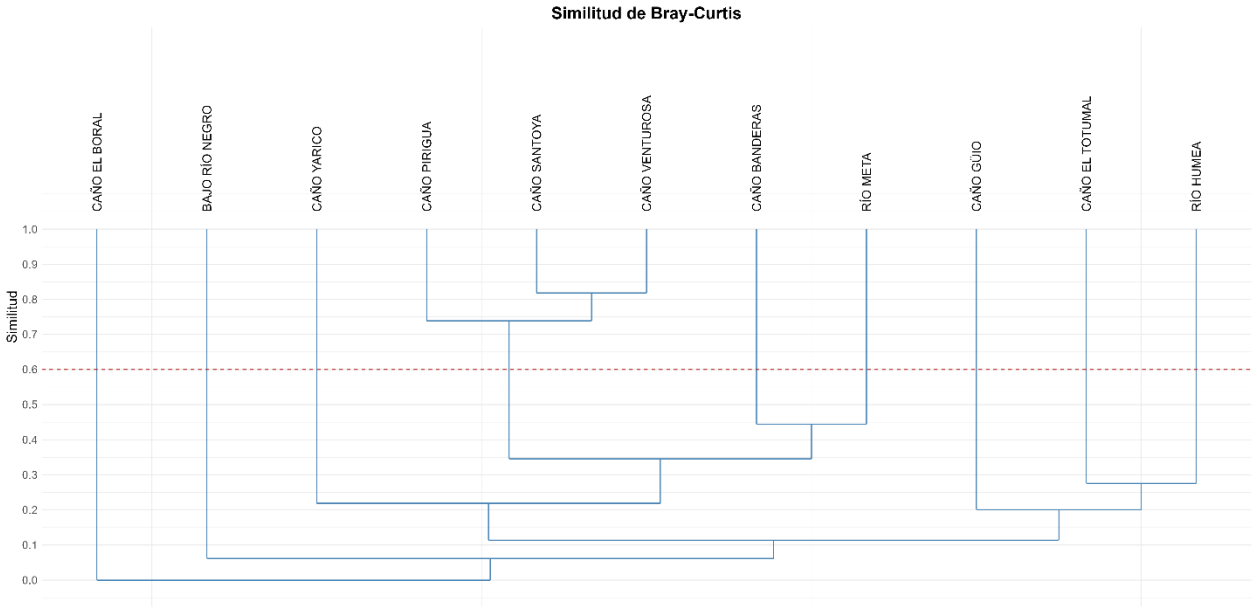


Figura 3.3.3-199 Análisis del índice de similitud de Bray-Curtis en las Microcuencas para macroinvertebrados asociados a macrófitas en época de lluvias.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Entre los resultados más destacables, asociado con similitudes por encima del 60%, se identifica un grupo de Microcuencas con valores de similitud más altos (>0.7). Específicamente, Caño Santoya y Caño Venturosa presentan el valor máximo de similitud (0.818), con una agrupación adicional del Caño Pirigua (0.778) (**Figura 3.3.3-199**). Estos valores tan elevados sugieren que estas tres Microcuencas no solo comparten la mayoría de sus morfoespecies de macroinvertebrados, sino que además mantienen proporciones de abundancia muy similares. Esta notable similitud podría explicarse por factores como una conectividad hidrológica durante las lluvias, tipos de vegetación acuática comparables, o condiciones fisicoquímicas del agua semejantes.

Por otro lado, se encuentran otras agrupaciones de Microcuencas con similitudes moderadas (valores entre 0.3-0.7), donde destaca especialmente el Río Meta. Este cuerpo de agua muestra conexiones ecológicas moderadas con Caño Banderas (0.444), Bajo Río Negro (0.444), Caño Güio (0.369) y Caño El Totumal (0.369). Estos valores intermedios indican que, aunque existen algunas morfoespecies compartidas, las proporciones de abundancia difieren más que en los casos anteriores. Sin embargo, el caso más llamativo es el de Caño El Boral, que presenta valores de 0 en casi todas sus comparaciones, lo que sugiere una composición de macroinvertebrados completamente distinta a las demás Microcuencas. Esta singularidad ecológica podría deberse a condiciones ambientales particulares o a un mayor grado de aislamiento.

Es importante mencionar que estos resultados deben interpretarse considerando ciertas limitaciones. Por un lado, el uso de morfotipos en lugar de identificación a nivel de especie podría estar sobreestimando algunos valores de similitud. No obstante, este análisis proporciona una base valiosa para entender la estructura espacial de estas comunidades acuáticas durante la época de lluvias.

- *Macrófitas acuáticas*

  - ✓ *Época seca*

En el presente análisis de similitud ecológica para cuerpos de agua lenticos, se identificaron dos pares de Microcuencas con valores significativos (≥ 0.6), lo que sugiere la existencia de condiciones ambientales compartidas o una posible conectividad hidrológica (**Figura 3.3.3-200**). El par formado por BAJO RIO NEGRO y CAÑO YARICO presentó el valor más alto registrado (0.800), indicando una fuerte afinidad en la composición de macrófitas. En este caso, *Salvinia auriculata* fue dominante en ambas Microcuencas, especialmente en BAJO RÍO NEGRO, mientras que *Salvinia sprucei* se encontró exclusivamente en CAÑO YARICO. Estos resultados sugieren que la similitud puede estar influenciada tanto por especies compartidas como por la presencia de taxa funcionalmente equivalentes en cada sistema.

El segundo par corresponde a CAÑO BANDERAS y CAÑO VENTUROSA, con un valor de similitud de 0.799 (**Figura 3.3.3-200**). En ambas Microcuencas se registró una alta abundancia de Poaceae Mf., lo que podría estar relacionado con características estructurales similares del hábitat. La ausencia de especies flotantes del género *Salvinia* y otros géneros como *Eichhornia* o *Pistia* sugiere que la similitud entre estas Microcuencas se debe a adaptaciones ecológicas distintas.

Por otra parte, RÍO HUMEA indica un rol ecológico relevante dentro de la red de Microcuencas evaluadas. Aunque no alcanza el umbral de 0.6, se observan niveles de similitud moderados con CAÑO EL BORAL (0.426) y CAÑO GÜIO (0.438) (**Figura 3.3.3-200**). En ambos casos se registraron especies compartidas como *Eichhornia* sp. y *Ceratopteris* sp. Este patrón sugiere una posible función de transición entre ecosistemas con mayor o menor dominancia de especies flotantes y emergentes.

Finalmente, se identificaron especies exclusivas en ciertas Microcuencas que reducen su similitud con otras. En CAÑO MENEGUA se registraron *Ludwigia peruviana* y *Montrichardia* sp., mientras que en CAÑO NAVAJAS SUR se observó *Eleocharis interstincta* como especie única. Estas observaciones refuerzan la importancia de considerar la particularidad de cada sistema en los procesos de evaluación ecológica y en la formulación de estrategias diferenciadas de conservación.

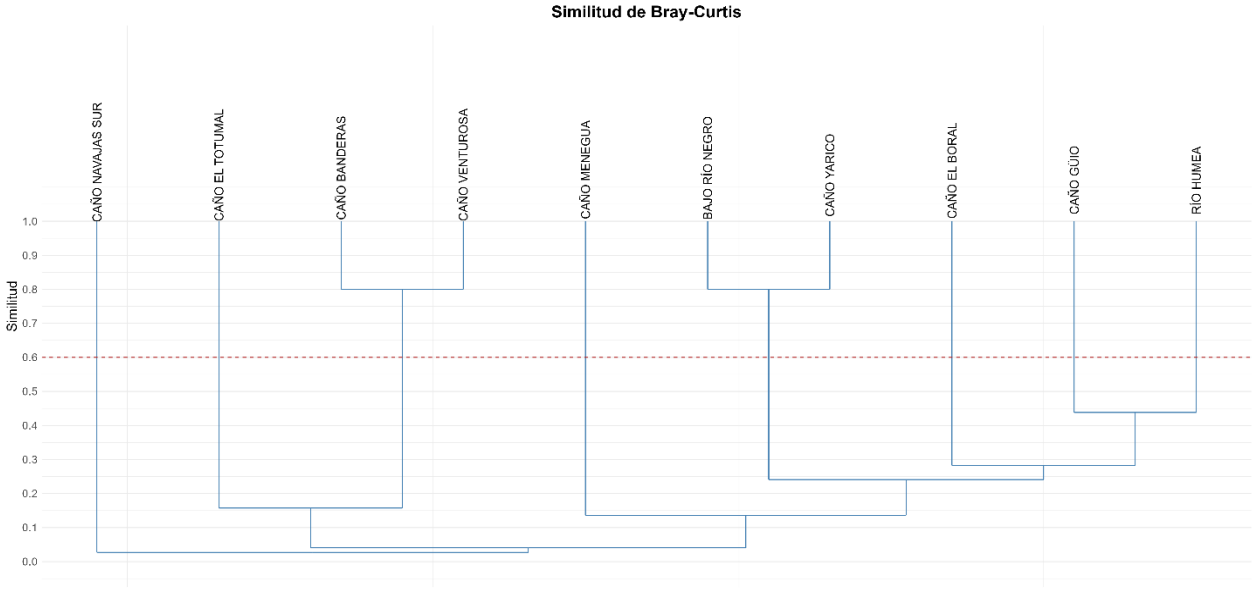


Figura 3.3.3-200 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de Macrófitas acuáticas cuerpos de agua lénticos

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

La similitud significativa entre algunos sistemas lénticos evidencia la existencia de condiciones ecológicas compartidas, tanto en términos de especies dominantes como de estructura del hábitat. La alta afinidad registrada entre BAJO RÍO NEGRO y CAÑO YARICO, así como entre CAÑO BANDERAS y CAÑO VENTUROSA, permite inferir procesos de conectividad o convergencia funcional. Sin embargo, la presencia de especies exclusivas en otras Microcuencas subraya la diversidad y la singularidad ecológica regional.

El análisis de similitud ecológica realizado sobre comunidades de macrófitas en sistemas lóticos (**Figura 3.3.3-201**) no arrojó pares de Microcuencas con valores iguales o superiores a 0.6. El

valor más alto registrado fue de 0.506 entre CAÑO EMMA y CAÑO EL PASO, seguido por 0.464 entre CAÑO YURIMENA y RÍO CABUYARITO. Estos valores reflejan niveles de similitud moderados, lo que sugiere una marcada heterogeneidad ecológica entre las Microcuencas evaluadas. Esta variabilidad podría estar influenciada por diferencias en el régimen de flujo hídrico, propias de sistemas lóticos dinámicos, así como por la especialización de hábitat de las especies, que se adaptan a microambientes específicos como sustratos rocosos, fangosos o arenosos (**Figura 3.3.3-201**).

Un patrón destacable se observó en la distribución de *Pontederia* sp., especie dominante en CAÑO EMMA y también con alta cobertura en CAÑO EL PASO, lo que explicaría la similitud entre estos cuerpos de agua (**Figura 3.3.3-201**).

Además, se identificaron especies exclusivas que inciden en los bajos niveles de similitud entre Microcuencas. En CAÑO BARBASCOS, se registró *Hydrocharis* sp. sin presencia en otros sitios analizados. En CAÑO PIRIGUA, se observaron *Ludwigia* sp. y *Leersia* sp., ambas ausentes en el resto de las Microcuencas. En el caso de RÍO HUMEA, se registró *Paspalum repens* sin apariciones en otros sistemas.

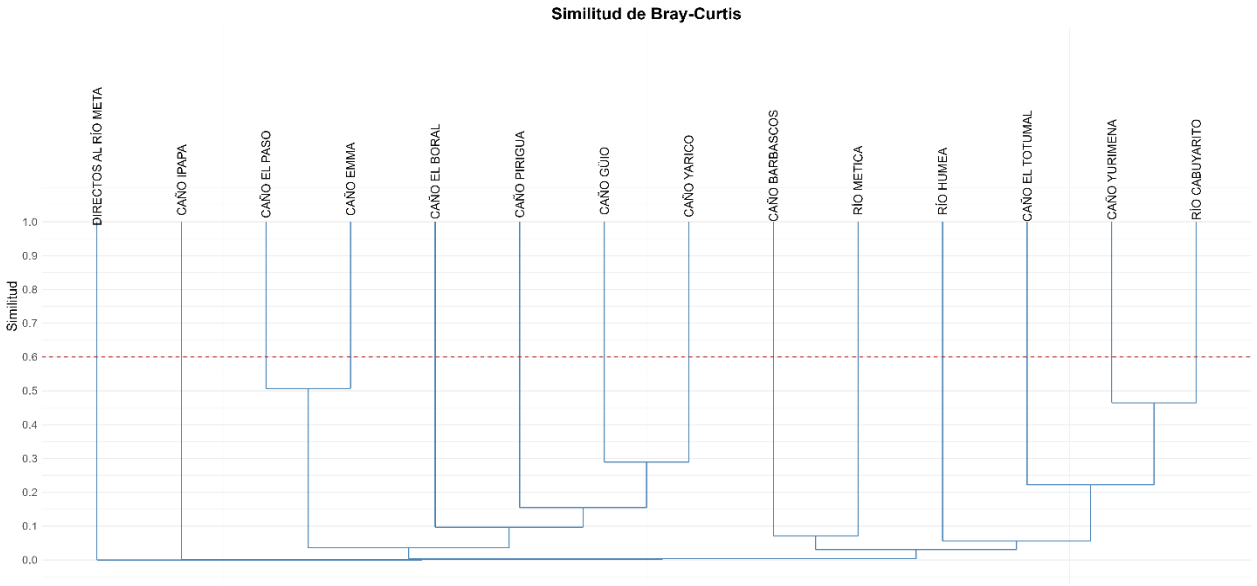


Figura 3.3.3-201 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de macrófitas acuáticas cuerpos de agua lóticos

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los resultados obtenidos para sistemas lóticos reflejan una baja similitud entre Microcuencas, lo cual sugiere que las comunidades de macrófitas están estructuradas de manera independiente, probablemente influenciadas por la dinámica hidrológica y las condiciones ambientales locales. La similitud moderada entre CAÑO EMMA y CAÑO EL PASO destaca la relevancia de ciertas especies

como *Pontederia* sp. en la composición vegetal de estos entornos. La alta proporción de especies exclusivas en múltiples caños y ríos considera la heterogeneidad y la especialización de hábitat que caracteriza a estos sistemas acuáticos.

- ✓ *Época lluvias*

Como parte del estudio sobre comunidades de macrófitas en cuerpos de agua lenticos (**Figura 3.3.3-202**), se realizó un análisis de similitud ecológica mediante el índice de Bray-Curtis. Los resultados revelan patrones de afinidad entre distintas Microcuencas, lo que permite interpretar vínculos funcionales y orientar decisiones de conservación. Tres pares de Microcuencas mostraron similitudes destacables: CAÑO GÜIO y RÍO HUMEA exhibieron el valor más alto (0.894), lo que indica una cercanía ecológica considerable, posiblemente sustentada en condiciones ambientales compartidas o interacciones hidrológicas directas. CAÑO PIRIGUA y RÍO META también superaron el umbral de 0.6 (0.614), sugiriendo vínculos relevantes entre ecosistemas aparentemente distintos. RÍO HUMEA y RÍO META, aunque con una similitud de 0.599 (justo por debajo del umbral), fueron incluidos por su cercanía al valor de referencia y por las implicaciones que podrían derivarse en términos de conectividad (**Figura 3.3.3-202**).

Al analizar la composición específica de especies, se identificaron algunos taxa que explican la similitud observada. En el par CAÑO GÜIO y RÍO HUMEA, *Salvinia* sp. fue abundante en ambas Microcuencas, con coberturas semejantes, posicionándose como una especie clave en la estructuración ecológica compartida. *Ceratopteris* sp. también fue detectada en ambas, aunque con mayor representación en RÍO HUMEA. En el caso de CAÑO PIRIGUA y RÍO META, la especie *Panicum* sp. se encontró en altas coberturas en CAÑO PIRIGUA y en RÍO META. *Salvinia* sp., estuvo presente en CAÑO PIRIGUA pero ausente en RÍO META, podría estar compensada por otras especies funcionalmente similares, lo que amerita una investigación más profunda (**Figura 3.3.3-202**).

Por otra parte, el análisis también permitió diferenciar entre especies generalistas, como *Salvinia* sp. y *Panicum* sp., capaces de adaptarse a múltiples ambientes, y especies exclusivas como *Philodendron* sp. y *Eleocharis* sp., restringidas a Microcuencas como CAÑO MENEGUA y CAÑO VENTUROSA, respectivamente, lo que reduce su similitud con otros sistemas.

A partir de estos resultados, se recomienda priorizar acciones de conservación en RÍO HUMEA y CAÑO GÜIO, dada su interdependencia funcional y el papel estructural que desempeñan en la red ecológica.

Los resultados del análisis de similitud ecológica entre sistemas lénticos en época de lluvias evidencian la existencia de vínculos funcionales relevantes, sustentados en la presencia de especies dominantes compartidas y en condiciones ambientales convergentes. La alta similitud entre CAÑO GÜIO y RÍO HUMEA, así como entre CAÑO PIRIGUA y RÍO META, sugiere procesos de conectividad ecológica. Al mismo tiempo, la presencia de taxones exclusivos en otras Microcuencas, como *Philodendron* sp. y *Eleocharis* sp., reafirma la singularidad ecosistémica de ciertos cuerpos de agua.

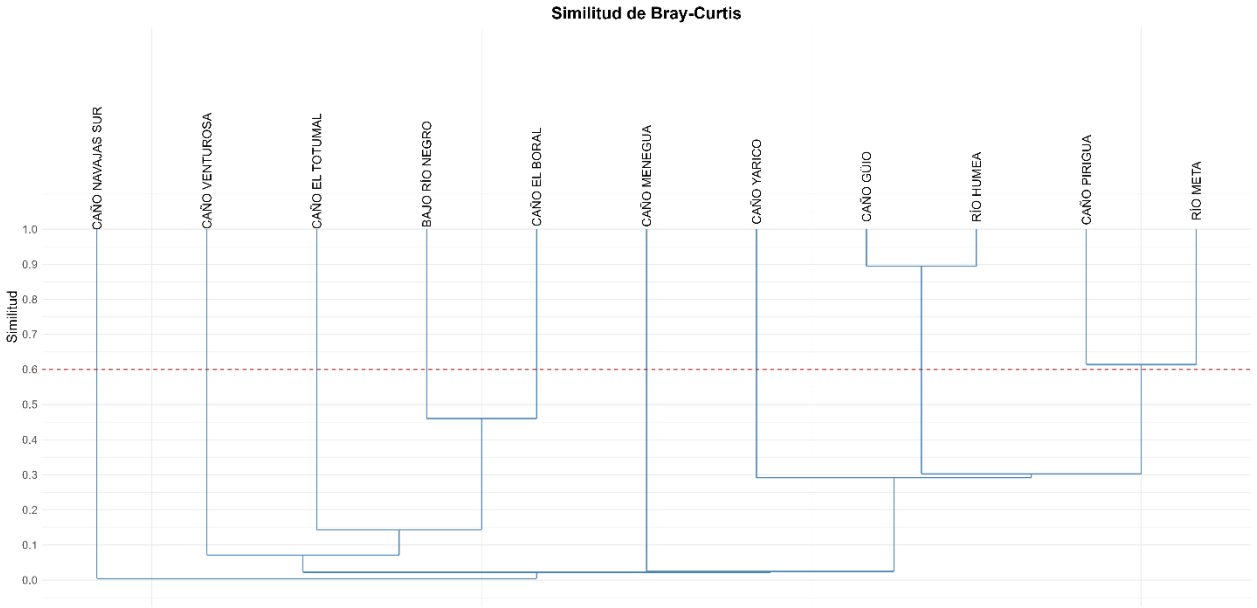


Figura 3.3.3-202 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de macrófitas acuáticas cuerpos de agua lenticos

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

En el análisis de similitud ecológica realizado sobre las comunidades de macrófitas en sistemas lóticos regionales (**Figura 3.3.3-203**), no se identificaron pares de Microcuencas con valores de similitud iguales o superiores a 0.6. El valor más alto registrado fue de 0.469 entre PIEDRA CANDELA y CAÑO LA VICTORIA, seguido por 0.403 entre CAÑO NAVAJITAS y CAÑO YURIMENA. Estos resultados sugieren que las comunidades vegetales presentan una similitud moderada, posiblemente relacionada con la heterogeneidad ambiental de cada sistema (variaciones en el flujo hídrico, tipo de sustrato o disponibilidad de nutrientes), así como por la especialización ecológica de algunas especies adaptadas a condiciones particulares.

La ausencia de similitudes altas podría indicar que estas Microcuencas funcionan como unidades ecológicas relativamente independientes, con baja superposición en la composición de especies dominantes.

Adicionalmente, se identificaron especies con distribución restringida que influyen en la baja similitud general observada. Por ejemplo, *Paspalum* sp. fue exclusivo de RÍO CABUYARITO. *Urochloa* sp. mostró dominancia en CAÑO PIRIGUA y BAJO RÍO NEGRO, estando ausente en las demás Microcuencas analizadas. *Eleocharis* sp., por su parte, fue abundante en CAÑO EL BORAL y CAÑO YARICO, sin presencia registrada en otros sistemas. Estas especies reflejan patrones ecológicos particulares que podrían estar asociados a características ambientales locales y procesos de selección ecológica específicos.

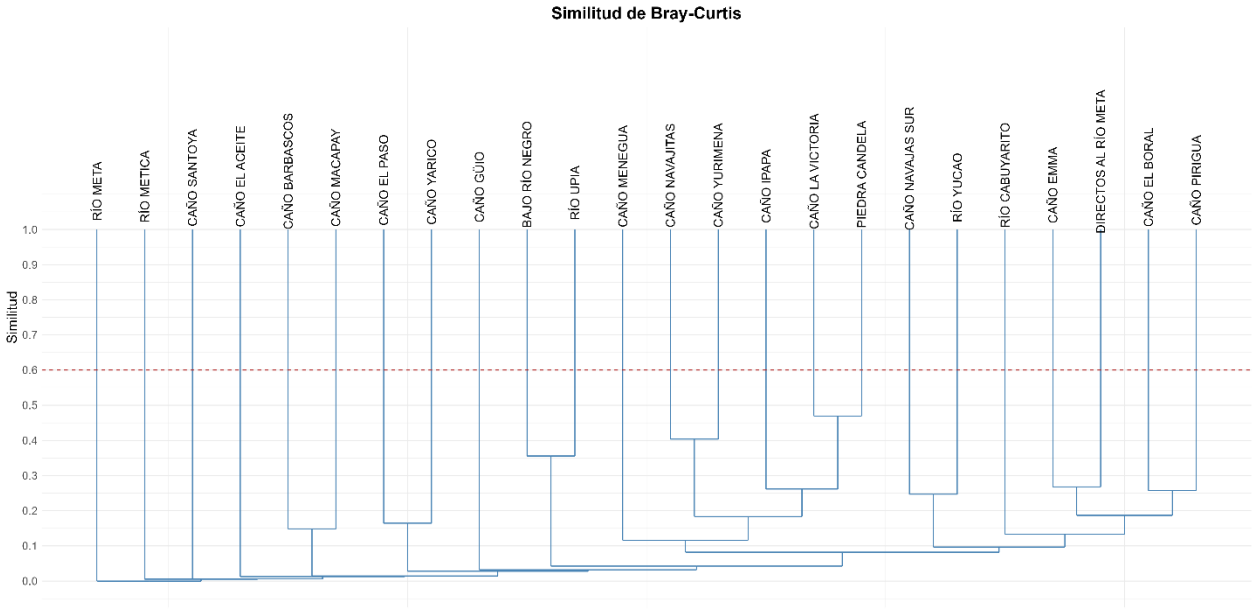


Figura 3.3.3-203 Similitud de Bray-Curtis de la comunidad de macrófitas acuáticas cuerpos de agua lóticos

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

Los resultados obtenidos para sistemas lóticos reflejan una baja similitud entre Microcuencas, lo cual sugiere que las comunidades de macrófitas están estructuradas de manera independiente, probablemente influenciadas por la dinámica hidrológica y las condiciones ambientales locales. La similitud moderada entre CAÑO EMMA y CAÑO EL PASO destaca la relevancia de ciertas especies como *Pontederia* sp. en la composición vegetal de estos entornos. La alta proporción de especies exclusivas en múltiples caños y ríos considera la heterogeneidad y la especialización de hábitat que caracteriza a estos sistemas acuáticos.

- *Ictiofauna*

  - ✓ *Época seca*

La **Figura 3.3.3-204** es un dendrograma basado en el índice de similitud de Bray-Curtis, que evalúa la similitud o disimilitud entre comunidades de peces en los puntos de muestreo lénticos dentro del área de influencia del Bloque CPO-5en época seca. Los puntos de muestreo analizados son BANDERAS_CLE_01 (Microcuenca del Caño Banderas), PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02 (Microcuenca del Caño Pirigua), VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03 (Microcuenca del Caño Venturosa), y MADREVIEJA_HUMEA_02 (Microcuenca del Río Humea).

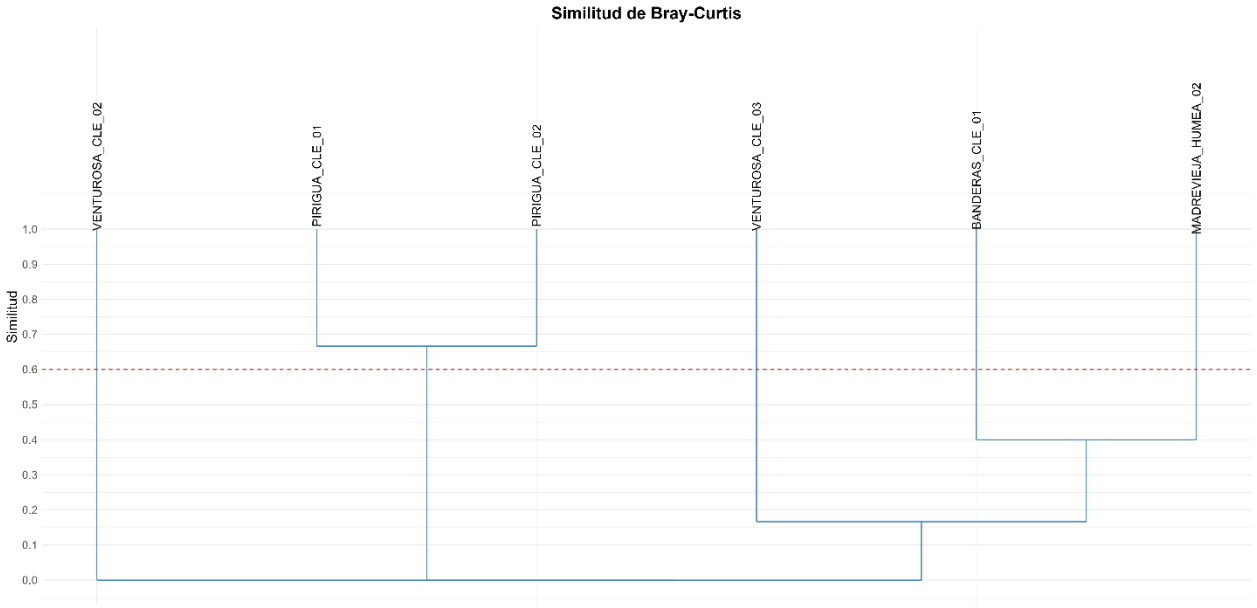


Figura 3.3.3-204 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de icitiofauna en cuerpos lénticos en época seca.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

En el análisis, se observa que los puntos de muestreo PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02, ambos ubicados en la Microcuenca del Caño Pirigua, exhiben una alta similitud con un valor cercano a 0,8 (**Figura 3.3.3-204**). Esto se debe a la presencia de especies como *Odontostilbe splendida*, que domina con una abundancia de 3 individuos en la estación PIRIGUA_CLE_01 y se complementa con *Aphyocharax erythrurus* (abundancia 2 individuos), y la misma *Odontostilbe splendida* (abundancia 4 individuos) en la estación PIRIGUA_CLE_02. La riqueza de especies es baja en la estación PIRIGUA_CLE_01 (1 especie) y aumenta a 2 en la estación PIRIGUA_CLE_02, con índices de diversidad Shannon de 0 y 0.637, respectivamente, y Simpson de 1 y 0.556. Esta continuidad en la presencia de *O. splendida*, sugiere que las condiciones ecológicas de la Microcuenca del Caño Pirigua favorecen a esta especie, reflejando una homogeneidad dentro de esta Microcuenca del bioma.

Por su parte, los puntos de muestreo VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03, ambos en la Microcuenca del Caño Venturosa, muestran una similitud moderada a alta, con un nivel aproximado de 0.6 a 0.7 (**Figura 3.3.3-204**). En la estación VENTUROSA_CLE_02 se registran *Aphyocharax erythrurus* (abundancia 2 individuos), *Odontostilbe splendida* (abundancia 4 individuos) y Tetragonopterus argenteus (abundancia 3 individuos), con una abundancia total de 5 y una riqueza de 2 especies, mientras que VENTUROSA_CLE_03 incluye *Tetragonopterus argenteus* (abundancia 3 individuos), alcanzando una abundancia de 3 y una riqueza de 3. Los índices de diversidad Shannon (0.637 y 1.099) y Simpson (0.556 y 0.333) indican una mayor variabilidad en la estación VENTUROSA_CLE_03, lo que podría deberse a la adición de nuevas especies. La presencia de *Tetragonopterus argenteus*, refuerza la similitud dentro de la

Microcuenca del Caño Venturosa, sugiriendo que las características hídricas y biológicas de esta Microcuenca influyen en la composición de la comunidad de peces.

En contraste, los puntos de muestreo de Microcuencas diferentes, como BANDERAS_CLE_01 (Microcuenca del Caño Banderas) y MADREVIEJA_HUMEA_02 (Microcuenca del Río Humea), presentan una similitud mucho menor, cayendo por debajo de 0.5 (**Figura 3.3.3-204**). En la estación BANDERAS_CLE_01 se encontraron *Gymnocorymbus thayeri*, *Serrasalmus rhombeus* y *Pygocentrus cariba*, con una abundancia total de 3, riqueza de 3, Shannon de 1.099 y Simpson de 0.333. En la estación MADREVIEJA_HUMEA_02, se registraron *Serrasalmus striolatus* y *Pimelodella metae*, con una abundancia de 2, riqueza de 2, Shannon de 0.693 y Simpson de 0.5. La presencia compartida del género Serrasalmus, un pez carnívoro de la familia Serrasalmidae, sugiere alguna conexión ecológica entre Microcuencas, pero la diferencia en las especies dominantes (*Pimelodella metae*, en la Microcuenca del Caño Banderas) y la menor abundancia en la Microcuenca del Río Humea indican que las condiciones específicas de cada Microcuenca, diversifican las comunidades dentro del bioma.

El dendrograma muestra que la similitud de Bray-Curtis es mayor dentro de las mismas Microcuencas (Pirigua y Venturosa), con valores superiores a 0.6, y disminuye al comparar Microcuencas distintas (Banderas y Humea), con valores por debajo de 0.5. La línea roja punteada en 0.5 actúa como un umbral que separa grupos con similitud moderada a alta de aquellos con menor similitud, reflejando la influencia de factores ambientales y geográficos del bioma, como la hidrología y la conectividad entre Microcuencas (**Figura 3.3.3-204**). La dominancia de carácidos (*Odontostilbe splendida, Aphyocharax erythrurus, Tetragonopterus argenteus*) en las Microcuencas Pirigua y Venturosa, frente a la presencia de silúridos (*Pimelodella metae*) y serrasálmidos (*Serrasalmus striolatus*) en las Microcuencas de los caños Banderas y Humea, subraya cómo las adaptaciones de las especies a las condiciones locales del bioma determinan las agrupaciones observadas.

Los puntos de muestreo dentro de la misma Microcuenca, como PIRIGUA_CLE_01 y PIRIGUA_CLE_02 en la Microcuenca del Caño Pirigua y VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03 en la Microcuenca del Caño Venturosa, muestran altos niveles de similitud (superiores a 0.6), impulsados por la dominancia de especies como *Odontostilbe splendida, Aphyocharax erythrurus y Tetragonopterus argenteus*, lo que sugiere una homogeneidad ambiental favorable a los carácidos en estas áreas. Por otro lado, la comparación entre Microcuencas distintas, como la estación BANDERAS_CLE_01 (Microcuenca del Caño Banderas) y la estación MADREVIEJA_HUMEA_02 (Microcuenca del Río Humea), indica una menor similitud (por debajo de 0.5), atribuible a diferencias en la composición de especies, con la presencia de *Pimelodella metae* y *Serrasalmus striolatus* como indicadores de adaptaciones a condiciones específicas de cada Microcuenca. La línea de umbral en 0.5 del dendrograma delimita eficazmente estos grupos, destacando la importancia de factores como la conectividad dentro del bioma. En conjunto, los resultados subrayan que las variaciones en la riqueza y abundancia de especies reflejan adaptaciones locales, siendo las Microcuencas un factor determinante en la diversidad y distribución de las comunidades de peces encontradas.

Los puntos lóticos de muestreo analizados en época seca corresponden a estaciones dentro de los biomas Altillanura y Llanura de Inundación en diferentes Microcuencas dentro del área de producción CPO-5. La (**Figura 3.3.3-205**) permite identificar un clúster principal con similitudes que oscilan entre aproximadamente 0.6 y 0.9, agrupando a la mayoría de los puntos de muestreo. Este clúster incluye estaciones como TOTUMAL_CL_01, OCMY7, GÜIO_CL_01, YARICO_CL_03, NAVAJITAS_CL_01, YURIMENA_CL_03, OCMY2, UPIA_CL_01, META_CL_01A, METICA_CL_01, NAVAJAS_SUR_CL_02, NEGRO_CL_01, CABUYARITO_CL_01, OCM9, OCM2, MACAPAY_CL_01, MACAPAY_CL_02, PMASup_DS_12, ACEITE_CL_01, OCmn17, EL_PASO_CL_01, MENEGUA_CL_02, SANTOYA_CL_02, EMMA_CL_03, OCMY14, OCMY15, OCMY18, PIRIGUA_CL_02, PMASup_DS_15, PMASup_DS_18, UPIA_CL_02, YUCAO_CL_01, YUCAO_CL_02, OCMn11, y OCMY9. Dentro de este grupo, puntos como OCMY14 y OCM2 exhiben similitudes cercanas a 0.9, indicando una composición de especies y abundancias muy similar, mientras que estaciones como NAVAJITAS_CL_01 y NEGRO_CL_01 se sitúan cerca del umbral inferior con similitudes alrededor de 0.6, reflejando una relación más débil pero aún significativa.

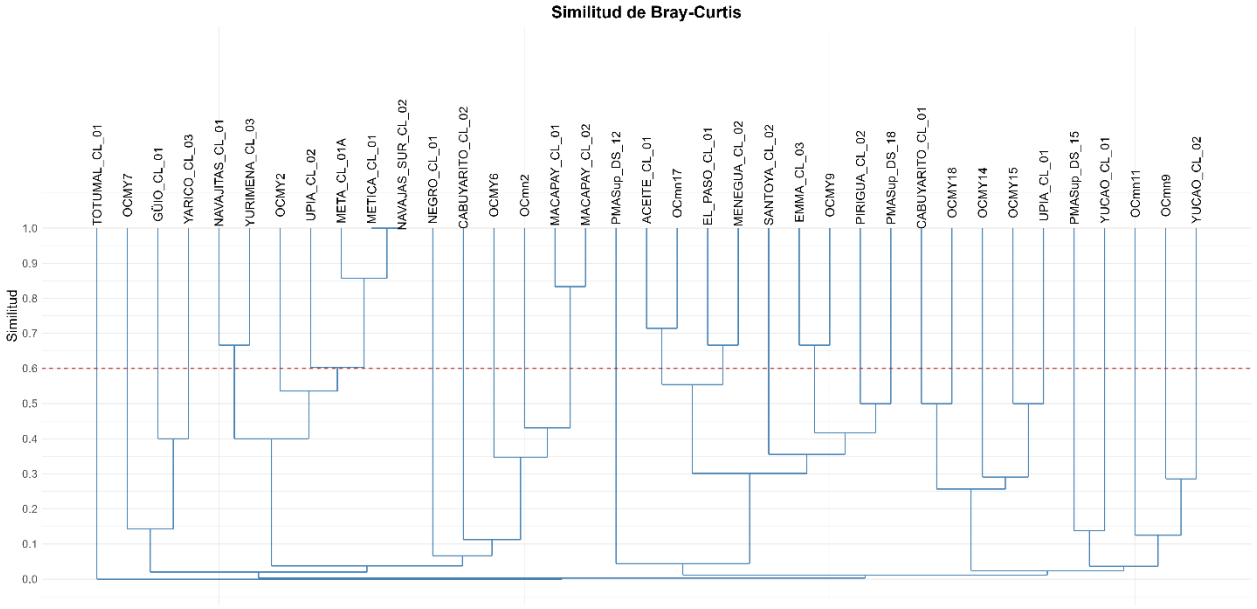


Figura 3.3.3-205 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en época seca.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

No se observa un segundo clúster completamente disímil con valores por debajo de 0.3, sin embargo, puntos de muestreo como PMASup_DS_15 y OCMY9 muestran similitudes cercanas a 0.6, sugiriendo una transición hacia una menor similitud dentro del clúster principal. Esto indica que, aunque todos los puntos mantienen al menos una similitud mínima (alrededor de 0.3 a 0.4), la mayoría se agrupa coherentemente por encima del umbral de 0.6. de esta forma, el clúster principal se forma debido a la presencia de especies compartidas y patrones de abundancia similares entre los puntos de muestreo. Por ejemplo, especies como *Pimelodus blochii* aparecen

en múltiples estaciones (META_CL_01A, OCMY2, NAVAJAS_SUR_CL_02, entre otros), contribuyendo a la similitud entre estos puntos (**Figura 3.3.3-205**). Del mismo modo, *Tetragonopterus argenteus* es común en varias estaciones de Altillanura (ACEITE_CL_01, OCmn17, EL_PASO_CL_01), lo que refuerza la similitud entre estos puntos. En la Llanura de Inundación, *Steindachnerina argentea* domina en PMASup_DS_15 con 18 individuos, pero su presencia junto con *Aequidens* sp. (5 individuos) aún permite cierta similitud con otros puntos que comparten estas especies, como PMASup_DS_18, donde *Aequidens metae* y *Astyanax bimaculatus* suman 4 individuos.

La alta similitud de OCMY14 (7 individuos, 6 especies incluyendo *Lasiancistrus tentaculatus* y *Aequidens tetramerus*) y OCM2 (8 individuos, 4 especies como *Odontostilbe splendida* y *Hyphessobrycon otrynus*) cerca de 0.9, se debe a la coincidencia en la diversidad de especies y la distribución de abundancias. Ambas estaciones comparten familias como Characidae y Loricariidae, con abundancias distribuidas entre varias especies, lo que reduce la dominancia y aumenta la similitud. En contraste, puntos con menor similitud, como NAVAJITAS_CL_01 (1 individuo, 1 especie: *Pimelodus albofasciatus*) y NEGRO_CL_01 (1 individuo, 1 especie: *Pimelodella metae*), tienen similitudes cercanas a 0.6 porque su baja riqueza y abundancia limitan el número de especies compartidas con otros puntos, aunque aún comparten algunas especies raras con el clúster. La formación de un clúster principal con similitudes entre 0.6 y 0.9 refleja que la mayoría de los puntos de muestreo comparten un conjunto significativo de especies y patrones de abundancia. Especies como *Pimelodus blochii*, *Tetragonopterus argenteus*, *Astyanax bimaculatus* y *Creagrutus bolivari* aparecen en múltiples estaciones de ambos biomas, contribuyendo a esta cohesión. La variación dentro del clúster, desde 0.6 hasta 0.9, se debe a diferencias en la riqueza y la distribución de abundancias, puntos con mayor riqueza (como OCMY14 con 6 especies) y distribuciones equitativas tienden a tener similitudes más altas, mientras que aquellos con menor riqueza (como NAVAJITAS_CL_01 con 1 especie) se acercan al umbral inferior.

En el caso de los puntos de muestreo PMASup_DS_15 (23 individuos, 2 especies: *Steindachnerina argentea* con 18 y *Aequidens* sp. con 5) y la estación OCMY9 (8 individuos, 4 especies: Tetragonopterus argenteus con 2, *Astyanax bimaculatus* con 2, *Astyanax venezuelae* con 2 y *Leporinus friderici* con 2) se observan similitudes cercanas a 0.6. La dominancia de *S. argentea* en PMASup_DS_15 reduce su similitud con puntos más diversos, mientras que la mayor riqueza de OCMY9, con abundancias equitativas, lo aleja ligeramente del resto del clúster al tener menos especies en común con puntos de menor diversidad. La transición hacia similitudes cercanas a 0.6 en PMASup_DS_15 y OCMY9 indica que la dominancia de una o pocas especies (como *Steindachnerina argentea* en PMASup_DS_15) o una diversidad mayor, pero con especies menos comunes (como en OCMY9) reduce la similitud con el resto del clúster. La ausencia de un clúster completamente disímil (por debajo de 0.3) sugiere que todos los puntos comparten al menos algunas especies o abundancias mínimas, lo que refleja una conexión comunitaria.

El análisis de la similitud de Bray-Curtis identifica un clúster principal que incluye a todos los puntos de muestreo (TOTUMAL_CL_01, OCMY7, GÜIO_CL_01, YARICO_CL_03, NAVAJITAS_CL_01, YURIMENA_CL_03, OCMY2, UPIA_CL_01, META_CL_01A, METICA_CL_01,

NAVAJAS_SUR_CL_02, NEGRO_CL_01, CABUYARITO_CL_01, OCM9, OCM2, MACAPAY_CL_01, MACAPAY_CL_02, PMASup_DS_12, ACEITE_CL_01, OCmn17, EL_PASO_CL_01, MENEGUA_CL_02, SANTOYA_CL_02, EMMA_CL_03, OCMY14, OCMY15, OCMY18, PIRIGUA_CL_02, PMASup_DS_15, PMASup_DS_18, UPIA_CL_02, YUCAO_CL_01, YUCAO_CL_02, OCMn11 y OCMY9) con similitudes entre 0.6 y 0.9, se basa en la presencia compartida de especies como *Pimelodus blochii*, *Tetragonopterus argenteus y Astyanax bimaculatus*, junto con patrones de abundancia similares. Dentro de este clúster, las estaciones OCMY14 y OCM2 alcanzan similitudes cercanas a 0.9 debido a su alta riqueza y distribución equitativa, mientras que NAVAJITAS_CL_01 y NEGRO_CL_01 se sitúan cerca de 0.6 por su baja riqueza. Puntos como PMASup_DS_15 y OCMY9, con similitudes alrededor de 0.6, reflejan una menor cohesión debido a la dominancia de *Steindachnerina argentea* o una diversidad con especies menos comunes. Esta estructura sugiere que las similitudes se derivan directamente de las especies y abundancias registradas, con variaciones que dependen de la riqueza y la dominancia dentro de cada estación.

- ✓ *Época lluviosa cuerpos lénticos*

Las estaciones, distribuidas en 11 Microcuencas dentro de los biomas Altillanura (8 estaciones, 28 individuos) y Llanura de Inundación (14 estaciones, 80 individuos), se agrupan en clústeres y subgrupos basados en los datos de abundancia para la época de lluvias y para cuerpos de agua lénticos (**Figura 3.3.3-206**).

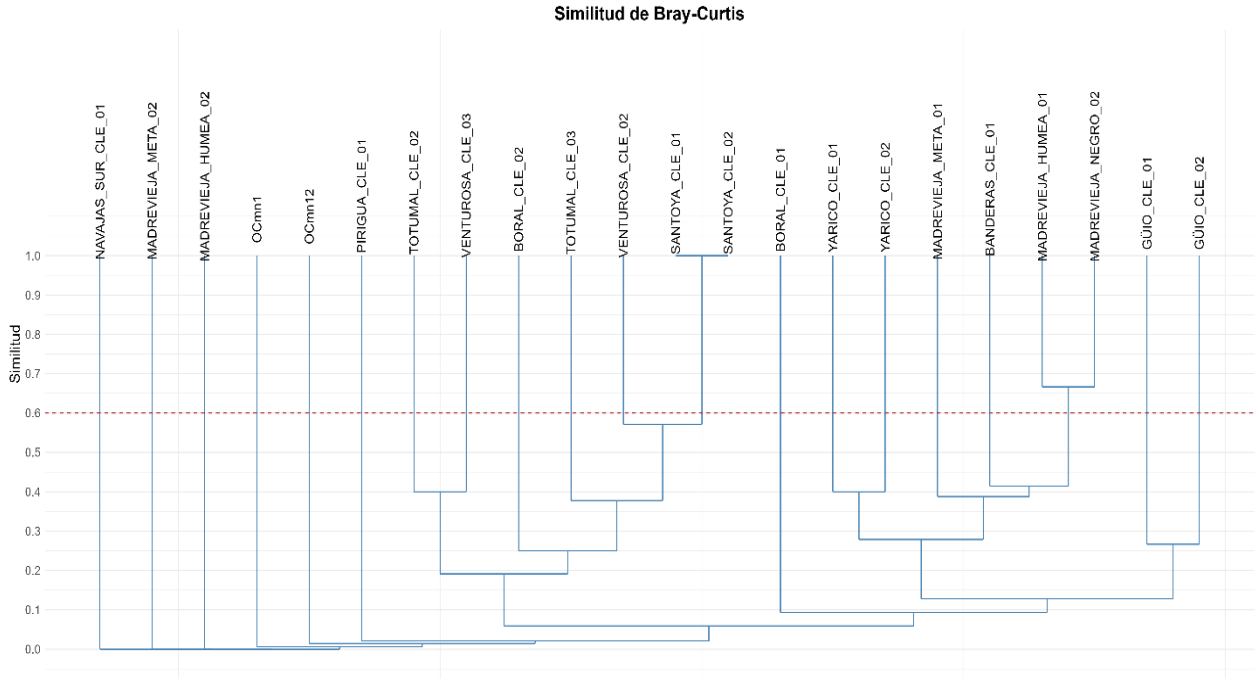


Figura 3.3.3-206 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lénticos en época lluviosa.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El dendrograma (**Figura 3.3.3-206**) presenta una estructura jerárquica con un nodo raíz que se bifurca en dos nodos principales a una altura de disimilaridad aproximada de 0.8-1.0, sugiriendo una división inicial entre los biomas Altillanura y Llanura de Inundación debido a diferencias taxonómicas significativas. Desde estos nodos, se ramifican subgrupos a alturas menores, entre 0.2 y 0.6, indicando grados de similaridad dentro de cada bioma. En la base, las estaciones se unen individualmente, mostrando variabilidad, algunas se fusionan a alturas bajas (<0.2), como estaciones de la misma Microcuenca, mientras otras permanecen separadas hasta alturas mayores (>0.9), reflejando baja similaridad entre Microcuencas distintas. La **Figura 3.3.3-206** sugiere al menos dos clústeres principales—alta diversidad y baja diversidad—con subgrupos que se detallan a continuación.

Clúster de Alta Diversidad (Llanura de Inundación): Este clúster (**Figura 3.3.3-206**) se forma a una altura de disimilaridad baja (~0.3), con subgrupos que se unen a alturas menores (0.1-0.15) e incluye estaciones con alta riqueza y equidad, como YARICO_CLE_01, YARICO_CLE_02, GÜIO_CLE_02, MADREVIEJA_HUMEA_01, y TOTUMAL_CLE_02 de las Microcuencas CAÑO YARICO, CAÑO GÜIO, RÍO HUMEA y CAÑO EL TOTUMAL, respectivamente. Estas estaciones se agrupan en subgrupos cercanos, con nodos a alturas de 0.1-0.2, reflejando alta similaridad taxonómica. Por ejemplo, YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02 se unen a una altura cercana a 0.1, mientras que GÜIO_CLE_02 y TOTUMAL_CLE_02 forman un subgrupo a aproximadamente 0.15. Esto se debe a que la estación YARICO_CLE_01 tiene 7 especies y 15 individuos (Shannon: 1.859, Pielou: 0.955), la estación YARICO_CLE_02 tiene 7 especies y 15 individuos (Shannon: 1.899, Pielou: 0.976), la estación GÜIO_CLE_02 tiene 8 especies y 11 individuos (Shannon: 1.972, Pielou: 0.948), la estación MADREVIEJA_HUMEA_01 tiene 4 especies y 8 individuos (Shannon: 1.494, Pielou: 0.978), y la estación TOTUMAL_CLE_02 tiene 5 especies y 6 individuos (Shannon: 1.561, Pielou: 0.97). Especies compartidas incluyen a *Ctenobrycon spilurus* (5 en YARICO_CLE_01, 4 en YARICO_CLE_02, 1 en GÜIO_CLE_02, 1 en TOTUMAL_CLE_02), *Astyanax bimaculatus* (2 en YARICO_CLE_01, 1 en YARICO_CLE_02, 1 en GÜIO_CLE_02, 1 en TOTUMAL_CLE_02), y *Serrasalmus irritans* (1 en YARICO_CLE_02, 1 in GÜIO_CLE_02). La alta equidad (Pielou > 0.9 en la mayoría) y riqueza (4-8 especies) en estas estaciones de las Microcuencas CAÑO YARICO, CAÑO GÜIO, RÍO HUMEA y CAÑO EL TOTUMAL explican su agrupamiento cercano, indicando hábitats diversos con abundantes recursos.

Clúster de Baja Diversidad (Altillanura y Llanura de Inundación Mezclados): Este clúster (**Figura 3.3.3-206**) se forma a una altura de disimilaridad alta (>0.9) e incluye estaciones con baja riqueza y alta dominancia, como la estación MADREVIEJA_META_02 de la Microcuenca del RÍO META, la estación NAVAJAS_SUR_CLE_01 de la Microcuenca CAÑO NAVAJAS SUR, la estación BORAL_CLE_02 de la Microcuenca CAÑO EL BORAL, y la estación MADREVIEJA_HUMEA_02 de la Microcuenca RÍO HUMEA. Estas estaciones se unen en nodos separados, con fusiones tardías a alturas mayores a 0.8, reflejando composiciones taxonómicas dispares. Por ejemplo, MADREVIEJA_META_02 y NAVAJAS_SUR_CLE_01 se unen a una altura cercana a 0.9, mientras que BORAL_CLE_02 y MADREVIEJA_HUMEA_02 lo hacen a una altura superior a 0.85. Esto se debe a que la estación MADREVIEJA_META_02 tiene 1 especie (Satanoperca mapiritensis, 1 individuo, Shannon: 0, Pielou: indefinido), la estación NAVAJAS_SUR_CLE_01 tiene 1 especie (*Pterodoras rivasi*, 1 individuo, Shannon: 0, Pielou: -), la estación BORAL_CLE_02 tiene 1 especie

(*Ctenobrycon spilurus*, 1 individuo, Shannon: 0, Pielou: -), y la estación MADREVIEJA_HUMEA_02 tiene 1 especie (*Markiana geayi*, 1 individuo, Shannon: 0, Pielou: -). La dominancia de una sola especie en cada estación, sin superposición significativa (e.g., *Satanoperca mapiritensis* no está en NAVAJAS_SUR_CLE_01), genera alta disimilaridad. La baja riqueza (1 especie) y Shannon nulo en estas estaciones de las Microcuencas del RÍO META, CAÑO NAVAJAS SUR, CAÑO EL BORAL y RÍO HUMEA sugieren hábitats homogéneos o con recursos limitados.

Clúster Intermedio (Estaciones Equilibradas): Este clúster (**Figura 3.3.3-206**) se forma a una altura de disimilaridad moderada (0.4-0.6) e incluye estaciones con riqueza moderada y equidad variable, como BANDERAS_CLE_01 y OCmn12 de la Microcuenca CAÑO BANDERAS, VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03 de la Microcuenca CAÑO VENTUROSA, y SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02 de la Microcuenca CAÑO SANTOYA. Estas estaciones se agrupan en subgrupos con nodos a alturas de 0.4-0.5, mostrando similaridad intermedia. Por ejemplo, BANDERAS_CLE_01 y OCmn12 se unen a una altura de aproximadamente 0.4, mientras que VENTUROSA_CLE_02 y VENTUROSA_CLE_03 lo hacen a unos 0.5. Esto se debe a que la estación BANDERAS_CLE_01 tiene 4 especies y 7 individuos (Shannon: 1.154, Pielou: 0.832), la estación OCmn12 tiene 4 especies y 6 individuos (Shannon: 1.33, Pielou: 0.959), la estación VENTUROSA_CLE_02 tiene 2 especies y 4 individuos (Shannon: 0.693, Pielou: 1.0), la estación VENTUROSA_CLE_03 tiene 4 especies y 4 individuos (Shannon: 1.386, Pielou: 1.0), la estación SANTOYA_CLE_01 tiene 3 especies y 3 individuos (Shannon: 1.099, Pielou: 1.0), y la estación SANTOYA_CLE_02 tiene 3 especies y 3 individuos (Shannon: 1.099, Pielou: 1.0). Especies compartidas incluyen *Tetragonopterus argenteus* (1 en SANTOYA_CLE_01, 1 en SANTOYA_CLE_02, 2 in VENTUROSA_CLE_02), *Pimelodus albofasciatus* (1 en SANTOYA_CLE_01, 1 en SANTOYA_CLE_02), y *Hoplias malabaricus* (1 en BANDERAS_CLE_01). La equidad moderada a alta (Pielou 0.832-1.0) y riqueza de 2-4 especies en estas estaciones de las Microcuencas CAÑO BANDERAS, CAÑO VENTUROSA y CAÑO SANTOYA justifican su agrupamiento intermedio, indicando comunidades estables con diversidad moderada.

La estructura del dendrograma se alinea con los índices de diversidad. Estaciones del clúster de alta diversidad, como YARICO_CLE_02 (Shannon: 1.899, Pielou: 0.976) y GÜIO_CLE_02 (Shannon: 1.972, Pielou: 0.948), con múltiples especies compartidas (*Ctenobrycon spilurus*, *Astyanax bimaculatus*), exhiben disimilaridades bajas (<0.2). En el clúster de baja diversidad, estaciones como MADREVIEJA_META_02 (Shannon: 0, 1 especie) y NAVAJAS_SUR_CLE_01 (Shannon: 0, 1 especie) muestran disimilaridades altas (>0.9) debido a la ausencia de especies comunes. El clúster intermedio, con Shannon entre 0.693 y 1.386 y Pielou de 0.832-1.0, refleja una transición, respaldada por especies como *Tetragonopterus argenteus* y *Pimelodus albofasciatus* presentes en varias Microcuencas.

El dendrograma se divide en tres clústeres: alta diversidad en Llanura de Inundación (e.g., YARICO_CLE_01, GÜIO_CLE_02), baja diversidad en Altillanura y Llanura de Inundación (e.g., MADREVIEJA_META_02, BORAL_CLE_02), e intermedio con estaciones equilibradas (e.g., BANDERAS_CLE_01, VENTUROSA_CLE_02).

Las Microcuencas de los caños CAÑO YARICO y CAÑO GÜIO muestran baja disimilaridad (<0.2) por *Ctenobrycon spilurus* y *Hyphessobrycon otrynus*, mientras que las Microcuencas RÍO META y CAÑO NAVAJAS SUR tienen alta disimilaridad (>0.9) por su baja riqueza.

Ctenobrycon spilurus (11 individuos) y Astyanax bimaculatus (5 individuos) dominan la similaridad en las Microcuencas de Llanura de Inundación, mientras que *Pimelodus albofasciatus* (2 individuos) y *Sturisoma tenuirostre* (3 individuos) lo hacen en Altillanura.

Llanura de Inundación presenta hábitats diversos con alta riqueza, mientras que Altillanura muestra comunidades simplificadas, con estaciones dominadas por una especie.

El dendrograma para la temporada de lluvias para cuerpos de agua lóticos (**Figura 3.3.3-207**) exhibe una estructura jerárquica con un nodo raíz que se divide en dos nodos principales a una altura de disimilaridad aproximada de 0.85-1.0, sugiriendo una separación inicial entre los biomas Altillanura y Llanura de Inundación debido a diferencias taxonómicas marcadas. Desde estos nodos, se ramifican subgrupos a alturas menores, entre 0.2 y 0.6, reflejando grados de similaridad dentro de cada bioma. En la base, las estaciones se unen individualmente, mostrando variabilidad: algunas se fusionan a alturas bajas (<0.2), como estaciones de la misma Microcuenca, mientras otras permanecen separadas hasta alturas mayores (>0.9), indicando baja similaridad entre Microcuencas distintas. La imagen sugiere tres clústeres principales—alta diversidad, baja diversidad e intermedio—con subgrupos que se detallan a continuación.

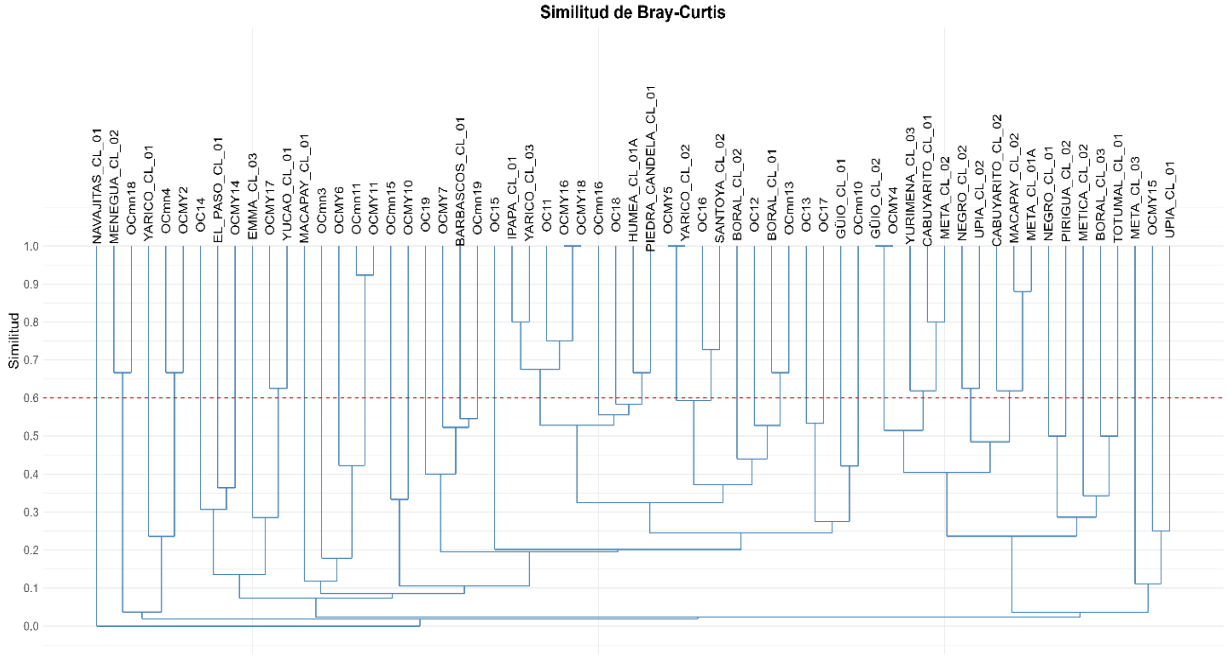


Figura 3.3.3-207 Dendograma de similaridad de Bray-Curtis de la comunidad de ictiofauna en cuerpos lóticos en época lluviosa.

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

Clúster de Alta Diversidad (Llanura de Inundación): Este clúster (**Figura 3.3.3-207**) se forma a una altura de disimilaridad baja (~0.3), con subgrupos que se unen a alturas menores (0.1-0.15), e incluye estaciones con alta riqueza y equidad, como BORAL_CL_01, OCmn13, OC15, OC17 y OC19 de la Microcuenca CAÑO EL BORAL, YARICO_CL_02 y YARICO_CL_03 de la Microcuenca CAÑO YARICO, y GÜIO_CL_02 de la Microcuenca CAÑO GÜIO. Estas estaciones se agrupan en subgrupos cercanos, con nodos a alturas de 0.1-0.2, reflejando alta similaridad taxonómica. Por ejemplo, BORAL_CL_01 y OC15 se unen a una altura cercana a 0.1, mientras que OCmn13 y YARICO_CL_02 forman un subgrupo a aproximadamente 0.15. Esto se debe a que la estación BORAL_CL_01 tiene 7 especies y 8 individuos (Shannon: 1.906, Pielou: 0.979), OCmn13 tiene 8 especies y 10 individuos (Shannon: 2.164, Pielou: 0.99), OC15 tiene 6 especies y 6 individuos (Shannon: 1.792, Pielou: 1.0), YARICO_CL_02 tiene 6 especies y 8 individuos (Shannon: 1.667, Pielou: 0.93), y GÜIO_CL_02 tiene 4 especies y 6 individuos (Shannon: 1.242, Pielou: 0.896). Las especies compartidas incluyen a *Ctenobrycon spilurus* (1 en BORAL_CL_01, 1 en OCmn13, 1 en OC15, 3 en YARICO_CL_02, 1 en GÜIO_CL_02), *Astyanax bimaculatus* (2 en BORAL_CL_01, 2 en OCmn13, 2 en OC17, 1 en YARICO_CL_02, 1 en GÜIO_CL_02), y *Cyphocharax oenas* (1 en BORAL_CL_01, 4 en OCmn13, 1 en OC15). La alta equidad (Pielou > 0.9 en la mayoría) y riqueza (4-8 especies) en estas estaciones de las Microcuencas CAÑO EL BORAL, CAÑO YARICO y CAÑO GÜIO explican su agrupamiento cercano, indicando hábitats diversos con abundantes recursos.

Clúster de Baja Diversidad (Altillanura): Este clúster (**Figura 3.3.3-207**) se forma a una altura de disimilaridad alta (>0.9) e incluye estaciones con baja riqueza y alta dominancia, como IPAPA_CL_01 de la Microcuenca CAÑO IPAPA, NAVAJITAS_CL_01 de la Microcuenca CAÑO NAVAJITAS, BARBASCOS_CL_01 de la Microcuenca CAÑO BARBASCOS, y OCMY2 de la Microcuenca CAÑO PIRIGUA. Estas estaciones se unen en nodos separados, con fusiones tardías a alturas mayores a 0.8, reflejando composiciones taxonómicas dispares. Por ejemplo, IPAPA_CL_01 y NAVAJITAS_CL_01 se unen a una altura cercana a 0.9, mientras que BARBASCOS_CL_01 y OCMY2 lo hacen a una altura superior a 0.85. Esto se debe a que IPAPA_CL_01 tiene 1 especie (*Tetragonopterus argenteus*, 8 individuos, Shannon: 0, Pielou: indefinido), NAVAJITAS_CL_01 tiene 1 especie (*Brachyhypopomus brevirostris*, 1 individuo, Shannon: 0, Pielou: -), BARBASCOS_CL_01 tiene 1 especie (*Tetragonopterus chalceus*, 3 individuos, Shannon: 0, Pielou: -), y OCMY2 tiene 1 especie (*Roeboides affinis*, 1 individuo, Shannon: 0, Pielou: -). La dominancia de una sola especie en cada estación, sin superposición significativa (e.g., *Tetragonopterus argenteus* no está en NAVAJITAS_CL_01), genera alta disimilaridad. La baja riqueza (1 especie) y Shannon nulo en estas estaciones de las Microcuencas CAÑO IPAPA, CAÑO NAVAJITAS, CAÑO BARBASCOS y CAÑO PIRIGUA sugieren hábitats homogéneos o con recursos limitados.

Clúster Intermedio (Estaciones Equilibradas): Este clúster (**Figura 3.3.3-207**) se forma a una altura de disimilaridad moderada (0.4-0.6) e incluye estaciones con riqueza moderada y equidad variable, como EL_PASO_CL_01 de la Microcuenca CAÑO EL PASO, UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02 de la Microcuenca RÍO UPIA, SANTOYA_CL_02 de la Microcuenca CAÑO SANTOYA, y HUMEA_CL_01A de la Microcuenca RÍO HUMEA. Estas estaciones se agrupan en subgrupos con nodos a alturas de 0.4-0.5, mostrando similaridad intermedia. Por ejemplo, UPIA_CL_01 y UPIA_CL_02 se unen a una altura de aproximadamente 0.4, mientras que EL_PASO_CL_01 y

SANTOYA_CL_02 lo hacen a unos 0.5. Esto se debe a que EL_PASO_CL_01 tiene 6 especies y 8 individuos (Shannon: 1.733, Pielou: 0.967), UPIA_CL_01 tiene 4 especies y 6 individuos (Shannon: 1.242, Pielou: 0.896), UPIA_CL_02 tiene 4 especies y 8 individuos (Shannon: 1.074, Pielou: 0.775), SANTOYA_CL_02 tiene 3 especies y 5 individuos (Shannon: 1.055, Pielou: 0.96), y HUMEA_CL_01A tiene 2 especies y 4 individuos (Shannon: 0.693, Pielou: 1.0). Las especies compartidas incluyen a *Astyanax bimaculatus* (1 en EL_PASO_CL_01, 1 en SANTOYA_CL_02), *Tetragonopterus argenteus* (1 en EL_PASO_CL_01, 2 en SANTOYA_CL_02), y *Pimelodus blochii* (5 en UPIA_CL_02). La equidad moderada a alta (Pielou 0.775-1.0) y riqueza de 2-6 especies en estas estaciones de las Microcuencas CAÑO EL PASO, RÍO UPIA, CAÑO SANTOYA y RÍO HUMEA justifican su agrupamiento intermedio, indicando comunidades estables con diversidad moderada.

La estructura del dendrograma (**Figura 3.3.3-207**) se correlaciona directamente con los índices de diversidad. Estaciones del clúster de alta diversidad, como OCmn13 (Shannon: 2.164, Pielou: 0.99) y BORAL_CL_01 (Shannon: 1.906, Pielou: 0.979), con múltiples especies compartidas (*Ctenobrycon spilurus, Astyanax bimaculatus*), exhiben disimilaridades bajas (<0.2). En el clúster de baja diversidad, estaciones como IPAPA_CL_01 (Shannon: 0, 1 especie) y NAVAJITAS_CL_01 (Shannon: 0, 1 especie) muestran disimilaridades altas (>0.9) debido a la ausencia de especies comunes. El clúster intermedio, con Shannon entre 0.693 y 1.733 y Pielou de 0.775-1.0, refleja una transición, respaldada por especies como *Pimelodus blochii* y *Astyanax bimaculatus* presentes en varias Microcuencas.

El dendrograma se divide en tres clústeres: alta diversidad en Llanura de Inundación (e.g., BORAL_CL_01, OCmn13 de CAÑO EL BORAL; YARICO_CL_02 de CAÑO YARICO), baja diversidad en Altillanura (e.g., IPAPA_CL_01 de CAÑO IPAPA, NAVAJITAS_CL_01 de CAÑO NAVAJITAS), e intermedio con estaciones equilibradas (e.g., EL_PASO_CL_01 de CAÑO EL PASO, UPIA_CL_01 de RÍO UPIA).

Las Microcuencas CAÑO EL BORAL y CAÑO YARICO muestran baja disimilaridad (<0.2) por *Ctenobrycon spilurus* y *Astyanax bimaculatus*, mientras que las Microcuencas CAÑO IPAPA y CAÑO NAVAJITAS tienen alta disimilaridad (>0.9) por su baja riqueza.

Ctenobrycon spilurus (17 individuos) y *Astyanax bimaculatus* (8 individuos) dominan la similaridad en las Microcuencas de Llanura de Inundación, mientras que *Pimelodus blochii* (5 individuos) lo hace en Altillanura.

La Llanura de Inundación presenta hábitats diversos con alta riqueza, mientras que Altillanura muestra comunidades simplificadas, con estaciones dominadas por una especie.

3.3.3.2.31 Índice de Calidad Ecológica (ICE)

Aunque se adelantaron muestreos en los diferentes grupos biológicos, los datos obtenidos no cumplieron con los criterios necesarios para garantizar la validez estadística del índice.

Si bien se realizó el monitoreo de las comunidades de macrófitas e ictiofauna en todos los puntos establecidos, la información recopilada no alcanzó un nivel de solidez suficiente para respaldar cálculos estadísticos significativos. Esta limitación podría derivar en estimaciones artificialmente bajas del índice de calidad ecológica, incluso en cuerpos de agua con condiciones favorables. Por este motivo, no fue viable aplicar herramientas multivariadas como el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) ni el Análisis de Redundancia (RDA) para estas comunidades.

Además, se adjuntan los anexos correspondientes que contienen la información utilizada en el análisis, así como el código fuente empleado para el cálculo del índice. Estos documentos incluyen la metodología detallada, los parámetros estadísticos considerados y los procedimientos de validación utilizados para garantizar la robustez del análisis. El código implementado sigue un enfoque basado en técnicas de análisis multivariado y métricas de calidad ecológica, permitiendo la integración de datos provenientes de los monitoreos realizados en todos los puntos de muestreo. Asimismo, se emplearon criterios de exclusión y filtros de normalización para minimizar el impacto de posibles sesgos en la estimación del índice. Con esta documentación, se proporciona una base clara para la replicabilidad del estudio, facilitando su aplicación en futuras evaluaciones de calidad ecológica en sistemas hídricos similares.

Si bien el ACC y el RDA son herramientas eficaces para evaluar la estructura de comunidades biológicas en función de gradientes ambientales, su aplicación en peces y macrófitas resulta poco apropiada debido a la naturaleza propia de estas comunidades. A diferencia de grupos como perifiton, zooplancton, fitoplancton y macroinvertebrados acuáticos, los peces y macrófitas tienden a presentar una menor diversidad y variabilidad estructural, lo que reduce la sensibilidad de los modelos estadísticos al detectar patrones significativos de respuesta ambiental.

Las comunidades de peces suelen estar influenciadas por factores tróficos y dinámicas poblacionales más que por variaciones directas en los parámetros fisicoquímicos del agua, lo que limita la capacidad del ACC y RDA para describir su distribución con precisión. Asimismo, las macrófitas, al ser organismos sésiles con una estructura poblacional determinada por factores hidromorfológicos y disponibilidad de luz, presentan una respuesta menos compleja a los gradientes ambientales que otras comunidades más dinámicas y de mayor plasticidad ecológica.

Finalmente, es importante señalar que, para facilitar la lectura de las gráficas, las variables fisicoquímicas están etiquetadas con una nomenclatura específica, la cual se menciona a lo largo de la discusión. En los triplots, los nombres de los puntos de monitoreo se representarán mediante sus respectivos ID.

- *Época Seca*
  - ✓ *Fitoplancton*
    - Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 3.84σ, lo que sugiere un comportamiento no lineal debido a la heterogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo

del análisis, se seleccionaron las variables Conductividad (Cond.), Turbidez (Turb.), Color, Sulfatos (SO4), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), aplicable cuando el gradiente es superior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

```
              vif
Cond.  1.579006
Turb.  3.009823
Color  2.104130
SO4    1.316306
Al     2.112730
Fe     3.980915
Mn     1.164624
```

Figura 3.3.3-208 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for cca under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: cca(formula = Y ~ Cond. + Turb. + Color + SO4 + Al + Fe + Mn, data = X, scale = F)
          Df ChiSquare      F Pr(>F)
Model      7    1.7928 1.547  0.043 *
Residual 16    2.6489
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Figura 3.3.3-209 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El modelo fue significativo (p = 0.043), lo que confirma la existencia de una relación relevante entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad biológica analizada. Con un tamaño de muestra mayor (n > 10), se fortaleció la capacidad del análisis para detectar patrones ecológicos robustos, reduciendo la influencia de posibles sesgos derivados de la variabilidad muestral.

El análisis de correspondencia canónica (CCA) reveló que los ejes CCA1 y CCA2 explican buena parte de la variabilidad observada en la distribución de los géneros biológicos en función de los parámetros fisicoquímicos. Las flechas en el gráfico correspondiente reflejan tanto la dirección

como la intensidad de la influencia de cada variable ambiental. Aquellas más largas indican una mayor correlación con la estructura de la comunidad.

En cuanto al eje CCA1, se observó que el parámetro Color tiene una fuerte influencia positiva, orientándose hacia la derecha del gráfico. Esta variable se encuentra asociada a géneros como *Navicula, Actinella* y *Spirulina*, lo que sugiere que cuerpos de agua con mayor coloración posiblemente relacionada con materia orgánica disuelta favorecen el desarrollo de estos organismos. Por otro lado, los parámetros de conductividad y turbidez muestran una correlación negativa, proyectándose hacia la izquierda. En esa zona predominan géneros como *Trachelomonas, Lepocinclis* y *Phacus*, los cuales parecen estar mejor adaptados a condiciones de baja turbidez.

El eje CCA2, por su parte, está fuertemente influenciado por el Aluminio, con una proyección vertical positiva. Este gradiente está asociado con géneros como *Ulnaria* y *Oscillatoria*, que presentan tolerancia a concentraciones elevadas de este metal. Aunque también se observan contribuciones menores de los Sulfatos y del parámetro de Color en este eje, su influencia resulta claramente secundaria. En contraste, elementos como el Hierro y el Manganeso muestran flechas cortas y cercanas al origen del gráfico, lo que indica un bajo impacto en la distribución de géneros dentro de este análisis.

La distribución de los sitios de monitoreo dentro del espacio de la CCA permitió identificar agrupaciones con patrones ambientales y biológicos similares. En la región superior derecha del gráfico se ubican puntos como BORAL_CLE_01 y VENTUROSA_CLE_02, ambos asociados a concentraciones elevadas de Aluminio y Sulfatos. En estas condiciones predominan géneros como *Ulnaria* y *Oscillatoria*. Hacia la izquierda del eje CCA1 se agrupan sitios como MADREVIEJA_META_02 y PIRIGUA_CLE_02, caracterizados por alta Conductividad y Turbidez, parámetros asociados a la presencia de *Trachelomonas* y *Lepocinclis*. Finalmente, en el cuadrante inferior derecho se encuentran estaciones como NAVAJAS_SUR_CLE_01 y META_CLE_01, las cuales se asocian a mayores niveles de Color y menor influencia del Aluminio, condiciones que favorecen géneros como *Navicula* y *Actinella*.

En cuanto a los géneros considerados indicadores, aquellos asociados a aguas claras y con baja Conductividad como *Trachelomonas, Lepocinclis* y *Phacus* se agrupan en la zona izquierda del gráfico, en correlación con valores negativos de los parámetros mencionados. Por otro lado, los géneros que muestran mayor tolerancia a metales pesados como el Aluminio tales como *Ulnaria, Oscillatoria* y *Cosmarium* se concentran en la parte superior, donde la influencia de este elemento es más marcada. Finalmente, géneros vinculados a aguas ricas en materia orgánica, como *Navicula, Actinella* y *Spirulina*, aparecen en el extremo derecho, reafirmando la asociación positiva con el parámetro de Color.

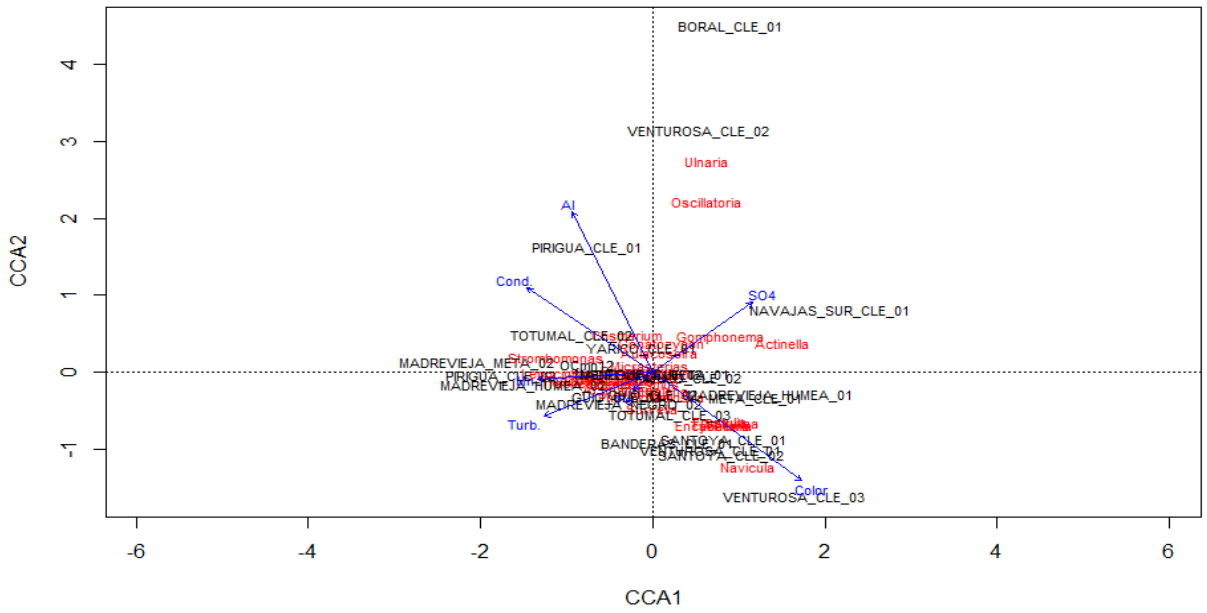


Figura 3.3.3-210 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de Fitoplancton

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

✓ *Zooplancton*

- Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 3.83σ, lo que sugiere un comportamiento no lineal debido a la heterogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron las variables Conductividad (Cond.), Color, Aluminio (Al), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), aplicable cuando el gradiente es superior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

```
              vif
Cond. 1.986683
Color 1.802639
Al    4.122332
Mn    4.855953
Zn    1.199238
```

Figura 3.3.3-211 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for cca under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: cca(formula = Y ~ Cond. + Color + Al + Mn + Zn, data = X, scale = F)
         Df ChiSquare      F Pr(>F)
Model     5   0.99208 1.9349  0.163
Residual  2   0.20509
```

Figura 3.3.3-212 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El resultado del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) no fue estadísticamente significativo (Pr(>F) = 0.163), lo que sugiere que, bajo las condiciones del modelo, las variables ambientales consideradas Conductividad, Color, Aluminio, Manganeso y Zinc no explican de forma significativa la variabilidad observada en la comunidad de zooplancton. No obstante, esta falta de significancia no necesariamente implica que dichos factores carezcan de influencia ecológica, sino que también está asociada a la baja diversidad registrada en los puntos de muestreo.

Aunque se realizaron monitoreos en varias estaciones, únicamente ocho (8) contaron con más de tres morfotipos identificados, condición mínima requerida para ajustar el modelo multivariado con cierto grado de robustez. Esta escasa representatividad biológica reduce drásticamente la capacidad del análisis para detectar patrones estructurales, limitando el poder explicativo del modelo, lo cual también se refleja en el bajo valor del estadístico de Chi-cuadrado (0.992). En consecuencia, la baja diversidad por punto restringe la precisión del análisis y condiciona la interpretación de los resultados, lo cual se puede observar en el siguiente triplot, donde al tener una comunidad tan escaza, no se ven patrones fuertes de correlación.

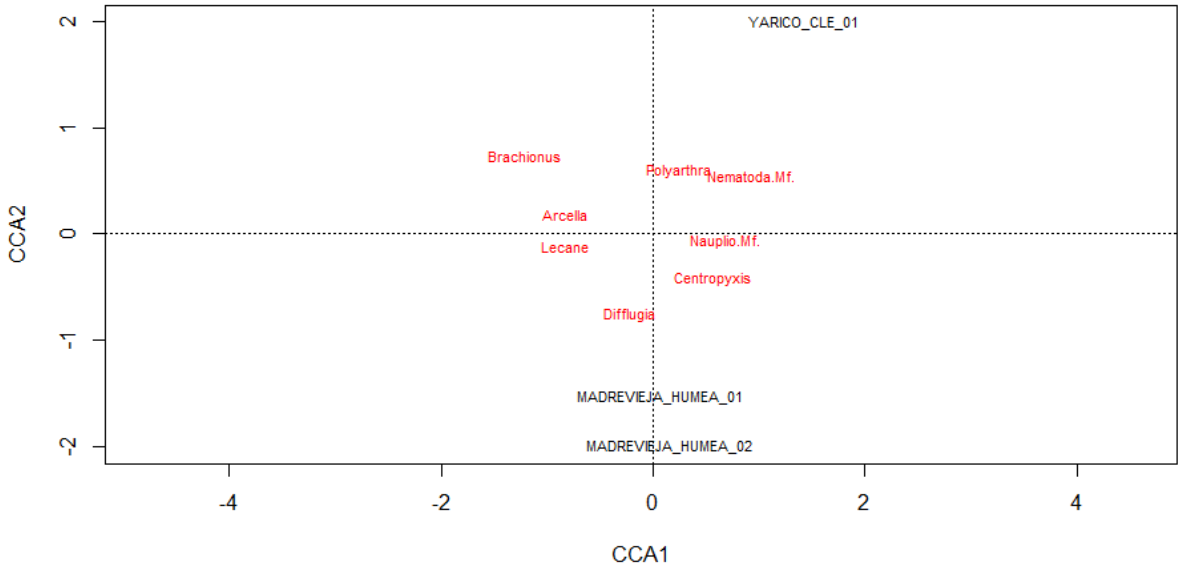


Figura 3.3.3-213 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de Zooplancton

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

✓ *Perifiton*

- Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 4.41σ, lo que sugiere un comportamiento no lineal debido a la heterogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron las variables Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Total (COT), Nitratos (NO3) y Zinc (Zn), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), aplicable cuando el gradiente es superior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

```
          vif
OD   1.054809
COT  1.038643
NO3  1.026394
Zn   1.052151
```

Figura 3.3.3-214 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for cca under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: cca(formula = Y ~ OD + COT + NO3 + Zn, data = X, scale = F)
         Df ChiSquare      F Pr(>F)
Model     4    1.4313 2.5973  0.041 *
Residual 48    6.6131
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Figura 3.3.3-215 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El modelo fue significativo (p = 0.041), lo que confirma la existencia de una relación relevante entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad biológica analizada. Con un tamaño de muestra mayor (n > 10), se fortaleció la capacidad del análisis para detectar patrones ecológicos robustos, reduciendo la influencia de posibles sesgos derivados de la variabilidad muestral.

Los ejes CCA1 y CCA2 representan las direcciones principales de variabilidad en la comunidad de perifiton, explicadas por los gradientes ambientales evaluados. En el caso del eje CCA1, se identificó una fuerte correlación negativa con los Nitratos (NO3), lo cual indica que los sitios con altos niveles de eutrofización tienden a ubicarse hacia el lado izquierdo del gráfico. Un ejemplo representativo es la estación PMASup_DS_19, cuya posición (CCA1 = -0.40) refleja esta condición. En cambio, variables como el oxígeno disuelto (OD) y el carbono orgánico total (COT) muestran una leve correlación positiva, lo que sitúa a sitios como EL_PASO_CL_01 (CCA1 = 0.79) en el extremo derecho del eje, caracterizándolos por aguas más oxigenadas.

En el eje CCA2, tanto el oxígeno disuelto como el carbono orgánico total tienen una influencia positiva considerable, mientras que los Nitratos presentan una contribución moderada. De este modo, los sitios ubicados en la parte superior del gráfico, como YURIMENA_CL_03 (CCA2 = 2.91), están asociados a ambientes con mayor productividad biológica, mientras que aquellos con bajos niveles de oxígeno disuelto, como PMASup_DS_19 (CCA2 = -1.89), se disponen en la parte inferior.

En términos de composición biológica, se observaron asociaciones claras entre determinados géneros perifíticos y las variables ambientales. En el caso de *Phormidium* (CCA1 = -4.52) y

Nitzschia (CCA1 = -0.24) están vinculados a ambientes con alta concentración de Nitratos, típicos de aguas eutróficas. Por el contrario, géneros como *Netrium* (CCA1 = 0.52; CCA2 = 0.35) y *Spirogyra* (CCA2 = 1.02) se relacionan con aguas bien oxigenadas y de buena calidad, sugiriendo afinidad por condiciones menos contaminadas. Un caso especial es *Navicula*, que al encontrarse en una posición intermedia (CCA1 = 0.20; CCA2 = 0.40), refleja una distribución más generalista y adaptable a distintos escenarios ambientales.

La agrupación de sitios dentro del espacio multivariado también permitió identificar ciertos patrones ecológicos. En el primer grupo, correspondiente a condiciones de alta eutrofización, destacan estaciones como PMASup_DS_19 y BORAL_CL_02, ambas asociadas a concentraciones elevadas de Nitratos y bajos niveles de oxígeno. El segundo grupo agrupa sitios con aguas oxigenadas o productivas, como EL_PASO_CL_01, caracterizado por alto oxígeno disuelto, y YURIMENA_CL_03, vinculado a un elevado contenido de carbono orgánico. Por último, PIRIGUA_CL_02 se presenta de forma aislada en el extremo izquierdo del CCA1, lo cual sugiere una posible influencia de contaminación por metales, a pesar de que estas variables no hayan sido incluidas explícitamente en los parámetros actuales del análisis.

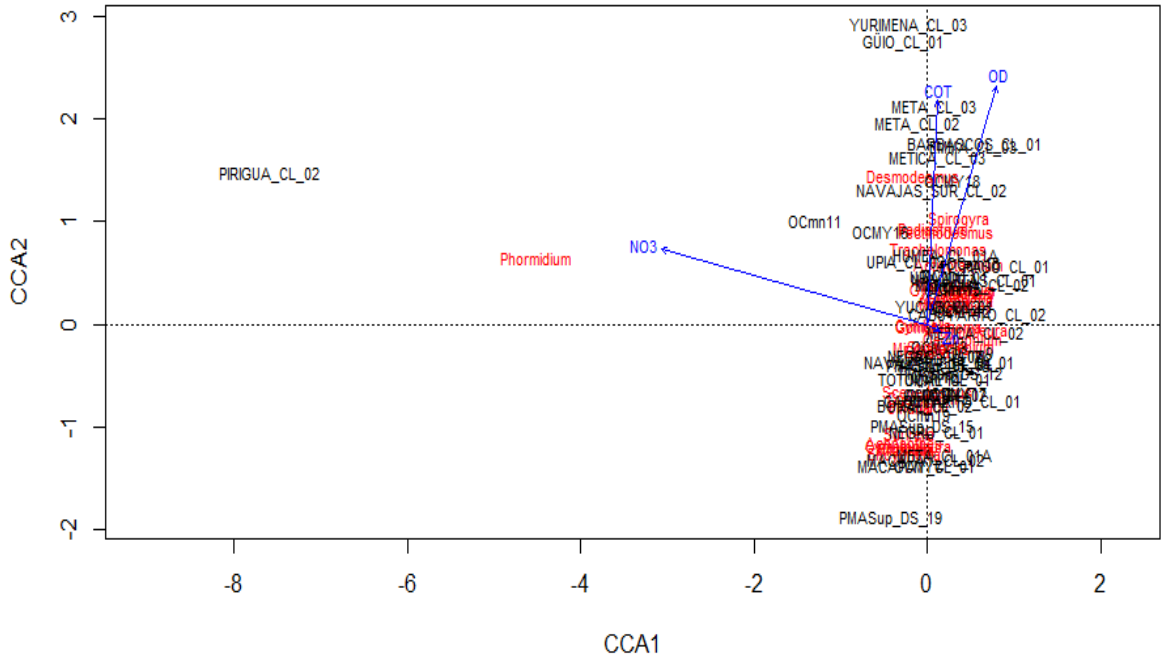


Figura 3.3.3-216 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad del perifiton

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

- ✓ Macroinvertebrados *acuáticos*

  - Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 3.50σ, lo que sugiere un comportamiento no lineal debido a la heterogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron las variables Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Total (COT), Alcalinidad (Alca.), Nitratos (NO3), Bario (Ba), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), aplicable cuando el gradiente es superior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

```
             vif
OD      2.571464
COT     1.267128
Alca.   1.099155
NO3     1.402165
Ba      1.962392
Mn      1.109366
Zn      1.088940
```

Figura 3.3.3-217 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for cca under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: cca(formula = Y ~ OD + COT + Alca. + NO3 + Ba + Mn + Zn, data = X, scale = F)
          Df ChiSquare      F Pr(>F)
Model      7    2.1148 1.5622  0.024 *
Residual 13    2.5141
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Figura 3.3.3-218 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El modelo fue significativo (p = 0.024), lo que confirma la existencia de una relación relevante entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad biológica analizada. Con un tamaño de muestra mayor (n > 10), se fortaleció la capacidad del análisis para detectar patrones

ecológicos robustos, reduciendo la influencia de posibles sesgos derivados de la variabilidad muestral.

El análisis de correspondencia canónica (CCA) aplicado a los morfotipos de macroinvertebrados permitió identificar patrones de distribución relacionados con las variables ambientales evaluadas. Los ejes CCA1 y CCA2 capturan las principales gradientes de variación estructural en la comunidad y permiten interpretar la influencia relativa de ciertos parámetros sobre su organización espacial.

En el eje CCA1 (horizontal), los metales pesados como el Bario (Ba) y el Zinc (Zn) fueron las variables con mayor peso positivo, indicando que los sitios ubicados hacia la derecha del gráfico presentan concentraciones elevadas de estos elementos. Estaciones como EL_PASO_CL_01, con un valor de CCA1 de 3.99, representan condiciones de alta carga metálica. Por el contrario, valores negativos en este eje, como el de PMASup_DS_15 (CCA1 = -0.75), reflejan sitios con baja incidencia de contaminación por metales. Es importante destacar que los nitratos (NO3) mostraron una contribución prácticamente nula en este eje (coeficiente de -0.03), sin incidir de manera significativa en la estructura horizontal de la comunidad.

En cuanto al eje CCA2 (vertical), las variables más influyentes fueron el Oxígeno Disuelto (OD) y los Nitratos, ambos con correlación positiva. Esto sugiere que los sitios ubicados en la parte superior del gráfico presentan aguas mejor oxigenadas y con mayor disponibilidad de nutrientes, como es el caso de VENTUROSA_CLE_01 (CCA2 = 2.40). En contraste, el manganeso (Mn) mostró una relación negativa con este eje, posicionando hacia la parte inferior a sitios como NAVAJAS_SUR_CLE_01 (CCA2 = -2.29), donde este metal podría representar una presión ambiental relevante.

La respuesta de los morfotipos frente a estas variables también resultó significativa. Morfotipos como *Macrobrachium* (CCA1 = 2.71), un camarón de río conocido por su tolerancia a metales, y *Berosus* (CCA1 = -0.85; CCA2 = 1.13), un escarabajo acuático potencialmente indicador de contaminación, se agruparon en sectores relacionados con concentraciones altas de Bario y Zinc. Por otro lado, organismos como Acari Mf. (CCA2 = 0.65) y Laccophilus (CCA2 = 0.61), asociados a ambientes bien oxigenados y con presencia moderada de Nitratos, se posicionaron en la parte superior del gráfico, reflejando condiciones de mayor calidad ecológica. En contraste, dípteros como *Alluaudomyia* (CCA2 = -1.22) y *Stilobezzia* (CCA2 = -0.82) se ubicaron en la zona inferior, vinculados a concentraciones elevadas de manganeso, lo que sugiere su sensibilidad a este tipo de perturbaciones.

A partir de este análisis, fue posible establecer tres grupos representativos de estaciones de muestreo. El primero corresponde a sitios con alta carga metálica, como EL_PASO_CL_01 y NAVAJITAS_CL_02, ambos destacados por valores elevados de Ba y Zn. El segundo grupo reúne estaciones con mejores condiciones de oxigenación y nutrientes, como VENTUROSA_CLE_01 y YARICO_CLE_01. Finalmente, el tercer grupo se asocia al impacto negativo del manganeso, incluyendo estaciones como NAVAJAS_SUR_CLE_01 y PMASup_DS_15, cuyos valores en CCA2 reflejan presiones ambientales diferenciadas.

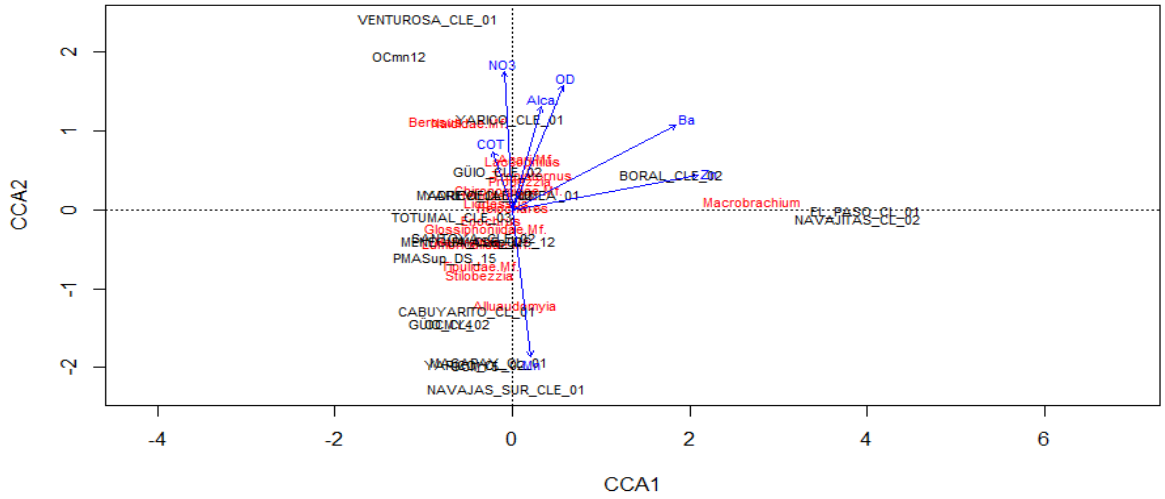


Figura 3.3.3-219 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de macroinvertebrados acuáticos

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

- *Época Lluviosa*
  - ✓ *Fitoplancton*
    - Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 3.36σ, lo que sugiere un comportamiento no lineal debido a la heterogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron las variables Conductividad (Cond.), Turbidez (Turb.), Color, Carbono Orgánico Total (COT), Alcalinidad (Alca.), Hierro (Fe) y Zinc (Zn), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), aplicable cuando el gradiente es superior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

```
              vif
Cond.  3.557603
Turb.  1.483170
Color  2.452061
COT    2.698115
Alca.  5.619225
Fe     2.687585
Zn     1.058215
```

Figura 3.3.3-220 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for cca under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: cca(formula = Y ~ Cond. + Turb. + Color + COT + Alca. + Fe + Zn, data = X, scale = F)
         Df ChiSquare     F Pr(>F)
Model     7    1.5876 1.849  0.023 *
Residual 13    1.5946
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Figura 3.3.3-221 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El modelo fue significativo (p = 0.023), lo que confirma la existencia de una relación relevante entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad biológica analizada. Con un tamaño de muestra mayor (n > 10), se fortaleció la capacidad del análisis para detectar patrones ecológicos robustos, reduciendo la influencia de posibles sesgos derivados de la variabilidad muestral.

El análisis de correspondencia canónica (CCA) aplicado a los géneros fitoplanctónicos permitió identificar las principales variables ambientales que explican su distribución en el espacio multivariado. En el eje CCA1, los factores más influyentes fueron la Conductividad, con un coeficiente de 0.563, el Carbono Orgánico Total, con 0.421, y la Alcalinidad, con 0.307. Estos parámetros marcan un gradiente horizontal que diferencia sitios según su carga iónica, contenido de materia orgánica y capacidad de neutralización ácida.

Por su parte, el eje CCA2 estuvo determinado principalmente por la Alcalinidad, que también fue significativa en este componente (0.748), seguida por el Hierro (Fe) con 0.765, y en menor medida el zinc (Zn) con 0.185. Este gradiente vertical refleja variaciones en condiciones redox y en la presencia de metales traza, posiblemente relacionadas con procesos geológicos o antrópicos.

En cuanto a la distribución de los géneros fitoplanctónicos, *Amphipleura* se ubicó en el extremo positivo de ambos ejes (1.90 en CCA1 y 2.03 en CCA2), indicando su asociación con ambientes ricos tanto en sales disueltas como en metales. Géneros como *Tabellaria* (1.57) y *Frustulia* (1.51) destacaron por su posicionamiento en valores elevados de CCA1, vinculándolos a sitios con alta Conductividad y Carbono Orgánico Total. En contraste, *Cymbella* y *Ulnaria* mostraron ubicaciones

negativas en CCA1 pero con valores positivos elevados en CCA2, lo que sugiere afinidad por ambientes con menor carga iónica pero con mayor disponibilidad de Hierro y Alcalinidad. En el extremo opuesto, géneros como *Trachelomonas* y *Phacus* presentaron valores negativos en ambos ejes, lo que podría reflejar su preferencia por condiciones más diluidas y pobres en metales.

Entre los puntos de muestreo, MADREVIEJA_NEGRO_02 se destacó por sus valores excepcionalmente altos tanto en CCA1 como en CCA2 (3.08 y 3.90 respectivamente), señalando condiciones ambientales intensas y complejas. Otros sitios como TOTUMAL_CLE_03 (2.38) y BANDERAS_CLE_01 (2.36) presentaron también valores elevados en el eje horizontal, reafirmando su ubicación en ambientes con altas concentraciones de Conductividad y materia orgánica disuelta.

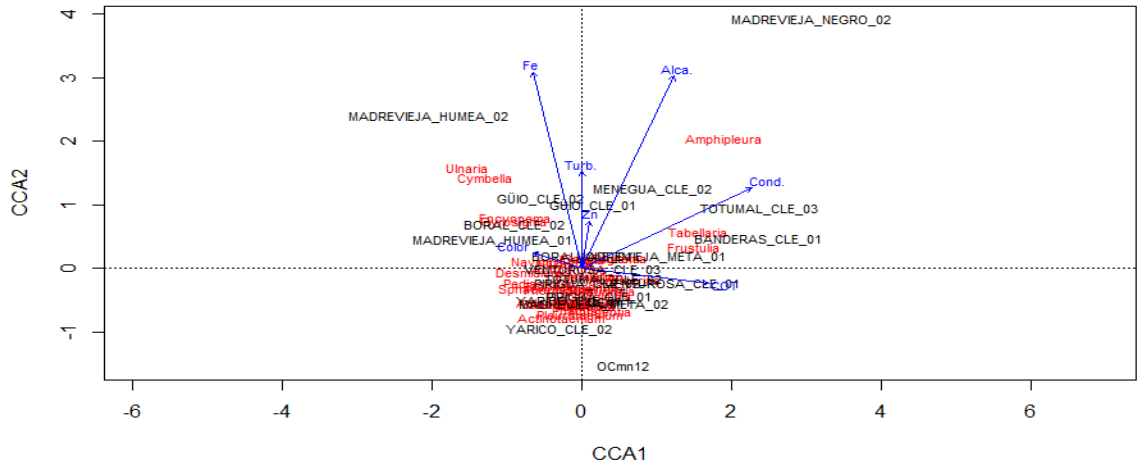


Figura 3.3.3-222 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de Fitoplancton

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

✓ *Zooplancton*

- Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 1.54σ, lo que sugiere un comportamiento lineal debido a la homogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron las variables Conductividad (Cond.), Color, Alcalinidad (Alca.), Nitratos (NO3) y Zinc (Zn), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Redundancia (RDA), aplicable cuando el gradiente es inferior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

```
              vif
Cond.  2.598435
Color  1.296193
Alca.  2.045699
NO3    1.226771
Zn     1.078541
```

Figura 3.3.3-223 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for rda under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: rda(formula = Y ~ Cond. + Color + Alca. + NO3 + Zn, data = X, scale = F)
         Df Variance     F Pr(>F)
Model     5  0.49103 1.024  0.466
Residual  3  0.28770
```

Figura 3.3.3-224 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El resultado del Análisis de Redundancia (RDA) no fue estadísticamente significativo (Pr(>F) = 0.466), lo que sugiere que, bajo las condiciones del modelo, las variables ambientales consideradas Conductividad, Color, Alcalinidad, Nitratos y Zinc no explican de forma significativa la variabilidad observada en la comunidad de zooplancton. No obstante, esta falta de significancia no necesariamente implica que dichos factores carezcan de influencia ecológica, sino que también está asociada a la baja diversidad registrada en los puntos de muestreo.

Aunque se realizaron monitoreos en varias estaciones, únicamente nueve (9) contaron con más de tres morfotipos identificados, condición mínima requerida para ajustar el modelo multivariado con cierto grado de robustez. Esta escasa representatividad biológica reduce drásticamente la capacidad del análisis para detectar patrones estructurales, limitando el poder explicativo del modelo, lo cual también se refleja en el bajo valor del estadístico de Chi-cuadrado (0.491). Sin embargo, los patrones observados en el diagrama de observación o triplot, pueden sugerir tendencias ecológicas relevantes.

El análisis de redundancia (RDA) aplicado a los morfotipos zooplanctónicos reveló la influencia diferencial de diversas variables ambientales sobre la distribución comunitaria. En el eje RDA1, los principales contribuyentes fueron los Nitratos (NO_3), con una correlación positiva destacada (0.462), seguidos por la Conductividad (0.167). En contraste, parámetros como el Color del agua (-0.387) y la Alcalinidad (-0.350) mostraron una contribución negativa, indicando que el eje

discrimina entre sitios con alta carga de nutrientes y aquellos con características fisicoquímicas más diluidas.

El eje RDA2 estuvo influenciado por la Conductividad (0.538), el Color (0.529) y la Alcalinidad (0.514), todos con asociaciones positivas. Por otro lado, el Zinc mostró una correlación negativa significativa (-0.518), lo que sugiere que este eje captura un gradiente de mineralización y presencia metálica que influye en la estructura zooplanctónica.

En cuanto a los morfotipos, *Euglypha* se ubicó con valores altos en RDA1 (0.539) y bajos en RDA2 (-0.277), lo que indica su afinidad por ambientes con mayor concentración de Nitratos. *Lecane*, por su parte, presentó valores positivos en ambos ejes (0.399 en RDA1 y 0.386 en RDA2), lo cual lo vincula a condiciones intermedias, posiblemente con una combinación balanceada de nutrientes y sales disueltas. *Difflugia* mostró una ubicación similar a *Euglypha* en RDA1 (0.509), aunque con menor intensidad, mientras que *Arcella* y Nematoda.Mf. se posicionaron en zonas intermedias del espacio multivariado, sin asociaciones extremas.

Respecto a los puntos de muestreo, YARICO_CLE_02 se destacó en el extremo positivo de RDA1 (1.439), revelando condiciones de alta concentración de Nitratos. PIRIGUA_CLE_01, por otro lado, alcanzó valores altos en RDA2 (1.199), lo que sugiere una mayor influencia de Conductividad, Alcalinidad y Color. En contraste, estaciones como GÜIO_CLE_01 y MADREVIEJA_META_02 se situaron en los extremos negativos de ambos ejes, indicando condiciones fisicoquímicas menos favorables para la mayoría de los morfotipos analizados.

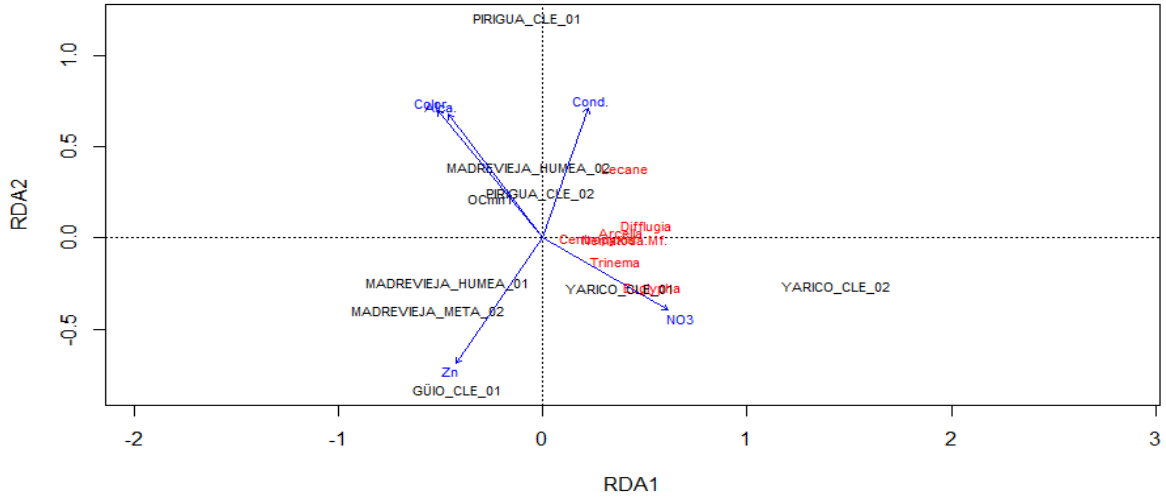


Figura 3.3.3-225 Modelo de Correspondencia Analítica comunidad de zooplancton

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

✓ *Perifiton*

- Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 4.03σ, lo que sugiere un comportamiento no lineal debido a la heterogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron las variables Conductividad (Cond.), Turbidez (Turb.), Color, Carbono Orgánico Total (COT), Alcalinidad (Alca.), Nitratos (NO_3) y Aluminio (Al), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), aplicable cuando el gradiente es superior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

```
              vif
Cond.  6.880556
Turb.  2.731876
Color  1.236387
COT    1.164374
Alca.  6.939663
NO3    1.451548
Al     1.940542
```

Figura 3.3.3-226 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for cca under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: cca(formula = Y ~ Cond. + Turb. + Color + COT + Alca. + NO3 + Al, data = X, scale = F)
          Df ChiSquare      F Pr(>F)
Model      7    1.5414 2.1133  0.036 *
Residual 53    5.5226
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Figura 3.3.3-227 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El modelo fue significativo (p = 0.036), lo que confirma la existencia de una relación relevante entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad biológica analizada. Con un tamaño de muestra mayor (n > 10), se fortaleció la capacidad del análisis para detectar patrones ecológicos robustos, reduciendo la influencia de posibles sesgos derivados de la variabilidad muestral.

El análisis de correspondencia canónica (CCA) reveló relaciones definidas entre los géneros fitoplanctónicos, los parámetros fisicoquímicos y los puntos de muestreo evaluados. En el eje CCA1, las variables con mayor influencia fueron el Color del agua, con una correlación positiva destacada (0.296), y de forma negativa, la Alcalinidad (-0.570) y la Turbidez (-0.449). Esto indica que, horizontalmente, los gradientes ambientales están determinados por el contraste entre sitios con aguas más coloreadas frente a aquellos con menor turbidez y capacidad buffer.

En el eje vertical, CCA2, la variable dominante fue el nitrato (NO_3), con una fuerte relación negativa (-0.956), lo que sugiere que las concentraciones de nutrientes disueltos influyen marcadamente en la separación de comunidades. En menor medida, el carbono orgánico total (COT) mostró una correlación positiva (0.217), reflejando que algunas especies pueden estar asociadas a zonas con mayor productividad o aporte orgánico.

Respecto a la distribución de los géneros fitoplanctónicos, *Cymatopleura* presentó un valor fuertemente negativo en CCA1 (-4.90), situándose de manera aislada respecto al resto de los taxones, lo que evidencia una preferencia o tolerancia a condiciones muy particulares. Por su parte, *Stauroneis* y *Encyonema* se ubicaron en posiciones muy negativas del eje CCA2 (-2.51 y -2.05 respectivamente), lo cual podría reflejar sensibilidad a la presencia de Nitratos. En contraste, *Hantzschia* se posicionó en el cuadrante superior derecho, con valores elevados en CCA1 (0.68) y negativos en CCA2 (-1.15), destacando por su tolerancia combinada a Color y bajas concentraciones de Nitratos. Géneros como *Gyrosigma* y *Sellaphora* exhibieron valores elevados en ambos ejes, indicando afinidad por ambientes con alta carga de Color y condiciones ligeramente enriquecidas en carbono orgánico.

A nivel de agrupaciones, se observó una asociación de géneros como *Gyrosigma*, *Sellaphora*, *Phormidium* y *Rhopalodia* con sitios posicionados en la región positiva de CCA1. En cambio, *Stauroneis*, *Encyonema* y *Eudorina* se agruparon en la parte baja del eje vertical, concordando con ambientes posiblemente más oligotróficos o con menor carga de nutrientes.

Entre los puntos de muestreo, METICA_CL_01 se destacó por sus valores extremos negativos tanto en CCA1 como en CCA2 (-8.30, -3.32), lo que sugiere condiciones altamente atípicas o excluyentes para la mayoría de los géneros. De igual forma, OCMY5 mostró una posición muy baja en CCA2 (-2.83), reflejando una clara influencia de condiciones de escasa disponibilidad de oxígeno o nutrientes. En el extremo opuesto, UPIA_CL_01 se ubicó en la parte superior derecha del gráfico (1.35, 1.01), reflejando un entorno ecológicamente enriquecido y diversificado. OCmn3, con un valor de -2.51 en CCA1, se asoció con características similares a METICA_CL_01 en cuanto a baja coloración o alcalinidad.

Finalmente, se identificaron agrupaciones espaciales entre los sitios. El grupo compuesto por UPIA_CL_01, MACAPAY_CL_01 y NAVAJAS_SUR_CL_01 compartió una ubicación positiva en ambos ejes, mientras que METICA_CL_01, OCmn3 y HUMEA_CL_01A conformaron un clúster caracterizado por valores negativos pronunciados en el eje horizontal, reforzando la heterogeneidad en las condiciones ambientales entre los puntos evaluados.

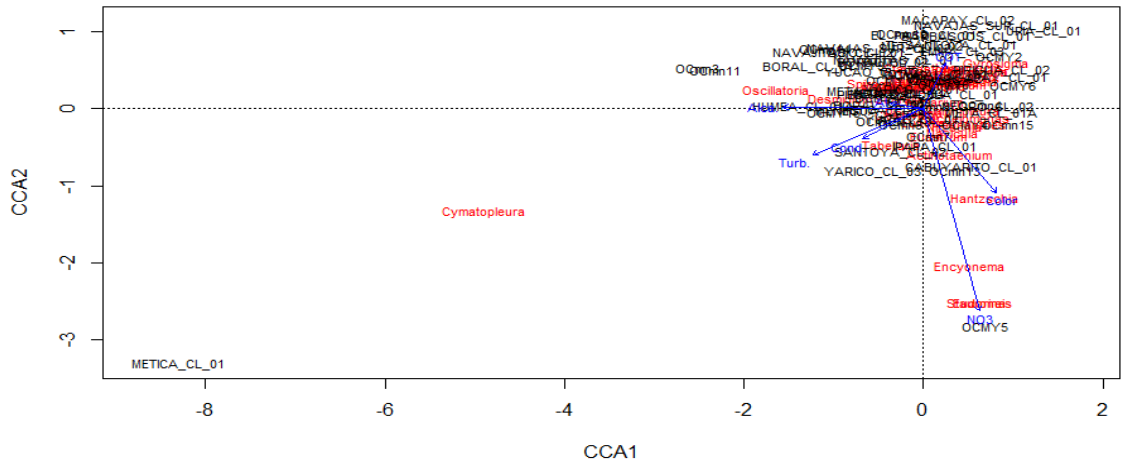


Figura 3.3.3-228 Modelo de Correspondencia Analítica Perifiton

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

✓ Macroinvertebrados *acuáticos*

- Análisis de correspondencia canónica

Para la estimación del modelo, se consideró un gradiente ambiental de 2.49 σ, lo que sugiere un comportamiento lineal debido a la homogeneidad de los datos observados. Para el desarrollo del análisis, se seleccionaron las variables Turbidez (Turb.), Color, Carbono Orgánico Total (COT) y Hierro (Fe), ya que demostraron ser las más representativas para la adecuada parametrización del modelo.

A partir de este valor de gradiente, se evaluó la heterogeneidad en la estructura de la comunidad biológica mediante un Análisis de Redundancia (RDA), aplicable cuando el gradiente es inferior a 2.5σ. Inicialmente, se calcularon los Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables, asegurando la estabilidad del modelo.

El procedimiento comenzó con la totalidad de los parámetros fisicoquímicos disponibles, descartando progresivamente aquellos cuya multicolinealidad excedía los límites aceptables. Se adoptó un criterio estricto para excluir variables con valores de VIF superiores a 20, garantizando que las restantes contribuyeran de manera significativa a la interpretación del modelo.

	vif
Turb.	2.665969
Color	1.530747
COT	2.253775
Fe	3.638491

Figura 3.3.3-229 Valores de inflación de variables para el modelo de correspondencia seleccionado

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

```
Permutation test for rda under reduced model
Permutation: free
Number of permutations: 999

Model: rda(formula = Y ~ Turb. + Color + COT + Fe, data = X, scale = F)
         Df Variance      F Pr(>F)
Model     4  0.76185 1.6835  0.111
Residual  3  0.33940
```

Figura 3.3.3-230 Modelo de Correspondencia Analítica

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

El resultado del Análisis de Redundancia (RDA) no fue estadísticamente significativo (Pr(>F) = 0.111), lo que sugiere que, bajo las condiciones del modelo, las variables ambientales consideradas Turbidez, Color, Carbono Orgánico Total y Hierro, no explican de forma significativa la variabilidad observada en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. No obstante, esta falta de significancia no necesariamente implica que dichos factores carezcan de influencia ecológica, sino que también está asociada a la baja diversidad registrada en los puntos de muestreo.

Aunque se realizaron monitoreos en varias estaciones, únicamente ocho (8) contaron con más de tres morfotipos identificados, condición mínima requerida para ajustar el modelo multivariado con cierto grado de robustez. Esta escasa representatividad biológica reduce drásticamente la capacidad del análisis para detectar patrones estructurales, limitando el poder explicativo del modelo, lo cual también se refleja en el bajo valor del estadístico de Chi-cuadrado (0.761). Sin embargo, los patrones observados en el diagrama de observación o triplot, pueden sugerir tendencias ecológicas relevantes.

El análisis de redundancia (RDA) aplicado a los morfotipos bentónicos identificó los principales gradientes ambientales que estructuran su distribución. En el eje RDA1, el parámetro con mayor contribución fue el Carbono Orgánico Total (COT), con una carga de 0.899, seguido por el Hierro (Fe) con 0.762. También se observó influencia positiva del Color del agua (0.488) y de la Turbidez (0.462), indicando que este eje representa un gradiente de enriquecimiento orgánico y mineral.

En el eje RDA2, las variables más influyentes fueron el Color (0.609), que contribuyó positivamente, y el Hierro, que mostró una relación inversa (-0.554). En este caso, el COT tuvo un impacto menor (0.086), lo que sugiere que este eje refleja una combinación de condiciones relacionadas con la claridad del agua y la disponibilidad de metales, en especial Hierro.

La distribución de los morfotipos en este espacio multivariado reflejó distintas afinidades ecológicas. Glossiphoniidae.Mf. presentó el mayor valor en RDA1 (0.560), lo cual indica su asociación con ambientes ricos en carbono orgánico y hierro. Por su parte, *Hexacylloepus* se ubicó alto en RDA2 (0.432), apuntando a una relación con cuerpos de agua de elevada coloración. En el extremo opuesto, *Alluaudomyia* mostró una ubicación fuertemente negativa en RDA1 (-0.678), mientras que Naididae Mf. se posicionó negativamente en RDA2 (-0.422), lo que podría evidenciar su sensibilidad a condiciones de alta turbidez o presencia de ciertos compuestos disueltos.

En cuanto a los sitios de muestreo, YURIMENA_CL_03 sobresalió con valores positivos en ambos ejes (0.79 en RDA1 y 1.24 en RDA2), lo que sugiere condiciones ambientales altamente enriquecidas tanto en materia orgánica como en pigmentos disueltos o color. En contraste, OCMY18 presentó un valor muy negativo en RDA1 (-1.07), destacándose por condiciones más depuradas o pobres en materia orgánica. NEGRO_CL_01 mostró una combinación de valor elevado en RDA1 (0.56) y bajo en RDA2 (-1.00), lo que podría reflejar una carga orgánica notable, pero con baja influencia de color. Finalmente, OCMY11 registró un valor positivo en RDA2 (0.48), posicionándose en un gradiente intermedio de condiciones visuales del agua.

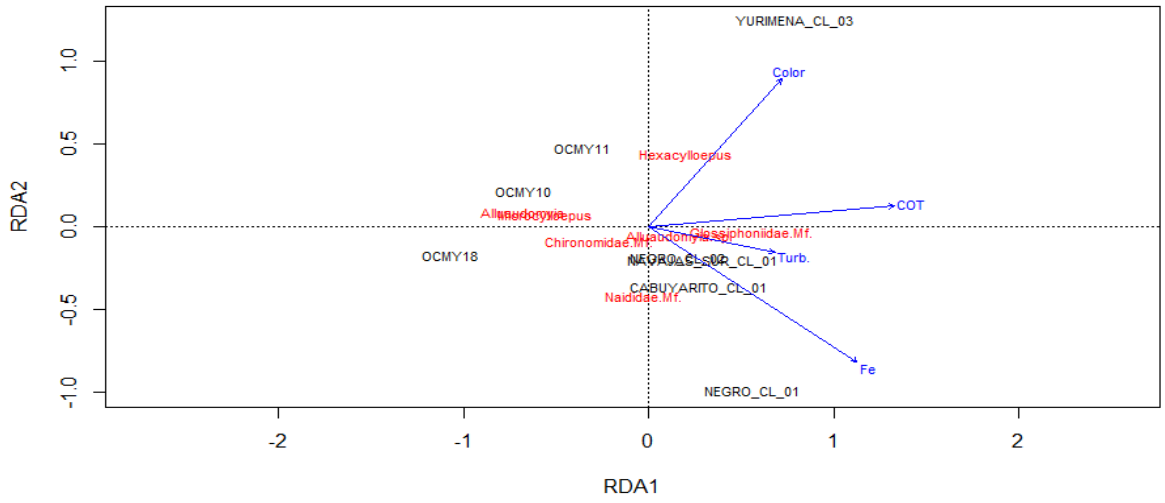


Figura 3.3.3-231 Modelo de Correspondencia Analítica macroinvertebrados acuáticos

Fuente: GessiG S.A.S., 2025.

3.3.3.2.32 Conclusiones

- *Fitoplancton*

La comunidad fitoplanctónica en los ecosistemas acuáticos estudiados (lénticos en altillanura como en llanura inundable) presenta una dinámica ecológica estable, donde las variaciones en riqueza y abundancia responden principalmente a factores naturales asociados a su ubicación geográfica (altillanura, llanura inundable), las interacciones con ecosistemas adyacentes (lénticos, lóticos y terrestres) y las fluctuaciones climáticas (épocas secas y lluviosas). En conjunto, esta comunidad se caracteriza por mantener una calidad ecológica buena, a pesar de las variaciones estacionales y espaciales reportadas.

En la altillanura, los sistemas lénticos muestran una estructura fitoplanctónica dominada por diatomeas y clorofíceas, indicadoras de aguas moderadamente productivas con buena disponibilidad de nutrientes inorgánicos. Estas comunidades reflejan una menor influencia de

materia orgánica disuelta, lo que sugiere una limitada conectividad con fuentes externas, característica de ambientes con menor escorrentía superficial. Por el contrario, en la llanura inundable, se observa un incremento en la presencia de euglenoides y cianobacterias, asociadas a un mayor aporte de materia orgánica derivada de la descomposición de vegetación inundada y suelos ricos en humus. Este patrón coincide con lo reportado por diferentes autores, quienes destacan que las llanuras inundables tropicales actúan como filtros biogeoquímicos, acumulando nutrientes durante las crecidas y liberándolos gradualmente en épocas secas.

Las diferencias en la estructura comunitaria también están influenciadas por la época climática durante las lluvias, se registra un aumento en la abundancia de fitoplancton debido al lavado de nutrientes desde las zonas terrestres, mientras que, en la sequía, la disminución del nivel de agua favorece la dominancia de especies tolerantes a condiciones más estables y, en algunos casos, a estrés por alta radiación. Aunque en ciertas Microcuencas se detecta un leve incremento en la concentración de materia orgánica, esto puede estar atribuido tanto a procesos naturales como descomposición de macrofitas, como a posibles intervenciones antrópicas como escorrentía agrícola, los índices de diversidad y la presencia de géneros bioindicadores sensibles confirman que, en general, los sistemas mantienen una buena integridad ecológica.

En general, el ensamble fitoplanctónico en estas Microcuencas funciona como un sistema resiliente, donde las variaciones en composición y abundancia son respuestas adaptativas a las condiciones ambientales locales y estacionales, más que a disturbios severos. La estabilidad observada respalda la importancia de conservar la conectividad natural entre hábitats acuáticos y terrestres.

- *Zooplancton*

La comunidad zooplanctónica en los diferentes ecosistemas estudiados (lénticos de altillanura y llanura inundable) revela un patrón ecológico consistente caracterizado por baja abundancia menores a (1 Ind/mL) pero notable estabilidad temporal, independientemente de las fluctuaciones estacionales entre épocas secas y lluviosas. Estas comunidades se comportan como sistemas resilientes donde las variaciones en riqueza y abundancia responden principalmente a la posición geográfica (altillanura y llanura inundable), las interacciones ecológicas con ecosistemas adyacentes (lénticos, lóticos y terrestres), y a los regímenes climáticos característicos de cada periodo, manteniendo en conjunto una calidad ecológica entre buena y aceptable.

En la altillanura, los ensambles zooplanctónicos están dominados por rotíferos y microcrustáceos, grupos que muestran adaptaciones específicas a ambientes con baja conectividad y recursos limitados. Su estabilidad poblacional con bajas densidades refleja condiciones oligo-mesotróficas propias de estos sistemas, donde la productividad secundaria está regulada principalmente por la disponibilidad de fitoplancton y la presión de depredación. En contraste, en la llanura inundable se registra un incremento moderado en abundancia durante las lluvias, asociado a la proliferación de protozoos testados y cladóceros, indicadores de mayor aporte alóctono de materia orgánica desde las áreas inundadas. Este patrón concuerda con lo reportado para humedales tropicales, donde la pulsación hidrológica actúa como principal regulador de la estructura comunitaria.

La estabilidad observada en ambos sistemas sugiere mecanismos de compensación ecológica: mientras en la altillanura predominan especies K-seleccionadas (ciclos de vida largos, baja fecundidad), en la llanura inundable dominan estrategias r-seleccionadas (rápido crecimiento, alta tolerancia a fluctuaciones), manteniendo así la funcionalidad del zooplancton como eslabón trófico. Aunque en algunas Microcuencas se detectan incrementos puntuales de materia orgánica, estos no comprometen la integridad ecológica general.

En general, la comunidad zooplanctónica estudiada representa un bioindicador confiable de la estabilidad ecológica en estos sistemas acuáticos. Su composición refleja procesos naturales de adaptación a las características geomorfológicas y climáticas de cada ambiente, más que impactos antropogénicos severos.

- *Ictioplancton*

La comunidad del Ictioplancton, reportado tanto en ambientes lentico y loticos en la temporada de lluvias, responde a factores ecológicos donde la sincronización reproductiva de los peces con pulsos hidrológicos específicos y el desove podría ocurrir en ventanas temporales, la preferencia de hábitats reproductivos especializados (zonas inundables temporales o áreas vegetadas someras) y las posibles capturas de estadios tempranos, podrían hacer que los resultados obtenidos no sean tan robustos. La ausencia de larvas y la detección esporádica de huevos sugieren que, aunque los sistemas podrían albergar eventos reproductivos, estos son efímeros y espacialmente restringidos, con reclutamiento larval probablemente ocurriendo en microhábitats no muestreados. La baja representatividad del ictioplancton no indica necesariamente deterioro ambiental, sino que refleja la naturaleza estacional y altamente selectiva de los procesos reproductivos en estos ecosistemas.

En términos de calidad ecológica, la presencia residual de huevos en algunas estaciones sugiere que, pese a su baja densidad, los sistemas aún mantienen condiciones básicas para la reproducción de peces, aunque su contribución al reclutamiento poblacional parece marginal.

- *Perifiton*

La comunidad perifítica en los sistemas lóticos de altillanura y llanura inundable revela un ensamble ecológicamente estable, cuyas variaciones en riqueza y abundancia responden consistentemente a las características geomorfológicas particulares de cada zona altillanura y llanura inundable, así mismo las interacciones biológicas con ecosistemas adyacentes tanto lénticos, lóticos y terrestres y los patrones climáticos estacionales (épocas secas y lluviosas). En conjunto, esta comunidad presenta una calidad ecológica buena, evidenciada por la predominancia de diatomeas bentónicas y algas clorofíceas como bioindicadores de aguas bien oxigenadas con moderado aporte de nutrientes.

En la altillanura, el perifitón muestra mayor riqueza de diatomeas y menor biomasa total, reflejando las condiciones oligotróficas características de estos sistemas con limitado aporte alóctono. En contraste, en la llanura inundable se registran incrementos estacionales de abundancia durante las lluvias, asociados a la proliferación de cianobacterias filamentosas y diatomeas tolerantes a materia orgánica, indicativas del lavado de nutrientes desde las áreas

inundadas. Estas diferencias espaciales concuerdan para sistemas tropicales, donde la conectividad hidrológica modula la estructura del perifitón.

La estabilidad funcional del perifitón se manifiesta en valores de diversidad consistentes, presencia constante de taxa sensibles y relaciones entre las condiciones ambientales y la composición comunitaria. Aunque en algunas estaciones se detectan incrementos puntuales en la proporción de algas eutróficas, estos no comprometen la integridad ecológica general.

- *Macroinvertebrados bentónicos y asociados a macrófitas*

De manera general, durante la época seca y la época de lluvias, se observa que, si bien la temporada húmeda favorece en algunos casos una ligera recuperación en la diversidad y presencia de taxones sensibles, ambos períodos reflejan un estado ecológico comprometido en los cuerpos de agua evaluados. En los sistemas lóticos, durante las lluvias se registró una mayor heterogeneidad en la composición comunitaria, con señales puntuales de mejor calidad ambiental en ciertos tramos, lo que sugiere que los pulsos hidrológicos favorecen la dispersión y recolonización de organismos. No obstante, esta mejora es marginal y no se traduce en una recuperación generalizada, dado que persiste la dominancia de organismos tolerantes y los índices BMWP/Col permanecen mayoritariamente en categorías críticas. En los sistemas lénticos, la situación es aún más preocupante: en ambas temporadas predominan ensambles empobrecidos, con escasa riqueza taxonómica, lo que impide la aplicación de índices ecológicos robustos. La simplificación estructural de estas comunidades refleja condiciones ambientales limitantes asociadas a baja oxigenación, acumulación de materia orgánica y pérdida de conectividad funcional. En síntesis, tanto en época seca como en lluvias, los sistemas acuáticos de la región muestran signos de degradación ecológica, siendo los lénticos los más afectados, y los lóticos con mayor potencial de resiliencia, aunque aún insuficiente para alcanzar un estado ecológico favorable, estados que se describen de manera detallada para cada época a continuación:

- ✓ *Época seca*

El monitoreo realizado en época seca sobre macroinvertebrados bentónicos y asociados a macrófitas en cuerpos de agua lóticos y lénticos evidencia un estado ecológico generalizado de empobrecimiento biológico, con comunidades dominadas por taxones tolerantes, baja diversidad alfa y valores del índice BMWP/Col que, en la mayoría de los casos, indican condiciones críticas o muy críticas de calidad del agua.

En los sistemas lóticos, el análisis de la diversidad alfa y del índice BMWP/Col reveló una predominancia de ensambles empobrecidos, con baja riqueza taxonómica y funcional. En múltiples Microcuencas, como Caño Banderas, Caño El Totumal, Caño Menegua, Caño La Lilbana, Caño Barbascos, Río Meta y Río Upía, se identificaron únicamente organismos tolerantes (Chironomidae, Naididae, Lumbriculidae), lo que refleja condiciones ambientales limitantes, probablemente asociadas al bajo caudal, aumento de temperatura, reducción del oxígeno disuelto y pérdida de microhábitats por efecto del estiaje. En varios de estos casos, el índice BMWP/Col arrojó valores que clasifican la calidad del agua como "Muy Crítica", lo que sugiere una combinación de factores naturales y presiones antrópicas, como la alteración del paisaje, pérdida de conectividad y aportes difusos de carga orgánica.

Sin embargo, en algunos sistemas lóticos como Caño El Boral, Caño Güio, Caño Pirigua y Caño Navajitas, se observó una estructura de comunidad más heterogénea, con presencia de taxones menos tolerantes como Stilobezzia, Oxyethira, Elmidae, Heterelmis y Tipulidae, lo que indica zonas con microhábitats de mejor calidad o remanentes de condiciones más conservadas. Estos ensambles, aunque todavía presentan baja diversidad, sugieren una cierta capacidad de resiliencia y permiten inferir la existencia de condiciones ecológicas intermedias.

En el caso de los sistemas lénticos (áreas con presencia de macrófitas flotantes o sumergidas), el patrón general fue similar. Se encontró una marcada dominancia de organismos oportunistas como Chironomidae, Macrobrachium, Physa y Naididae, adaptados a ambientes con alta carga orgánica y baja oxigenación. En algunas estaciones, como en Caño Yarico, Caño El Boral, Río Humea y Caño Totumal, se registró la presencia de taxones indicativos de condiciones intermedias o de buena calidad (Odontomyia, Elmidae, Tipulidae), pero su baja densidad y escasa representación general limitan su valor como indicadores robustos. En varios sitios, la ausencia total de individuos o de estructuras vegetales adecuadas impidió el cálculo del índice BMWP/Col o de índices de diversidad alfa, lo que evidencia la gravedad de las condiciones ecológicas actuales.

Casos críticos como los observados en Río Upía, Río Humea y Caño Venturosa, donde no se registraron individuos bentónicos o donde la comunidad estuvo conformada por una sola morfoespecie, reflejan un colapso funcional del ecosistema, que impide evaluar adecuadamente el estado ecológico mediante herramientas estandarizadas de bioindicación.

En conjunto, los resultados muestran que, durante la época seca, los cuerpos de agua monitoreados presentan una alta vulnerabilidad ecológica, expresada en la pérdida de diversidad, simplificación funcional de las comunidades acuáticas y valores muy bajos en los índices de calidad. Aunque algunos sistemas aún conservan elementos que podrían permitir procesos de recuperación, las tendencias observadas reflejan una condición crítica que amerita el fortalecimiento de los programas de monitoreo, el diseño de estrategias integrales de manejo ecosistémico y la implementación de acciones de restauración en zonas clave para la conectividad hídrica y la conservación de la biodiversidad acuática regional.

- ✓ *Época de lluvias*

Durante la época de lluvias, los monitoreos de macroinvertebrados bentónicos y asociados a macrófitas en diversas Microcuencas también evidencian un patrón generalizado de baja diversidad alfa y dominancia de taxones tolerantes, lo cual sugiere un estado ecológico comprometido en buena parte de los sistemas hídricos evaluados. Esta tendencia fue más notoria en los sistemas lénticos, donde la estructura comunitaria fue simplificada, con escasa riqueza taxonómica que en muchos casos imposibilitó la aplicación de índices como el BMWP/Col y los índices de diversidad (Shannon, Simpson, Pielou), debido a la presencia de una o muy pocas morfoespecies.

En cuanto al índice BMWP/Col, la mayoría de los cuerpos de agua evaluados presentaron valores correspondientes a la clase V (muy crítica), reflejando una calidad de agua fuertemente

deteriorada. Las puntuaciones más bajas se observaron en sistemas como los caños Güio, Menegua, Macapay, Navajitas y rio Meta, donde las comunidades estaban dominadas por Chironomidae y otros grupos altamente tolerantes, y la representación de familias indicadoras fue muy limitada o nula. Solo algunos sectores aislados, como ciertas estaciones en los Piedra Candela, rio Cabuyarito, rio Upía y caño Yurimena, mostraron presencia puntual de taxones sensibles (Elmidae, Leptonema, Berosus), lo que sugiere microhábitats menos alterados o en proceso de recuperación.

Los sistemas lóticos (caños y ríos) mostraron en general una mayor estructuración ecológica que los sistemas lénticos (madreviejas y asociados a macrófitas), aunque persistieron signos de perturbación en la mayoría de los sitios evaluados. En estos cuerpos de agua, si bien persistió la dominancia de quirónomidos, también se registraron con mayor frecuencia familias bioindicadoras con diferentes sensibilidades, lo que permitió en algunos casos aplicar el índice BMWP/Col y obtener clasificaciones entre moderadas y críticas. La conectividad hidrológica propia de la época de lluvias parece haber favorecido la dispersión de algunos grupos sensibles, aunque la recolonización plena parece limitada por las condiciones ambientales prevalentes (anoxia, cargas orgánicas, pérdida de heterogeneidad del hábitat).

En conjunto, los resultados reflejan una estructura comunitaria fuertemente influenciada por la estacionalidad y los pulsos hidrológicos, con comunidades dominadas por grupos resistentes a la contaminación, pero con evidencias puntuales de resiliencia ecológica en sectores mejor conservados. Se resalta la necesidad de mantener y restaurar la conectividad ecológica y la heterogeneidad de hábitats, así como de continuar los monitoreos multitemporales y multiescalares que permitan evaluar la dinámica de recuperación o deterioro de estos ecosistemas acuáticos.

- *Macrófitas acuáticas*

La estructura de la comunidad mostró una clara zonación, con especies flotantes como Eichhornia crassipes (Pontederiaceae) y Salvinia spp. (Salviniaceae) dominando las áreas libres de agua, mientras que las emergentes (Cyperus spp., Eleocharis spp.) y anfibias (Ludwigia spp.) predominaron en las zonas marginales. La notable presencia de especies potencialmente invasoras (incluyendo E. crassipes y Pistia stratiotes) sugiere posibles alteraciones antrópicas, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas de manejo para conservar la biodiversidad nativa.

- ✓ *Época seca*

La comunidad de macrófitas acuáticas durante la temporada seca presentó una estructura dominada por especies adaptadas a condiciones de menor disponibilidad hídrica. El análisis de los datos revela una composición florística representada por 3 divisiones (Tracheophyta, Polypodiidae y Lycopodiopsida), 3 clases (Magnoliidae, Polypodiidae y Lycopodiopsida), 15 órdenes y 28 familias botánicas. Las familias Poaceae (gramíneas) y Cyperaceae (juncos) mostraron la mayor representación, con 12 y 9 géneros respectivamente, destacándose los géneros Panicum, Paspalum, Cyperus y Eleocharis como los más abundantes.

En términos de densidad y abundancia relativa, se observó un claro predominio de especies emergentes particularmente del género *Cyperus* (*C. luzulae*) y *Eleocharis* (*E. interstincta*). Las especies flotantes como Salvinia spp. (S. auriculata) y Eichhornia crassipes mantuvieron presencia significativa aunque con menores valores que en temporada húmeda. Es notable la adaptación de Ludwigia spp. como representante de las anfibias.

La riqueza específica disminuyó un 40% respecto a la temporada lluviosa, con predominio de formas de vida emergentes (65%) sobre flotantes (20%) y sumergidas (15%). Las Cyperáceas (Cyperus, Eleocharis) y Poáceas (Panicum, Paspalum) mostraron mayor resiliencia a condiciones de estrés hídrico

Se mantuvo presencia de especies invasoras (Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes) aunque con densidades reducidas-

La estructura vertical presentó tres estratos claros: emergentes en bordes (Cyperus, Eleocharis), anfibias en zonas de transición (Ludwigia) y flotantes en espejos de agua residual (Salvinia)

Los valores de abundancia relativa de Pontederia y Montrichardia indican su dominancia en microhabitats específicos

Se identificaron 15 especies exclusivas de temporada seca, destacando adaptaciones morfológicas como rizomas y hojas coriáceas

Este análisis evidencia los mecanismos de respuesta diferencial de las macrófitas ante la reducción hídrica estacional, información crucial para planes de manejo de humedales temporales.

- ✓ *Época lluvias*

La comunidad de macrófitas acuáticas en el Bloque CPO-5 durante la temporada de lluvias presenta una media a baja diversidad taxonómica, con representantes de dos divisiones principales (Tracheophyta y, en menor medida, Polypodiidae), distribuidas en órdenes como Poales, Alismatales, Myrtales y Salviniales. Las familias más abundantes fueron Poaceae, Cyperaceae, Araceae y Pontederiaceae, destacándose géneros como Panicum, Paspalum, Cyperus, Eichhornia, Ludwigia y Salvinia. Esta composición refleja la adaptación de las especies a ambientes acuáticos y semiacuáticos, con formas de vida variadas: emergentes (Cyperus, Eleocharis), flotantes libres (Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes, Salvinia), sumergidas (Ceratophyllum) y anfibias (Ludwigia).

Se observó una dominancia de especies flotantes, particularmente Eichhornia y Salvinia, que forman densas coberturas superficiales, lo que sugiere condiciones potencialmente eutróficas en los cuerpos de agua estudiados. Por otro lado, la alta frecuencia de Poaceae y Cyperaceae indica zonas palustres con sustratos inundables ricos en materia orgánica. La presencia recurrente de Ludwigia (Onagraceae) en los bordes del humedal refuerza su papel como especie adaptada a fluctuaciones en el nivel del agua.

La diversidad de la comunidad es media a baja, aunque la dominancia de algunas especies flotantes podría reducir la equitatividad. Esta configuración vegetal, típica de ambientes lénticos en época lluviosa, cumple funciones ecológicas clave, como la provisión de hábitat y la estabilización de sedimentos, pero también podría indicar presiones antrópicas si las especies dominantes son invasoras (ej: Eichhornia crassipes). La comunidad de macrófitas del CPO-5 en época lluviosa muestra una composición diversa, pero con tendencia a la dominancia de especies oportunistas, lo que resalta la necesidad de monitoreo y manejo sostenible para conservar el equilibrio ecológico.

- *Ictiofauna*

  - ✓ *Época seca*

El análisis de cuerpos lénticos revela una diversidad ecológica variada entre las Microcuencas estudiadas. La Microcuenca del Caño Banderas (BANDERAS_CLE_01) y VENTUROSA_CLE_03 exhiben la mayor diversidad (Shannon = 1.099) debido a una representación equilibrada de especies, mientras que la estación PIRIGUA_CLE_01 no muestra diversidad, dominada por una sola especie. La alta equidad de Pielou en la mayoría de las estaciones sugiere distribuciones equitativas de especies, típicas de ecosistemas de llanuras de inundación con baja abundancia. La prevalencia de Characiformes y Siluriformes refleja una comunidad de peces adaptada al bioma de Llanura de Inundación. Las diferencias en la composición y abundancia de especies destacan la heterogeneidad de hábitats entre las Microcuencas, con la Microcuenca del Caño Pirigua mostrando la mayor variación (de cero a baja diversidad).

En términos de diversidad en cuerpos de agua lóticos, la Altillanura muestra mayor riqueza y diversidad en puntos como OCMY14 (Microcuenca del Caño Emma), con comunidades más complejas y uniformes. En contraste, la Llanura de Inundación tiene puntos con alta abundancia (por ejemplo, PMASup_DS_15 en la Microcuenca del Caño El Boral), pero su diversidad es limitada por la dominancia de pocas especies, como Steindachnerina argentea. La presencia de especies dominantes, como S. argentea en la Llanura de Inundación y Tetragonopterus argenteus en la Altillanura, reduce significativamente los índices de diversidad en varios puntos de muestreo, evidenciada por los bajos valores de Shannon y altos de Simpson. Especies como Pimelodus blochii y Creagrutus bolivari son comunes en ambos biomas, lo que sugiere que son altamente adaptables a las condiciones variables de estas regiones. Finalmente, la Llanura de inundación, con su alta variabilidad en abundancia, podría estar influenciada por inundaciones estacionales que favorecen especies oportunistas como Steindachnerina argentea. La Altillanura, por otro lado, parece albergar comunidades más estables en Microcuencas como Caño Emma y Caño Pirigua, con mayor riqueza y uniformidad. En resumen, el análisis revela que el bioma de Altillanura alberga comunidades de peces más diversas en ciertas Microcuencas, mientras que el bioma de la Llanura de inundación muestra picos de abundancia, pero menor diversidad debido a la dominancia de especies.

  - ✓ *Época lluvias*

En el bioma Altillanura, para cuerpos lénticos, que abarca las Microcuencas RÍO META, CAÑO NAVAJAS SUR y CAÑO PIRIGUA con un total de cinco estaciones de muestreo, se registraron 7

familias, 9 géneros y 10 especies/morfoespecies, con un total de 14 individuos. La familia Loricariidae fue la más representativa en términos de frecuencia, apareciendo en dos estaciones (PIRIGUA_CLE_01 y OCmn1) con dos géneros (Sturisoma y Pterygoplichthys) y dos especies (S. tenuirostre con 3 individuos y P. multiradiatus con 1 individuo). La familia Cichlidae también destacó, presente en dos estaciones (MADREVIEJA_META_01 y MADREVIEJA_META_02) con un solo género (Satanoperca) y una especie (S. mapiritensis con 2 individuos). En términos de abundancia, el género Sturisoma fue el más destacado con 3 individuos de S. tenuirostre en PIRIGUA_CLE_01, representando el 21.4% del total de individuos en este bioma. Las familias Serrasalmidae, Pimelodidae, Doradidae, Prochilodontidae, Callichthyidae y Gasteropelecidae aparecieron cada una en una sola estación, con menor riqueza de géneros y especies.

En el bioma Llanura de Inundación, que incluye las Microcuencas CAÑO BANDERAS, CAÑO VENTUROSA, CAÑO GÜIO, CAÑO YARICO, RÍO HUMEA, CAÑO EL TOTUMAL, CAÑO EL BORAL y BAJO RÍO NEGRO con un total de once estaciones de muestreo, se registraron 12 familias, 19 géneros y 25 especies/morfoespecies, con un total de 52 individuos. La familia Serrasalmidae fue la más representativa en términos de frecuencia, apareciendo en cinco estaciones (BANDERAS_CLE_01, VENTUROSA_CLE_03, YARICO_CLE_01, YARICO_CLE_02 y MADREVIEJA_NEGRO_02) con dos géneros (Serrasalmus y Pygocentrus) y cuatro especies (S. rhombeus con 5 individuos, S. irritans con 5 individuos, S. calmoni con 4 individuos y P. cariba con 6 individuos). La familia Characidae también fue sobresaliente, presente en cuatro estaciones (OCmn12, VENTUROSA_CLE_02, GÜIO_CLE_01 y MADREVIEJA_NEGRO_02) con cinco géneros (Roeboides, Gymnocorymbus, Tetragonopterus, Odontostilbe y Hyphessobrycon) y cinco especies (R. dientonito, G. bondi, T. argenteus, O. splendida y H. otrynus con un total de 8 individuos). En términos de abundancia, el género Ctenobrycon destacó con 13 individuos de C. spilurus distribuidos en cinco estaciones, representando el 25% del total de individuos en este bioma. La estación YARICO_CLE_01 fue la más diversa, con 5 familias, 5 géneros y 7 especies, seguida de GÜIO_CLE_02 con 4 familias, 6 géneros y 7 especies.

Entre biomas, Llanura de Inundación mostró una mayor riqueza taxonómica (12 familias, 19 géneros y 25 especies/morfoespecies frente a 7 familias, 9 géneros y 10 especies en Altillanura) y abundancia (52 individuos frente a 14 en Altillanura). La familia Serrasalmidae fue la más consistente entre biomas, presente en ambos con alta frecuencia en Llanura de Inundación (5 estaciones) y moderada en Altillanura (1 estación). El género Serrasalmus fue el más representativo en la Llanura de Inundación con tres especies (S. rhombeus, S. irritans y S. calmoni) y 14 individuos, mientras que en la Altillanura solo se registró S. irritans con 2 individuos. La familia Characidae destacó en Llanura de Inundación por su alta riqueza de géneros y especies, pero estuvo ausente en la Altillanura salvo por Tetragonopterus en una estación. En contraste, Loricariidae y Cichlidae fueron más frecuentes en Altillanura (2 estaciones cada una) que en Llanura de Inundación (3 y 2 estaciones, respectivamente). Estas diferencias reflejan una mayor diversidad y abundancia de peces en Llanura de Inundación, mientras que Altillanura mostró una comunidad más limitada, dominada por Loricariidae y Cichlidae.

El bioma Llanura de Inundación, con 11 estaciones en ocho Microcuencas, mostró una mayor riqueza taxonómica (12 familias, 19 géneros, 25 especies/morfoespecies) y abundancia (67

individuos) en comparación con Altillanura (6 estaciones, 4 Microcuencas, 8 familias, 10 géneros, 12 especies, 17 individuos). La especie más abundante en Llanura de Inundación fue Ctenobrycon spilurus (14 individuos, en cinco estaciones), seguida por Pygocentrus cariba y Serrasalmus rhombeus (6 y 5 individuos, respectivamente).

En el bioma Altillanura, Sturisoma tenuirostre destacó con 3 individuos en PIRIGUA_CLE_01. La familia Serrasalmidae fue la más representativa en Llanura de Inundación (5 estaciones, 16 individuos, 4 especies), mientras que Loricariidae dominó en Altillanura por frecuencia (2 estaciones) y abundancia (S. tenuirostre).

La Microcuenca del CAÑO YARICO en el bioma Llanura de Inundación fue la más diversa, con 10 especies en dos estaciones (YARICO_CLE_01 y YARICO_CLE_02), cada una con 15 individuos, 7 especies y altos índices de diversidad (Shannon: 1.859–1.899, Pielou: 0.955–0.976). GÜIO_CLE_02 (CAÑO GÜIO) también destacó con 8 especies, 11 individuos y un Shannon de 1.972, reflejando alta equidad. En Altillanura, CAÑO SANTOYA fue la Microcuenca más rica (5 especies en dos estaciones), con SANTOYA_CLE_01 y SANTOYA_CLE_02 mostrando 3 especies cada una, Shannon de 1.099 y Pielou de 1.0, indicando comunidades equilibradas. En contraste, estaciones como MADREVIEJA_META_02 y NAVAJAS_SUR_CLE_01 en Altillanura tuvieron mínima diversidad (1 especie, Shannon: 0).

Entre biomas, Llanura de Inundación presentó mayor heterogeneidad ecológica, con estaciones de alta riqueza y equidad (bajos valores de Simpson: 0.157–0.224 en YARICO_CLE_02 y GÜIO_CLE_02), mientras que Altillanura mostró comunidades más simplificadas, con dominancia de pocas especies como S. tenuirostre en PIRIGUA_CLE_01 (Simpson: 0.625). La mayor riqueza y abundancia en Llanura de Inundación sugieren hábitats más diversos, mientras que Altillanura refleja condiciones más restrictivas, con comunidades menos variadas pero equilibradas en Microcuencas como CAÑO SANTOYA.

El bioma de la Llanura de Inundación mostró una distribución más equitativa de individuos (Pielou promedio: 0.91) que el bioma Altillanura (Pielou promedio: 0.88), con estaciones como OCMn13 (Shannon: 2.164, Pielou: 1.041) y BORAL_CL_01 (Shannon: 1.906, Pielou: 0.979) destacando por su alta diversidad. La Altillanura tuvo mayor abundancia de Pimelodidae (26 individuos vs. 18 en Llanura de Inundación), mientras que la familia Acestrorhamphidae dominó en la Llanura de Inundación (34 individuos vs. 16 en Altillanura). La especie Pimelodus blochii fue dominante en Altillanura (28 individuos), mientras que Astyanax bimaculatus lo fue en Llanura de Inundación (17 individuos).

En términos de riqueza y abundancia, la Llanura de Inundación presentó una riqueza taxonómica ligeramente inferior (24 especies, 20 géneros, 12 familias) a la Altillanura (28 especies, 20 géneros, 14 familias), pero con mayor equidad en la distribución de individuos (Pielou promedio: 0.91 vs. 0.88). La Microcuenca del CAÑO EL BORAL (Llanura de Inundación) fue la más diversa con 12 especies, seguida por la Microcuenca del CAÑO MACAPAY (Altillanura, 9 especies) y la Microcuenca del RÍO CABUYARITO (Altillanura, 9 especies).

En términos de especies dominantes, Pimelodus blochii fue la especie más abundante en la Altillanura (28 individuos, 27.2% del total, 8 estaciones), seguida por Tetragonopterus argenteus (13 individuos). En Llanura de Inundación, Astyanax bimaculatus (17 individuos, 9 estaciones) y Ctenobrycon spilurus (14 individuos, 6 estaciones) lideraron, con Cyphocharax oenas (9 individuos) destacando en la Microcuenca del CAÑO EL BORAL.

En términos de diversidad, la estación OCMn13 (Microcuenca del CAÑO BANDERAS, bioma Llanura de Inundación) mostró la mayor diversidad (8 especies, Shannon: 2.164, Pielou: 1.041), seguida por BORAL_CL_01 (Microcuenca del CAÑO EL BORAL, 7 especies, Shannon: 1.906, Pielou: 0.979). En el bioma Altillanura, la estación MACAPAY_CL_02 (Microcuenca del CAÑO MACAPAY, 8 especies, Shannon: 1.965, Pielou: 0.945) y OCMn10 (Microcuenca del RÍO CABUYARITO, 7 especies, Shannon: 1.748, Pielou: 0.898) fueron las más diversas. La Microcuenca CAÑO EL BORAL destacó por su alta riqueza y equidad, mientras que Microcuencas como CAÑO IPAPA (Altillanura) mostraron baja diversidad debido a la dominancia de una especie.

Las familias más representativas fueron Pimelodidae, que dominó en la Altillanura (8 estaciones, 26 individuos, 7 especies), mientras que Acestrorhamphidae lo hizo en Llanura de Inundación (9 estaciones, 34 individuos, 7 especies). La familia Loricariidae fue común en ambos biomas (7 estaciones en Altillanura, 4 en Llanura de Inundación), con la familia Serrasalmidae más relevante en la Altillanura (5 especies) que en Llanura de Inundación (3 especies).

El Bioma de la Llanura de Inundación presentó mayor heterogeneidad de hábitats, reflejada en bajos valores de Simpson (e.g., 0.12 en OCMn13), indicando baja dominancia y alta diversidad. En el Bioma de la Altillanura, estaciones como BARBASCOS_CL_01 y IPAPA_CL_01 (Shannon: 0) reflejaron comunidades simplificadas con dominancia de especies como Tetragonopterus argenteus, sugiriendo condiciones más homogéneas o restrictivas. La alta equidad en estaciones como EL_PASO_CL_01 y OCMY11 (Altillanura) indica hábitats puntuales con mayor complejidad.

La dominancia general de peces de hábito alimenticio Omnívoro indica una degradación ambiental o inestabilidad ecosistémica, sugiriendo una pérdida de especialistas, baja disponibilidad de presas y una simplificación de la cadena alimenticia debido a impactos antrópicos y contaminación.

En el **Anexo E6.5_Tabla_Resumen_FQ-HB** se pueden apreciar las características generales y en resumen que, determinan la calidad del recurso hídrico superficial en el área de Influencia Fisicobiótica del Bloque CPO-5.