
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

TABLA DE CONTENIDO

3	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	5
3.2	MEDIO ABIÓTICO	5
3.2.4	Hidrología	5
3.2.4.1	Identificación de áreas correspondientes a sistemas lénticos y lóticos	5
3.2.4.1.1	Cuerpos lénticos y lóticos dentro del Área de Influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5	5
3.2.4.1.2	Cuerpos lénticos y lóticos	6
3.2.4.1.3	Inventario de cuencas	14
3.2.4.2	Caracterización de red de drenaje y morfometría	20
3.2.4.2.1	Patrón de drenaje – dinámica fluvial	20
3.2.4.2.2	Análisis Multitemporal	26
3.2.4.2.3	Caracterización morfométrica	30
3.2.4.3	Régimen hidrológico y caudales mínimos o caudales ecológicos de las fuentes a intervenir	40
3.2.4.3.1	Balance Hídrico	41
3.2.4.3.2	Modelo Hidrológico	49
3.2.4.3.3	Simulación de Caudales	54
3.2.4.3.4	Periodos de Retorno	89
3.2.4.3.5	Caudal Ambiental	93
3.2.4.3.6	Oferta Hídrica disponible	100
3.2.4.3.7	Variabilidad climática - Teleconexiones hidrología	102
3.2.4.4	Conclusiones	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.4-1	Inventario de cuerpos de agua lénticos	9
Tabla 3.2.4-2	Inventario de cuerpos de agua lóticos	10
Tabla 3.2.4-3	Codificación de cuencas	16
Tabla 3.2.4-4	Patrón de drenaje por cuenca	22
Tabla 3.2.4-5	Metadatos Imágenes Obtenidas	28
Tabla 3.2.4-6	Caracterización Morfométrica Cuencas de interés	31



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Tabla 3.2.4-7	Estación de calibración	50
Tabla 3.2.4-8	Métricas proceso de calibración	52
Tabla 3.2.4-9	Métricas proceso de validación	53
Tabla 3.2.4-10	Caudales máximos por mes para cada periodo de retorno en m ³ /s por cuenca	90
Tabla 3.2.4-11	Caudales mínimos por mes para cada periodo de retorno en m ³ /s por cuenca	92
Tabla 3.2.4-12	Índice 7Q10 por cuenca	94
Tabla 3.2.4-13	Q95% mensual multianual (m ³ /s)	95
Tabla 3.2.4-14	Caudales ambientales por cuenca (m ³ /s)	97
Tabla 3.2.4-15	Caudales ambientales por cuenca (m ³ /s) Método IRH	99
Tabla 3.2.4-16	Oferta hídrica disponible	101
Tabla 3.2.4-17	Índices Océano Atmosféricos	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.2.4-1	Imagen tomada con Dron sobre el caño El Boral	6
Figura 3.2.4-2	Imagen tomada en tierra caño El Boral	7
Figura 3.2.4-3	Identificación cuerpo lotico caño el boral (A) época de mayor lluvia (B) Época de menor lluvia (C) Índice NDWI	7
Figura 3.2.4-4	Dinámica multitemporal de cuerpo léntico Laguna Chavilonia	8
Figura 3.2.4-5	Cuerpos de agua lénticos dentro del AI fisicobiótica del Bloque CPO-5	13
Figura 3.2.4-6	Cuerpos de agua lóticos dentro del AI fisicobiótica del Bloque CPO-5	14
Figura 3.2.4-7	Delimitación de cuencas realizadas para cálculos hidrológicos	16
Figura 3.2.4-8	Delimitación de cuencas Área de Influencia físico-biótica	18
Figura 3.2.4-9	Esquema de conectividad y jerarquía fluvial de las cuencas del AI	19
Figura 3.2.4-10	Tipos de patrones de drenaje	21
Figura 3.2.4-11	Identificación del patrón de drenaje Caño Yurimena	22
Figura 3.2.4-12	Drenajes cuencas en el AI fisicobiótica del Bloque CPO-5	26
Figura 3.2.4-13	Multitemporal Área de Producción CPO-5	29
Figura 3.2.4-14	Curva hipsométrica por cuenca	39
Figura 3.2.4-15	Evapotranspiración Real a nivel mensual en el Bloque CPO-5	45



	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Figura 3.2.4-16	Déficit a nivel mensual en el Bloque CPO-5	46
Figura 3.2.4-17	Excesos a nivel mensual en el Bloque CPO-5	47
Figura 3.2.4-18	Índice de aridez zona de influencia Bloque CPO-5	48
Figura 3.2.4-19	Esquema conceptual modelo GR4J	49
Figura 3.2.4-20	Cuenca y estación de calibración (Humapo [35117010])	51
Figura 3.2.4-21	Calibración Estación Humapo	53
Figura 3.2.4-22	Validación Estación Humapo	54
Figura 3.2.4-23	Resumen régimen hidrológico cuenca Río Cabuyarito [35270102]	55
Figura 3.2.4-24	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Boral [35270105]	56
Figura 3.2.4-25	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Pirigua [35270101]	57
Figura 3.2.4-26	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Piedra Candela [35110103]	58
Figura 3.2.4-27	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Yurimena [35110106]	59
Figura 3.2.4-28	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Aceite [35110107]	60
Figura 3.2.4-29	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Ipapa [35110108]	61
Figura 3.2.4-30	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Santoya [35110109]	62
Figura 3.2.4-31	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Emma [35120103]	63
Figura 3.2.4-32	Resumen régimen hidrológico cuenca Río Metica [35110117]	64
Figura 3.2.4-33	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Menegua [35110111]	65
Figura 3.2.4-34	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Navajas Sur [35110112]	66
Figura 3.2.4-35	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Banderas [35110115]	67
Figura 3.2.4-36	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Venturosa [35110113]	68
Figura 3.2.4-37	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Barbascos [35120104]	69
Figura 3.2.4-38	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Cajon [35110105]	70
Figura 3.2.4-39	Resumen régimen hidrológico cuenca Río Upía [35090101]	71
Figura 3.2.4-40	Resumen régimen hidrológico cuenca Bajo Río Negro [35100108]	72
Figura 3.2.4-41	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Chocho [35100102]	73
Figura 3.2.4-42	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño La Lilbana [35110110]	74
Figura 3.2.4-43	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Macapay [35270106]	75
Figura 3.2.4-44	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Paso [35110114]	76
Figura 3.2.4-45	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño La Victoria [35110104]	77





	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Figura 3.2.4-46	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Navajitas [35110116]	78
Figura 3.2.4-47	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Totumal [35270107]	79
Figura 3.2.4-48	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Güio [35270103]	80
Figura 3.2.4-49	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño San Pablo [35110118]	81
Figura 3.2.4-50	Resumen régimen hidrológico cuenca Bajo Río Humea [35050101]	82
Figura 3.2.4-51	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Guayauriba [35110102]	83
Figura 3.2.4-52	Resumen régimen hidrológico cuenca Río Meta [35110101]	84
Figura 3.2.4-53	Resumen régimen hidrológico cuenca Río Yucao [35120101]	85
Figura 3.2.4-54	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Yarico [35270104]	86
Figura 3.2.4-55	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Yarico [35270104]	87
Figura 3.2.4-56	Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Metica [35110117]	88
Figura 3.2.4-57	Funciones densidad de probabilidad cuenca 35270106 "Caño Macapay"	89
Figura 3.2.4-58	Resultado para teleconexiones cuenca Bajo Río Humea [3505101]	104
Figura 3.2.4-59	Resultados ENSO caudal medio cuenca 35050101 "Río Humea"	105

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

3.2 MEDIO ABIÓTICO

3.2.4 Hidrología



El análisis hidrológico se ocupa del estudio de las aguas continentales, comprendiendo su origen, movimiento, distribución, así como sus propiedades físicas, su interacción en los entornos físicos y su influencia en las actividades humanas. Este análisis es fundamental para comprender la dinámica hídrica en la zona de estudio y para gestionar eficazmente los recursos hídricos en el Bloque CPO-5. Este capítulo presenta un inventario de cuencas, definiendo sus límites y características físicas clave. La caracterización detallada de los sistemas de drenaje proporciona una visión profunda de la red fluvial y sus patrones de flujo. Además, se desarrolla un modelo GR4J, un método hidrológico ampliamente reconocido, que simula los caudales en diferentes periodos de retorno, permitiendo evaluar la probabilidad de eventos extremos con mayor precisión. Este enfoque no solo ofrece una representación más fiel de los patrones hidrológicos, sino que también brinda información esencial para la gestión del agua y conservación de este recurso. Al proporcionar estimaciones más precisas sobre la frecuencia y la intensidad de eventos hidrológicos extremos, como inundaciones o sequías, el modelo GR4J se convierte en una herramienta indispensable para planificadores, autoridades ambientales y gestores de recursos hídricos, permitiendo tomar decisiones más informadas y efectivas para mitigar riesgos y garantizar una gestión sostenible del agua.

Por otro lado, el análisis hidrológico específico de cada una de las fuentes a intervenir por ocupaciones de cauce, o la solicitud de franjas de captación, se presenta en el capítulo cuarto numeral *4.1 Aguas superficiales, y, 4.4 Ocupación de cauces.*

3.2.4.1 Identificación de áreas correspondientes a sistemas lénticos y lóticos

3.2.4.1.1 Cuerpos lénticos y lóticos dentro del Área de Influencia fisicobiótica del Bloque CPO-5

La identificación de los cuerpos de agua lénticos y lóticos en el área de influencia (AI) fisicobiótica del Bloque CPO-5 se realizó mediante un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales, complementado con un sobrevuelo en dron. Los detalles completos de esta identificación se encuentran en el informe adjunto en la ***carpeta AnxD-5_Hidrol|AnxD-5.1_ID_CA_len_Lot_Pdrenaje***. El Anexo Identificación de CA describe detalladamente el proceso de selección de los cuerpos lénticos y lóticos. No obstante, a continuación, se presentan dos ejemplos representativos: uno correspondiente a un cuerpo léntico y otro a un cuerpo lótico.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

3.2.4.1.2 Cuerpos lénticos y lóticos

➤ *Caño El Boral: Cuerpo lótico*

Este cuerpo de agua se clasifica como un sistema lótico permanente, caracterizado por un flujo constante a lo largo del año. Este comportamiento fue corroborado mediante imágenes capturadas con drones y observaciones de campo, como se evidencia en la **Figura 3.2.4-1** se identifica un patrón de drenaje bien definido que refleja la persistencia del flujo a lo largo del tiempo. complementando lo anterior, en la **Figura 3.2.4-2** donde se realizó la visita en tierra se logra observar vegetación sobre el cauce, lo que sugiere que este sistema mantiene su actividad incluso durante periodos de menor precipitación. Este aspecto indica una estabilidad ecológica del drenaje, favorecida posiblemente por la capacidad del caño para sustentar un régimen hídrico constante.

Adicionalmente, el caño recibe aportes de drenajes intermitentes, compuestos por pequeños cursos de agua que se activan únicamente durante períodos de lluvia intensa o estacional. Estos afluentes temporales desempeñan un papel significativo al incrementar el caudal del caño durante las temporadas húmedas, lo que influye en su dinámica hidrológica y en la disponibilidad de recursos hídricos en la zona.

El patrón de drenaje del caño El Boral es de tipo dendrítico, lo que significa que su red hidrográfica se asemeja a las ramas de un árbol, con múltiples afluentes que convergen en el cauce principal.

Este tipo de patrón es común en regiones donde la litología es homogénea y la topografía presenta pendientes suaves, permitiendo que los afluentes se unan al cauce principal en diversas direcciones y ángulos como se observa en la **Figura 3.2.4-3** donde se logra observar el patrón dendrítico de los drenajes tributarios al drenaje principal y además se comparan durante las épocas de mayor y menor lluvia en la viñeta C se logra observar en color azul oscuro las zonas de vegetación densa donde se encuentra el tramo del cuerpo lotico.



Figura 3.2.4-1 Imagen tomada con Dron sobre el caño El Boral

Fuente: Gessig S.A.S., 2025



Figura 3.2.4-2 Imagen tomada en tierra caño El Boral

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2025

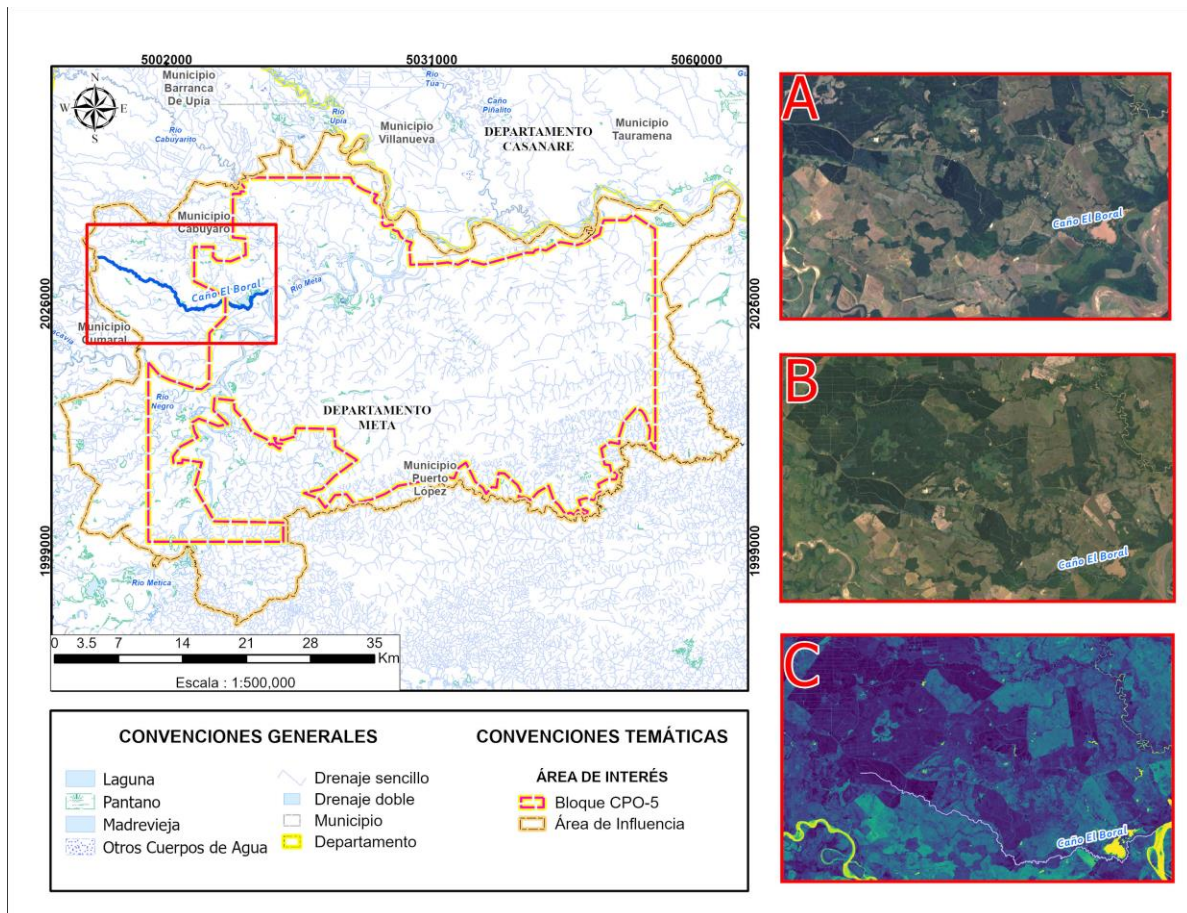


Figura 3.2.4-3 Identificación cuerpo lotico caño el boral (A) época de mayor lluvia (B) Época de menor lluvia (C) Índice NDWI

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

➤ *Laguna Chavilonia: Cuerpo léntico*

La laguna Chavilonia ocupa un área aproximada de 101,98 hectáreas y se ubica a los 5.010.495,97 metros Este y 2.026.285,05 metros Norte (MAGNA-SIRGAS Origen Nacional). Como se puede observar en la **Figura 3.2.4-4**, en el panel A, se aprecia una cobertura hídrica bien definida, sin variaciones mayores. En el panel B, se identifican ligeras expansiones hacia áreas bajas. El panel C muestra una humedad homogénea en toda la unidad. Este cuerpo léntico, de carácter permanente, desempeña funciones claves como reservorio hídrico y hábitat acuático consolidado este cuerpo de agua también es comúnmente conocido en la región como la laguna Chavilonia.

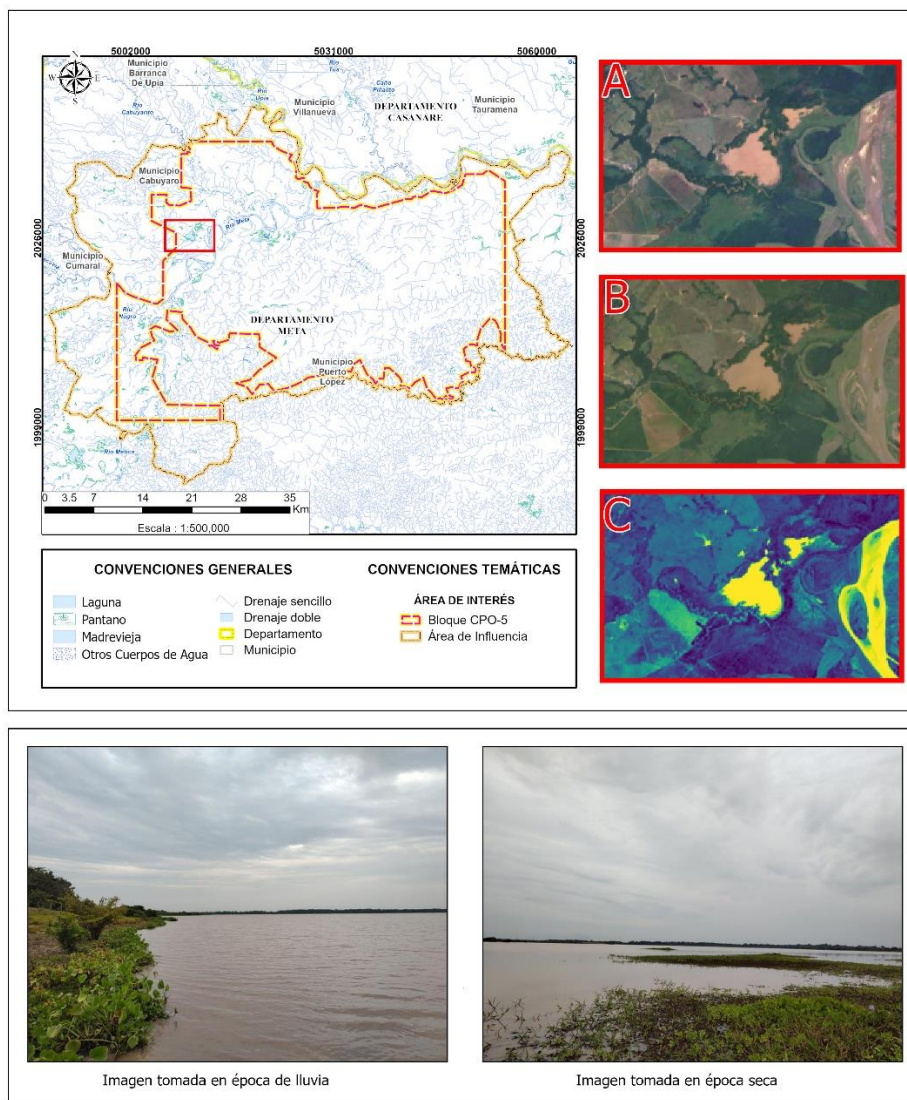




Figura 3.2.4-4 Dinámica multitemporal de cuerpo léntico Laguna Chavilonia



Fuente: Gessig S.A.S., 2025

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

A continuación, en la **Tabla 3.2.4-1** se presenta un resumen de los resultados de la identificación de los cuerpos de agua lénticos en el AI físico-biótica del Bloque CPO-5.

Tabla 3.2.4-1 Inventario de cuerpos de agua lénticos

Cuerpo de agua	Coordenadas origen único nacional		Tipo de cuerpo léntico	Cuenca	Departamento	Municipio	Observaciones
	Norte	Este					
Laguna DAR_1218	2.007.032,62	5.001.889,67	Laguna	Caño Banderas	Meta	Puerto López	Laguna estacional con expansión visible en época de lluvias y reducción en época seca.
Laguna Chavilonia	2.026.285,05	5.010.495,97	Laguna	Caño El Boral	Meta	Cabuyaro	Laguna permanente con ligera expansión en lluvias y alta humedad general.
Laguna DAR_996	2.033.597,86	5.005.356,73	Laguna	Caño Güio	Meta	Cabuyaro	Sistema menor, efímero y aislado con baja retención.
Laguna Cucurita	2.033.011,55	5.008.999,13	Laguna	Caño Güio	Meta	Cabuyaro	Laguna con leve incremento en época húmeda, dependiente de drenaje estacional.
Madrevieja DAR_1533	2.028.261,99	5.026.736,79	Madrevieja	Rio Meta	Meta	Puerto López	Madrevieja extensa, activa, con conectividad variable y trazos meándricos.
Madrevieja 4309	2.028.704,73	5.029.182,33	Madrevieja	Rio Meta	Meta	Puerto López	Madrevieja activa con expansión notable y valores altos de saturación.
Laguna Vieja	2.020.427,94	5.002.163,68	Laguna	Bajo rio humea	Meta	Cabuyaro	Laguna con geoforma de madrevieja semipermanente con red meándrica conectada a drenaje activo.
Madrevieja DAR_1212	2.013.192,13	5.002.184,57	Madrevieja	Bajo rio negro	Meta	Puerto López	Madrevieja con retención media, trazos de cauces antiguos y agricultura cercana.
Pantano 1302	2.003.999,93	5.007.365,02	Pantano	Caño Menegua	Meta	Puerto López	Pantano de régimen pluvial, con expansión significativa y alta humedad central.
Pantano 1060	2.020.235,35	5.011.592,41	Pantano	Rio Meta	Meta	Puerto López	Pantano amplio con alta retención y expansión en época húmeda.
Laguna 1204	1.999.959,53	5.006.484,15	Laguna	Rio Metica	Meta	Puerto López	Laguna conectada lateralmente con canales, almacena agua aún en época seca.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Cuerpo de agua	Coordenadas origen único nacional		Tipo de cuerpo lenticó	Cuenca	Departamento	Municipio	Observaciones
	Norte	Este					
Laguna 1603	2.036.986,15	5.022.920,93	Laguna	Caño Pirigua	Meta	Cabuyaro	Laguna efímera, pequeña, con alta variabilidad estacional.
Laguna 1096	2.025.726,75	5.019.813,62	Laguna	Caño Santoya	Meta	Puerto López	Laguna semi-aislada, con conectividad reducida y humedad central persistente.
Laguna 892	2.022.788,31	5.008.287,28	Laguna	Caño El Totumal	Meta	Cabuyaro	Laguna estacional, con recuperación significativa y alta humedad centroide.
Laguna 1169	2.002.561,25	4.997.438,26	Laguna	Caño Venturosa	Meta	Puerto López	Laguna de gran tamaño, expansión lateral notable y humedad estable.
Laguna 1214	2.011.436,78	5.004.210,61	Laguna	Caño Venturosa	Meta	Puerto López	Laguna con bordes definidos, expansión leve y humedad en trazas bajas.
Laguna La Carolina	2.032.500,58	5.004.064,47	Laguna	Caño Yarico	Meta	Cabuyaro	Laguna pequeña, fragmentada, débil capacidad de retención y alta estacionalidad.

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Por otro lado, en la **Tabla 3.2.4-2** se presenta un resumen de los cuerpos de agua lóticos ubicados en el área de influencia del Bloque CPO-5, dentro de los municipios de Cabuyaro, y Puerto López, en el departamento del Meta. Estos sistemas hídricos incluyen caños y ríos la mayoría se caracterizan por un régimen de flujo continuo debido a su conexión con fuentes permanentes como acuíferos, manantiales o drenajes estables.

Tabla 3.2.4-2 Inventario de cuerpos de agua lóticos

Cuerpo de Agua	Cuenca	Coordenadas de origen único nacional		Municipio	Departamento	Observaciones
		Este	Norte			
Caño Barbascos	Caño Barbascos	5.046.819,95	2.008.591,40	Puerto López	Meta	Flujo continuo que se intensifica en época húmeda por aportes temporales; NDWI evidencia mayor humedad y conectividad en lluvias.
Caño Chocho	Caño Chocho	4.991.477,80	2.011,944,25	Puerto López	Meta	Drenaje maduro y sinuoso en zona agroforestal; presenta continuidad en época seca y mayor recarga lateral en lluvias; NDWI indica humedad elevada en planicies aledañas
Caño El Aceite	Caño El Aceite	5.024.028,73	2.018.898,21	Puerto López	Meta	Flujo permanente con caudal bajo en época seca; se expande en temporada de lluvias por aporte de drenajes secundarios, según análisis NDWI.



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Cuerpo de Agua	Cuenca	Coordenadas de origen único nacional		Municipio	Departamento	Observaciones
		Este	Norte			
Caño El Paso	Caño El Paso	5.009.888,77	2.003.053,61	Puerto López	Meta	Drenaje permanente con leve expansión en lluvias; NDWI y fotografías muestran aumento moderado de caudal y conectividad superficial estacional.
Caño La Lilbana	Caño La Lilbana	5.016.944,22	2.014.606,66	Puerto López	Meta	Drenaje sinuoso con meandros; en época seca presenta cauce estrecho y definido; en lluvias se expande e inunda lateralmente; NDWI evidencia alta humedad en zonas adyacentes.
Caño Navajitas	Caño Navajitas	5.012.802,73	2.000.030,81	Puerto López	Meta	Flujo continuo con expansión en temporada de lluvias; presenta curso definido, caudal reducido en época seca y activación estacional de afluentes efímeros según NDWI.
Caño Piedra Candela	Caño Piedra Candela	5,046.695,47	2.022.946,41	Puerto López	Meta	Drenaje continuo con expansión estacional; recibe aportes efímeros en lluvias y mantiene flujo lento en zonas sombreadas con vegetación densa.
Caño Pirigua	Caño Pirigua	5.010.508,51	2.048.540,29	Cabuyaro	Meta	Drenaje meándrico con flujo permanente y expansión lateral en temporada húmeda por aporte de drenajes intermitentes; alta conectividad estacional.
Caño Santoya	Caño Santoya	5.013.100,09	2.012.780,28	Puerto López	Meta	Drenaje principal continuo; en época seca con caudal reducido y poca conectividad; en lluvias aumenta el flujo y se activan afluentes secundarios; NDWI refleja alta humedad estacional.
Caño Yarico	Caño Yarico	4.996.164,23	2.035.703,26	Cabuyaro	Meta	Drenaje dendrítico con flujo estable todo el año, sin variaciones significativas entre épocas secas y lluviosas; vegetación ribereña indica estabilidad ecológica.
Caño Yurimena	Caño Yurimena	5.028.791,53	2.016.905,49	Puerto López	Meta	Drenaje permanente con expansión estacional; presenta alta humedad en época de lluvias por incorporación de afluentes efímeros y vegetación ribereña densa.
Caño Zancudo	Caño El Boral	4.997.467,59	2.026.132,01	Cabuyaro	Meta	Cuerpo de agua de flujo permanente, con afluentes estacionales y red de drenaje ramificada; evidencia de humedad sostenida y vegetación en cauce.
Río Yucao	Río Yucao	5.070.901,31	2.006.753,39	Puerto López	Meta	Cauce permanente con caudal variable; se alimenta de drenajes estacionales durante lluvias, generando alta conectividad superficial y respuesta hidrológica activa.
Caño Emma	Caño Emma	5.047.082,92	2.017.317,56	Puerto López	Meta	Drenaje de orden superior en zona intervenida, con aumento de escorrentía y conectividad en lluvias; NDWI indica humedad persistente y posibles anegamientos.



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Cuerpo de Agua	Cuenca	Coordenadas de origen único nacional		Municipio	Departamento	Observaciones
		Este	Norte			
Caño Ipapa	Caño Ipapa	5.020.549,17	2.016.815,58	Puerto López	Meta	Flujo permanente con caudal bajo en época seca; en lluvias aumenta su caudal y conectividad por aporte de afluentes efímeros, evidenciado en NDWI.
Caño La Victoria	Caño La Victoria	5.038.981,06	2.022.124,15	Puerto López	Meta	Drenaje en zona agropecuaria; cauce definido en época seca, mayor visibilidad de tributarios y acumulación hídrica en lluvias (NDWI alto); curso sinuoso y baja jerarquía.
Caño Menegua	Caño Menegua	5.014.496,89	2.008.547,57	Puerto López	Meta	Drenaje de flujo continuo con leve expansión en lluvias por afluentes efímeros; muestra conectividad estacional y escurrimiento lento en zonas ribereñas.
Caño El Boral	Caño El Boral	5.004.522,36	2.025.395,70	Cabuyaro	Meta	Drenaje lótico permanente con patrón dendrítico; mantiene flujo anual con apoyo de drenajes estacionales y vegetación asociada al cauce.
Caño El Totumal	Caño El Totumal	5.006.305,73	2.022.747,17	Cabuyaro	Meta	Drenaje dendrítico con cauce principal constante y afluentes estacionales; acumula agua en zonas abiertas y redistribuye caudal en temporada lluviosa.
Caño La Raya	Caño El Chocho	4.991.329,52	2.009.728,61	Puerto López	Meta	Drenaje maduro en zona intervenida; cauce definido en época seca y mayor conectividad en lluvias; NDWI muestra alta humedad en márgenes.
Caño Navajas Sur	Caño Navajas sur	5.005.886,66	1.993379,87	Puerto López	Meta	Flujo permanente con expansión en temporada de lluvias por aporte de drenajes efímeros; activa conectividad estacional y regulación del escurrimiento.
Río Meta	Río Meta	5.008057,02	2.017.755,13	Puerto López / Cabuyaro	Meta	Cauce principal con drenaje trezado; flujo permanente de gran magnitud; en época seca mantiene caudal estable, en lluvias presenta expansión lateral significativa por margen izquierdo; navegable desde Puerto López.
Río Humea	Río Humea	4.981.123,11	2.032.511,37	Cabuyaro	Meta	Río formador del Meta con drenaje meándrico; flujo permanente con origen andino; en época seca cauce definido, en lluvias crecidas rápidas con expansión lateral y socavación activa de márgenes.
Río Metica	Río Metica	5.000.513,1	1.995.445,67	Puerto López / Villavicencio / Cabuyaro	Meta	Drenaje dendrítico de piedemonte; flujo permanente sostenido; en época seca caudal estable, en lluvias aumenta considerablemente por tributarios andinos; NDWI evidencia alta humedad estacional ribereña.

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

A continuación, la **Figura 3.2.4-5** presenta los cuerpos de agua lénticos identificados posteriormente en la **Figura 3.2.4-6** los cuerpos de agua lóticos identificados.

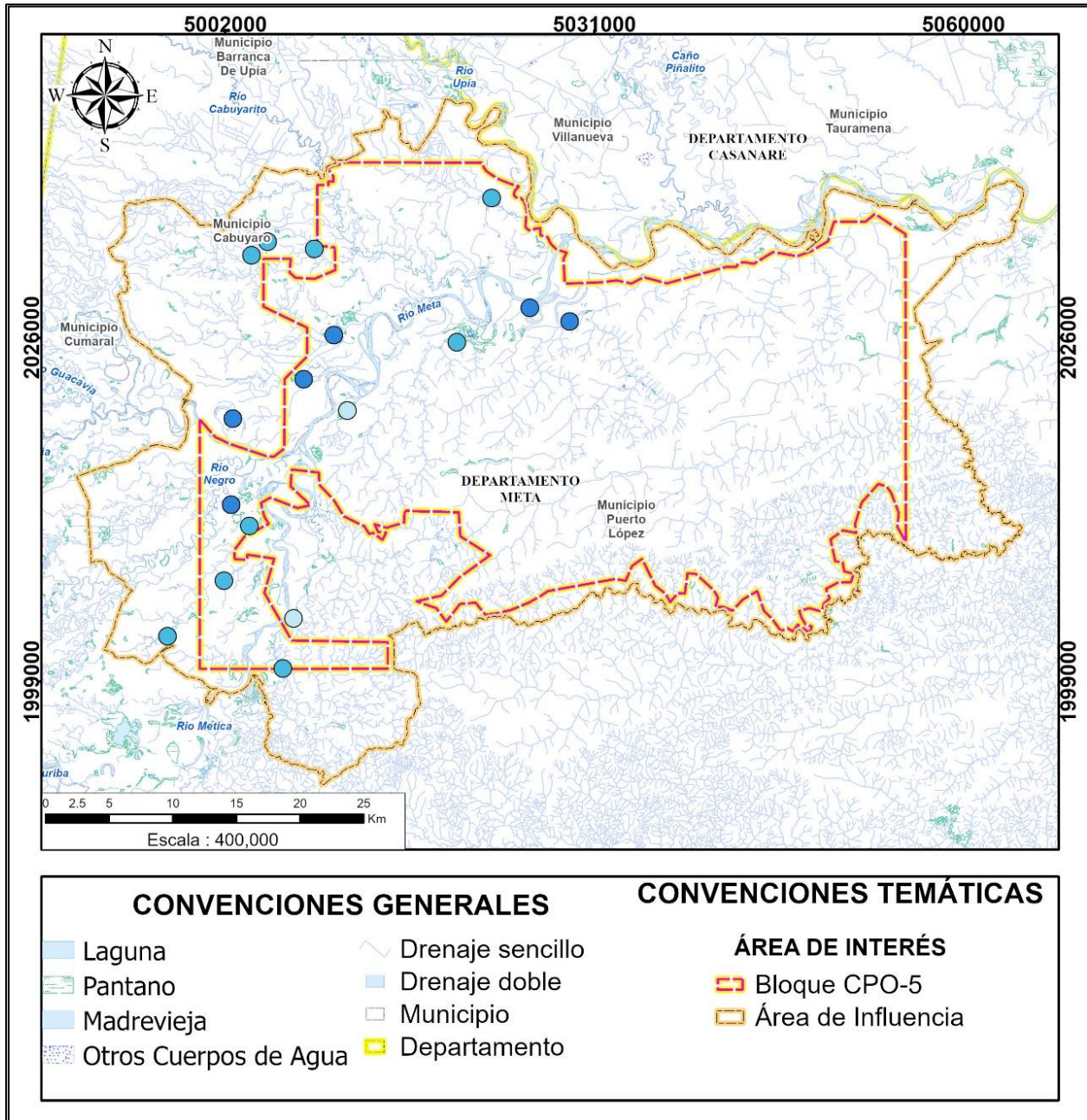


Figura 3.2.4-5 Cuerpos de agua lénticos dentro del AI fisicobiótica del Bloque CPO-5

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

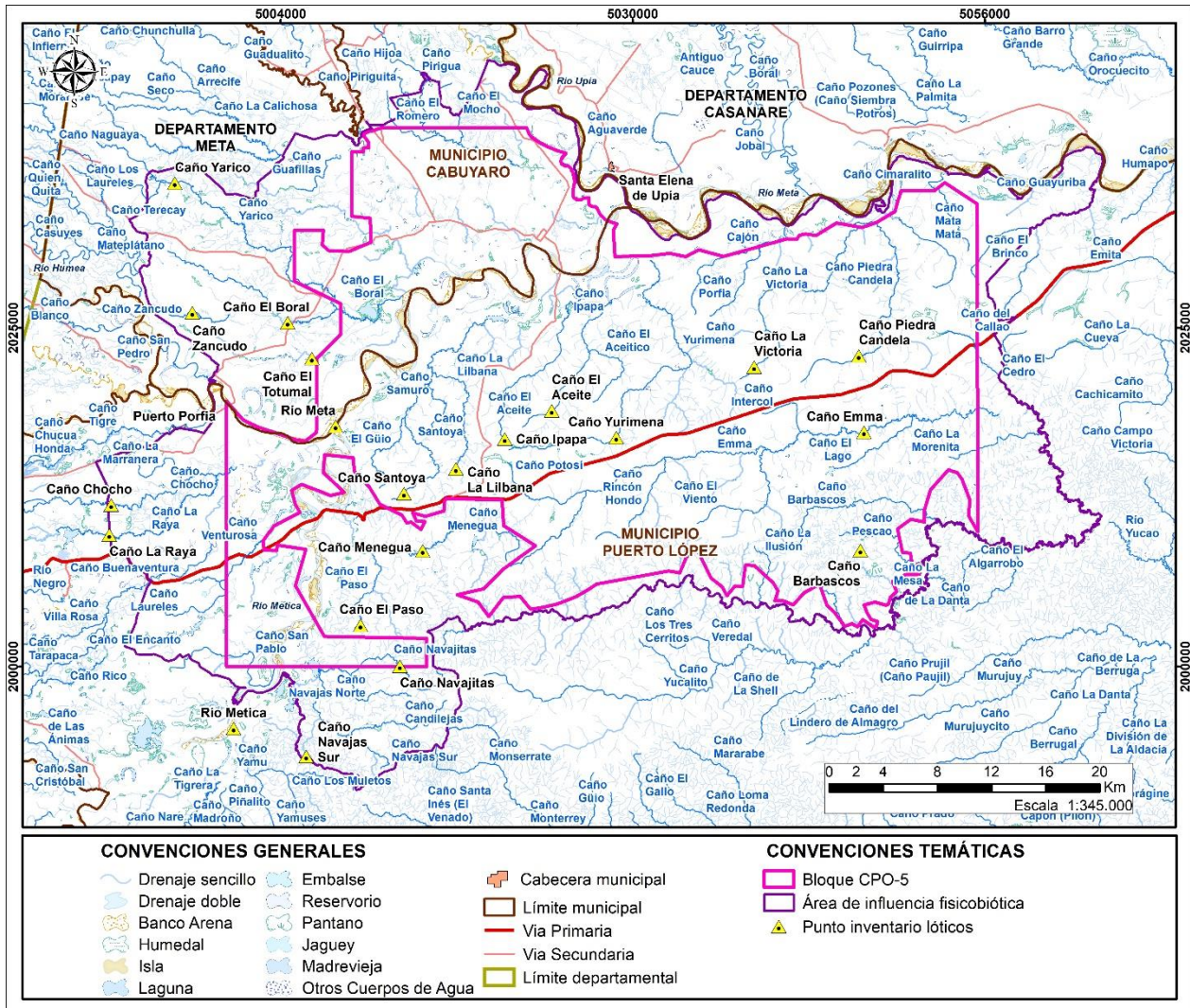


Figura 3.2.4-6 Cuerpos de agua lóticos dentro del AI fisicobiótica del Bloque CPO-5



Fuente: Gessig S.A.S., 2025

3.2.4.1.3 Inventario de cuencas

En este numeral se presenta la delimitación de las cuencas del área de influencia fisicobiótica del proyecto, las cuales serán objeto de estudio en la determinación del régimen hidrológico y sobre las que se estiman las principales características morfométricas.

Teniendo en cuenta que una cuenca hidrográfica es un espacio físico definido por los límites que imponen las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales, convergiendo en un mismo punto¹.

¹ López, S. (2018). Modelación Hidrológica e Hidráulica Requeridas Durante Eventos Extremos. Universidad Nacional de Córdoba

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Al punto que recoge toda la escorrentía que se produce en una cuenca hidrográfica se denomina punto de cierre o punto de concentración de la cuenca².

La delimitación de una cuenca hidrográfica consiste en definir la línea de divortium aquarum (divisoria de aguas), la cual se denomina como “fronteras del sistema” y son un requisito para establecer los modelos hidrológicos de toda la superficie de la cuenca³. La línea de divisoria de aguas es una línea curva definida por las altitudes y que tiene su punto de cierre en la zona más baja de la cuenca.

En este estudio se realizó una delimitación hidrográfica regional que permitió identificar 52 cuencas en total, representativas de la dinámica hídrica aguas arriba del área de interés. No obstante, para el análisis hidrológico y la caracterización morfométrica se seleccionaron 33 cuencas, al ser las de mayor incidencia directa sobre el área de influencia físico-biótica del proyecto. De estas, 33 corresponden específicamente al bloque CPO-5, sobre las cuales se efectuó un análisis detallado. La inclusión de las 52 cuencas en los anexos (Ruta **AnxD-5.1_ID_CA_1en_Lot_Pdrenaje/Patrón de drenajes**) tiene como propósito proporcionar una visión integral de la red hidrográfica regional.

En la **Tabla 3.2.4-3** se establecen los nombres de las 52 cuencas delimitadas que se tuvieron en cuenta para el desarrollo amplio del análisis del presente capítulo. Dentro del área de influencia físico-biótica del proyecto se identifican 33 cuencas, distribuidas de la siguiente manera: 18 cuencas pertenecientes a la subzona hidrográfica “Directos al río Meta entre ríos Guayuriba y Yucao”; 7 cuencas de la subzona hidrográfica “Directos al río Meta entre ríos Guatiquía y Upía”; y, adicionalmente, las cuencas Bajo río Humea (35050101), Bajo río Negro (35100108), Caño El Chocho (35100102), Río Upía (35090101), Caño Barbascos (35120104), Caño Emma (35120103) y Río Yucao (35120101).

² CVC. (2017). Caracterización de la Cuenca del Río La Vieja. Min Ambiente

³ IDEAM. (2013). Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas. Min Ambiente

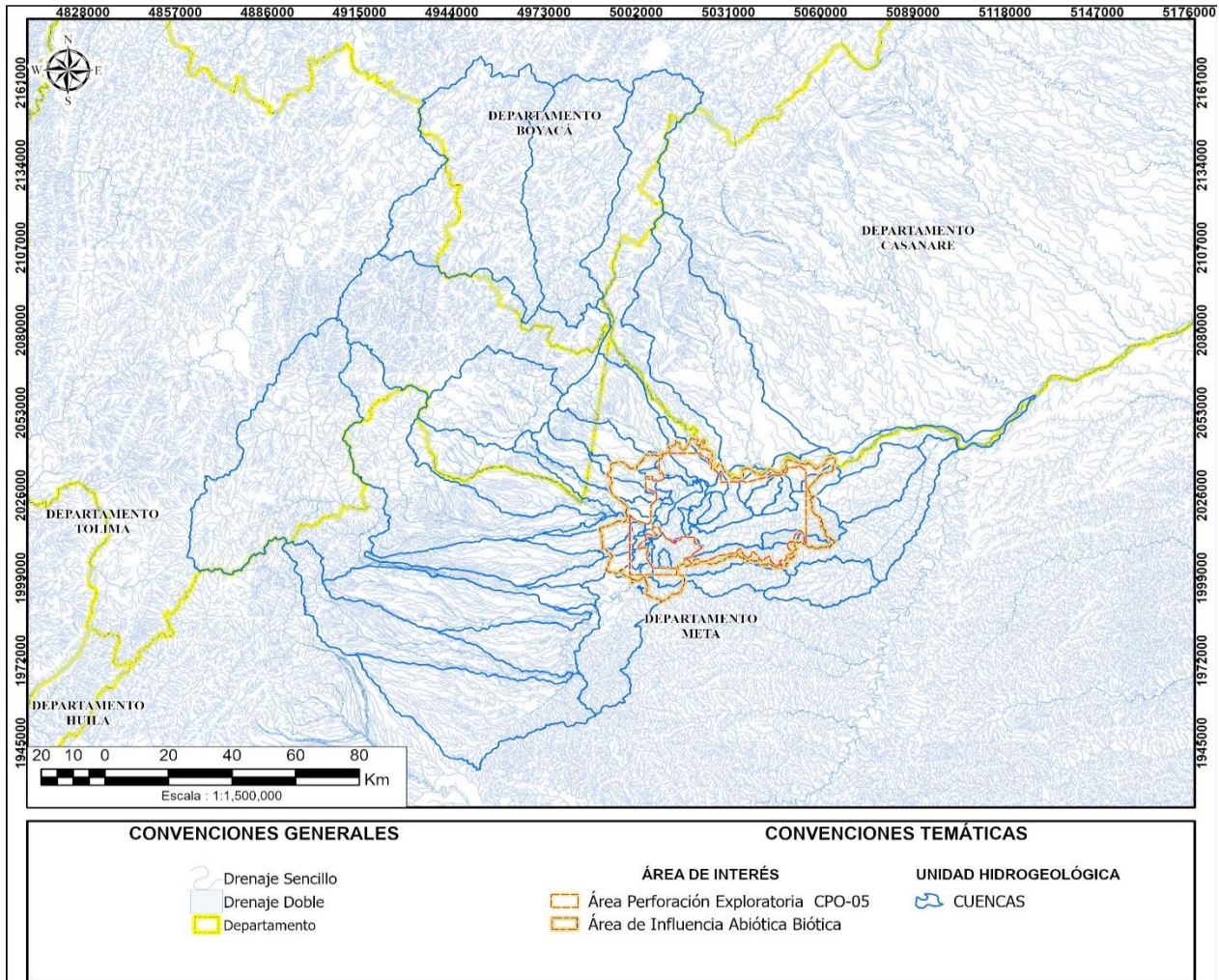


Figura 3.2.4-7 Delimitación de cuencas realizadas para cálculos hidrológicos

Fuente: Gessig S.A.S., 2026

Tabla 3.2.4-3 Codificación de cuencas

Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Subzona Hidrográfica	Cuenca	Código
Orinoco	Meta	Caños Giramena y Guaroa Directos río Metica - NSS	Caños Giramena y Guaroa Directos río Metica.	35010301
Orinoco	Meta	Directos al Río Meta entre ríos Guatiquía y Upia (mi)	Río Cabuyarito	35270102
			Caño Pirigua	35270101
			Caño Macapay	35270106
			Caño El Totumal	35270107
			Caño Güio	35270103
			Caño Yarico	35270104
			Caño El Boral	35270105



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Subzona Hidrográfica	Cuenca	Código
Orinoco	Meta	Directos al Meta entre ríos Guayuriba y Yucao	Caño Piedra Candela	35110103
			Caño Yurimena	35110106
			Caño El Aceite	35110107
			Caño Ipapa	35110108
			Caño Santoya	35110109
			Rio Metica	35110117
			Caño Menegua	35110111
			Caño Navajas sur	35110112
			Caño Banderas	35110115
			Caño Venturosa	35110113
			Caño Cajón	35110105
			Caño La Lilbana	35110110
			Caño El Paso	35110114
			Caño La Victoria	35110104
			Caño Navajitas	35110116
			Caño La vieja	35110119
			Caño San Pablo	35110118
			Caño Guayauriba	35110102
		Rio Meta	35110101	
Orinoco	Meta	Río Garagoa	Río Garagoa	35070101
		Río Guacavía	Río Guacavía	35040101
		Rio Guatiquia	Río Guatiquia	35030102
			Caño Tigre	35030101
		Río Guavio	Río Guavio	35060101
		Río Guayuriba	Rio Guayuriba	35020101
		Río Humea	Bajo rio Humea	35050101
			Caño Naguaya	35050102
			Río Humea	35050103
		Río Lengupá	Río Lengupá	35080101
		Rio Metica (Guamal - Humadea)	Rio Metica (Guamal - Humadea)	35110117
		Río Negro	Bajo Río Negro	35100108
			Caño Buenaventura	35100107
			Caño El Chocho	35100102
Rio negro	35100101			
Rio Pajure - NSS	Rio Pajure	35010401		
Río Túa y otros directos al Meta (mi) - NSS	Río Túa y otros directos al Meta	35180101		
Río Upía	Río Upía	35090101		
Orinoco	Meta	Río Yucao	Caño Barbascos	35120104
			Caño Emma	35120103
			Caño La Emmita	35120102
			Caño Yucaito	35120106
			Caño Murujuy	35120105
			Río Yucao	35120101
			Rios Guamal - Humadea - NSS	Rios Guamal - Humadea

Nota: Las celdas en color azul identifican las 33 cuencas al interior del área de influencia físico-biótica del Bloque CPO-5.

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

La delimitación de cuencas para el AI físico-biótica del Bloque CPO-5 (33 unidades), se presentan a continuación en la **Figura 3.2.4-8**, donde se puede evidenciar que algunas de las cuencas con influencia dentro del Bloque CPO-5 son Caño La Victoria (35110104), Caño Ipapa (35110108) y Caño El Aceite (35110107).

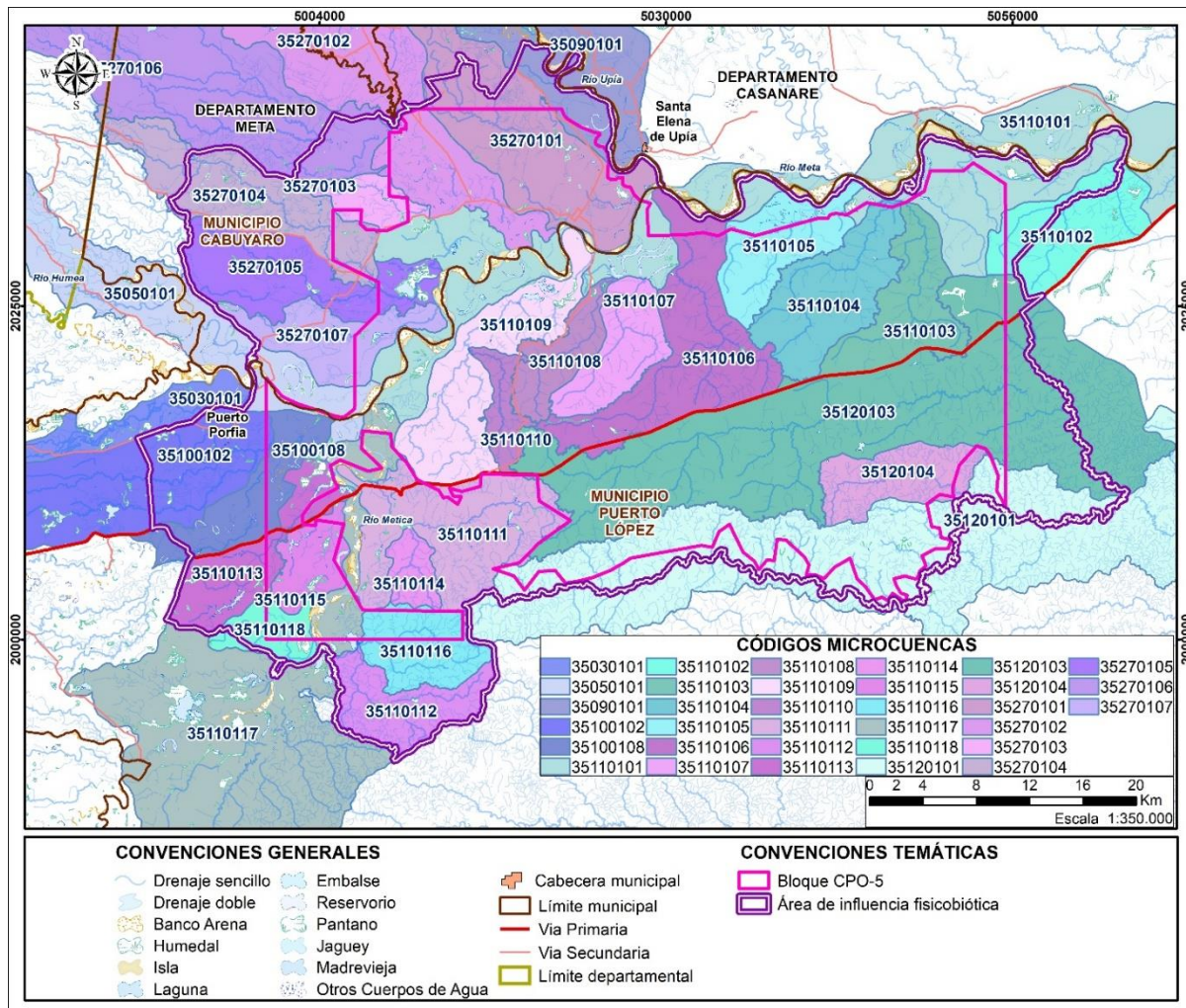


Figura 3.2.4-8 Delimitación de cuencas Área de Influencia físico-biótica

Fuente: Gessig S.A.S., 2026

Con el fin de complementar la comprensión espacial de las unidades delimitadas, se presenta a continuación el esquema de conectividad hidrodinámica del sistema en la **Figura 3.2.4-9**. Este diagrama permite visualizar la jerarquía fluvial y la interacción entre las 33 cuencas del área de influencia, diferenciando aquellas unidades que actúan como tributarios de cabecera de aquellas que funcionan como cauces receptores o integradores de flujo hasta converger en el eje central del Río Meta.

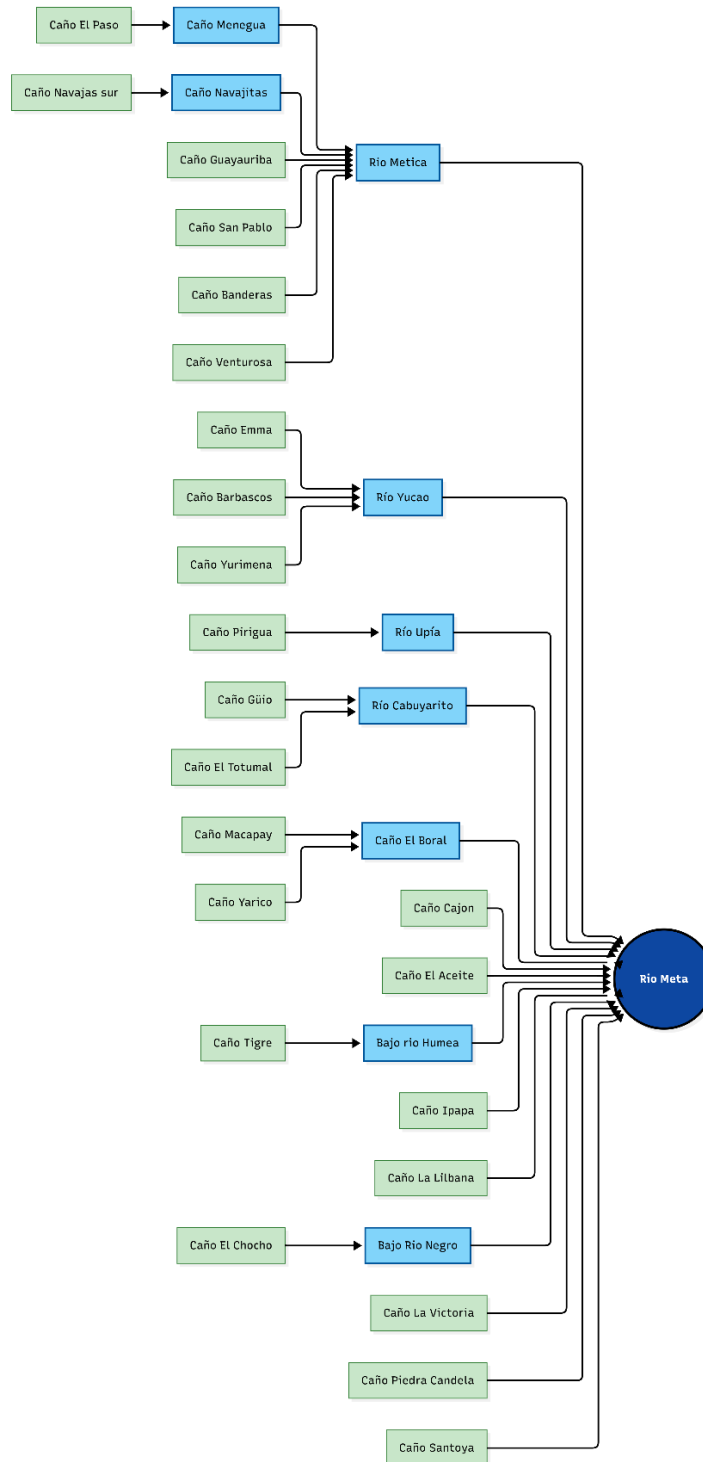




Figura 3.2.4-9 Esquema de conectividad y jerarquía fluvial de las cuencas del AI

Fuente: Gessig S.A.S., 2026

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

3.2.4.2 Caracterización de red de drenaje y morfometría

3.2.4.2.1 Patrón de drenaje – dinámica fluvial

Los patrones de drenaje son configuraciones geométricas formadas por las redes de ríos y arroyos en una cuenca hidrográfica. Estos patrones reflejan la influencia de varios factores como la topografía, la geología y el clima de la región⁴. Entre los patrones de drenaje más comunes se encuentran el dendrítico, rectangular, radial, anular y trellis. El patrón dendrítico es el más frecuente y se asemeja a las ramas de un árbol, generalmente se desarrolla en terrenos homogéneos donde no hay variaciones significativas en la resistencia del sustrato. Además, este patrón puede describirse como los tributarios distribuidos en forma de neuronas. El patrón rectangular ocurre en áreas donde las fallas y las fracturas dominan el paisaje, creando canales que se intersectan en ángulos rectos. El patrón radial se presenta típicamente en regiones volcánicas o montañas cónicas, donde los cursos de agua fluyen en todas direcciones desde un punto central elevado. El patrón anular se forma cuando varios cauces centrales se juntan formando una especie de anillo.

Existen otros patrones de drenaje notables como se puede identificar en la **Figura 3.2.4-10**, como el centripeto, donde los tributarios parten de un punto central hacia la periferia, y el pinado, en el que las corrientes se ubican una frente a otra con respecto al afluente principal. El patrón enrejado se presenta en zonas montañosas con crestas orientadas de manera paralela, permitiendo que los tributarios lleguen al río principal formando ángulos rectos. El patrón paralelo, como su nombre lo indica, presenta tributarios ubicados paralelamente respecto al afluente principal. El patrón distributivo es característico en áreas donde las corrientes parten de un eje central y se ramifican como las raíces de un árbol. Además, el patrón de drenaje tipo fantasma se caracteriza por cursos de agua que parecen desaparecer y reaparecer en la superficie, típicamente en regiones cársticas con alta permeabilidad del sustrato⁵. Este tipo de drenaje es complejo y desafiante para el estudio hidrológico, ya que los flujos subterráneos pueden afectar significativamente la disponibilidad y distribución de agua en una cuenca hidrográfica.

⁴ Fundamentos de limnología neotropical. Ríos-Pulgarín M. I., Mesa, L.M., Longo M., Roldán, G. Capítulo 5. Los ríos. En: Roldán Pérez, G. y Ramírez Restrepo, J. J. 2022. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá. 782 p.

⁵ Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales, J.A Zinck ITC, Enschede, The Netherlands ISBN: 90-6164-339-2.

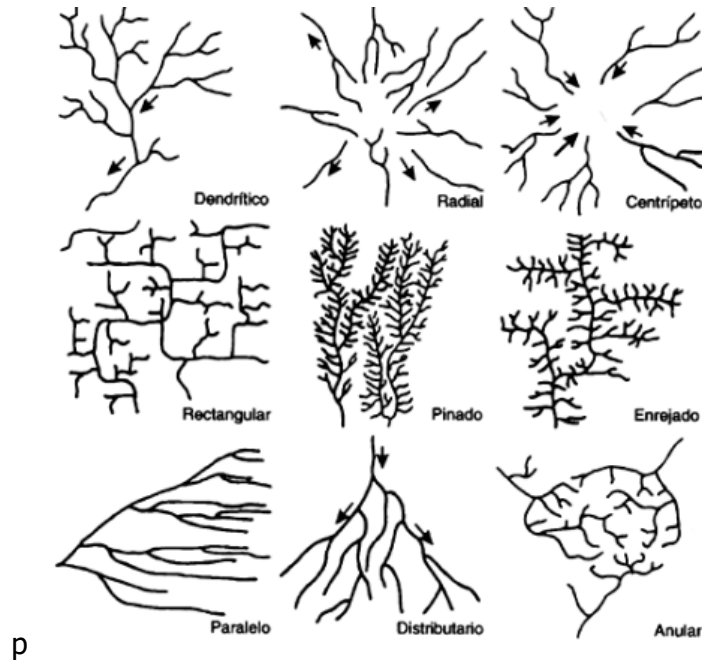


Figura 3.2.4-10 Tipos de patrones de drenaje

Fuente: Ríos-Pulgarín M. I., Mesa, L.M., Longo M., Roldán 4, 2022

En el **AnxD-5_Hidrol|AnxD-5.1_ID_CA len Lot_Pdrenaje** se encuentra detallada la metodología empleada para obtener el patrón de drenaje, así como los patrones correspondientes a cada cuenca. A continuación, se presenta un ejemplo representativo; sin embargo, se resalta que todos los patrones pueden ser consultados en el mismo anexo.

➤ *Caño Yurimena – 35110106*

La cuenca del Caño Yurimena – 35110106, ubicada al sureste del municipio de Puerto López (Meta), abarca una superficie de aproximadamente 117,25 Km². Su drenaje ha sido clasificado como irregular con base en el índice de sinuosidad, lo cual denota una red hidrográfica de trazado variable, con tramos que combinan meandros amplios con segmentos abruptamente rectos. Al observar la disposición de los cauces en la **Figura 3.2.4-11**, predomina un patrón dendrítico. Esta mezcla de trayectorias naturales y linealidades sugiere una intervención parcial del paisaje, posiblemente en zonas de llanura con alta demanda de regulación hídrica. En conjunto, la red refleja un funcionamiento mixto donde el escurrimiento sigue patrones tanto naturales como inducidos, lo cual puede influir en la eficiencia del drenaje y en la distribución espacial del recurso hídrico superficial.

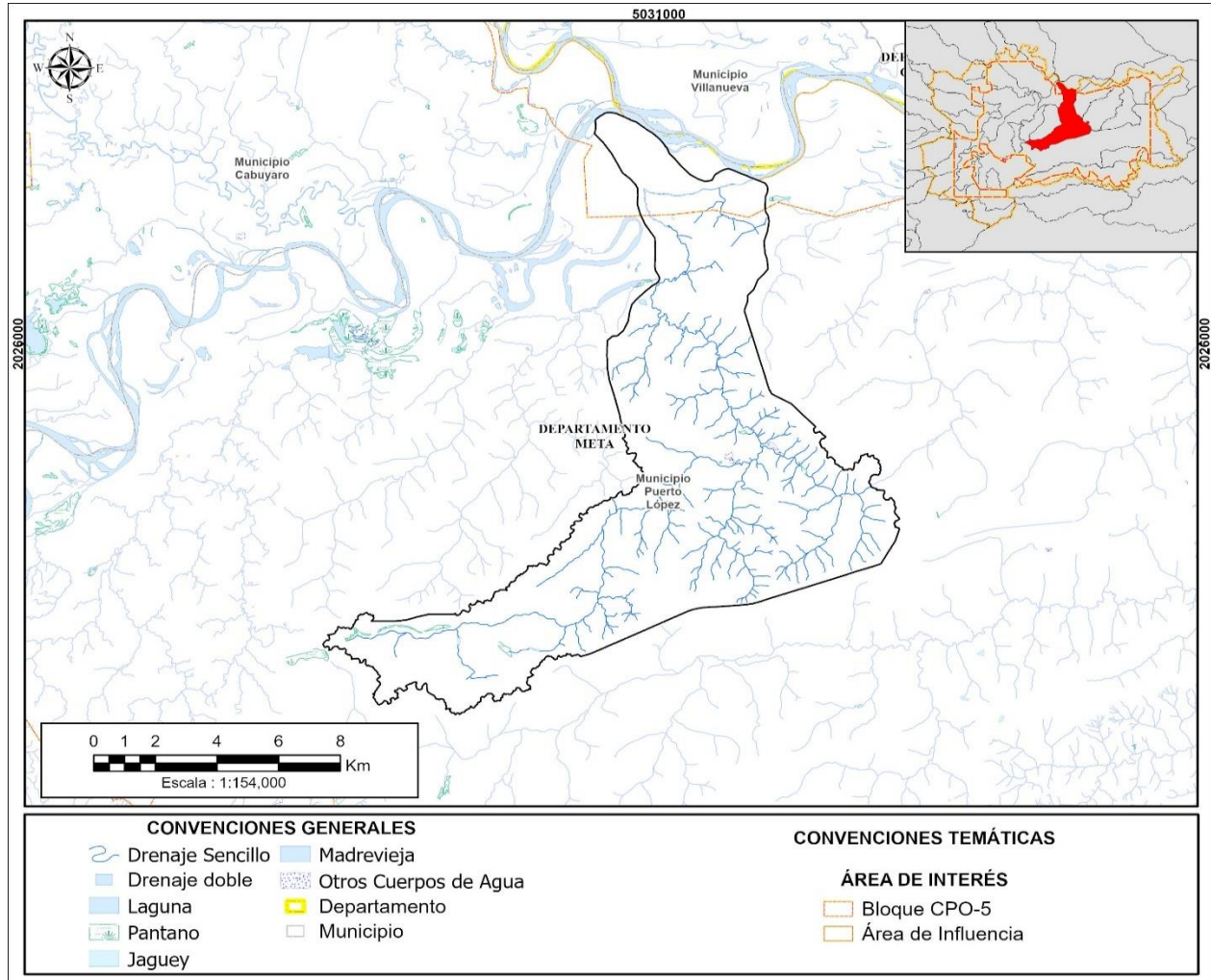


Figura 3.2.4-11 Identificación del patrón de drenaje Caño Yurimena

Fuente: Gessig S.A.S., 2026

En la **Tabla 3.2.4-4** se presentan los patrones de drenaje que poseen las 33 cuencas de estudio, en donde se evidencia que el patrón Dendrítico es el más frecuente en la mayoría de las cuencas, y también que la sinuosidad de drenaje más frecuente es regular.

Tabla 3.2.4-4 Patrón de drenaje por cuenca

Cuenca	Código	Patrón de Drenaje	Sinuosidad de Drenaje	Observaciones
Río Cabuyarito	35270102	Dendrítico	Tortuoso	Red fluvial con cursos marcadamente curvos sobre pendientes suaves y materiales poco consolidados. Presenta buena capacidad de almacenamiento temporal y propensión a encharcamientos en sectores bajos.



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Cuenca	Código	Patrón de Drenaje	Sinuosidad de Drenaje	Observaciones
Caño El Boral	35270105	Dendrítico	Regular	Trazado fluvial con curvaturas moderadas y jerarquía ramificada. Distribución uniforme del flujo superficial y respuesta hidrológica estable.
Caño Pirigua	35270101	Dendrítico	Regular	Cauces equilibrados con ramificación múltiple y sin estructuras controlantes. Escurrimiento progresivo sobre relieve moderado y litología uniforme.
Caño Piedra Candela	35110103	Dendrítico	Regular	Red con trayectorias moderadamente sinuosas y sin alteraciones marcadas. Favorece escurrimiento gradual sobre litología homogénea y pendientes suaves.
Caño Yurimena	35110106	Dendrítico modificado	Irregular	Cauces mixtos con meandros naturales y tramos rectilíneos probablemente artificiales. Funciona con dinámica híbrida, influida por intervención humana en llanuras.
Caño El Aceite	35110107	Dendrítico rectilíneo	Rectilíneo	Red con tramos rectos asociados a pendientes uniformes o posibles intervenciones humanas. Flujo superficial guiado en un contexto de baja pendiente y sedimentos recientes.
Caño Ipapa	35110108	Dendrítico interrumpido	Transicional	Red con conectividad moderada y desarrollo jerárquico interrumpido. Tramos rectos alternan con cauces sinuosos en respuesta a variabilidad en pendiente y textura del suelo.
Caño Santoya	35110109	Dendrítico disperso	Irregular	Red hidrográfica heterogénea con conexiones incompletas y posibles capturas. Escurrimiento variable, propenso a acumulación temporal en topografía suave.
Caño Emma	35120103	Dendrítica variable	Irregular	Cauces con organización parcial, presencia de afluentes cortos sin jerarquía clara. Drenaje influido por microrelieves y sedimentos, con zonas de baja conectividad y retención temporal.
Río Metica	35110117	Dendrítico ramificado	Irregular	Red compleja con alta densidad de afluentes. Variabilidad entre sectores organizados y difusos. Procesos de anegamiento y sedimentación afectan la escorrentía y conectividad superficial.
Caño Menegua	35110111	Dendrítico fragmentado	Irregular	Red con tramos desconectados y jerarquía débil. Propensa a acumulación de aguas y escurrimiento difuso. Zonas planas con baja conectividad hídrica y evolución fluvial activa.
Caño Navajas sur	35110112	Dendrítico	Regular	Red bien desarrollada adaptada a las pendientes locales. Conectividad eficiente sin intervención artificial aparente. Comportamiento hidrológico estable ante lluvias moderadas a intensas.
Caño Banderas	35110115	Dendrítico simple	Regular	Flujo con curvatura moderada, sin meandros marcados ni rectilíneos. Sistema natural sin evidencia de canalización. Escurrimiento estable y progresivo.





**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Cuenca	Código	Patrón de Drenaje	Sinuosidad de Drenaje	Observaciones
Caño Venturosa	35110113	Dendrítico mixto	Transicional	Red con combinación de tramos organizados y desconectados. Zonas de eficiencia moderada y acumulación temporal. No se evidencian intervenciones artificiales predominantes.
Caño Barbascos	35120104	Dendrítico jerarquizado	Regular	Red organizada con pendientes suaves y buena conectividad. Evacuación eficiente del escurrimiento, aunque pueden presentarse acumulaciones temporales en sectores bajos.
Caño Cajón	35110105	Dendrítico no uniforme	Transicional	Red fluvial en proceso de maduración con trayectorias definidas e irregulares. Respuesta hidrológica intermedia con retención temporal en zonas planas.
Río Upía	35090101	Subdendrítico jerarquizado	Transicional	Red compleja con alta energía en cabeceras y meandros en sectores bajos. Alta resiliencia y zonas de recarga con almacenamiento temporal natural.
Bajo Río Negro	35100108	Anastomosado-meandriforme	Tortuoso	Red sinuosa con múltiples brazos, baja pendiente y procesos laterales activos. Alta retención temporal y susceptibilidad a inundaciones estacionales.
Caño El Chocho	35100102	Dendrítico compuesto	Transicional	Cauces estructurados combinados con tramos dispersos. Respuesta mixta al escurrimiento y posible acumulación en áreas planas.
Caño La Lilbana	35110110	Dendrítico	Regular	Red fluvial de curvatura moderada, sin intervención antrópica, escurrimiento ordenado.
Caño Macapay	35270106	Dendrítico	Irregular	Disposición poco uniforme, zonas con retención temporal y variabilidad en eficiencia hídrica.
Caño El Paso	35110114	Dendrítico	Transicional	Red con continuidad interrumpida por microrelieves, comportamiento mixto del escurrimiento.
Caño La Victoria	35110104	Dendrítico	Regular	Curvatura moderada sin canalización, buena conectividad y evacuación eficiente del flujo superficial.
Caño Navajitas	35110116	Dendrítico	Regular	Flujo equilibrado, red desarrollada naturalmente, respuesta hidrológica estable.
Caño El Totumal	35270107	Dendrítico con presencia de canales	Transicional	Alternancia de tramos rectos y sinuosos. Red en evolución morfológica natural, con canales artificiales.
Caño Güio	35270103	Dendrítico	Regular	Red equilibrada y natural, sin patrones extremos. Flujo eficiente hacia el colector principal.
Caño Tigre	35030101	Dendrítico	Transicional	Red con continuidad interrumpida por microrelieves, comportamiento mixto del escurrimiento.
Caño San Pablo	35110118	Dendrítico poco desarrollado	Irregular	Cauces dispersos, organización débil. Alta retención temporal y posible anegamiento.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Cuenca	Código	Patrón de Drenaje	Sinuosidad de Drenaje	Observaciones
Bajo río Humea	35050101	Dendrítico con segmentos meandriiformes	Transicional	Red fluvial mixta. Conectividad moderada, zonas planas favorecen retención.
Caño Guayauriba	35110102	Dendrítico moderado	Transicional	Red con disposición radial desde zonas altas. Esguerrimiento con conectividad media.
Río Meta	35110101	Anastomosado y parcialmente paralelo	Transicional	Múltiples brazos interconectados. Alta capacidad de retención temporal.
Río Yucao	35120101	Dendrítico meandriiforme	Tortuoso	Red compleja y sinuosa. Alta capacidad de almacenamiento, propensa a inundaciones.
Caño Yarico	35270104	Dendrítico	Regular	Trayectorias suaves, red organizada con evacuación eficiente del agua.

Fuente: Gessig S.A.S., 2026

Aunque las clases específicas de los patrones de drenaje se presentan de forma detallada en la **Tabla 3.2.4-4**, para su representación en la **Figura 3.2.4-12** se realizó una agrupación en categorías geomorfológicas principales con el fin de mejorar la claridad visual y facilitar la interpretación espacial. En este sentido, los patrones fueron agrupados en tres clases: dendrítico, subdendrítico y anastomosado. La clase dendrítica incluye todas sus variantes, ya que corresponden a expresiones morfológicas de un mismo sistema desarrollado sobre materiales relativamente homogéneos y sin control estructural significativo, siendo la tipología predominante en el área de estudio. El patrón subdendrítico representa una condición transicional con influencia estructural incipiente, mientras que el patrón anastomosado corresponde a sistemas con múltiples canales interconectados, asociados a zonas de baja pendiente y mayor dinámica sedimentaria.

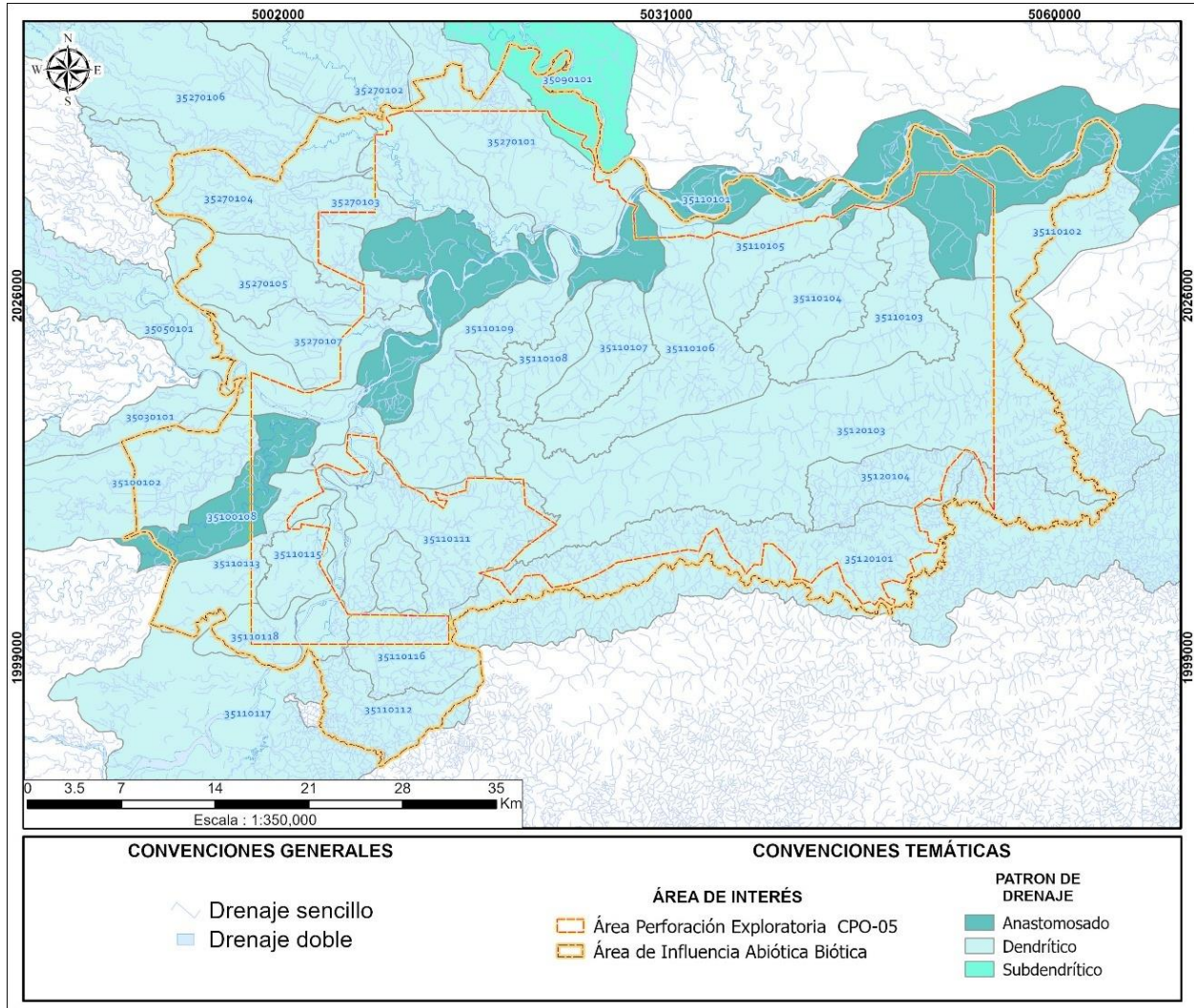




Figura 3.2.4-12 Drenajes cuencas en el AI fisicobiótica del Bloque CPO-5

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

3.2.4.2.2 Análisis Multitemporal

Los estudios multitemporales son análisis de tipo espacial realizados mediante la comparación de las coberturas interpretadas en imágenes satelitales, fotografías aéreas o mapas de una misma zona para diferentes periodos de tiempo. Permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido modificadas mediante un agente del medio natural o repercusiones de la acción humana sobre el medio⁶ mediante los sistemas de información geográfica.

⁶ Chuvieco, E. (1990). Fundamentos de la Teledetección espacial. Rialp S.A. Madrid

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Uno de los aportes más destacados del análisis multitemporal es su capacidad para seguir procesos que involucran cambios en un área específica de índole natural como catástrofes naturales, ciclos estacionales de las cubiertas del suelo y alteraciones antrópicas. Mediante las imágenes obtenidas con el satélite Landsat 7, el cual posee un sensor situado en una órbita estable y repetitiva, que permite obtener las imágenes satelitales en la misma época del año a diferentes años, esto con el fin de analizar las condiciones del terreno con un clima relativamente similar, evidenciando los cambios naturales y antrópicos a lo largo del tiempo.

Según la literatura existen en gran número de algoritmos capaces de determinar mediante imágenes satelitales diferentes características de una zona determinada, diversos autores han propuesto índices cuyo objetivo es medir la extensión de agua superficial, mediante técnicas como el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) o algoritmos de observación desde el espacio (WOFIS) los cuales combinan los diferentes espectros de luz capturados en las bandas y en sus respectivos píxeles⁷, determinando para el caso de este proyecto, el índice que mejor se ajusta es el Índice de inundación de diferencia Normalizada (NDFI). Este permite observar con gran precisión la lámina de agua y las superficies terrestres. A continuación, se describe la metodología del índice y los resultados generados para el área de influencia.

El índice de inundación de diferencia normalizada (NDFI) permite clasificar áreas que son cubiertas temporalmente por agua con respecto a cuerpos de agua permanentes y las diferentes clases de coberturas del suelo no acuáticas⁸, el proceso de cálculo y la ecuación que definen el índice se presentan a continuación:

$$NDFI = (RED - NIR)/(RED + NIR)$$

En este caso RED corresponde a la banda Roja la cual permite determinar la absorción de clorofila, útil en la determinación de coberturas vegetales y NIR corresponde al infrarrojo cercano cuyos valores en el espectro permiten determinar plantas o el agua dispersa en las diferentes longitudes de onda.



Los valores que arroja el indicador se presentan en un rango de 1 a -1, siendo el valor medio de cada píxel el que representa el comportamiento promedio de la superficie en el instante de tiempo de la imagen satelital evaluada, las superficies permanentes de agua exhiben un valor un rango de 0 a -1, superficies lisas como carreteras o pistas de aeropuerto presentan valores cercanos a cero y todas las superficies no lisas (por ejemplo, áreas urbanas, bosques y agricultura) tienen un valor medio muy por encima de cero cercano a 1⁹.

A continuación, en la **Figura 3.2.4-13** se pueden observar los resultados obtenidos del índice NDFI para el área de influencia fisicobiótica y el Bloque CPO-5, de acuerdo con la correlación y

⁷ Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., Zou, Z., & Qin, Y. (2017). Open surface water mapping algorithms: A comparison of water-related spectral indices and sensors. *Water (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/w9040256>

⁸ Cian, Fabio Marconcini, Mattia Ceccato, P. G. (2018). Flood depth estimation by means of high-resolution SAR images and lidar data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(11), 3063–3084. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3063-2018>

⁹ Cian, Fabio Marconcini, Mattia Ceccato, P. G. (2018). Flood depth estimation by means of high-resolution SAR images and lidar data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(11), 3063–3084. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3063-2018>

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

comparación de las imágenes correspondientes a las fechas del 4 de enero de 2015, 7 de diciembre de 2018, 25 de abril de 2020 y 8 de diciembre de 2024. En la **Tabla 3.2.4-5** se relacionan los metadatos de las imágenes obtenidas. Este índice permite diferenciar superficies según su nivel de humedad, clasificándolas desde áreas permanentemente secas hasta zonas con muy alta ocurrencia de agua, lo que facilita la evaluación de variaciones en la dinámica hídrica a lo largo del tiempo las imágenes multitemporales se pueden consultar en anexo **AnxD-5_Hidrol|AnxD-5.2_Multitemporales**.

La comparación de los periodos analizados evidencia que en 2020 y 2024 predomina una mayor extensión de áreas con valores entre -0,85 y -0,58 (tonalidades amarillas en la figura), asociadas a condiciones de humedad escasa o suelos secos de manera persistente. En contraste, en 2015 y 2018 se registra una mayor proporción de áreas con valores positivos, particularmente entre 0,02 y 0,75 (tonalidades moradas y azuladas), que corresponden a sectores con alta o muy alta ocurrencia de agua. Esta transición temporal sugiere una disminución en la disponibilidad hídrica superficial en la zona de estudio, posiblemente asociada a variaciones en la cobertura vegetal, cambios en el uso del suelo, procesos de drenaje o efectos de la variabilidad climática interanual.

Tabla 3.2.4-5 Metadatos Imágenes Obtenidas

ID	Nubosidad	Fecha	Órbita	Row	Satélite	Sensor
LC08_008056_20150104	2,05	4/01/2015	8	56	LANDSAT_8	OLI_TIRS
LC08_007058_20181207	10,91	7/12/2018	7	58	LANDSAT_8	OLI_TIRS
LC08_006056_20200425	1,31	25/04/2020	6	56	LANDSAT_8	OLI_TIRS
LC09_006056_20241208	2,5	8/12/2024	6	56	LANDSAT_9	OLI_TIRS

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

A partir del cálculo de áreas por categoría, se sugiere cuantitativamente una transición hacia condiciones de menor disponibilidad hídrica superficial en el área de estudio durante el periodo 2015–2024. En particular, las áreas permanentemente secas o con escasa humedad (-0,85 a -0,58) aumentaron de 10.988,77 km² en 2015 a 14.235,74 km² en 2024, lo que representa un incremento de 3.246,97 km² (29,6%), evidenciando una expansión progresiva de condiciones secas. De manera similar, las áreas con baja ocurrencia de agua (-0,58 a -0,30) también muestran un aumento sostenido, pasando de 14.629,58 km² en 2015 a 17.637,93 km² en 2024, con un incremento de 3.008,35 km² (20,6%), lo que refuerza la tendencia hacia una mayor predominancia de condiciones de menor humedad superficial.

En contraste, las áreas con muy alta ocurrencia de agua (0,02 a 0,75) presentan una reducción significativa, disminuyendo de 5.287,93 km² en 2015 a 2.573,34 km² en 2024, equivalente a una pérdida de 2.714,59 km² (51,3%), lo que indica una contracción sustancial de las zonas con mayor disponibilidad hídrica superficial. Asimismo, las áreas con ocurrencia media de agua (-0,31 a -0,08) también disminuyen de 20.472,38 km² en 2015 a 17.266,77 km² en 2024, con una reducción de 3.205,61 km² (15,7%), evidenciando una transición hacia categorías más secas. Por su parte, las áreas con alta ocurrencia de agua (-0,08 a 0,02) presentan una variación menos uniforme, aunque muestran una disminución neta de 347,45 km² (3,1%) entre 2015 y 2024.

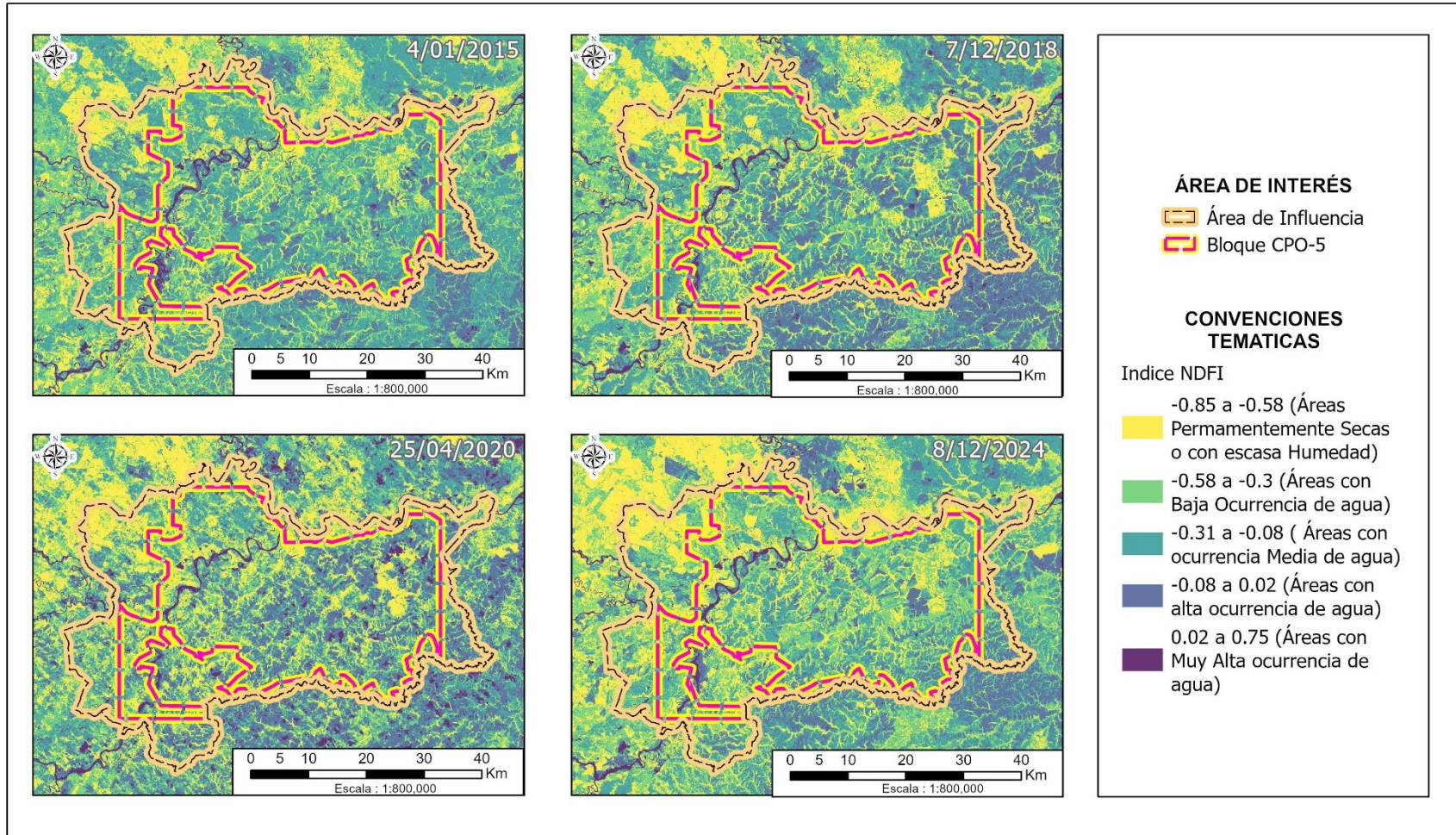




Figura 3.2.4-13 Multitemporal Área de Producción CPO-5

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

3.2.4.2.3 Caracterización morfométrica

La morfometría es el estudio cuantitativo de las características físicas de una cuenca hidrográfica, y se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. La morfometría es una herramienta importante dentro del análisis hidrológico de las cuencas dado que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento de cualquier sistema hídrico, por ejemplo, de acuerdo con Guilarte¹⁰ la forma de una cuenca gobierna la tasa a la cual es suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura¹¹. La caracterización morfométrica de una cuenca se encuentra dividida en tres conjuntos de parámetros que son la geometría de la cuenca, la red de drenaje y el relieve de la cuenca. Los parámetros relacionados con la red de drenaje y el relieve permiten estimar la eficiencia de la red de drenaje, el grado de bifurcación dentro de la cuenca, entre otros, con los que se puede tener un mejor entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca¹². Partiendo del modelo de elevación digital de la zona y la cartografía base, fueron estimados los siguientes parámetros morfométricos de las 33 cuencas que tienen presencia dentro del área de influencia físico-biótica del Bloque CPO-5. En la **Tabla 3.2.4-6** se muestra el cálculo de los parámetros morfométricos teniendo en cuenta las 33 cuencas de interés. La caracterización morfométrica se realizó para las 52 cuencas delimitadas en el escenario regional, con el fin de obtener una visión integral del sistema hídrico y asegurar la coherencia del análisis., sin embargo, en el documento principal se destacan las 33 cuencas que inciden directamente en el área de influencia del proyecto. Las 52 cuencas completas se presentan en los anexos con ruta **AnxD-5_Hidrol/ AnxD-5.3_Morfometria**, como respaldo y para reflejar la complejidad hidrológica del territorio.

Dentro de los parámetros incluidos se encuentran: área (A, km²), perímetro (P, km), elevación mínima (Elev_Min, m), elevación máxima (Elev_Max, m), elevación media (Elev_Mean, m), longitud del cauce principal (Lp, km), longitud del cauce en línea recta (Lt, km), longitud total de drenajes (Ld, km), longitud de la cuenca (L, km), ancho de la cuenca (B, km), pendiente media de la cuenca (Sc, m/m), pendiente del cauce principal (Sp, m/m), índice de compacidad de Gravelius (Kc, adimensional), coeficiente de sinuosidad (Ks, adimensional), factor de forma (Kf, adimensional), densidad de drenajes (D, km/km²) y coeficiente orográfico (Co, adimensional).

Asimismo, se calcularon los distintos tiempos de concentración (Tc) a partir de fórmulas empíricas de uso común en hidrología, tales como Williams (Tc1), Giandotti (Tc2), Kirpich (Tc3), Pérez (Tc4) y Temez (Tc5), todos expresados en horas (Hr). Finalmente, se presenta el Tc promedio (Tc), correspondiente al valor medio obtenido de los cinco métodos aplicados.

La tabla detallada de la morfometría y de las curvas hipsométricas se encuentran disponible en el anexo **AnxD-5_Hidrol\AnxD-5.3_Morfometria**.

¹⁰ Guilarte, R. (1978). Hidrología básica. Facultad de Ingeniería, Universidad de Caracas, Caracas, Venezuela. 667 p.

¹¹ Reyes Trujillo, A., Barroso, F. U., & Carvajal Escobar, Y. (2011). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Cali, Colombia: Universidad del Valle.



¹² Brieva., C. (2018). Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológica en cuencas.

Tabla 3.2.4-6 Caracterización Morfométrica Cuencas de interés

Cuenca	Código	Área (km ²)	P	ElevM in	ElevM ax	Elev Mean	Lp	Lt	Ld	L	B	Sc	Sp	Kc	Ks	Kf	D	Co	Tc
Caño El Paso	35110114	18,12	20,01	183	260	210,34	8,13	5,71	40,01	7,72	2,35	0,0678	0,0046	1,33	1,42	0,30	2,21	0,0024	78,04
Caño La Lilbana	35110110	20,42	37,23	181	253	220,46	12,52	7,59	37,67	10,82	1,89	0,0584	0,0035	2,32	1,65	0,17	1,84	0,0024	115,10
Caño Güio	35270103	22,28	24,35	177	200	189,08	13,51	8,27	44,79	10,51	2,12	0,047	0,001	1,46	1,63	0,20	2,01	0,0016	163,32
Caño San Pablo	35110118	25,92	26,29	181	213	197,55	11,94	6,42	27,90	10,30	2,52	0,0538	0,0006	1,46	1,86	0,24	1,08	0,0015	170,58
Caño Banderas	35110115	30,37	29,09	175	208	192,60	10,35	6,74	28,50	10,40	2,92	0,0513	0,0006	1,49	1,54	0,28	0,94	0,0012	153,50
Caño Ipapa	35110108	34,45	40,76	170	246	204,46	16,21	11,73	46,44	13,66	2,52	0,0605	0,0031	1,96	1,38	0,18	1,35	0,0012	144,15
Caño El Aceite	35110107	47,38	37,20	166	241	201,04	14,16	11,48	73,48	14,18	3,34	0,0626	0,0035	1,52	1,23	0,24	1,55	0,0009	126,32
Caño Navajitas	35110116	48,14	33,65	188	284	218,84	14,09	8,61	129,42	12,48	3,86	0,0794	0,004	1,37	1,64	0,31	2,69	0,001	121,78
Caño Barbascos	35120104	49,33	37,41	182	262	217,84	16,35	10,50	163,72	14,19	3,48	0,0788	0,0031	1,50	1,56	0,25	3,32	0,001	144,31
Caño Navajas sur	35110112	50,78	45,13	182	288	221,57	13,19	8,60	150,23	15,15	3,35	0,0802	0,0037	1,79	1,53	0,22	2,96	0,001	117,59
Caño Tigre	35030101	51,04	65,15	181	240	204,12	37,77	26,59	98,37	28,19	1,81	0,0408	0,0014	2,57	1,42	0,06	1,93	0,0008	334,03
Caño El Totumal	35270107	52,02	49,39	169	209	185,45	18,84	13,67	67,18	18,85	2,76	0,0483	0,0008	1,93	1,38	0,15	1,29	0,0007	222,85
Caño Cajon	35110105	56,26	44,02	157	214	181,33	14,18	9,99	66,88	16,03	3,51	0,0592	0,0022	1,66	1,42	0,22	1,19	0,0006	140,85
Caño Venturosa	35110113	56,37	51,10	175	218	196,52	18,33	12,46	43,23	19,43	2,90	0,0489	0,0005	1,92	1,47	0,15	0,77	0,0007	239,08
Caño Piedra Candela	35110103	63,21	54,94	163	234	204,09	20,51	12,95	85,07	18,14	3,49	0,0691	0,0024	1,95	1,58	0,19	1,35	0,0007	181,63
Caño Guayauriba	35110102	68,79	38,80	156	240	193,20	15,13	10,26	91,04	16,50	4,17	0,0679	0,002	1,32	1,47	0,25	1,32	0,0005	150,07
Caño La Victoria	35110104	77,74	54,91	162	233	199,05	24,42	15,19	84,30	18,23	4,26	0,067	0,0017	1,76	1,61	0,23	1,08	0,0005	225,16
Caño Yarico	35270104	95,69	67,30	175	221	198,50	34,58	21,64	215,35	25,46	3,76	0,046	0,0006	1,94	1,60	0,15	2,25	0,0004	376,26
Caño Santoya	35110109	112,41	74,15	157	257	207,46	35,99	20,67	162,77	24,50	4,59	0,0609	0,0017	1,97	1,74	0,19	1,45	0,0004	303,16
Caño Yurimena	35110106	117,25	83,09	163	249	206,57	32,48	17,42	171,56	27,63	4,24	0,062	0,0018	2,16	1,86	0,15	1,46	0,0004	276,74
Caño Menegua	35110111	125,85	64,35	177	278	212,13	23,70	12,97	291,23	21,24	5,93	0,0773	0,0035	1,62	1,83	0,28	2,31	0,0004	185,01
Caño Pirigua	35270101	150,76	76,04	159	216	184,88	40,15	24,80	229,29	30,92	4,88	0,0469	0,0009	1,75	1,62	0,16	1,52	0,0002	385,50
Caño El Chocho	35100102	180,97	88,07	180	270	208,63	56,55	37,72	306,69	39,80	4,55	0,0439	0,0013	1,85	1,50	0,11	1,69	0,0002	452,98
Caño El Boral	35270105	181,14	88,00	169	221	194,19	34,58	21,64	330,47	30,98	5,85	0,0461	0,0006	1,84	1,60	0,19	1,82	0,0002	370,47
Caño Macapay	35270106	294,69	103,96	181	1019	252,89	51,66	29,94	845,27	40,84	7,22	0,0687	0,0013	1,71	1,73	0,18	2,87	0,0002	422,62
Caño Emma	35120103	405,82	181,21	166	284	221,79	83,18	43,55	658,15	54,54	7,44	0,0663	0,0009	2,54	1,91	0,14	1,62	0,0001	659,43
Bajo Rio Negro	35100108	909,35	204,11	173	921	261,06	120,56	74,79	997,30	91,33	9,96	0,0442	0,0044	1,91	1,61	0,11	1,10	0,0001	610,43
Río Cabuyarito	35270102	942,05	160,06	169	1019	259,97	117,88	46,11	2292,05	64,35	14,64	0,0785	0,0009	1,47	2,56	0,23	2,43	0,0001	856,67
Bajo rio Humea	35050101	1357,51	258,61	174	3850	834,08	112,60	72,68	1038,77	97,42	13,93	0,2839	0,0064	1,98	1,55	0,14	0,77	0,0005	521,00
Río Yucao	35120101	2435,12	303,57	132	286	206,65	217,11	93,07	5758,19	105,46	23,09	0,0725	0,0005	1,74	2,33	0,22	2,36	0	1579,92
Río Upía	35090101	8391,70	610,59	166	3882	1975,29	299,73	67,34	10145,53	182,83	45,90	0,3392	0,0005	1,88	4,45	0,25	1,21	0,0005	1947,56
Río Metica	35110117	13092,71	642,35	173	4114	1070,50	184,26	119,90	13695,99	219,77	59,57	0,2118	0,0112	1,58	1,54	0,27	1,05	0,0001	663,06
Río Meta	35110101	28414,63	1047,74	127	4114	1136,01	299,73	67,34	29889,42	354,84	80,08	0,2165	0,0005	1,75	4,45	0,23	1,05	0	1937,41

Nota: El Tiempo de concentración (Tc) registrado en la GDB corresponde al promedio de los valores resultantes de Tc para cada una de las metodologías utilizadas (Tc1 + Tc2 + Tc3 + Tc4 + Tc5)/5

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

La pendiente media de las cuencas en su mayoría se cataloga como ligeramente inclinada, lo que sugiere condiciones topográficas moderadas que permiten un escurrimiento relativamente lento del agua. Este tipo de pendiente favorece la infiltración y reduce la velocidad de escorrentía, lo cual puede influir positivamente en la recarga de acuíferos y disminuir el riesgo de erosión superficial. No obstante, hay unidades como el Caño Cajón (35110105) que presentan una pendiente plana, lo que puede generar acumulación de agua en ciertos sectores, favorecer procesos de anegamiento y disminuir la capacidad de drenaje natural.

A continuación, se presenta un análisis general a partir de los resultados de la morfometría de las 33 cuencas que conforman el AI. Si bien se consideraron los datos de las 52 cuencas en total, el énfasis recae en estas 33, dado que son las que ejercen mayor influencia sobre el área de interés

➤ *Tamaño y forma de las cuencas:*

El área de las cuencas varía significativamente, Desde sistemas de gran escala como el Río Meta (35110101) con 28.414,63 km² hasta microcuencas como el Caño El Paso (35110114) con 18,12 km². Está marcada diferencia de escala condiciona la capacidad de almacenamiento y el volumen total de escorrentía generado..

El Índice de Compacidad de Gravelius (Kc), con valores entre 1,32 (Caño Guayauriba - 35110102) y 2,57 (Caño Santoya - 35030101), indica que la mayoría de las cuencas poseen formas que van de oval-oblongas a elongadas. Esto implica una respuesta hidrológica con tendencia a la atenuación de picos de caudal en comparación con cuencas circulares.

➤ *Elevaciones y pendientes*



Las elevaciones mínimas y máximas muestran un gradiente altitudinal extremo (desde los 127 m hasta los 4.114 m). Esta heterogeneidad topográfica, reflejada en un relieve máximo de 3.987 m, influye directamente en la energía potencial del sistema y en las tasas de transporte de sedimentos

Las pendientes medias de la cuenca (Sc) muestran una clasificación variada; mientras unidades como el Caño Güio (35270103) presentan pendientes mínimas de 3,59 m/m, otras como el Caño Navajas Sur (35110112) alcanzan los 5,08 m/m, controlando la velocidad del flujo superficial

➤ *Longitudes y sinuosidad*

Las longitudes del cauce principal (Lp) oscilan entre tramos cortos como el del Caño El Paso (8,13 km) y sistemas de gran recorrido como el Río Meta (299,73 km).}

Las sinuosidades regulares en la mayoría de las cuencas indican flujos relativamente estables, principalmente entre 1,23 (Caño El Aceite - 35110107) y 2,56 (Bajo Río Negro - 35100108). Valores altos de sinuosidad en el Bajo Río Negro sugieren una dinámica fluvial meándrica que afecta el tiempo de tránsito del agua.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

➤ *Drenaje y densidad*

Las densidades de drenaje (D) oscilan entre 0,77 km/km² (Bajo Río Humea - 35050101) y 3,32 km/km² (Caño Barbascos - 35120104). La mayoría de las unidades presentan una densidad media (mediana de 1,52 km/km²), lo que indica una red de drenaje con un desarrollo moderado.

La longitud total de drenajes (alcanza dimensiones notables en sistemas integradores como el Río Meta (29.889,42 km), confirmando una red hídrica altamente compleja y ramificada.

➤ *Tiempos de concentración:*

Los tiempos de concentración calculados varían según la cuenca; sistemas de gran magnitud como el Río Upía (35090101) presentan una elevación media de 1.975,29 m, lo que, sumado a su extensión, genera respuestas hidrológicas más complejas..

➤ *Coefficiente Orográfico (Co):*

El Coeficiente orográfico, refleja la rugosidad del terreno, con valores que diferencian claramente las zonas de planicie de aquellas con mayor influencia de la vertiente, siendo un indicador clave para la estabilidad de los cauces y la producción de sedimentos.

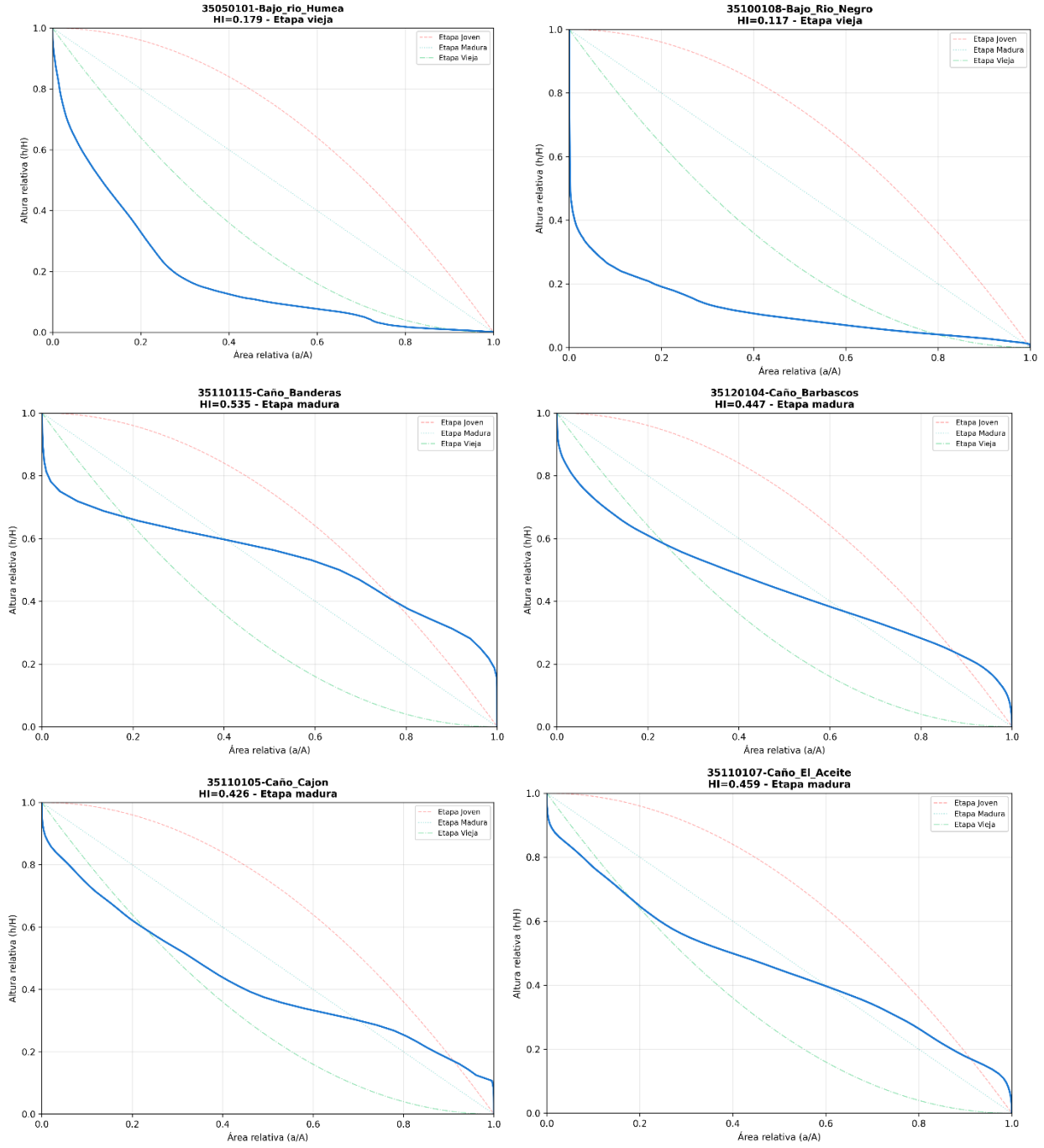
Finalmente, para las unidades 35100108, 35050101, 35090101, 35110117 y 35110101, los parámetros reportados representan la expresión integrada del área aportante total, considerando la conectividad hidrodinámica con las áreas situadas aguas arriba.

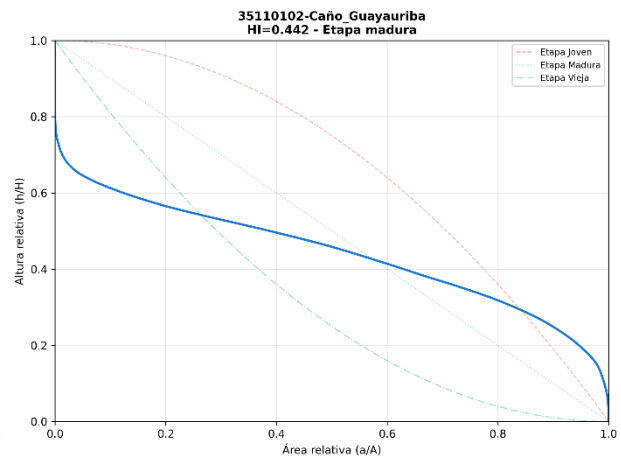
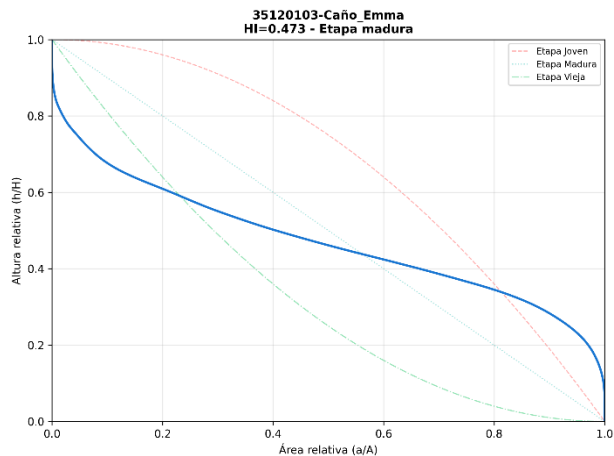
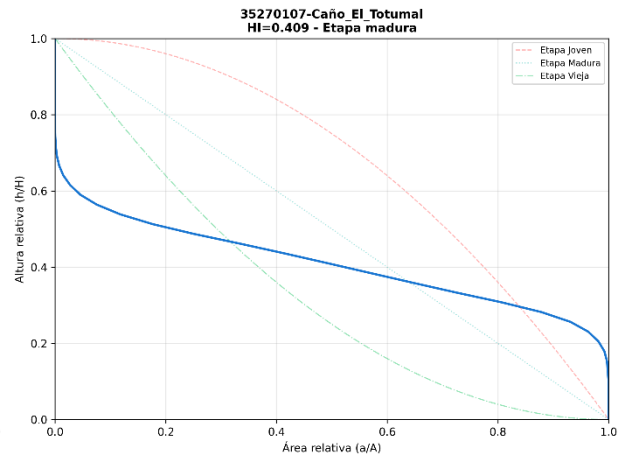
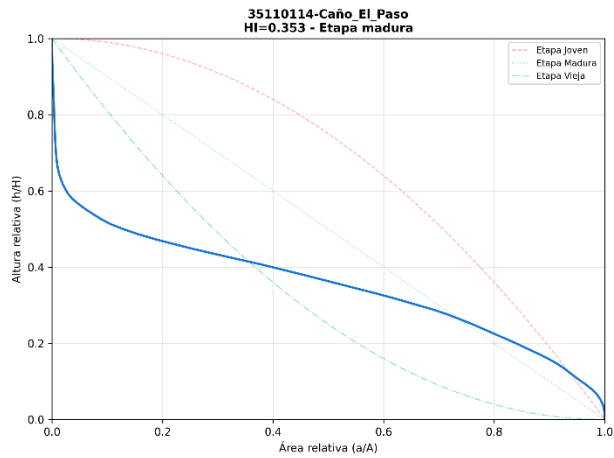
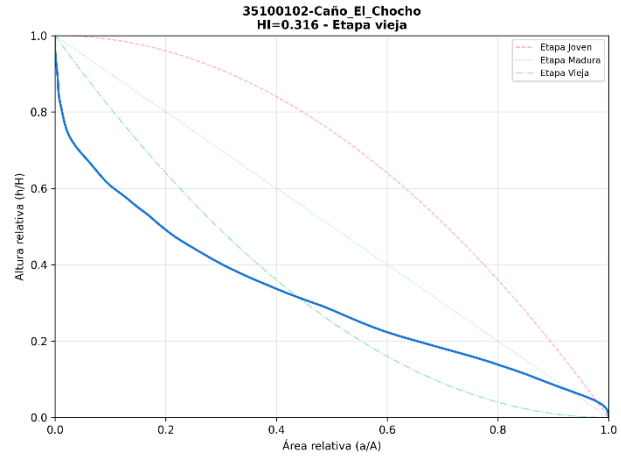
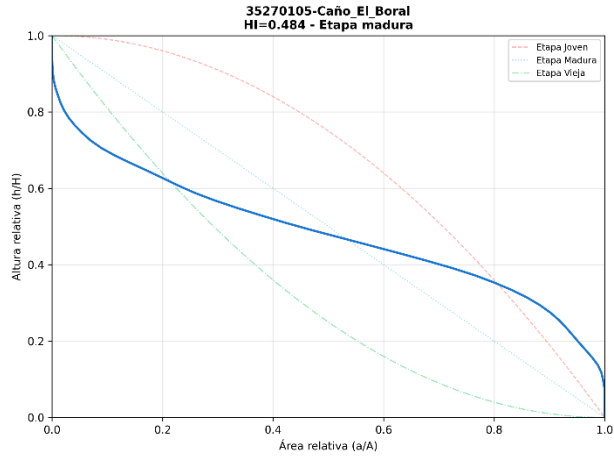
➤ *Curva hipsométrica*

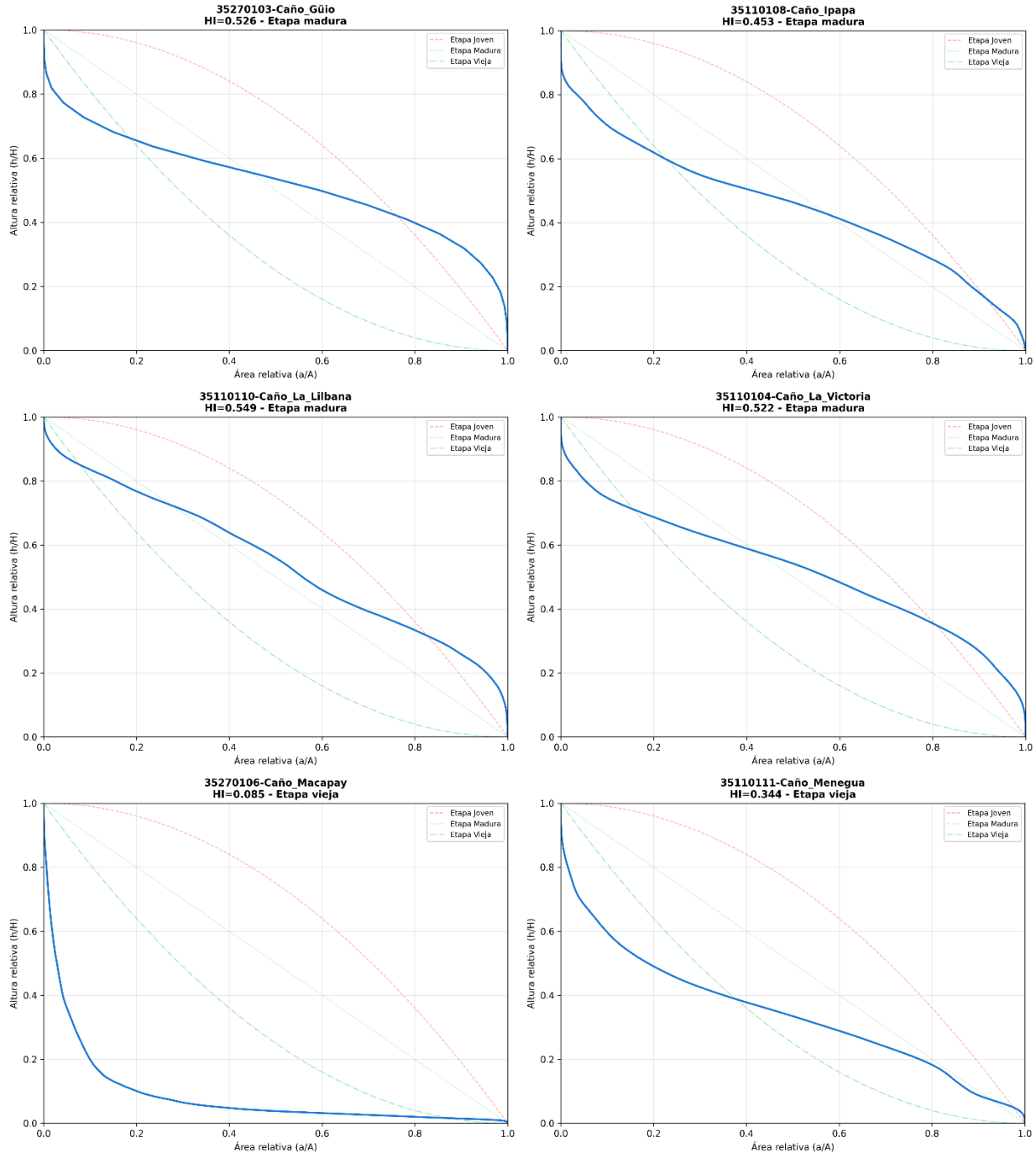
La curva hipsométrica da una interpretación clara de la distribución de las áreas de la cuenca contenidas en distintas zonas altitudinales. También son un indicativo a los patrones evolutivos de las cuencas así, cuencas con mayor parte del área con elevación por encima de los valores medios de la cuenca, son consideradas cuencas con gran potencial erosivo (cuencas inmaduras), de lo contrario son consideradas cuencas maduras o sedimentarias. Para cuencas donde esta relación se encuentre en equilibrio (área relativa cuenca – elevación ponderada) se consideran como cuencas en equilibrio. Para construirla se determinan de 8 a 12 zonas altitudinales y de acuerdo con la información del modelo digital de terreno, se calcula el porcentaje de área contenido en cada una de ellas. En el eje horizontal se gráfica el porcentaje de área de la cuenca cubierto por cada zona altitudinal y en el vertical los intervalos de clase de cada zona altitudinal¹³.

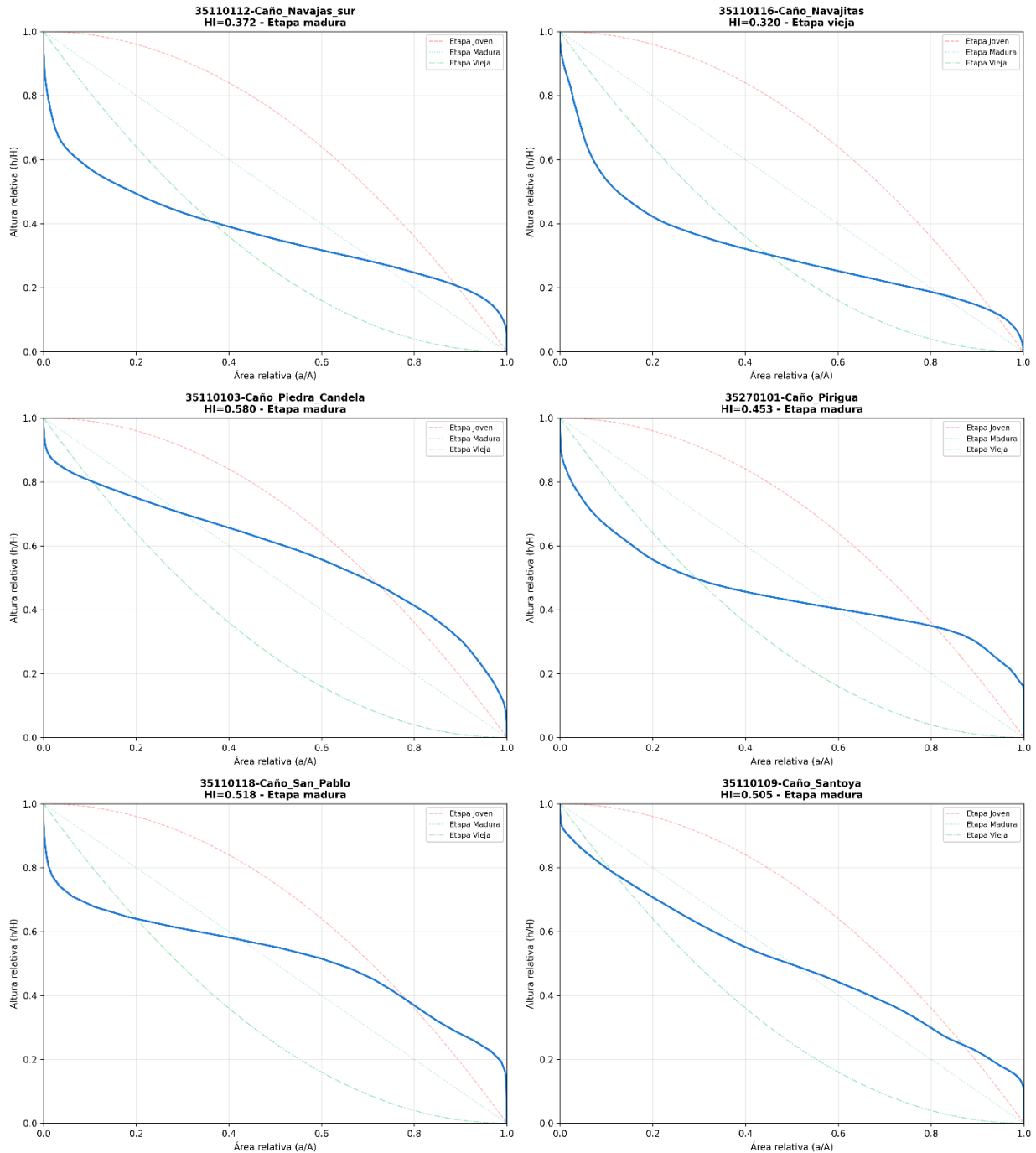
A continuación, se relacionan las curvas hipsométricas obtenidas para las cuencas presentes en el área de estudio.

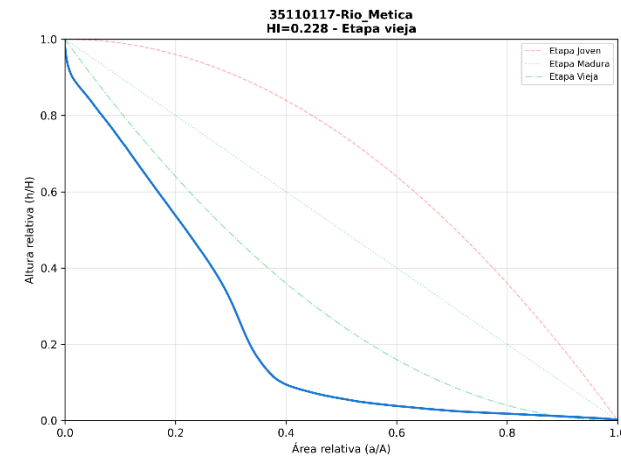
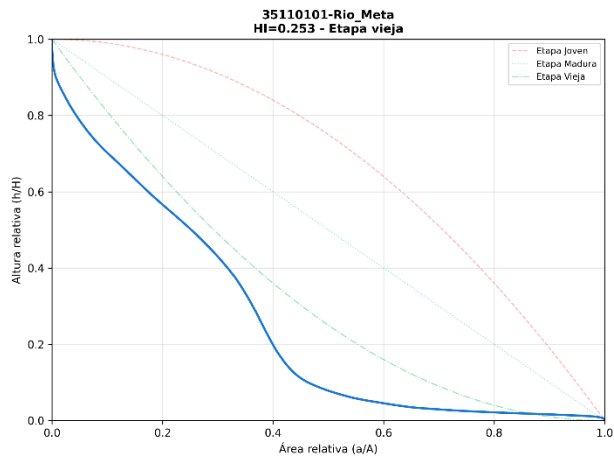
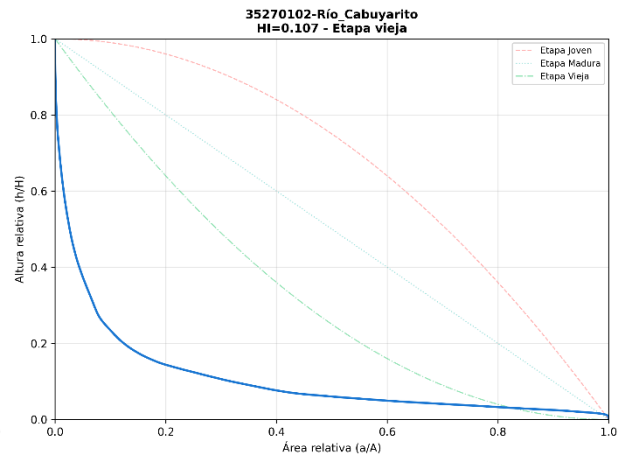
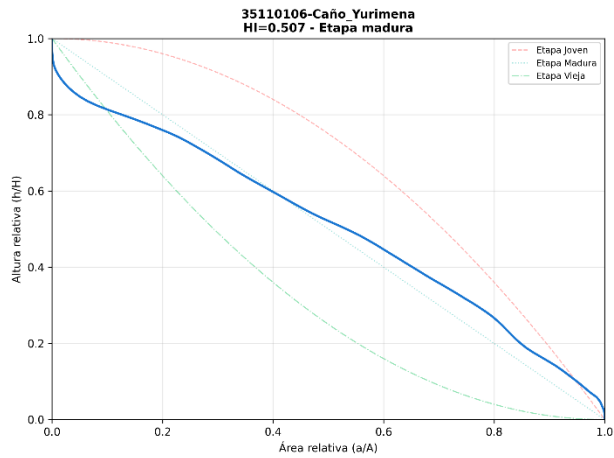
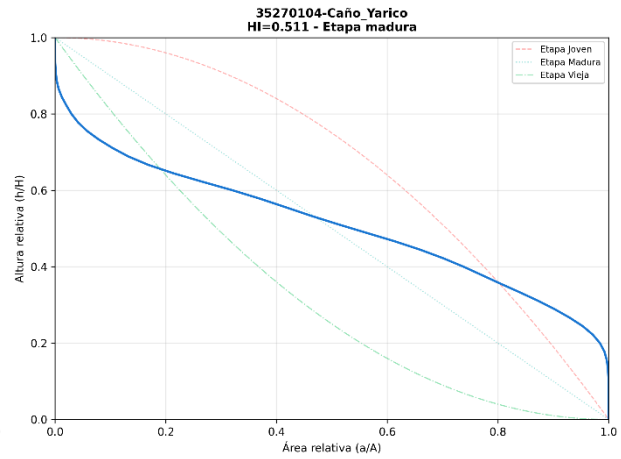
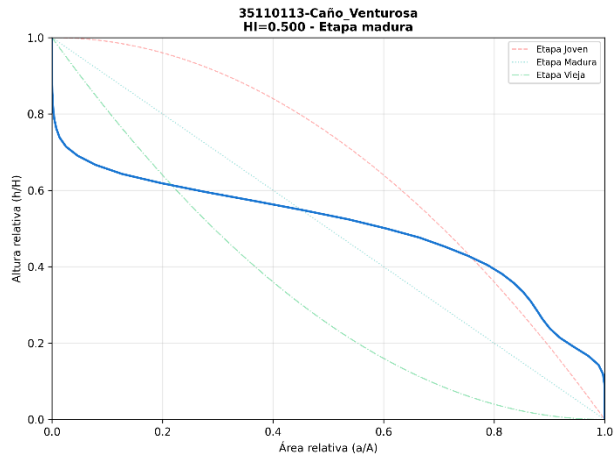
¹³ Domínguez, E. (2010). Cálculo de parámetros morfométricos. Bogotá, D.C.











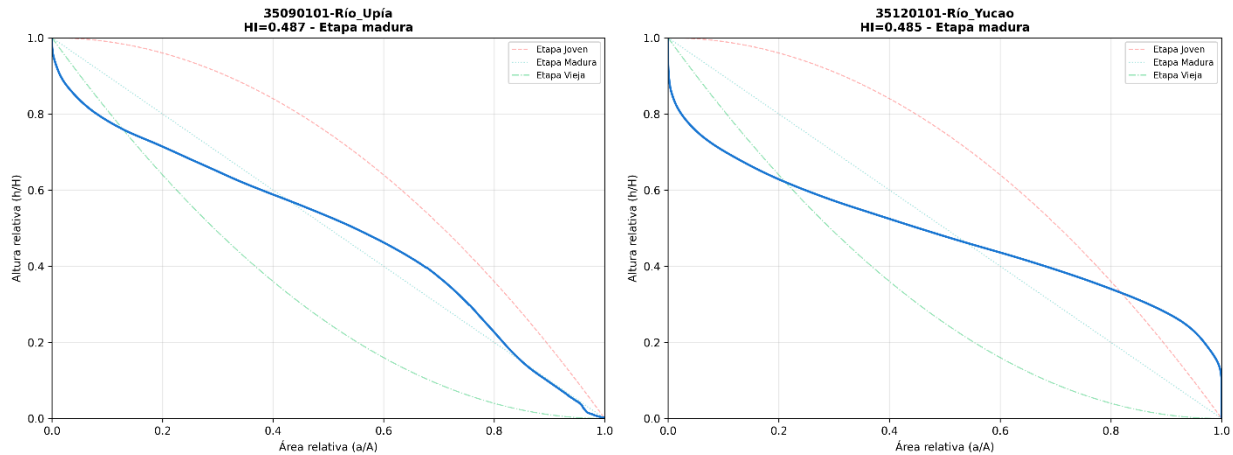




Figura 3.2.4-14 Curva hipsométrica por cuenca

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Respecto a las curvas hipsométricas, a continuación algunas consideraciones:

- En términos generales, el análisis hipsométrico de las 33 cuencas de interés evidencia que la mayoría de ellas se ubican en fases intermedias o avanzadas de evolución geomorfológica. Los valores del índice hipsométrico (Hi) calculados muestran que varias cuencas se encuentran en etapa de madurez, lo cual indica un equilibrio relativo entre procesos de erosión y sedimentación, con pendientes que favorecen un escurrimiento superficial moderado. Por otro lado, un grupo importante de cuencas presenta valores de Hi característicos de la etapa de vejez, donde el relieve es más suavizado, las pendientes son menos pronunciadas y predominan los procesos de acumulación sobre los erosivos. Esta tendencia sugiere que, en conjunto, las cuencas analizadas muestran una evolución geomorfológica avanzada, con respuestas hidrológicas que oscilan entre moderadas y atenuadas.
- La cuenca Caño Piedra Candela (35110103) muestra una curva hipsométrica que presenta una transición suave entre convexa y cóncava, con un índice hipsométrico (Hi) de 0.580 que la sitúa en fase de equilibrio o madurez. Este trazado indica que, en las alturas mayores, la curva se muestra algo convexa y, al descender hacia las zonas bajas, se vuelve ligeramente cóncava. Esta forma sugiere una distribución equilibrada de superficies entre las cotas altas, medias y bajas. En consecuencia, las pendientes medias permiten que los procesos de erosión y sedimentación se compensen y generan una respuesta hidrológica intermedia: el escurrimiento superficial es moderado y su eficiencia depende de la forma de la cuenca y de la densidad de su red de drenaje.
- La cuenca Caño Menegua (35110111) muestra que su curva hipsométrica tiende a ser cóncava y el Hi de 0.344 corresponde a una cuenca en fase de vejez. Esto sugiere que la mayor parte del área se concentra en las cotas bajas, con un relieve suavizado y pendientes poco inclinadas. Estas condiciones reducen la velocidad de escurrimiento y alargan los tiempos de concentración; predominan la infiltración y la deposición de sedimentos, y la respuesta hidrológica es lenta y atenuada.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

3.2.4.3 Régimen hidrológico y caudales mínimos o caudales ecológicos de las fuentes a intervenir

Los siguientes numerales detallan el método empleado para realizar un análisis cuantitativo de los regímenes hídricos. Por "régimen hídrico" se entiende cómo varía el flujo en un curso de agua a lo largo del tiempo, ya sea en una escala temporal continua o en un análisis mensual multianual (calculado como el promedio mensual de todos los datos disponibles a lo largo de los años). Dado que en Colombia solo se disponen de mediciones de caudal para los grandes cauces, y especialmente la limitada instrumentación de las cuencas evaluadas en este proyecto, se emplea modelación matemática para estimar el comportamiento de los cauces menores que son objeto de estudio.

El flujo de trabajo empleado para la determinación de las series de caudal se describe a continuación en siete pasos de análisis:

1. Selección y Preparación de Datos Climáticos

En esta etapa se emplea las series de precipitación y temperatura disponibles para la región de estudio. Los datos corresponden a aquellas series de tiempo que cumplieron los criterios de consistencia y calidad de la información, definidos previamente en el capítulo de climatología. Este paso asegura que los insumos climáticos sean confiables y adecuados para ser usados como entrada al modelo hidrológico GR4J.

2. Interpolación Espacial de Precipitación y Temperatura



Se generan superficies continuas de precipitación y temperatura mediante técnicas de interpolación. Para la precipitación se utiliza el método IDW (Inverse Distance Weighting), mientras que para la temperatura se aplica un gradiente térmico, considerando la relación entre elevación y temperatura. Este proceso se realiza de manera diaria para cada punto en la serie temporal, obteniendo campos interpolados ajustados a la distribución espacial del área de estudio.

3. Generación de Series para las Unidades Hidrográficas

Las series interpoladas de precipitación y temperatura se promedian espacialmente sobre cada unidad hidrográfica del área de estudio. Esto permite que cada unidad cuente con entradas climáticas específicas, representando fielmente las condiciones atmosféricas y topográficas locales.

4. Estimación de la ETP (Evapotranspiración Potencial)

Se calcula la evapotranspiración potencial diaria utilizando el método de Oudin et al. (2005), conocido por su precisión en condiciones de datos climáticos limitados. La ETP es una entrada clave en el modelo GR4J, ya que influye directamente en el balance hídrico simulado para cada unidad hidrográfica.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

5. Calibración y Validación del Modelo GR4J

El modelo GR4J se calibra utilizando caudales observados provenientes de estaciones limnimétricas o limnigráficas. En este proceso, se ajustan los parámetros del modelo para reproducir las dinámicas hidrológicas observadas. Una vez calibrado, el modelo se valida utilizando datos de periodos diferentes, verificando la capacidad de los parámetros para simular caudales con precisión.

6. Simulación de Caudales Diarios

Con las entradas de precipitación, temperatura y ETP, y los parámetros calibrados, se ejecuta el modelo GR4J para simular caudales diarios en cada unidad hidrográfica. Este paso genera las series de caudales diarios, que son fundamentales para el análisis hidrológico y la toma de decisiones.

7. Análisis Hidrológico y Métricas



A partir de las series de caudales diarios simulados, se derivan indicadores hidrológicos clave, tales como:

- Series de caudales mensuales.
- Valores promedio mensuales y anuales.
- Curvas de duración de caudales.
- Periodos de retorno.
- Estimación de la oferta hídrica. Caudal Ambiental.

3.2.4.3.1 Balance Hídrico

El balance hídrico es una herramienta que estima las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y variación del almacenamiento en el suelo. Conocerlo permite determinar la disponibilidad del recurso y la magnitud de los periodos con exceso o déficit hídrico en estudios agroclimáticos e hidroclimáticos. Para su cálculo existen diversos métodos, entre ellos el de Thornthwaite, empleado en este Estudio de Impacto Ambiental para la modificación de la licencia ambiental de la fase exploratoria y la solicitud de la licencia de desarrollo en el Bloque CPO-5. Este modelo, basado en la relación lluvia-escorrentía, utiliza variables como la precipitación total y la evapotranspiración potencial, y permite estimar excedentes de agua o escorrentía superficial (mm) una vez completado el almacenamiento en el suelo en un punto específico.

El balance hídrico se desarrolló teniendo en cuenta los valores mensuales multianuales de las variables temperatura media y brillo solar.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	



Es importante aclarar que, aunque en el documento solo se muestran los resultados de algunas estaciones con fines ilustrativos, el procedimiento metodológico se llevó a cabo utilizando la información completa de todas las estaciones seleccionadas para el estudio.

Los términos y conceptos involucrados en el balance hídrico se definen a continuación:

- **Almacenamiento de agua útil (A):** existe cuando la precipitación $P > E_{tp}$, quedando una reserva de humedad que se acumula mes a mes y no puede ser superior a la capacidad del campo o cantidad máxima de agua que puede soportar el suelo en consideración. unidades en mm.
- **Exceso o escorrentía (E):** existe si la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y si hay un excedente de agua, una vez completado el almacenaje en el suelo. A la suma de los excesos producidos mes a mes durante todo el año se le denomina escorrentía anual o exceso anual E , unidades en mm.
- **Déficit (D):** cuando la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial, se evapora y transpira toda el agua precipitada. La cantidad que hace falta para completar el total de E_{tp} se toma del almacenamiento y si, aun así, no se completa el valor de E_{tp} el faltante se considera como déficit, unidades en mm.
- **Evapotranspiración real (E_{tr}):** es la evapotranspiración que realmente, según el método, ocurre en función del agua disponible ($P + A$). Máximo puede ser igual a la potencial. unidades en mm,
- **Cálculo del almacenaje de agua útil (A)**
 - o Se verifica si la precipitación es mayor o menor a la evapotranspiración potencial en el período considerado. Se busca el mes en el que la diferencia se hace máxima y se adopta $A = 0$ o $A = CMA$, según sea $P > E_{tp}$ o $P < E_{tp}$, respectivamente.
 - o El cálculo del almacenaje de agua útil de los meses calendario siguientes, es el resultado de la suma del almacenaje del mes anterior más la precipitación del mes en cuestión, constituyen el agua disponible; la diferencia entre esta (agua disponible) y la evapotranspiración potencial determina el almacenaje:

$$\begin{aligned} \text{Agua disponible} &= A_{i-1} + P_i \\ \text{Almacenaje} &= (A_{i-1} + P_i) - E_{tp} \end{aligned}$$

- o Realizar una prueba preliminar de cálculo del balance hídrico supone conseguir un valor de arranque para el almacenaje A consistente, el valor de A correspondiente al mes fijado como inicial debe ser el mes más seco o el más lluvioso, o sea 0 ó la CMA en mm: "se suponen como límites". En caso de no ser así, se parte del último valor calculado y se realiza nuevamente toda la operación y así sucesivamente hasta que haya plena coincidencia

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

- Si $A_i > CMA$, entonces $A_i = CMA$; el excedente de CMA es el exceso de agua de ese mes E_i ; la deficiencia de ese mes, obviamente, $D_i = 0$,
- Si $CMA > A$, el exceso y la deficiencia de ese mes son iguales a cero,
- Si $A_i < 0$, la deficiencia $D_i = (P_i - E_{pi})$ si $P < E_{pi}$

$$D_i = E_{pi} - (P_i + A_i - 1), \text{ si } (P_i + A_i) < E_{pi}.$$

- **Cálculo de la variación de almacenamiento de agua útil (ΔA):** es igual a la diferencia entre el valor de almacenamiento de agua útil del mes considerado y el mes anterior.

- **Cálculo de la evapotranspiración real:**

$$\begin{aligned} \text{Si } P > E_{tp} &\Rightarrow E_{tr} = E_{tr} \\ \text{Si } P < E_{tp} &\Rightarrow E_{tr} = P + |\Delta A| \end{aligned}$$

- **Comprobación del balance:** para los valores anuales debe cumplirse la siguiente relación:

$$\begin{aligned} P + D &= E_{tr} + E + CMA \\ E_{tp} - E_{tr} &= D \end{aligned}$$

- **Evapotranspiración potencial (ETP):** corresponde a la cantidad máxima de agua que puede evaporarse en un clima dado por una cubierta vegetal, en la ETP influyen factores meteorológicos como la radiación solar y extraterrestre, temperatura del aire, humedad relativa y factores asociados a la vegetación¹⁴. Teniendo en cuenta la disponibilidad de información y la practicidad para el cálculo de ETP fue empleado el método propuesto por Thornthwaite¹⁵.

$$ETP_i = K_i * 16 \left[\frac{10 * T_i}{I_j} \right]^{a_j}$$

$$I_j = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$



$$a_j = 675x10^{-9} \cdot I_j^3 - 771x10^{-7} \cdot I_j^2 + 179x10^{-4} \cdot I_j + 0.49239$$

$$K_i = \frac{N_i}{12} * \frac{d}{30}$$

- Donde ETP_i, es la evapotranspiración potencial en mm mes⁻¹, K_i, es un factor de corrección mensual en función del número de días y la latitud de la estación donde se estima el parámetro (adimensional), T_i, es la temperatura media mensual del aire en °C, I_j, es el índice de calor anual, a_j, es el exponente en función de I_j, N, es el número máximo promedio de horas de sol en horas día⁻¹ y d es número de días del mes.

¹⁴ FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo

¹⁵ Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review. 55-94

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

- El modelo, se trata de un modelo de temperatura empírico el cual fue desarrollado con base en mediciones de temperatura y su correlación con datos de brillo solar. El método tiene restricciones en su uso para zonas áridas, pues no tiene en cuenta la radiación neta, factor importante en el fenómeno estudiado (Marín Valencia, 2010). La metodología propuesta por Thornthwaite es quizá una de la más difundidas y utilizadas a nivel mundial debido a la reducida cantidad de parámetros que involucra (solo temperatura) y la facilidad de acceder a este para el cálculo de ETP.

➤ *Evapotranspiración real (ETR)*

En la **Figura 3.2.4-15** se presenta el valor de evapotranspiración real mensual para el área de estudio, en el mapa por tonalidad se identifican en azul los meses que tienen valores más altos de ETR, como se puede detallar los meses de diciembre y marzo llegando a un valor máximo de 167.3 mm, por lo contrario, la tonalidad café, indica los valores más bajos de ETR, que se pueden identificar en los meses enero y febrero, tomando valores de 35.12 mm.

➤ *Déficit*

En la **Figura 3.2.4-16** se presentan los valores de déficit para cada mes correspondiente al área de estudio, en el mapa por tonalidad azul se identifican los valores más altos, siendo los meses de enero y febrero llegando a 163,94 mm, por el contrario, la tonalidad roja hace referencia a un déficit de valor 0, esto indica que las precipitaciones son mucho mayores que los valores de evapotranspiración, como se puede ver en los meses de abril a diciembre.

➤ *Excesos*

En la **Figura 3.2.4-17** se presentan los valores de excesos para cada mes correspondiente al área de estudio, en el mapa por las tonalidades rojas se identifican los valores más bajos llegando a -89,53 mm presentándose en los primeros cuatro meses del año alrededor de ese valor, por el contrario, la tonalidad blanca y azul, representan los valores más altos llegando a un máximo de 447,65 mm, viéndose una concentración mayor en el mes de julio, esto quiere decir que los volúmenes de precipitación son mayores a la evapotranspiración real.

➤ *Índice de Aridez*

El índice de aridez como una característica cualitativa del clima, muestra en mayor o menor grado la insuficiencia de volúmenes de precipitación para mantener la vegetación, es llamado también "déficit de agua"¹⁶, El índice es calculado a partir de la espacialización de los resultados de evapotranspiración potencial y evapotranspiración real, en la **Figura 3.2.4-18** se muestra la variabilidad espacial del índice de aridez, de manera general, se observa que en la totalidad del área de influencia se presentan 3 categorías, que son las que muestran los colores, azul y verde, indicando que la zona va de altos excedentes de agua (menor a 0.15) a moderado y excedentes de agua (0,20 a 0,29).

¹⁶ IDEAM. (2019). climatología de los componentes del balance hídrico en Colombia. Bogotá

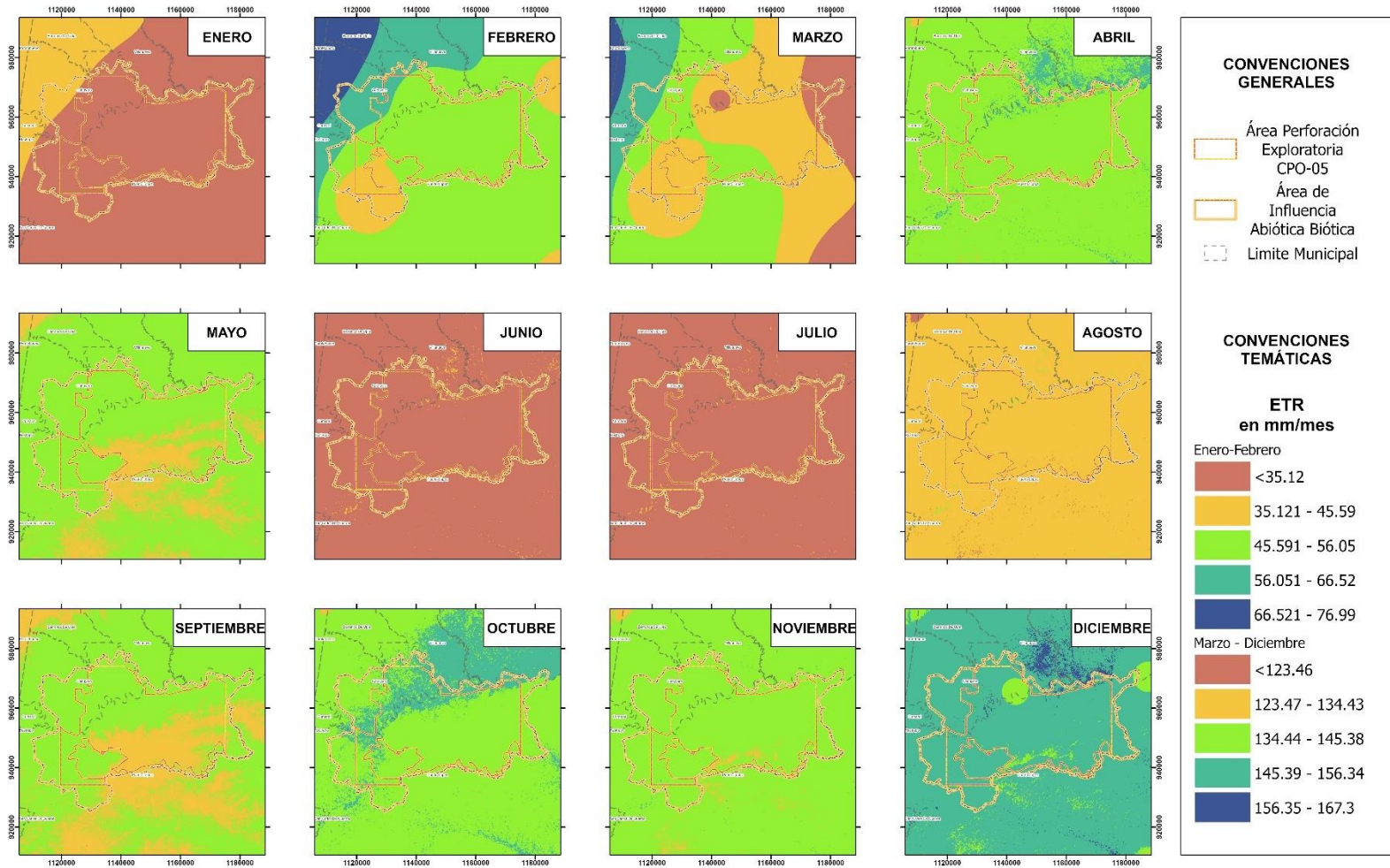


Figura 3.2.4-15 Evapotranspiración Real a nivel mensual en el Bloque CPO-5

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

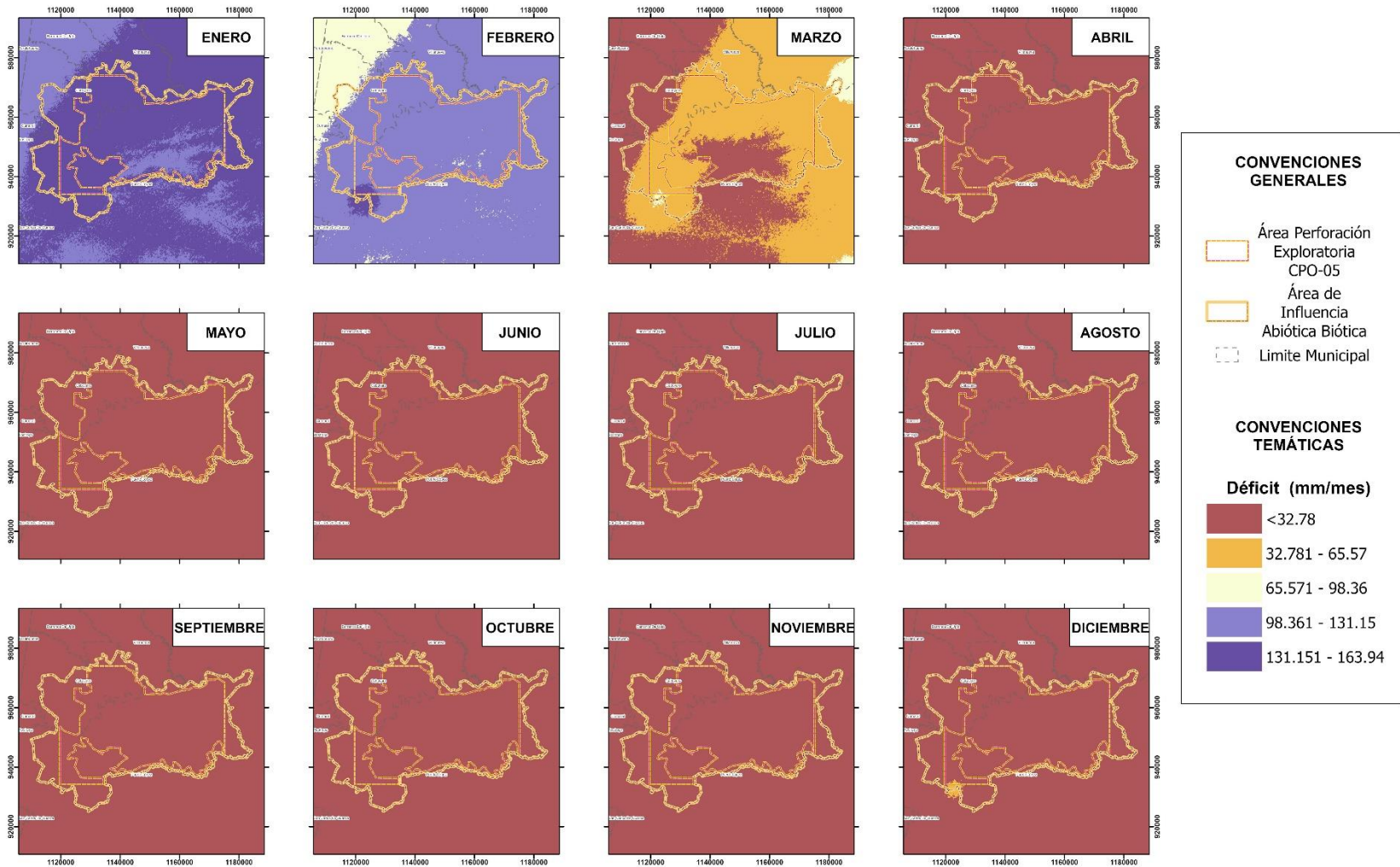


Figura 3.2.4-16 Déficit a nivel mensual en el Bloque CPO-5

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

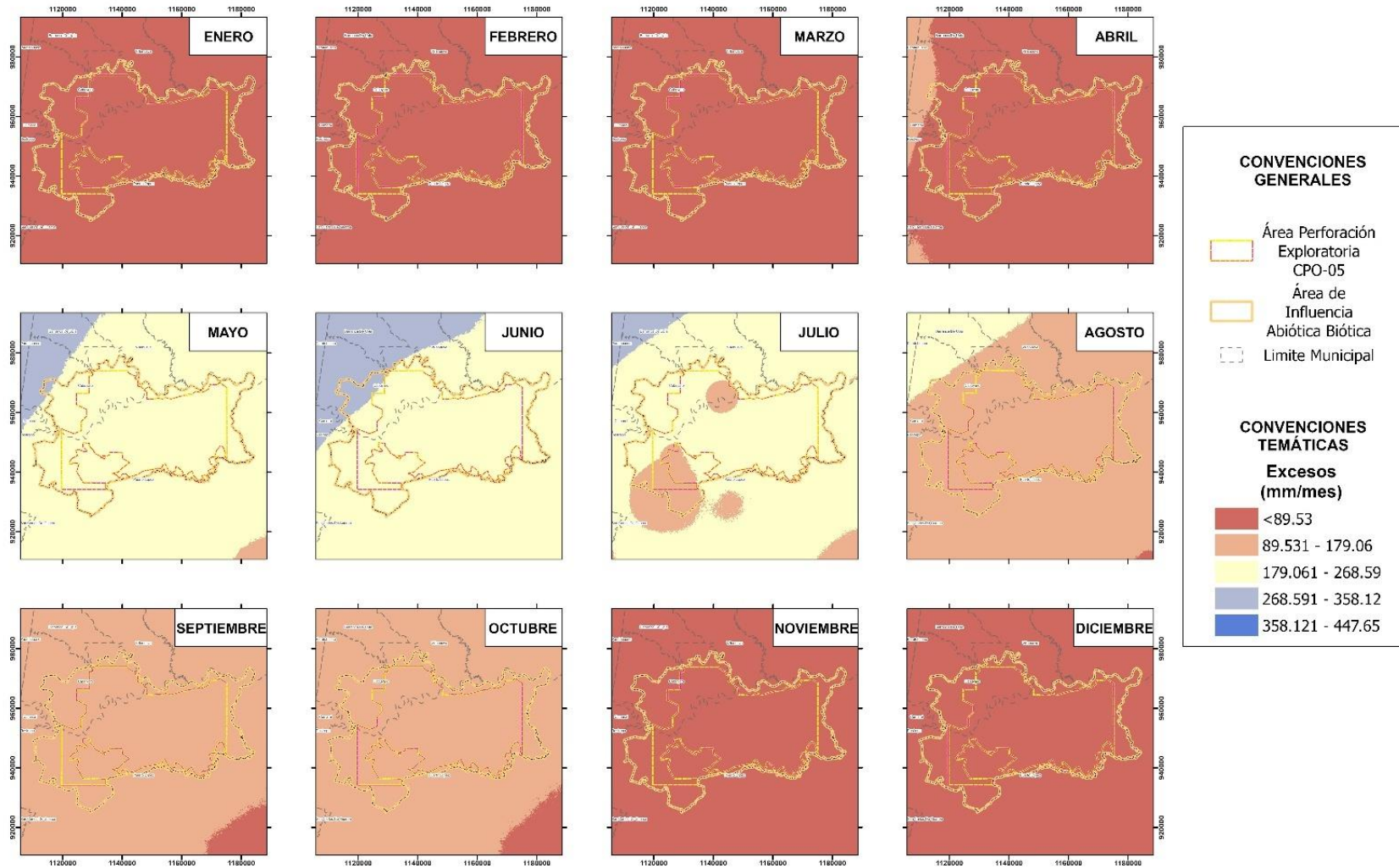


Figura 3.2.4-17 Excesos a nivel mensual en el Bloque CPO-5

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

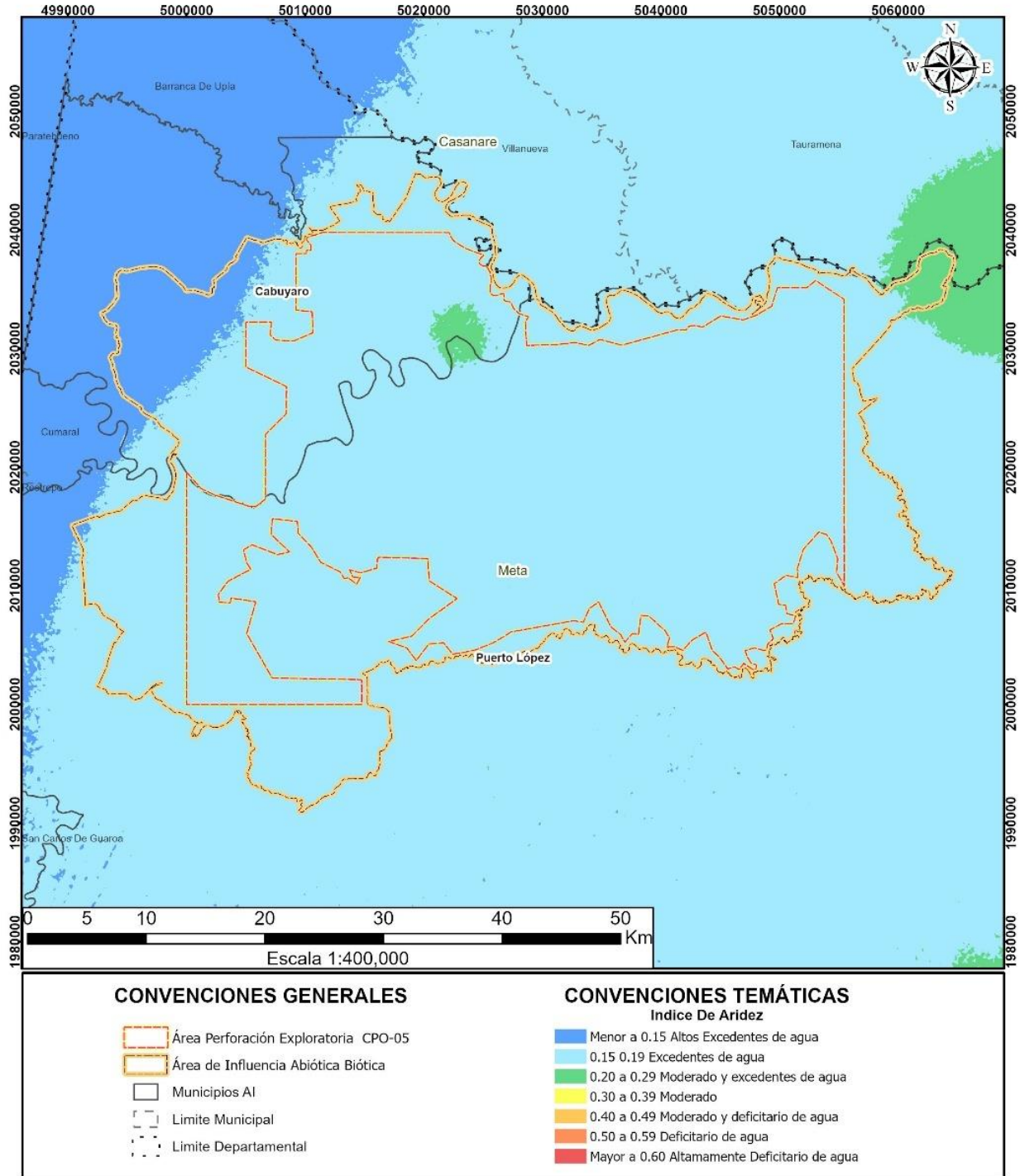


Figura 3.2.4-18 Índice de aridez zona de influencia Bloque CPO-5

Fuente: GessiG S.A.S., 2025

3.2.4.3.2 Modelo Hidrológico

El modelo hidrológico GR4J es un modelo conceptual de precipitación agregado con solo cuatro parámetros, que fue mejorado por Perrin en el 2003¹⁷, basado en el modelo GR3J de Edijatno en 1999¹⁸, que solo incluía tres parámetros libres, el modelo GR4J es uno de los modelos más simples y se ha demostrado que tiene la capacidad de simular el proceso de lluvia-escorrentía a escala diaria. Este modelo ha sido ampliamente utilizado en la simulación dinámica de la humedad del suelo y de los flujos en modelos conceptuales obteniendo resultados muy satisfactorios.

El modelo GR4J tiene 4 parámetros para optimización durante la fase calibración del protocolo de modelación matemática:

- X1: máxima capacidad de almacenamiento tanque superior (mm),
- X2: coeficiente del intercambio de agua (mm/día),
- X3: máxima capacidad de almacenamiento tanque subsuperficial (mm),
- X4: tiempo de respuesta de la unidad hidrográfica entre el inicio de la precipitación y el pico del hidrograma (días).

En la **Figura 3.2.4-19** muestra el esquema conceptual del modelo GR4J con todas sus entradas y su modelo matemático y los parámetros necesarios para su desarrollo.

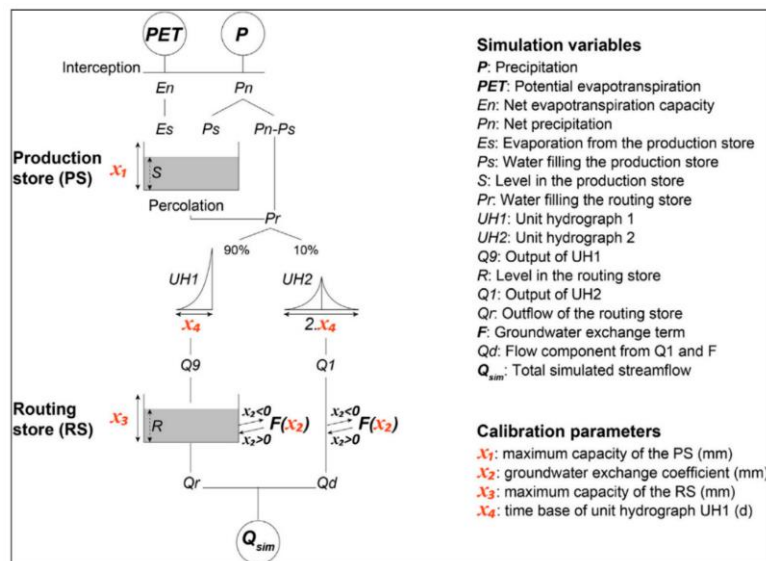




Figura 3.2.4-19 Esquema conceptual modelo GR4J

Fuente: Antcil en 2003¹⁹

¹⁷ Perrin, C., Michel, C., Andréassian V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Francia. Journal of Hydrology 279 (2003) 275–289

¹⁸ Edijatno. (1999). GR3J: adaily watershed model with three free parameters. Hidrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 44(2) (1999) 263-277

¹⁹ Antcil, F., Perrin, C., Andréassian, V. (2003). Ann output updating of lumped conceptual rainfall/runoff forecasting models. JAWRA Journal. 39(5) 1269-1279

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Se denota por P (mm/día) la cantidad de lluvia y por E (mm/día) la evapotranspiración potencial (PET). P es una estimación de la lluvia y E proviene de una curva de PET media-interanual o de estimaciones a escala diaria. Como resultado se obtiene QT siendo este el flujo total a una escala diaria.

En el presente ejercicio de modelación, una vez determinados los parámetros óptimos a partir de las series observadas, se procede a generar caudales simulados en cada una de las cuencas extrapolando los parámetros en aquellos sectores que se encuentra fuera de las áreas aferentes de las estaciones empleadas en la calibración.

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$

Si Demanda total < Caudal total diario QT:

$$Q_N = Q_T - (Q_{Bocatomas} + Q_{Trasvases})$$

Si demanda total > Caudal total diario QT:

$$Q_N = Q_T - (Q_T * ke)$$

Donde:

Qi Caudal de las subcuencas, QT Caudal total acumulado, ke = Coeficiente de Extracción 0 – 1 el cual compensa la demanda hídrica en función del caudal disponible, Qn Caudal neto, unidades en m³/s.

➤ *Calibración y validación*

Para la calibración del modelo lluvia escorrentía GR4J se empleó la estación Limnigráfica Humapo [35117010] (**Tabla 3.2.4-7**) la cual, permite replicar el comportamiento de los caudales en el AI fisicobiótica del proyecto; su ubicación es utilizada para delimitar la cuenca de calibración estableciendo el punto de cierre en la coordenada 2036303,86 N y 5067435,05 E, se tuvieron en cuenta las series de precipitación y evapotranspiración real de las cuencas aguas arriba de la estación con el fin de generar los campos para las 33 cuencas con relación directa en el área de influencia del Bloque CPO-5.

Tabla 3.2.4-7 Estación de calibración

Código	Nombre	Tipo	Categoría	Estado	Fecha instalación/suspensión	Sistema de coordenadas origen único nacional
35117010	Humapo	Convencional	Limnigráfica	Activa	15-04-1978 / NA	2.036.303,86 N 5.067.435,05 E

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Una vez determinados los parámetros en el proceso de calibración y validación estos serán regionalizados a las diferentes unidades hidrográficas determinadas en el EIA. A continuación, en la siguiente **Figura 3.2.4-20** se presenta la estación (Humapo) que se empleó para el proceso de calibración.

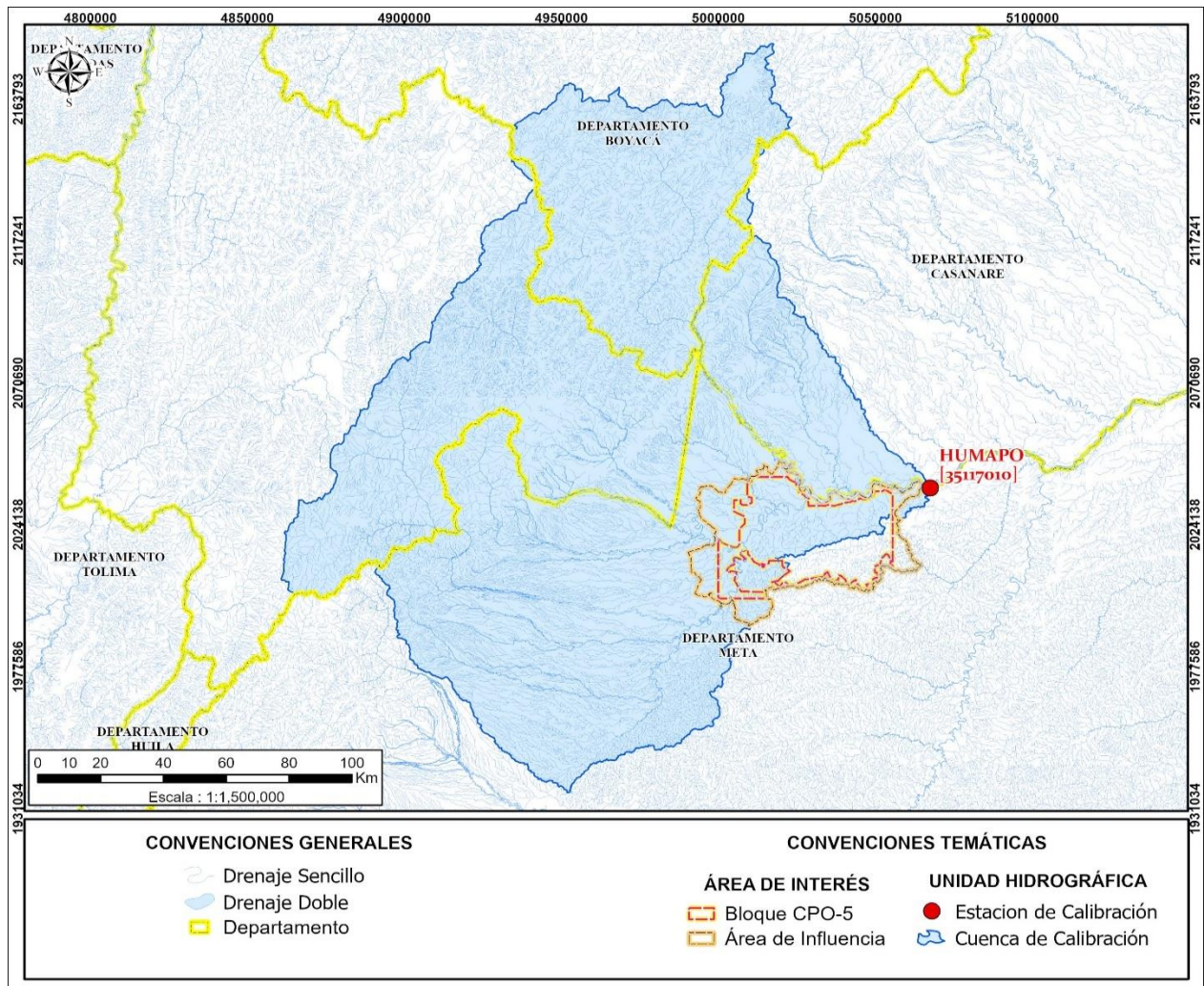




Figura 3.2.4-20 Cuenca y estación de calibración (Humapo [35117010])

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

En el proceso de calibración se realizó la modelación hasta el punto de ubicación de la estación mencionada. Mediante un algoritmo desarrollado en lenguaje de programación Python, se determinaron los parámetros que componen el modelo GR4J, mediante la técnica de identificación en la cual se emplean datos observados (serie de datos de la estación) y la serie simulada.

El proceso de modelación fue evaluado mediante las métricas de desempeño coeficiente de determinación R2 cuyo valor entre más cercano a 1 sugiere mayor desempeño, el error cuadrático

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

medio RMSE donde valores cercanos a cero indican un mayor desempeño y las unidades de la métrica son las mismas del sistema evaluado, en este caso m^3/s , el error medio absoluto relativo MARE donde valores cercanos a ceros indican un excelente desempeño y por último el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe donde valores superiores a 0.8 sugieren un desempeño casi perfecto respecto a los valores observados.

En la siguiente **Tabla 3.2.4-8** se presenta el resultado del proceso de calibración, el periodo de tiempo empleado, los parámetros determinados y las métricas de desempeño seleccionadas para evaluar el modelo lluvia escorrentía y se adicionan los períodos de tiempo seleccionados de la estación.

Tabla 3.2.4-8 Métricas proceso de calibración

Estación	Nombre	X1	X2	X3	X4	R	RMSE	MARE	NASH	Fecha inicial	Fecha final
35117010	Humapo	762,68	0,82	221,05	3,6271	0,91	457,52	0,22	0,78	1/1/1990	31/12/2006

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Analizando los resultados de la tabla anterior, se puede inferir que el modelo lluvia escorrentía en la estación Humapo presenta un desempeño bueno en el proceso de calibración, en cuanto al coeficiente de determinación R^2 , presenta un valor de 0,91 lo cual se considera un valor excelente, con respecto a la métrica RMSE, los valores dependen de las magnitudes de los caudales evaluados.

La métrica Mare se conoce como una medida de precisión, la cual representa el porcentaje de valores que difieren del valor observado, donde se considera valores menores a 40% un pronóstico aceptable, menores al 25 % bueno y menores al 10 % un pronóstico excelente, teniendo en cuenta el resultado esta métrica muestra un total de 22% por lo que se considera un poco debajo de un valor aceptable.

Si el valor del índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe se encuentra cercano a cero el modelo se considera insuficiente, valores del índice entre 0,2 a 0,4 satisfactorio, entre 0,4 – 0,6 bueno, valores de 0,6 a 0,8 muy bueno y superior a 0,8 excelente, en este caso para la estación Humapo se encuentra en 0,78 lo que indica un modelo muy bueno.

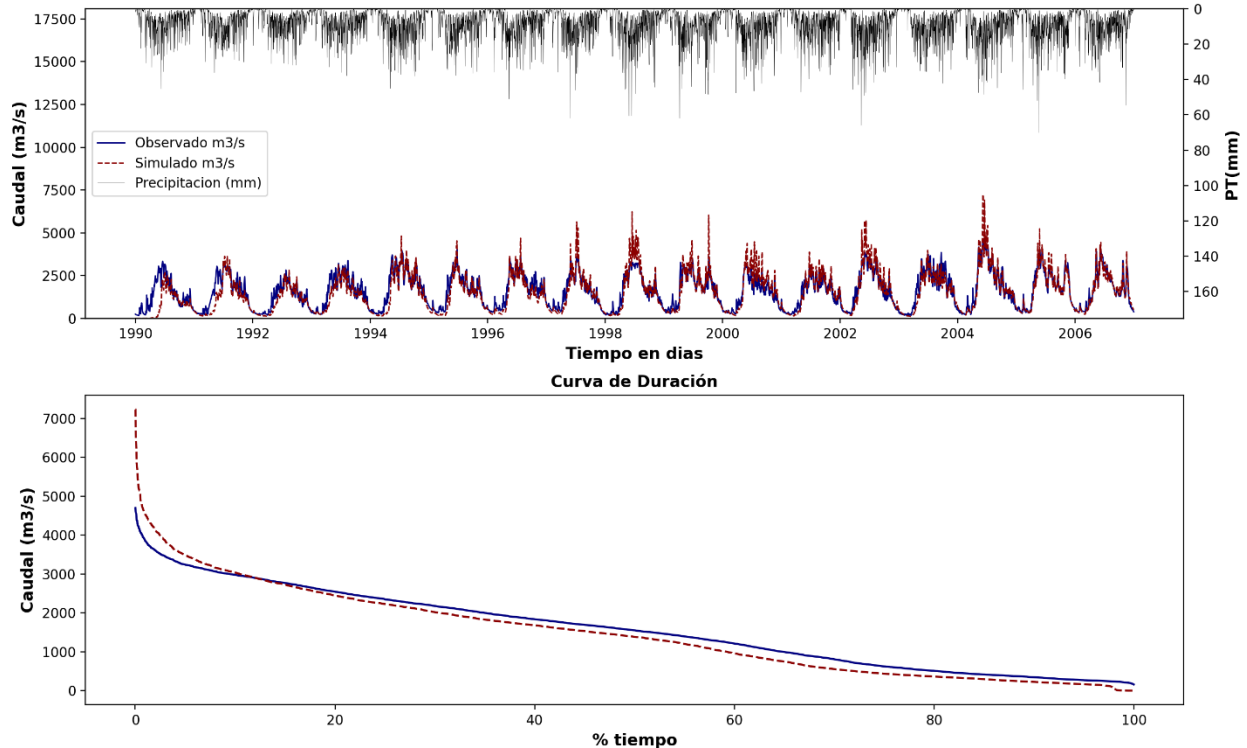


Figura 3.2.4-21 Calibración Estación Humapo

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

De la **Figura 3.2.4-21** se puede observar como el modelo tiene la capacidad de presentar aquellas condiciones medias y bajas que se observa en las series observadas, la curva de duración de caudales simulada se asemeja en gran proporción a la observada.

En la **Tabla 3.2.4-9** se observa el resultado de las métricas de desempeño para el proceso de validación, teniendo en cuenta la descripción de las métricas presentadas, lo que concierne a los valores en el resultado de validación, aunque algunas métricas hayan disminuido o aumentado levemente con respecto a los valores de calibración, se considera que el modelo tiene un desempeño “bueno”.

Tabla 3.2.4-9 Métricas proceso de validación

Estación	Nombre	R	RMSE	MARE	NASH
35117010	Humapo	0,72	399,49	0,43	0,65

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

En **Figura 3.2.4-22** la se presentan las series simuladas y observadas en el periodo de validación de la estación Humapo (35117010).

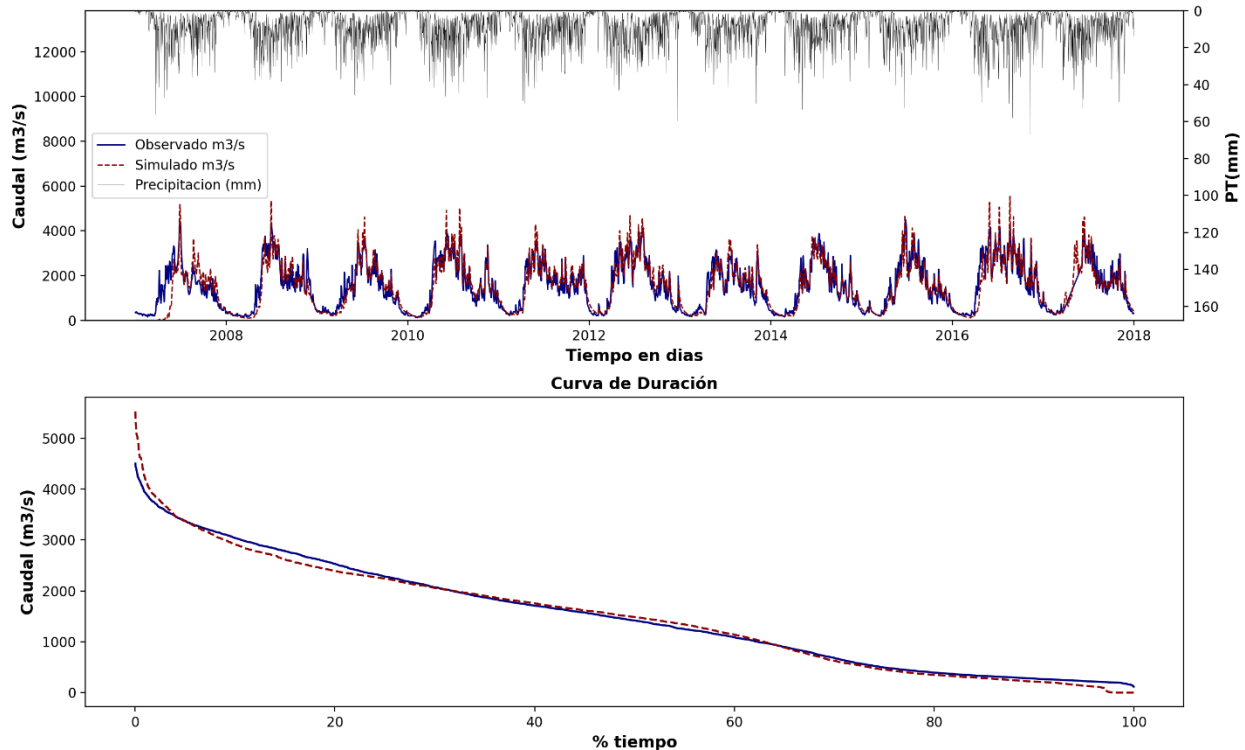


Figura 3.2.4-22 Validación Estación Humapo

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Los anexos relacionados con este capítulo se encuentran en el **AnxD-5_Hidrol|AnxD-5.4_Modelo Hidrológico**. Cabe resaltar que en los anexos se incluyen los resultados de las 52 cuencas delimitadas, fundamentales para comprender el comportamiento hidrológico regional. No obstante, en este documento se prioriza la información de las 33 cuencas vinculadas al AI físico-biótico del bloque CPO-5.

Por otra parte, en el capítulo de Metodología se describen detalladamente las expresiones matemáticas utilizadas y los procesos desarrollados durante el análisis

3.2.4.3.3 Simulación de Caudales

Con base en el modelo hidrológico, previamente calibrado y validado, se generaron las series de caudal para todas las unidades hidrográficas definidas en el estudio. La regionalización de los parámetros permitió extender los resultados a cada unidad de análisis. Desde la **Figura 3.2.4-23** hasta la **Figura 3.2.4-56** se presentan las fichas resumen del régimen hidrológico para las unidades definidas en el estudio, los resúmenes del régimen hidrológico contienen las series de caudal diaria y mensual, caudales medios, mínimos y máximos mensuales multianuales, diagrama de cajas y bigotes, histograma de frecuencias y las curvas de duración de caudales medios diarios y mensuales.

En la **Figura 3.2.4-23** se observa la ficha resumen para la cuenca Río Cabuyarito (35270102) la cual presenta un régimen estacional marcado, con caudales que aumentan progresivamente desde mayo, alcanzando su máximo en julio y agosto, momento en el cual se observa una oscilación en el régimen hidrológico. Los análisis de series de tiempo reflejan una marcada periodicidad anual con picos bien definidos y descensos pronunciados en la época seca. La curva de duración indica un caudal medio (Q50) de 34,20 m³/s y un caudal mínimo probable, asociado a Q95, de 3,63 m³/s, lo que evidencia la frecuencia de caudales bajos en la cuenca. El índice de regulación hídrica (IRH = 0,65) señala una baja capacidad de retención natural, característica de sistemas que responden de manera rápida y poco amortiguada a las precipitaciones.

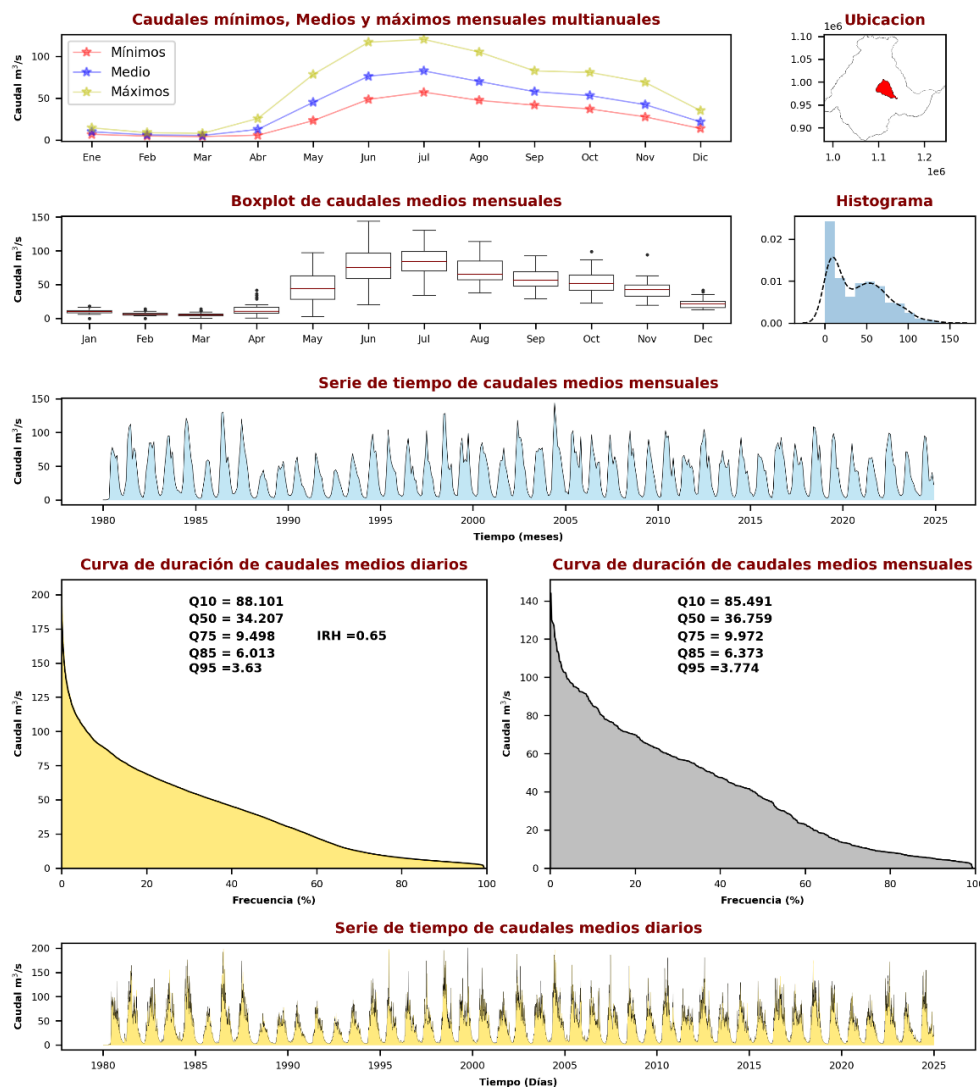


Figura 3.2.4-23 Resumen régimen hidrológico cuenca Río Cabuyarito [35270102]

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño El Boral (35270105), se presenta en la **Figura 3.2.4-24**, en donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de 0,68 demostrando un índice de regulación hídrica de 0,66 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

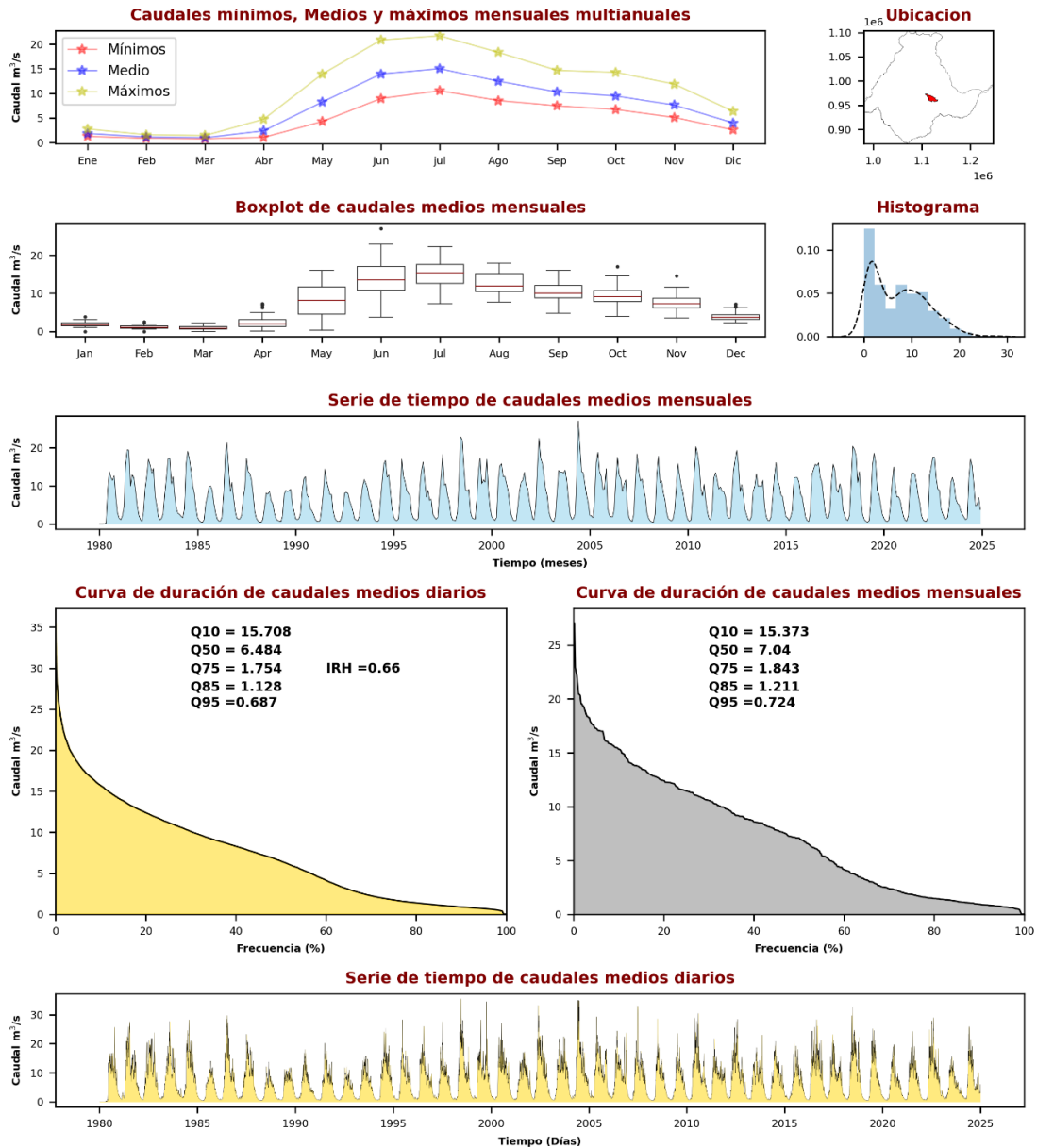


Figura 3.2.4-24 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Boral [35270105]

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

En la **Figura 3.2.4-25** se relaciona la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño Pirigua (35270101) sugiriendo un comportamiento estacional definido en sus caudales mínimos, medios y máximos, con mayor variabilidad hacia el mes de julio, cuando se evidencian las principales oscilaciones anuales. La serie de tiempo sugiere la recurrencia de estos patrones, con picos de caudal bien marcados y descensos pronunciados en los periodos de estiaje. De acuerdo con la curva de duración de caudales, el caudal medio (Q50) se ubica en 4,16 m³/s, mientras que el caudal mínimo probable, asociado a Q95, es de 0,46 m³/s. El índice de regulación hídrica (IRH = 0,63) indica una baja capacidad de retención.

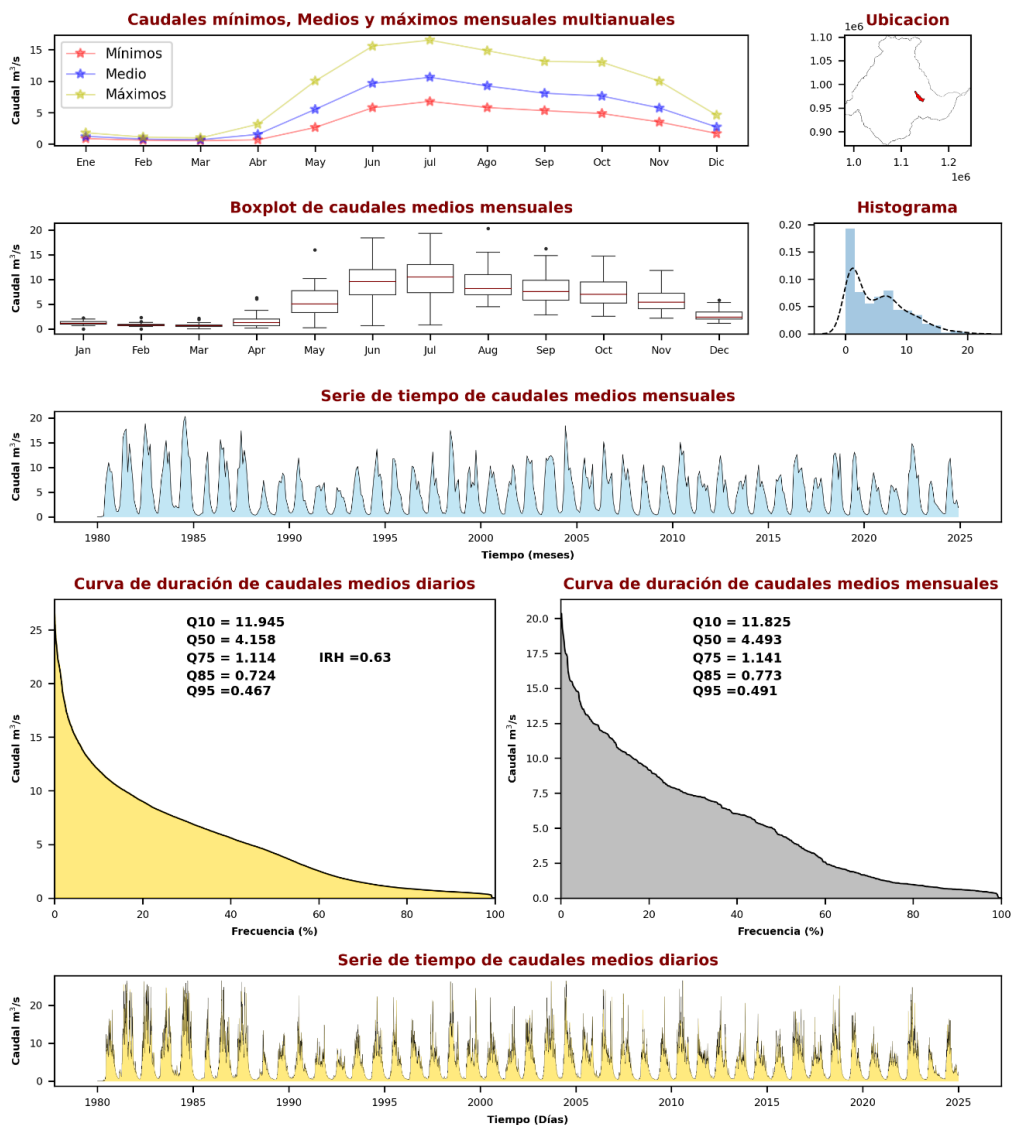


Figura 3.2.4-25 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Pirigua [35270101]

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Piedra Candela (35110103) se presenta en la **Figura 3.2.4-26** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,21 m³/s, demostrando un índice de regulación hídrica de 0,65 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

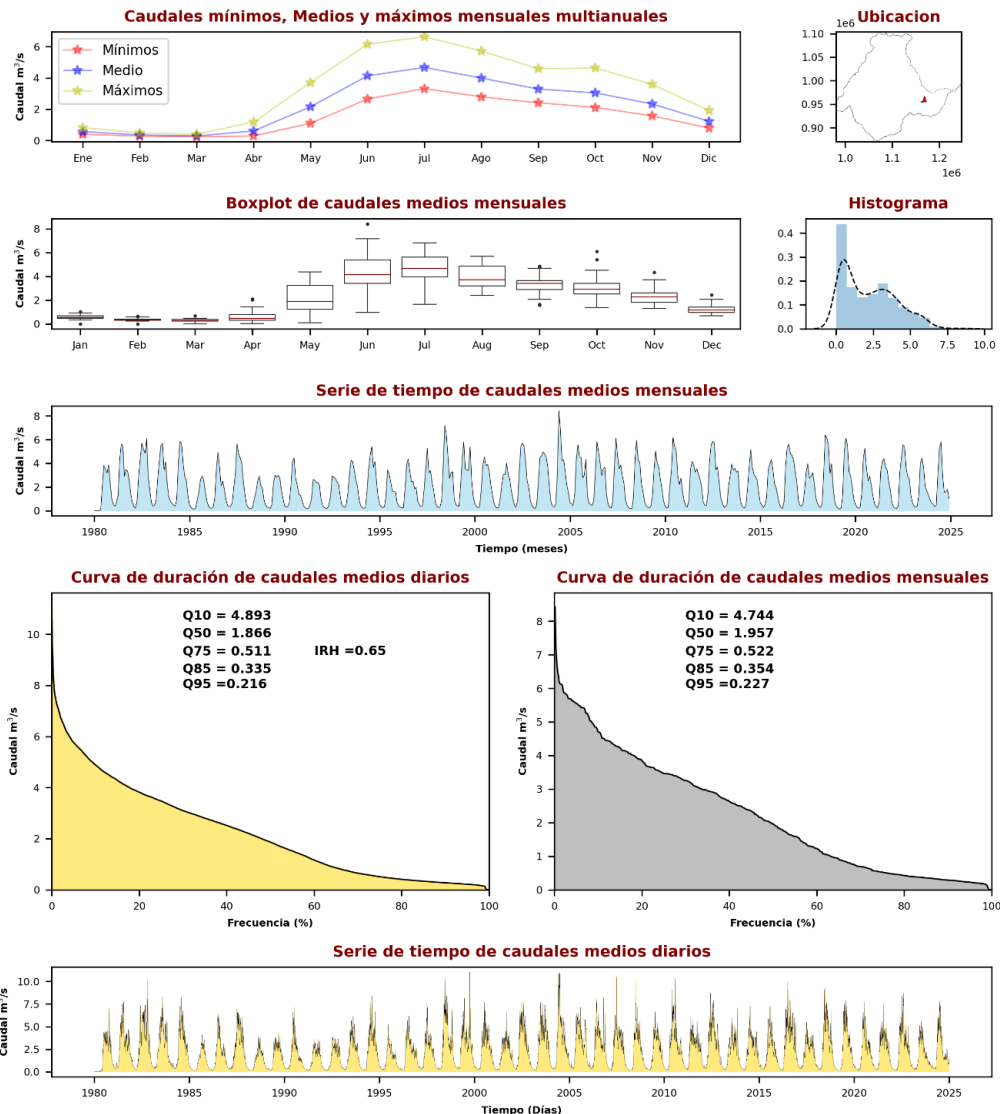


Figura 3.2.4-26 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Piedra Candela [35110103]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Yurimena (35110106), se presenta en la **Figura 3.2.4-27** donde se observa un comportamiento estacional en sus caudales mínimos,

medios y máximos mensuales, con mayor concentración de aportes durante la mitad del año. La curva de duración de caudales indica un caudal medio (Q50) de 3,49 m³/s y un caudal mínimo probable, representado por Q95, de 0,397 m³/s. El índice de regulación hídrica (IRH = 0,65) evidencia una baja capacidad de retención, lo que refleja que la dinámica hidrológica de la cuenca depende principalmente de los eventos de precipitación, con limitada capacidad de almacenamiento natural.

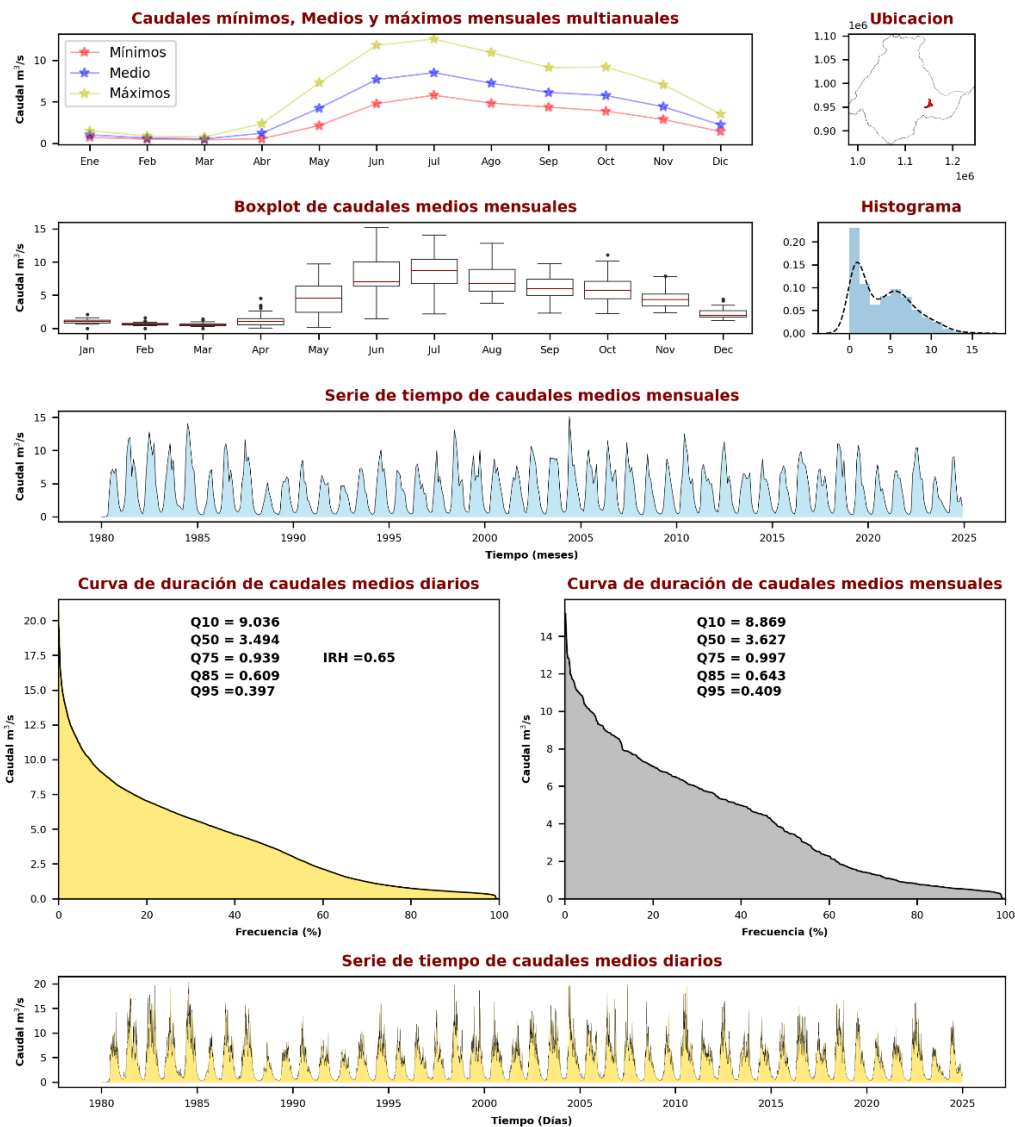


Figura 3.2.4-27 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Yurimena [35110106]

Fuente: GessiG, 2025

En la **Figura 3.2.4-28** se relaciona la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño El Aceite (35110107) presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 0,15 m³/s y el IRH es de 0,64 asociado a una retención baja en la cuenca.

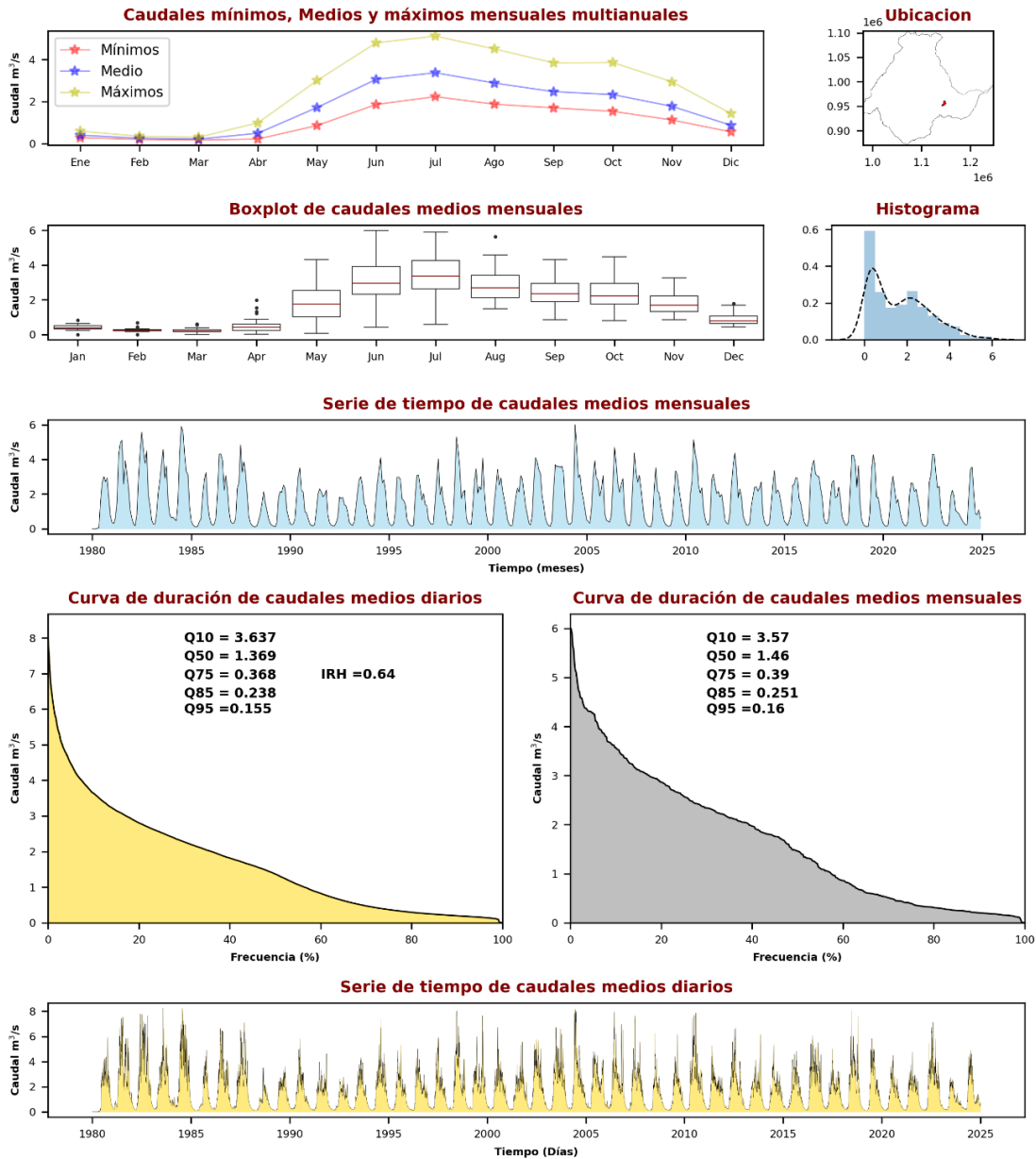


Figura 3.2.4-28 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Aceite [35110107]

Fuente: GessiG, 2025

En la **Figura 3.2.4-29** se presenta la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño Ipapa (35110108) presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 0,11 m³/s y el IRH es de 0,64 asociado a una retención baja en la cuenca.

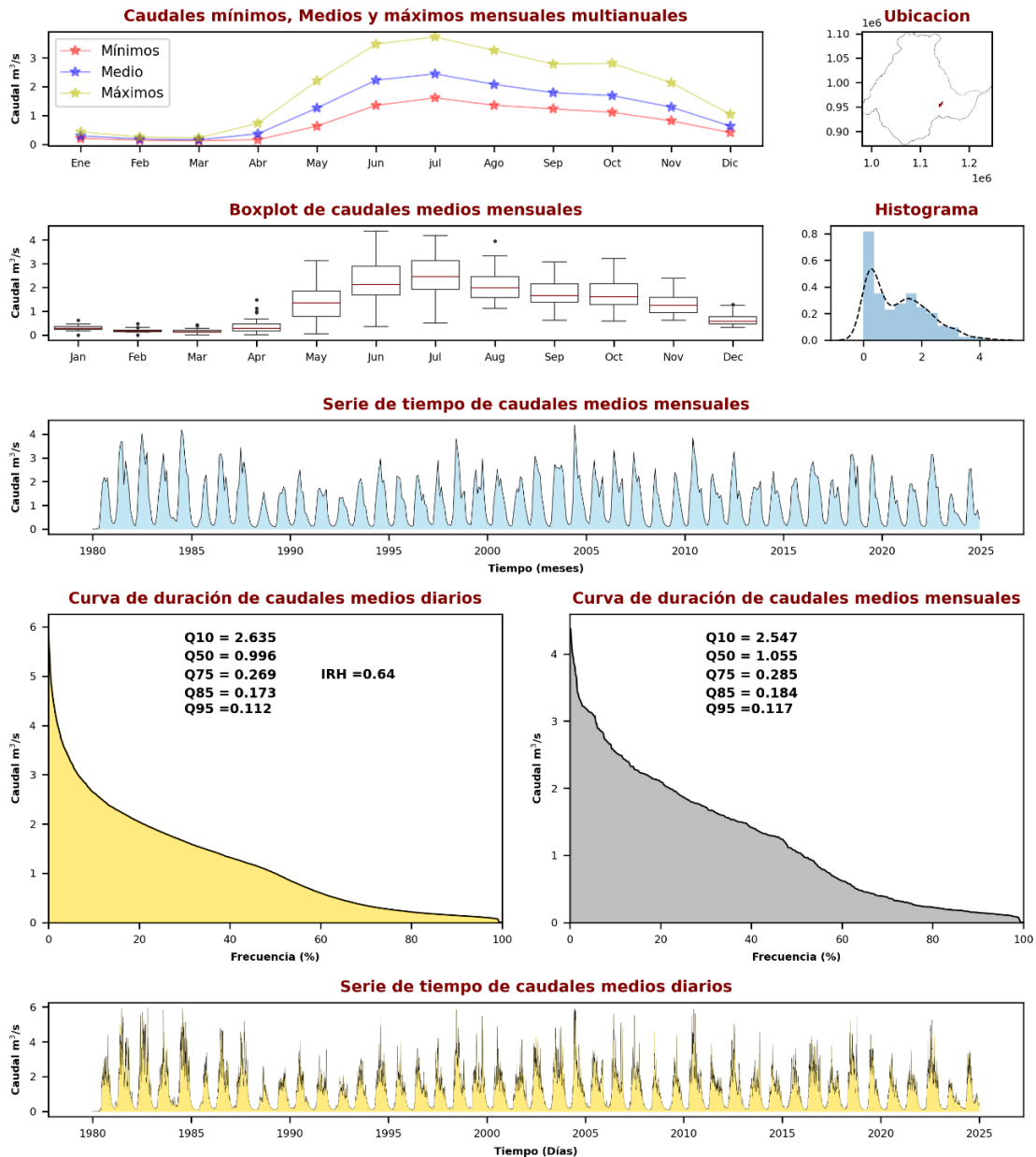


Figura 3.2.4-29 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Ipapa [35110108]

Fuente: GessiG, 2025

En la **Figura 3.2.4-30** se enseña la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño Santoya (35110109) presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 0,35 m³/s y el IRH es de 0,65 asociado a una retención baja en la cuenca.

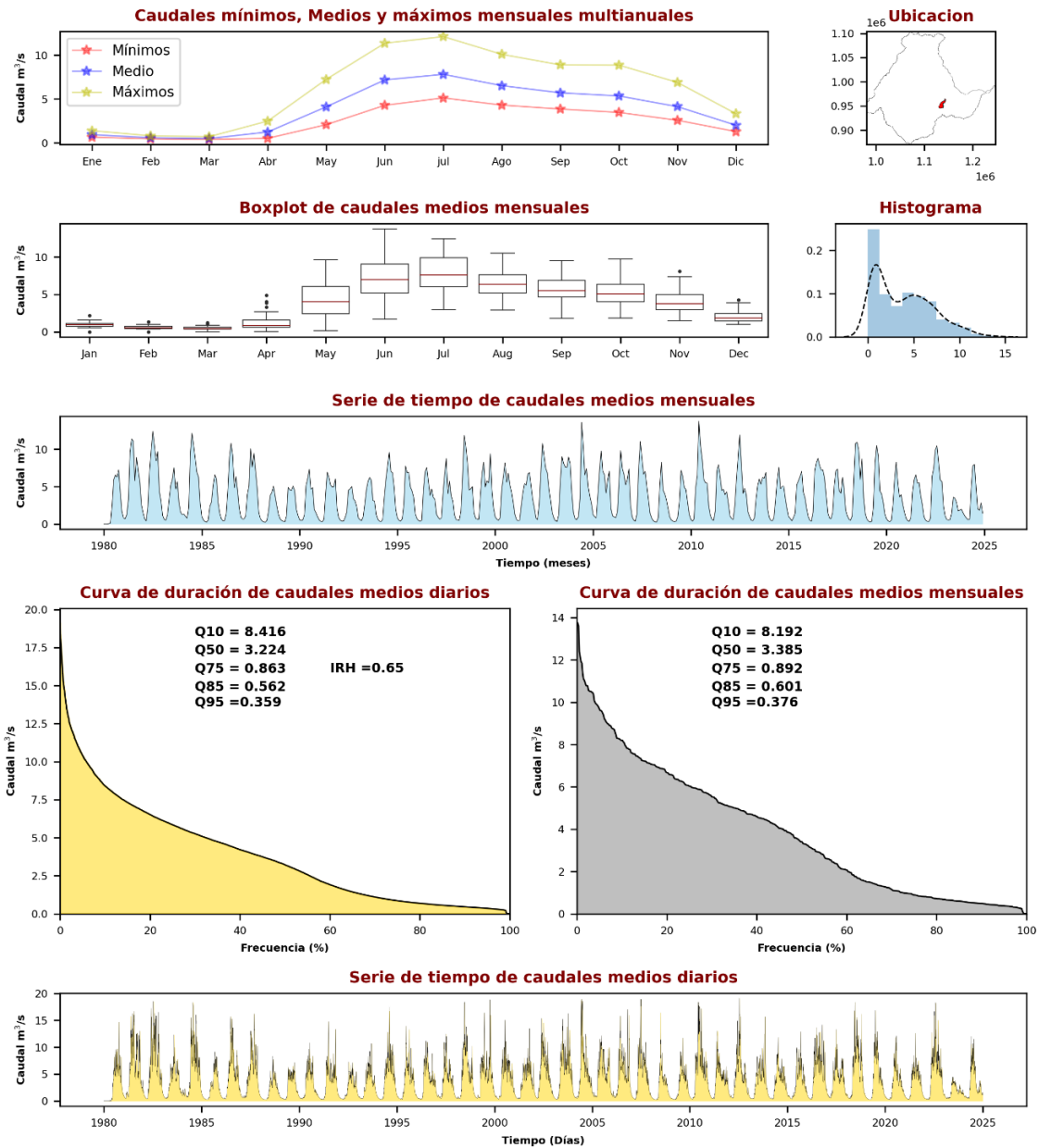


Figura 3.2.4-30 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Santoya [35110109]

Fuente: GessiG, 2025

En la **Figura 3.2.4-31** se referencia la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño Emma 35120103 presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 1,38 m³/s y el IRH es de 0,65 asociado a una retención baja en la cuenca.

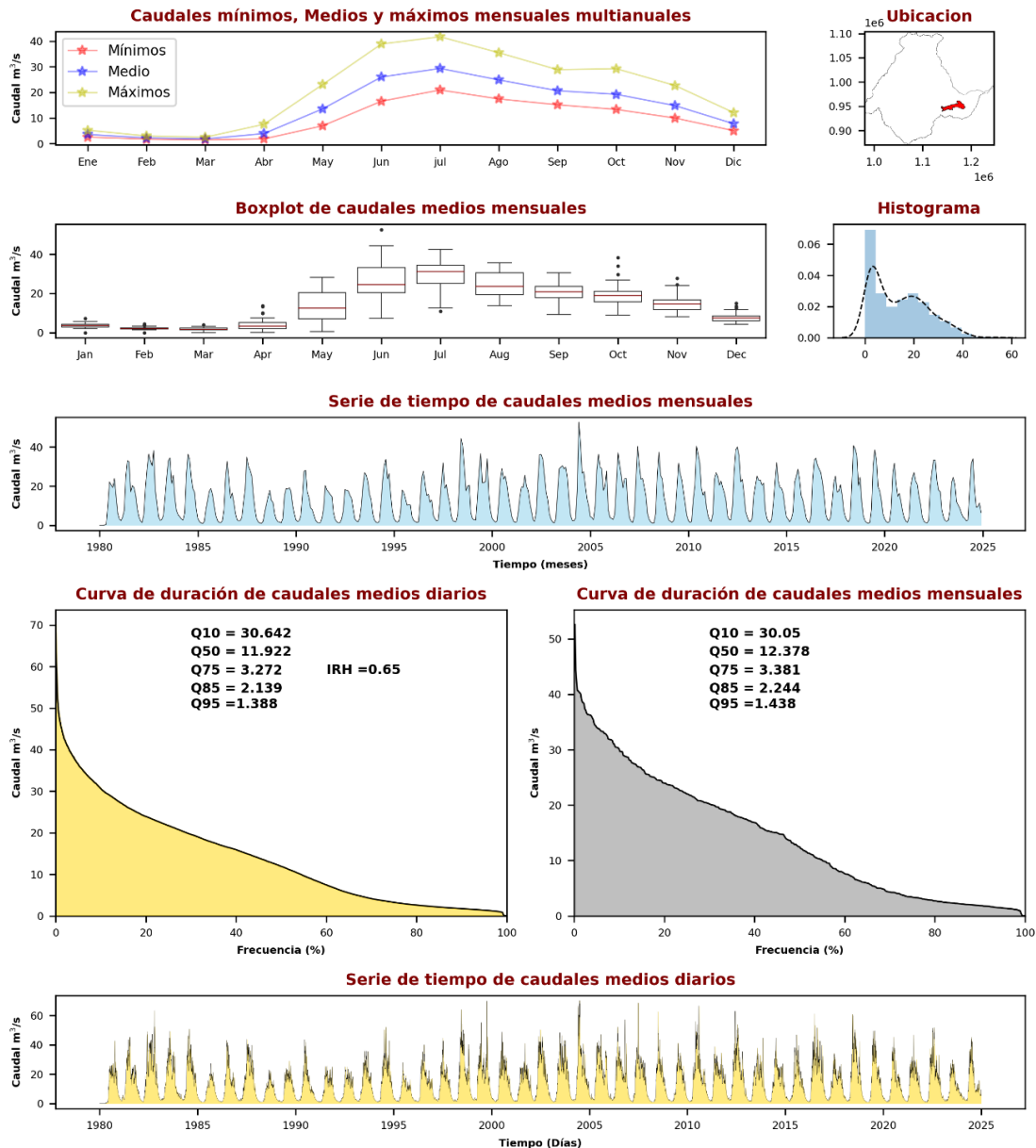


Figura 3.2.4-31 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Emma [35120103]

Fuente: GessiG, 2025

En la **Figura 3.2.4-32** se enseña la ficha resumen de caudales para la cuenca Rio Metica (35110117) presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 90,76 m³/s y el IRH es de 0,7.

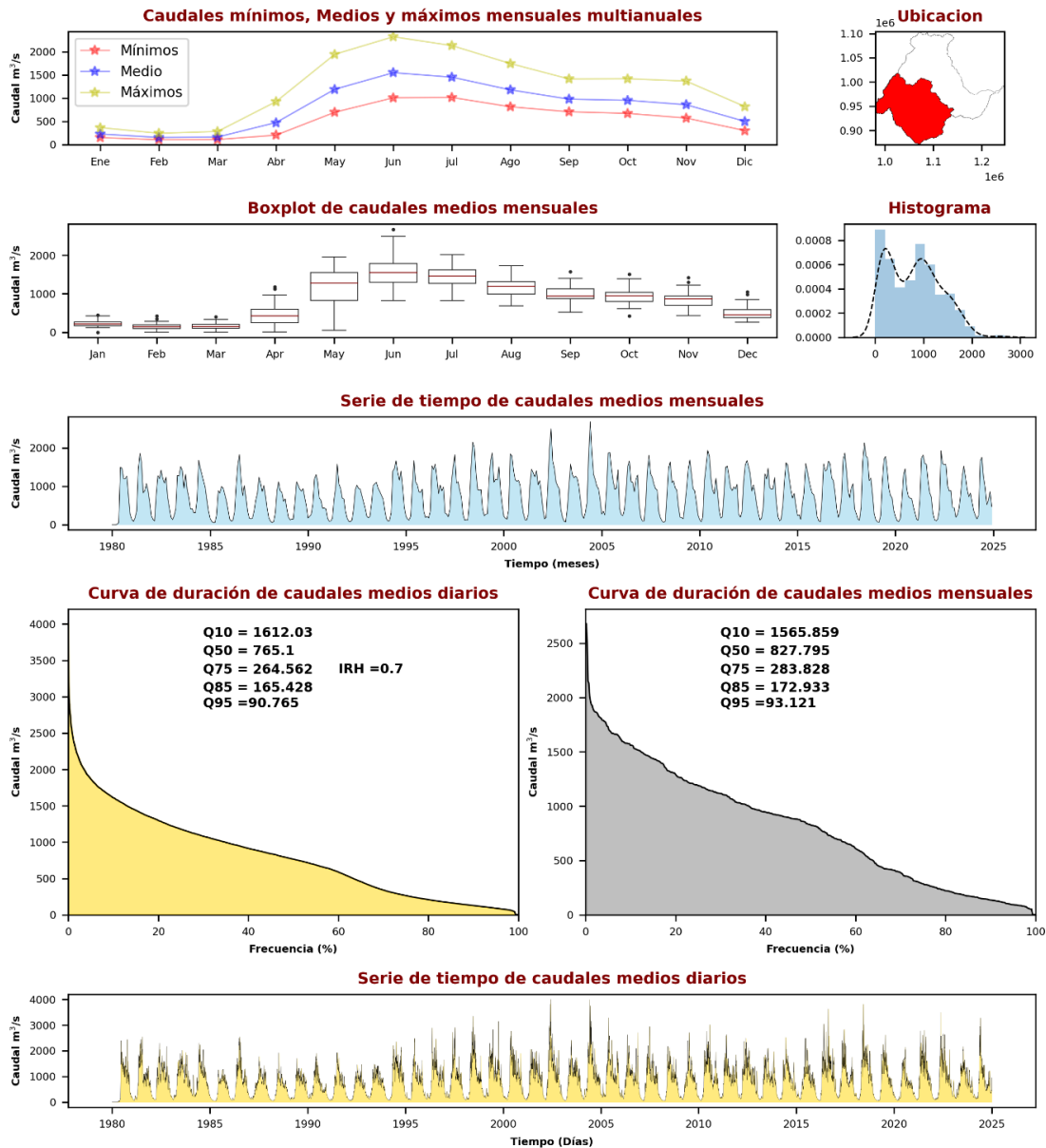


Figura 3.2.4-32 Resumen régimen hidrológico cuenca Rio Metica [35110117]

Fuente: GessiG, 2025

En la **Figura 3.2.4-33** se enseña la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño Menegua (35110111) presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 1,38 m³/s y el IRH es de 0,65 asociado a una retención baja en la cuenca.

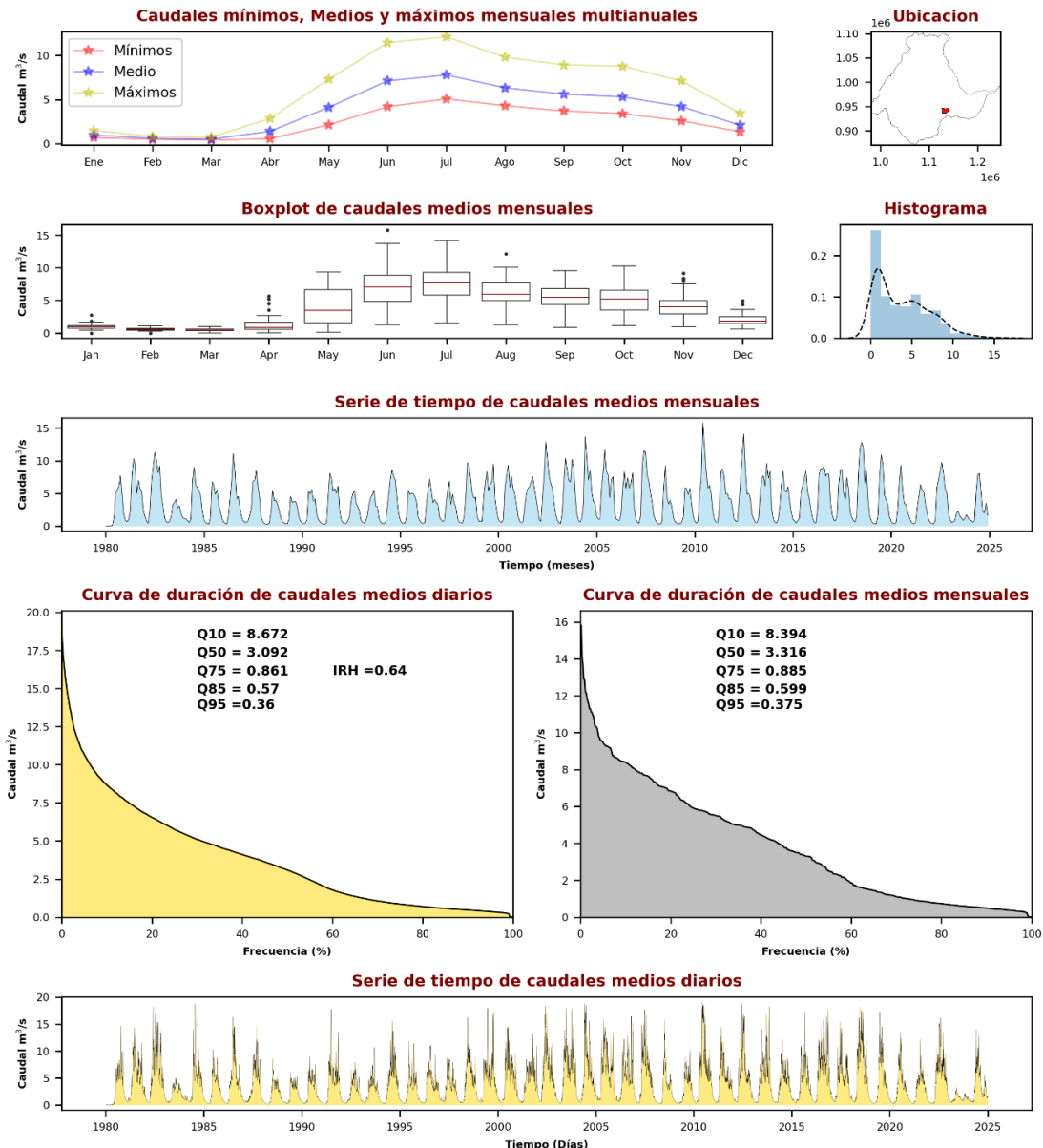


Figura 3.2.4-33 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Menegua [35110111]

Fuente: GessiG, 2025

En la **Figura 3.2.4-34** se referencia la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño Navajas Sur (35110112) presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 0,06 m³/s y el IRH es de 0,52 asociado a una retención muy baja en la cuenca.

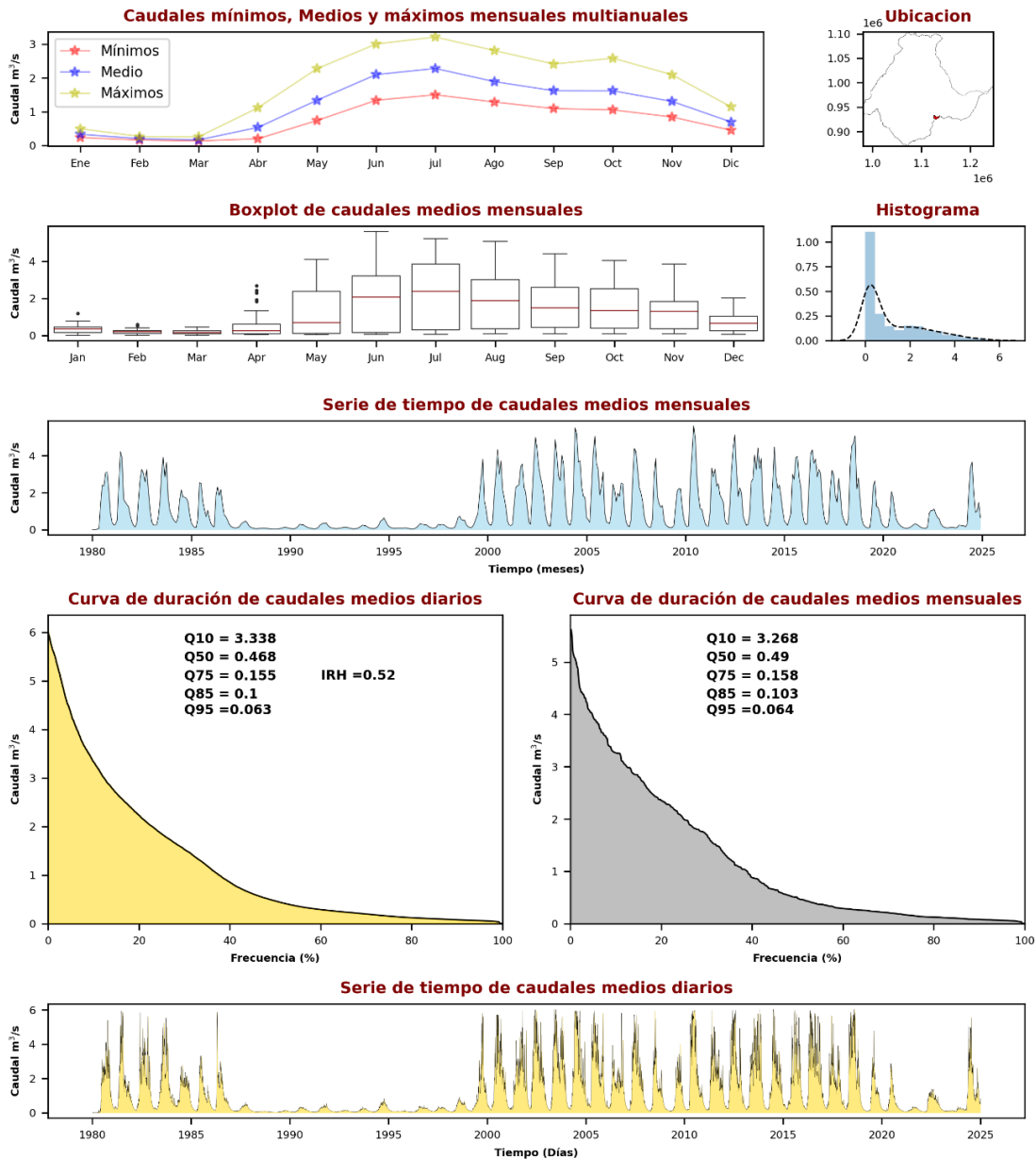


Figura 3.2.4-34 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Navajas Sur [35110112]

Fuente: GessiG, 2025

En la se **Figura 3.2.4-35** se referencia la ficha resumen de caudales para la cuenca Caño Banderas (35110115) presentando los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, de mayo a noviembre se presentan las oscilaciones de los caudales del año, el caudal mínimo probable es de 0,06 m³/s y el IRH es de 0,6 asociado a una retención baja en la cuenca.

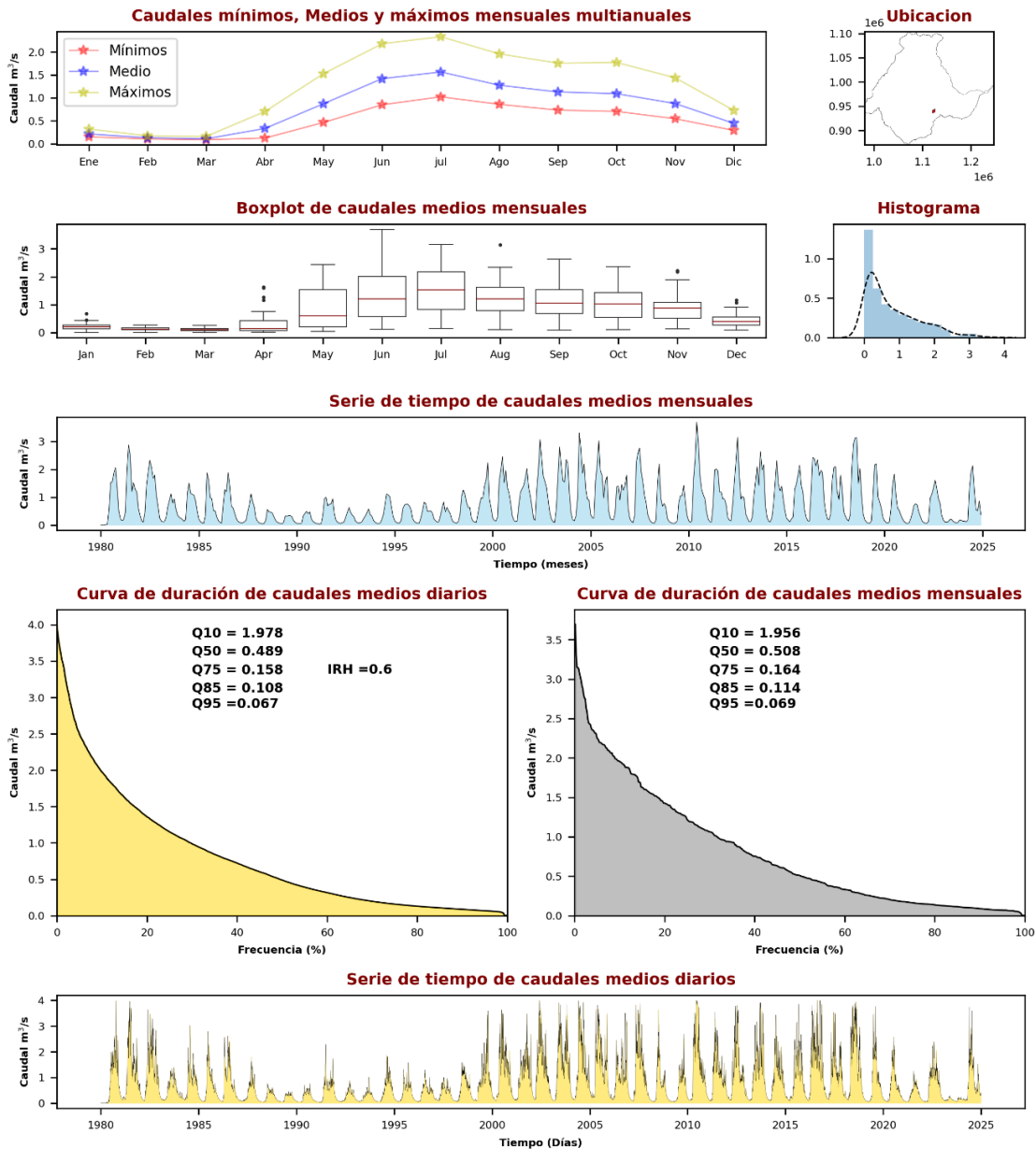


Figura 3.2.4-35 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Banderas [35110115]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Venturosa (35110113) se presenta en la **Figura 3.2.4-36** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,14 m³/s , demostrando un índice de regulación hídrica de 0,62 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

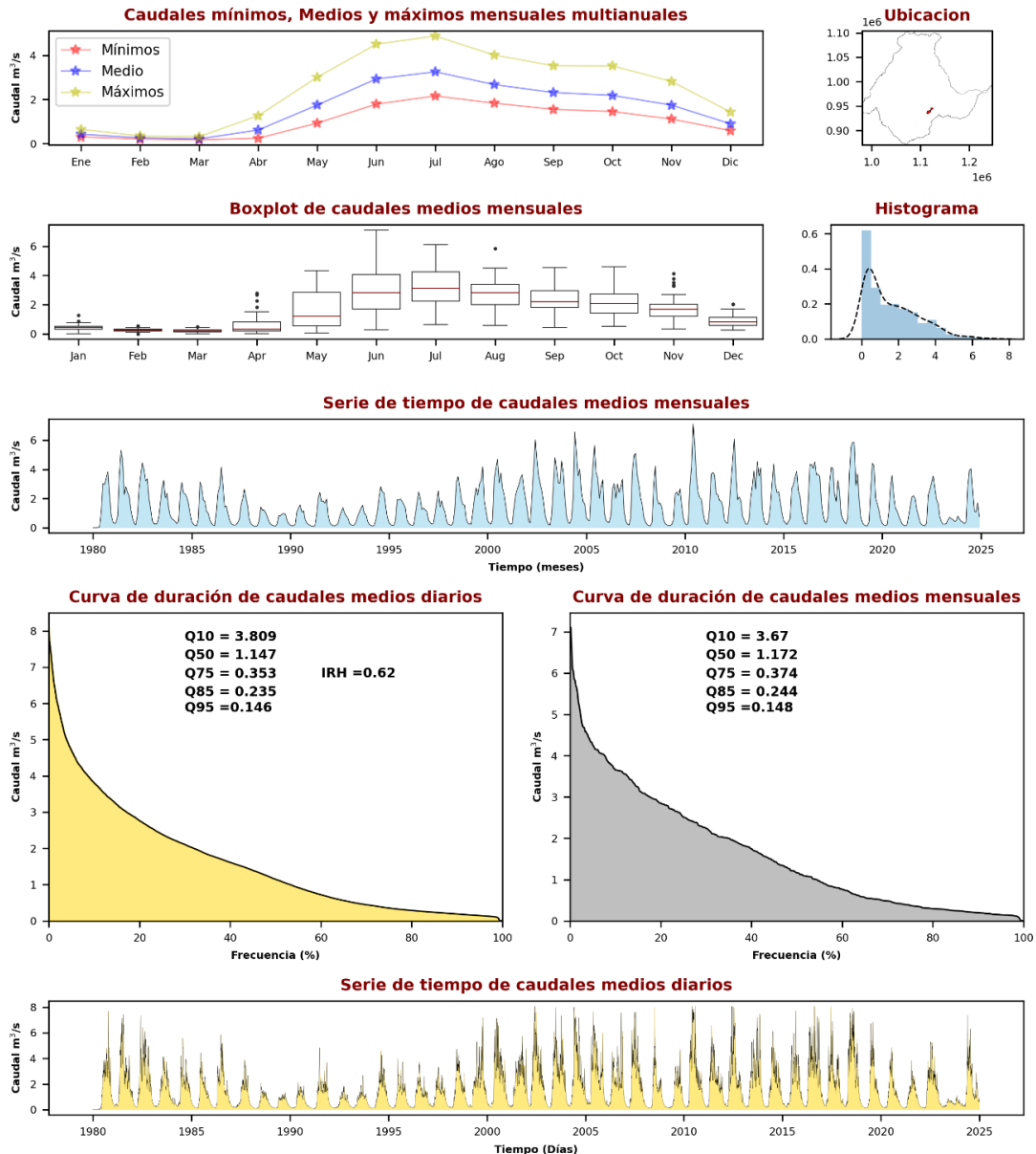


Figura 3.2.4-36 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Venturosa [35110113]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Barbascos (35120104) se presenta en la **Figura 3.2.4-37** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,17 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,66 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

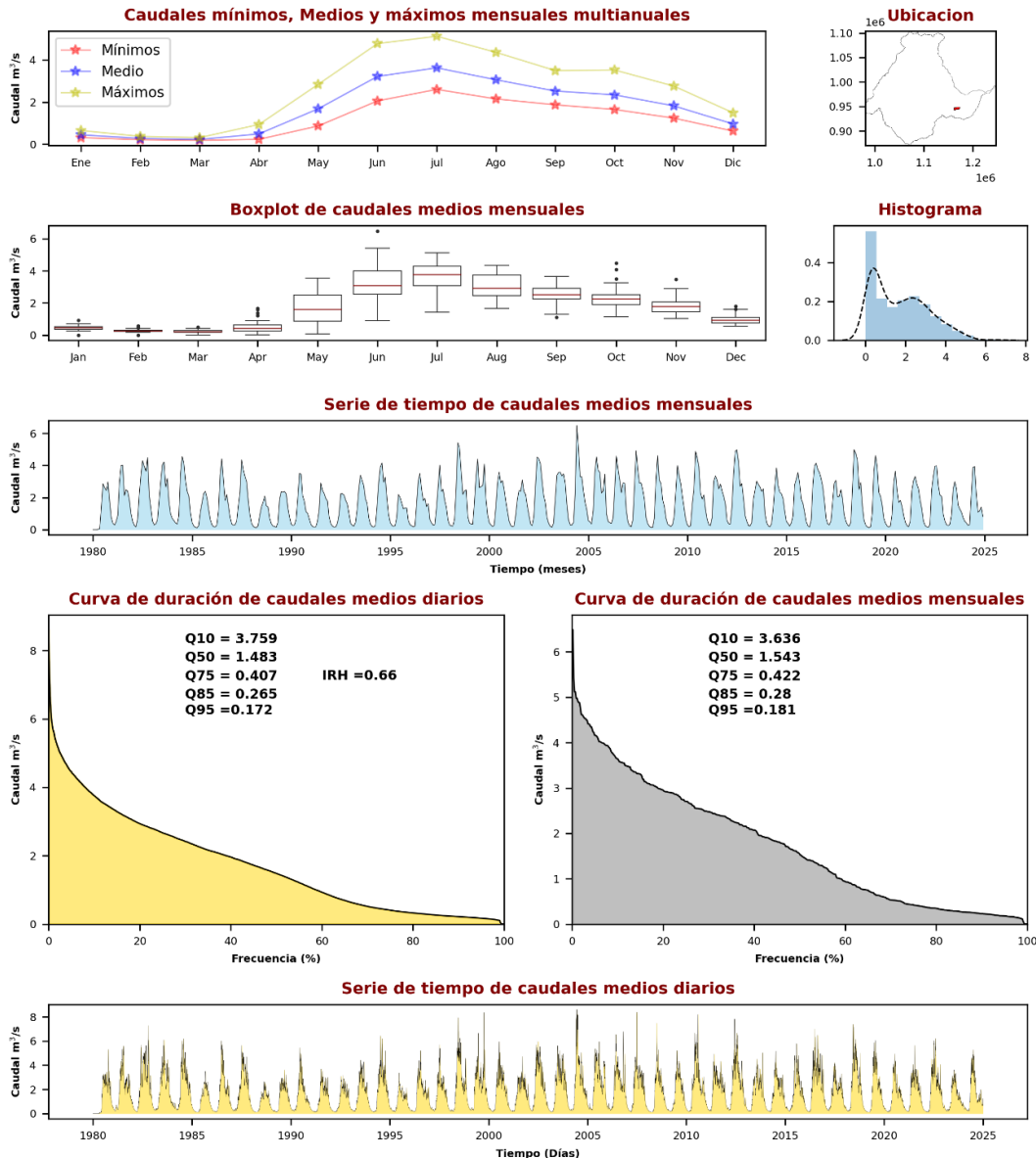


Figura 3.2.4-37 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Barbascos [35120104]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Cajon (35110105) se presenta en la **Figura 3.2.4-38** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,19 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,65 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

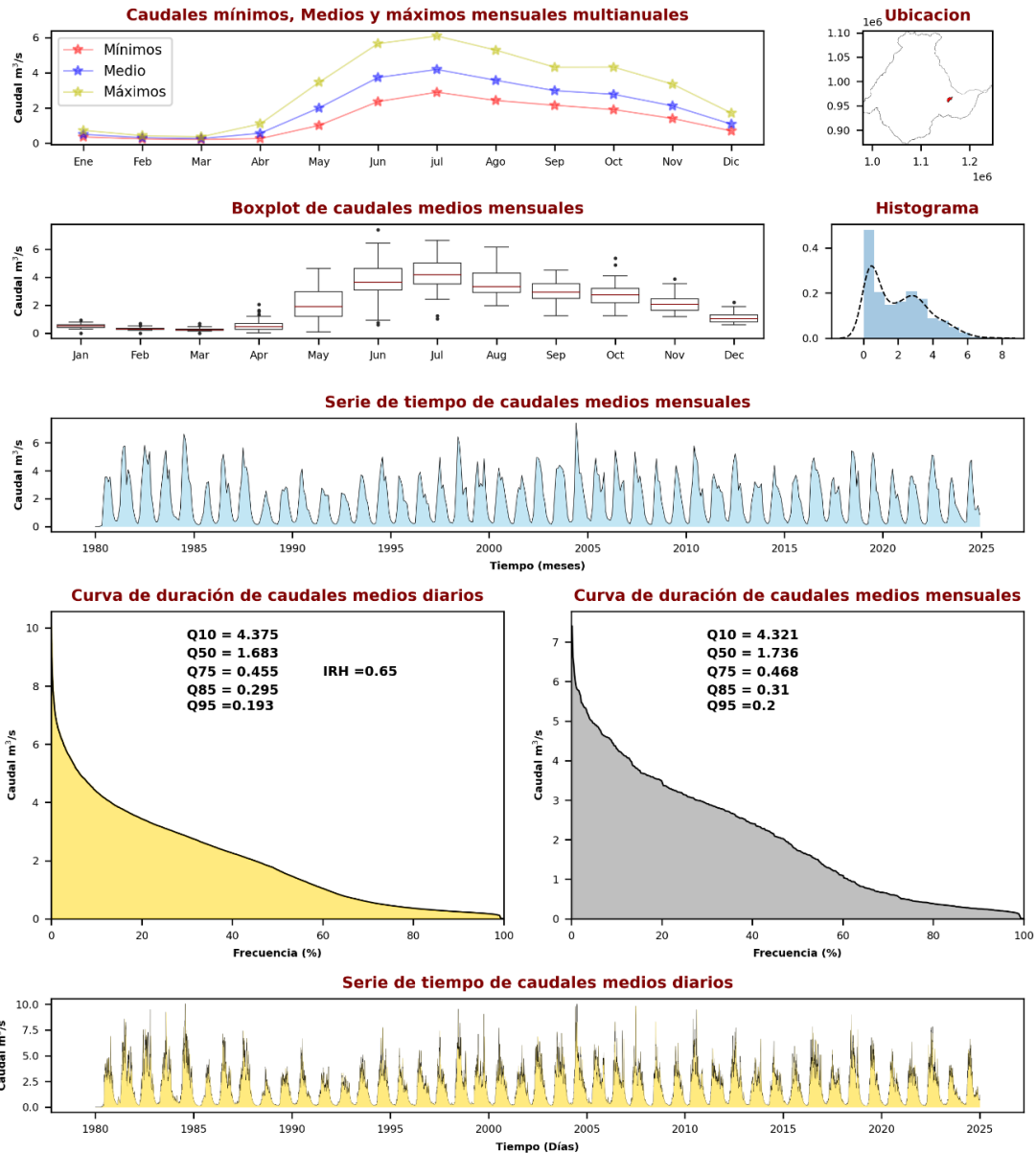


Figura 3.2.4-38 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Cajon [35110105]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Río Upía (35090101) se presenta en la **Figura 3.2.4-39** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 62,80 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,68 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

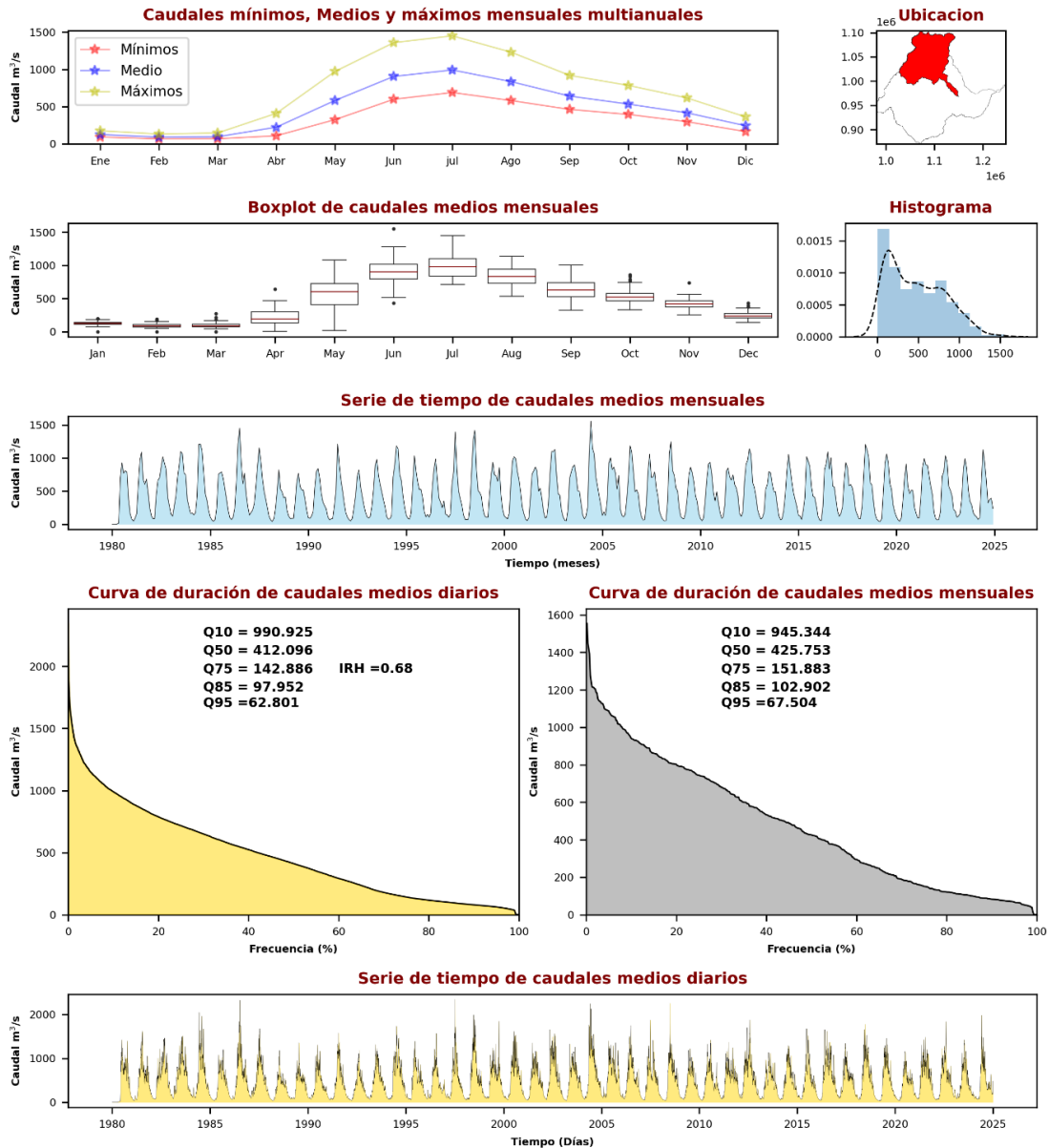


Figura 3.2.4-39 Resumen régimen hidrológico cuenca Río Upía [35090101]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Bajo Rio Negro (35100108) se presenta en la **Figura 3.2.4-40** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 3,79 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,67 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

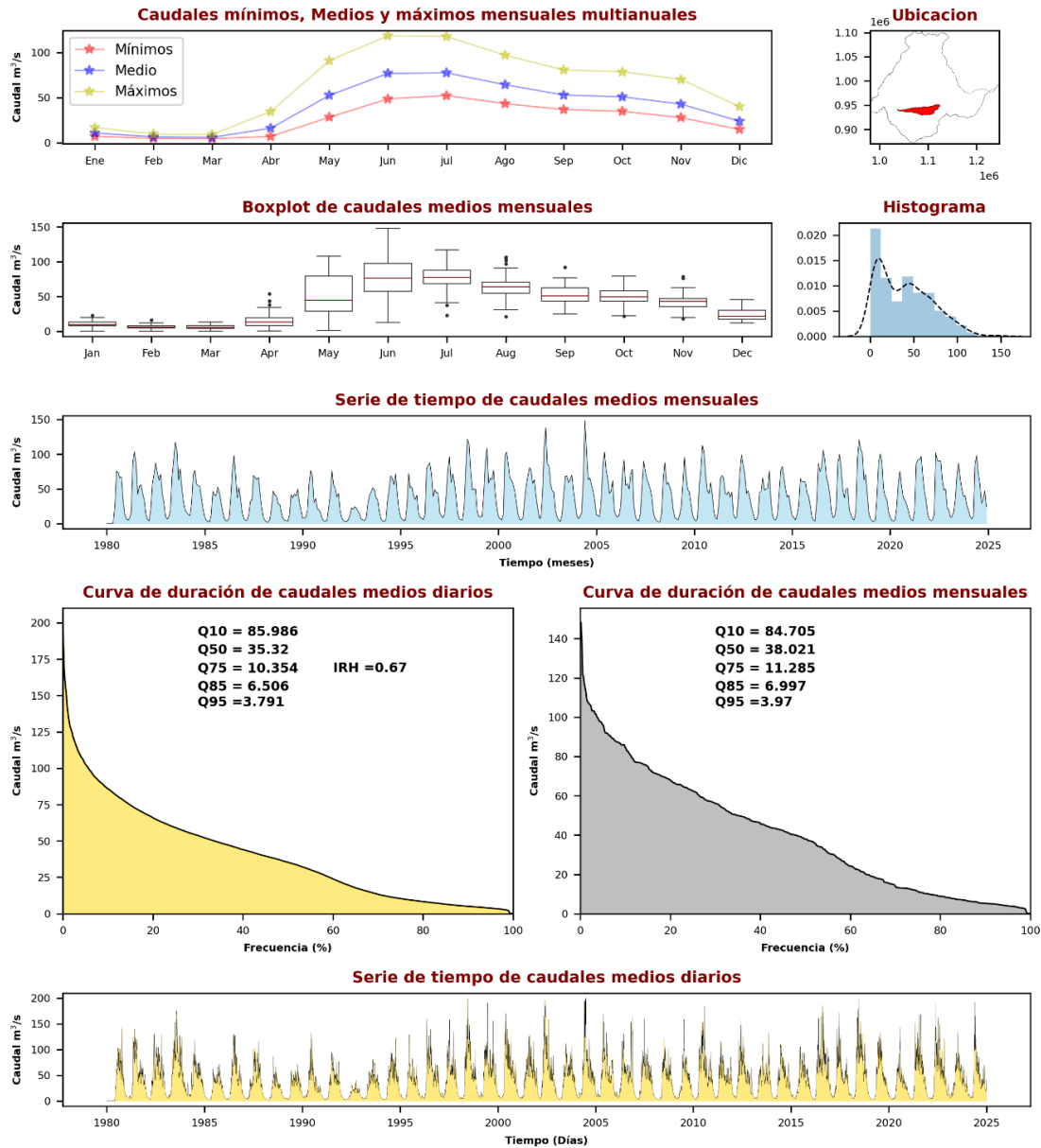


Figura 3.2.4-40 Resumen régimen hidrológico cuenca Bajo Rio Negro [35100108]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño El Chocho (35100102) se presenta en la **Figura 3.2.4-41** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,66 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,64 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

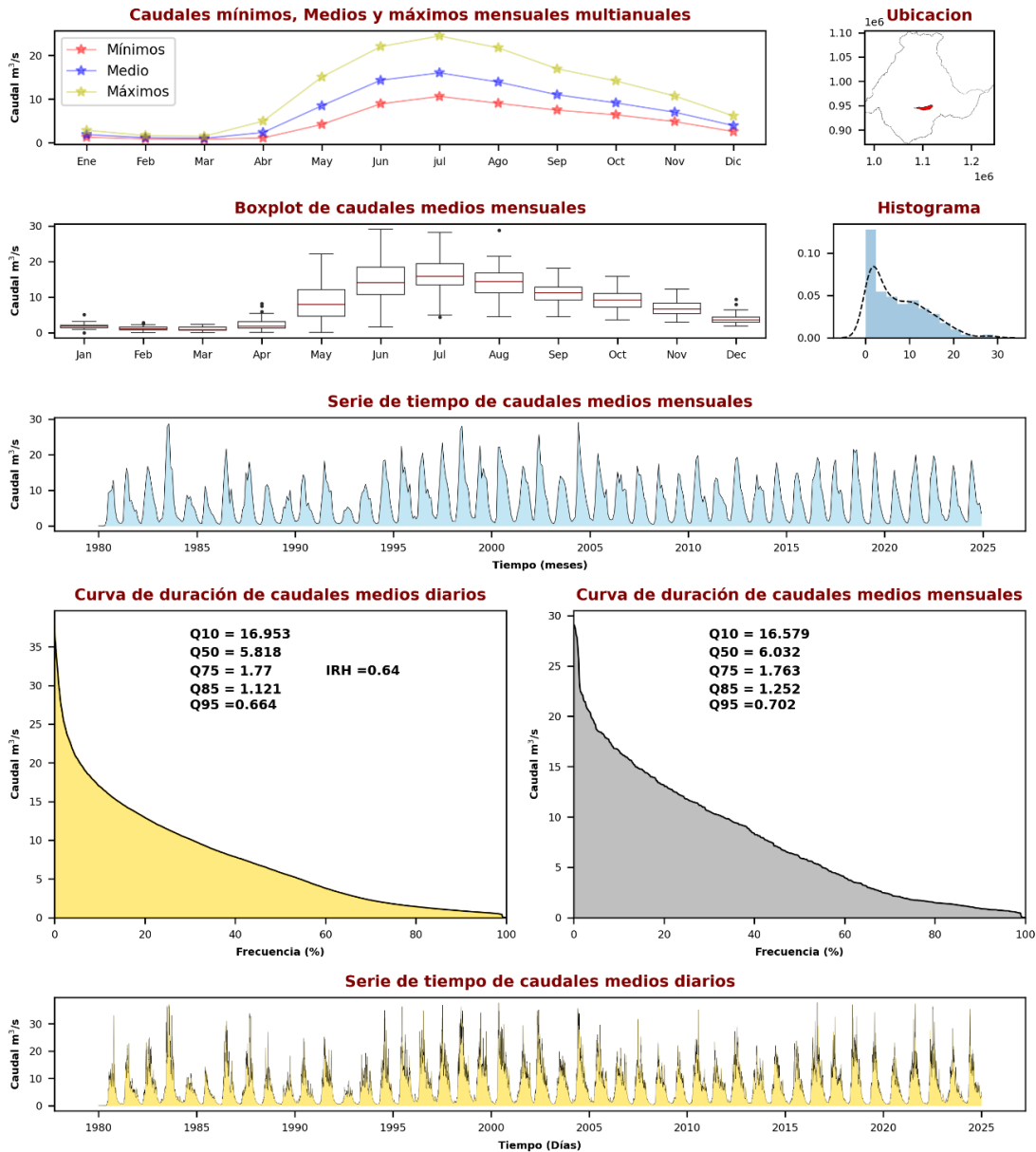


Figura 3.2.4-41 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Chocho [35100102]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño La Lilbana (35110110) se presenta en la **Figura 3.2.4-42** donde régimen estacional marcado, con caudales muy bajos en el primer trimestre y máximos en julio-agosto. Predominan valores bajos durante gran parte del año ($Q95 \approx 0,068 \text{ m}^3/\text{s}$), lo que refleja alta vulnerabilidad en estiaje, mientras que en época lluviosa se observan picos rápidos asociados a la escasa regulación natural.

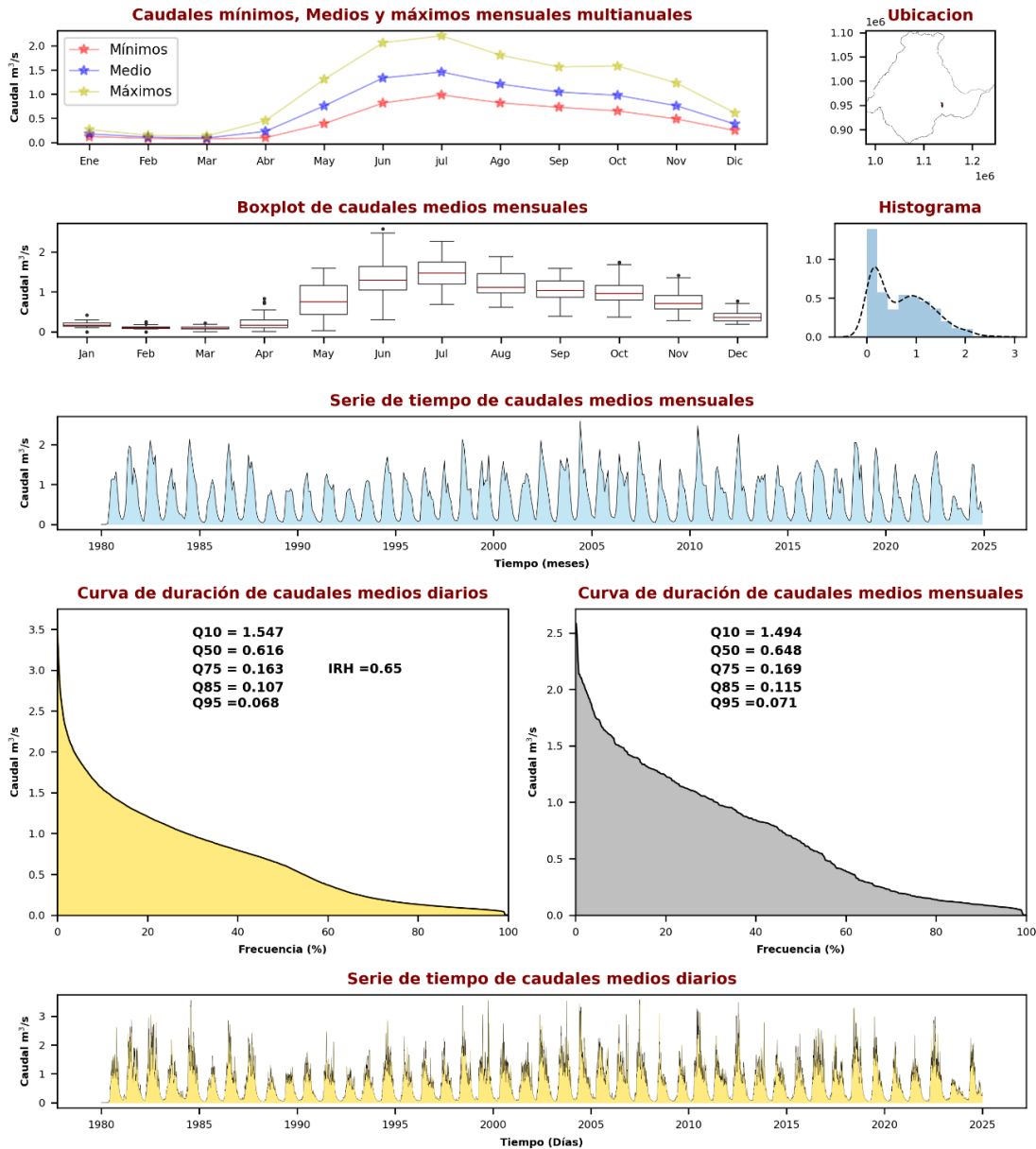


Figura 3.2.4-42 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño La Lilbana [35110110]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Macapay (35270106) se presenta en la **Figura 3.2.4-43** donde se evidencia caudales muy bajos entre enero y marzo y un incremento sostenido desde abril hasta alcanzar máximos en julio y agosto. La mayor parte del tiempo los caudales se mantienen en valores medios-bajos, aunque los percentiles de duración (Q95 \approx 1,27 m³/s) evidencian una oferta relativamente más estable que en sistemas de menor caudal, aunque con marcada estacionalidad. Las series temporales de más de cuatro décadas muestran un patrón recurrente y estable, sin tendencias significativas a largo plazo, pero con picos agudos que reflejan una respuesta rápida a los eventos de precipitación.

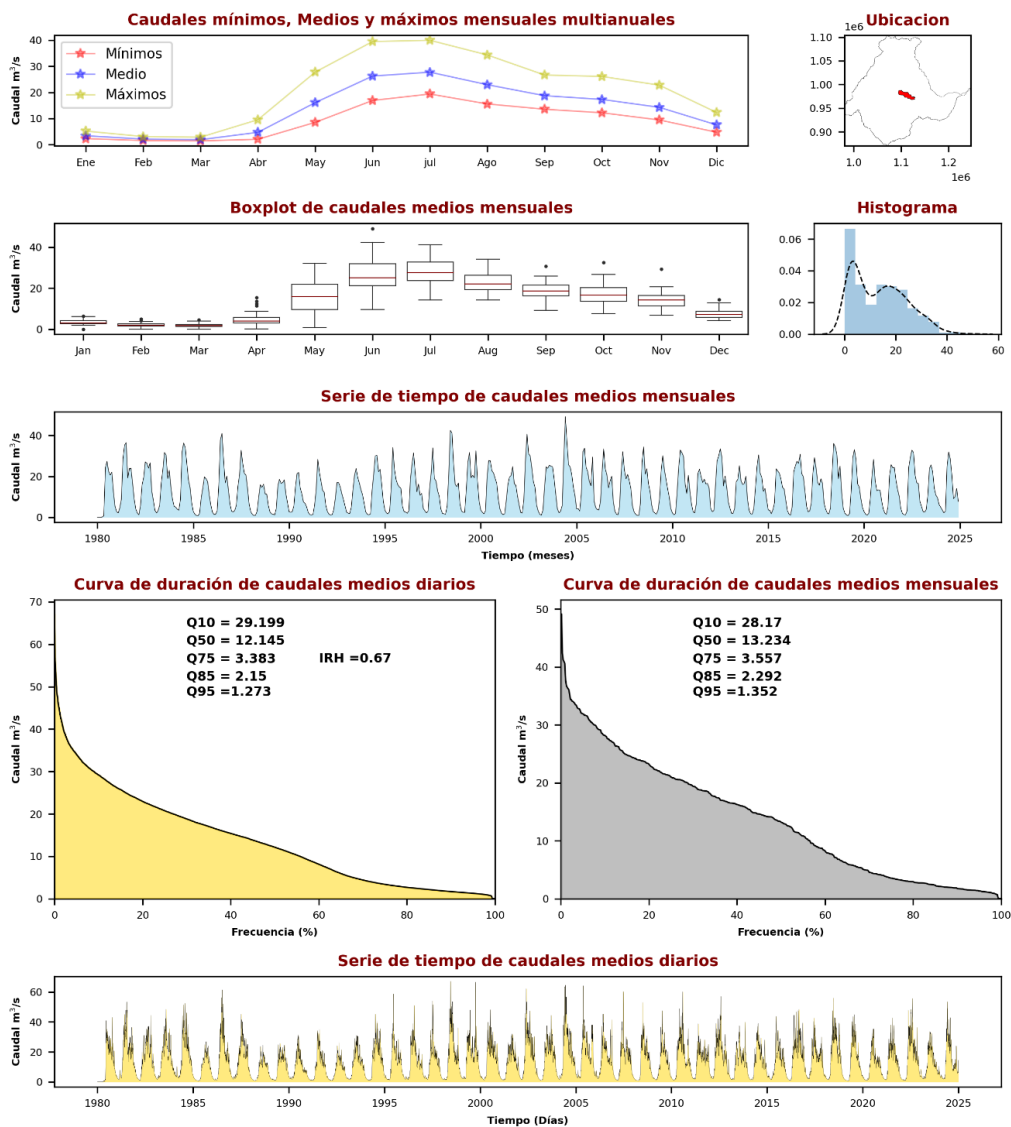


Figura 3.2.4-43 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Macapay [35270106]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño El Paso (35110114) se presenta en **Figura 3.2.4-44** donde se evidencia la estabilidad en el comportamiento general, con picos bien definidos en época lluviosa y descensos pronunciados en estiaje. Los valores de la curva de duración muestran un Q50 cercano a 0,39 m³/s y un Q95 en torno a 0,05 m³/s, lo que refleja la alta frecuencia de caudales bajos y, por tanto, cierta vulnerabilidad en sequías.

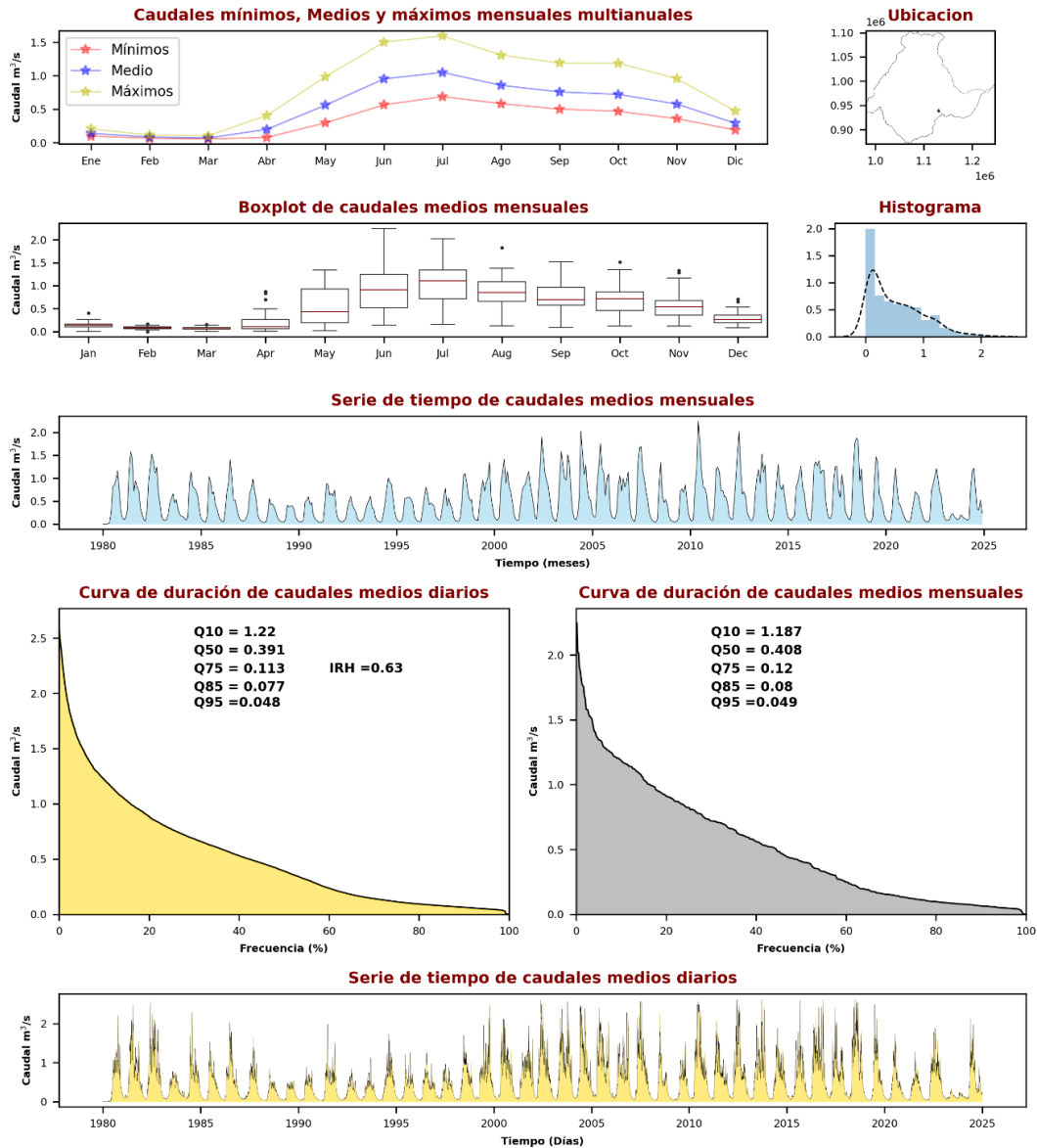


Figura 3.2.4-44 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Paso [35110114]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño La Victoria (35110104) se presenta en la **Figura 3.2.4-45** donde los datos sugieren un régimen estacional bien definido, con caudales bajos en los primeros meses del año y máximos concentrados entre junio y septiembre, en respuesta directa al régimen de lluvias. Los boxplots y la serie de tiempo muestran la recurrencia de estos picos anuales, con oscilaciones marcadas y descensos pronunciados en estiaje. El índice de regulación hídrica (IRH = 0,65) sugiere que la cuenca posee una regulación media-baja, lo que significa que cuenta con una capacidad limitada para almacenar agua y amortiguar las variaciones estacionales.

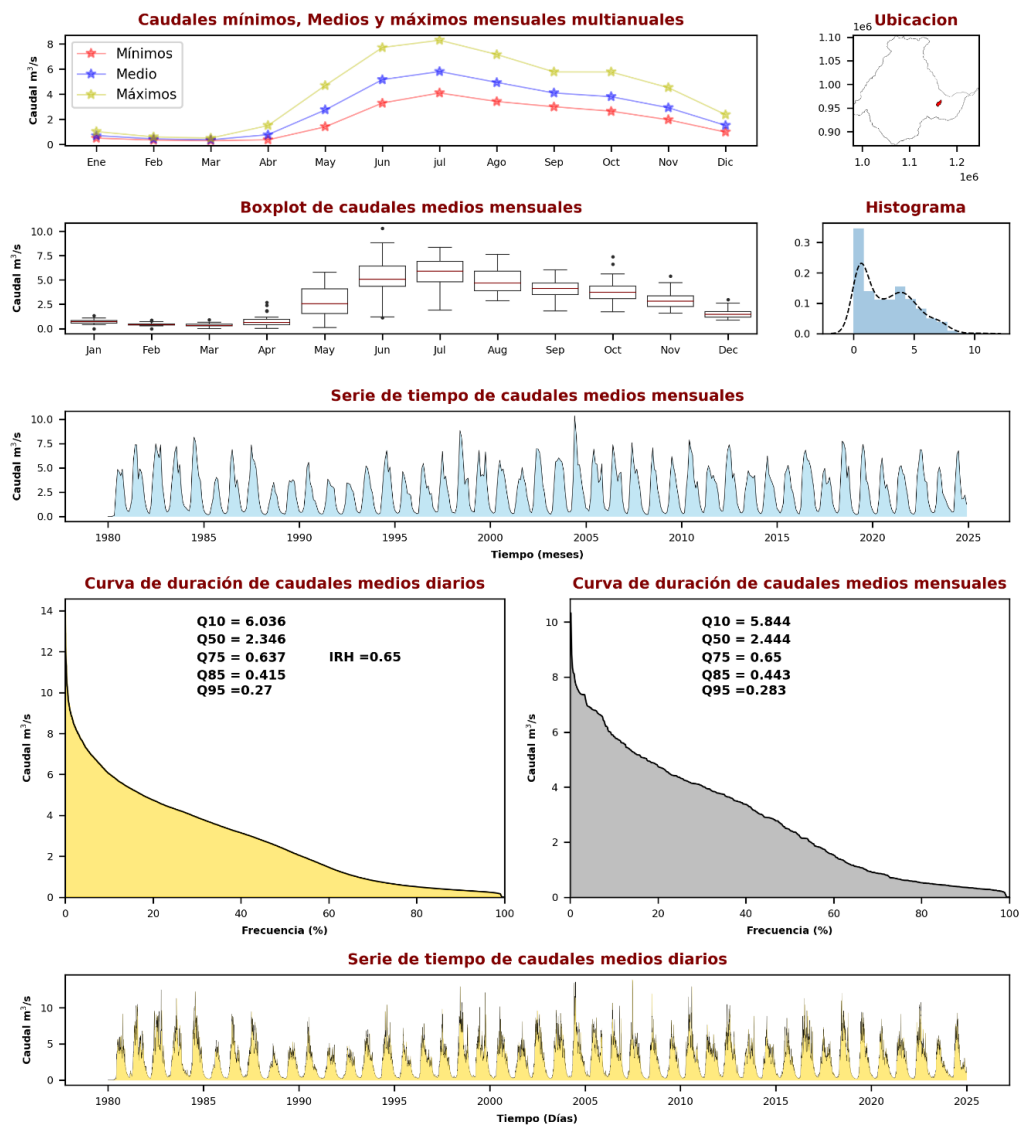


Figura 3.2.4-45 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño La Victoria [35110104]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Navajitas (35110116) se presenta en la **Figura 3.2.4-46** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,09 m³/s , demostrando un índice de regulación hídrica de 0,57 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

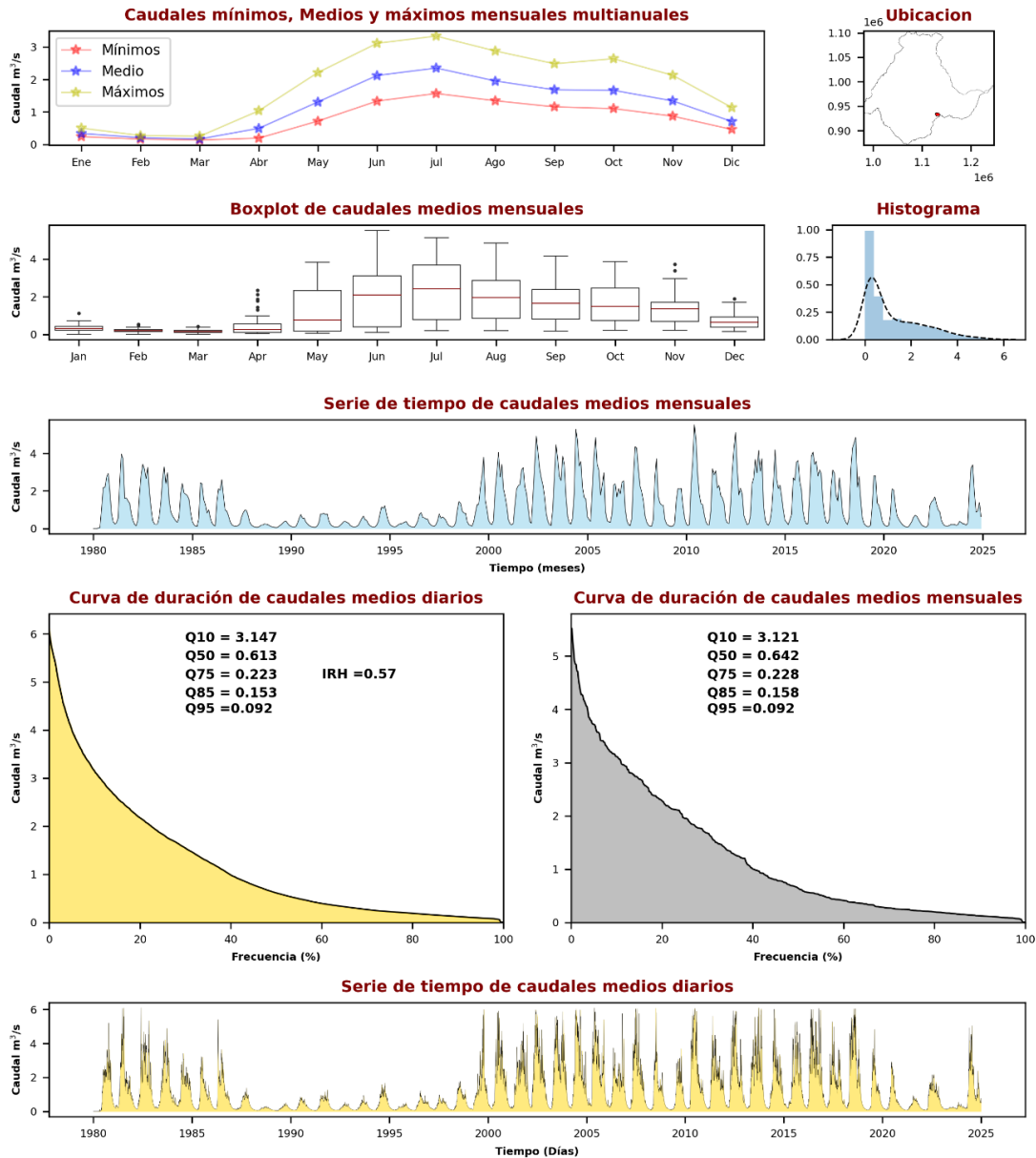


Figura 3.2.4-46 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Navajitas [35110116]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño El Totumal (35270107) se presenta en la **Figura 3.2.4-47** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,18 m³/s, demostrando un índice de regulación hídrica de 0,66 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

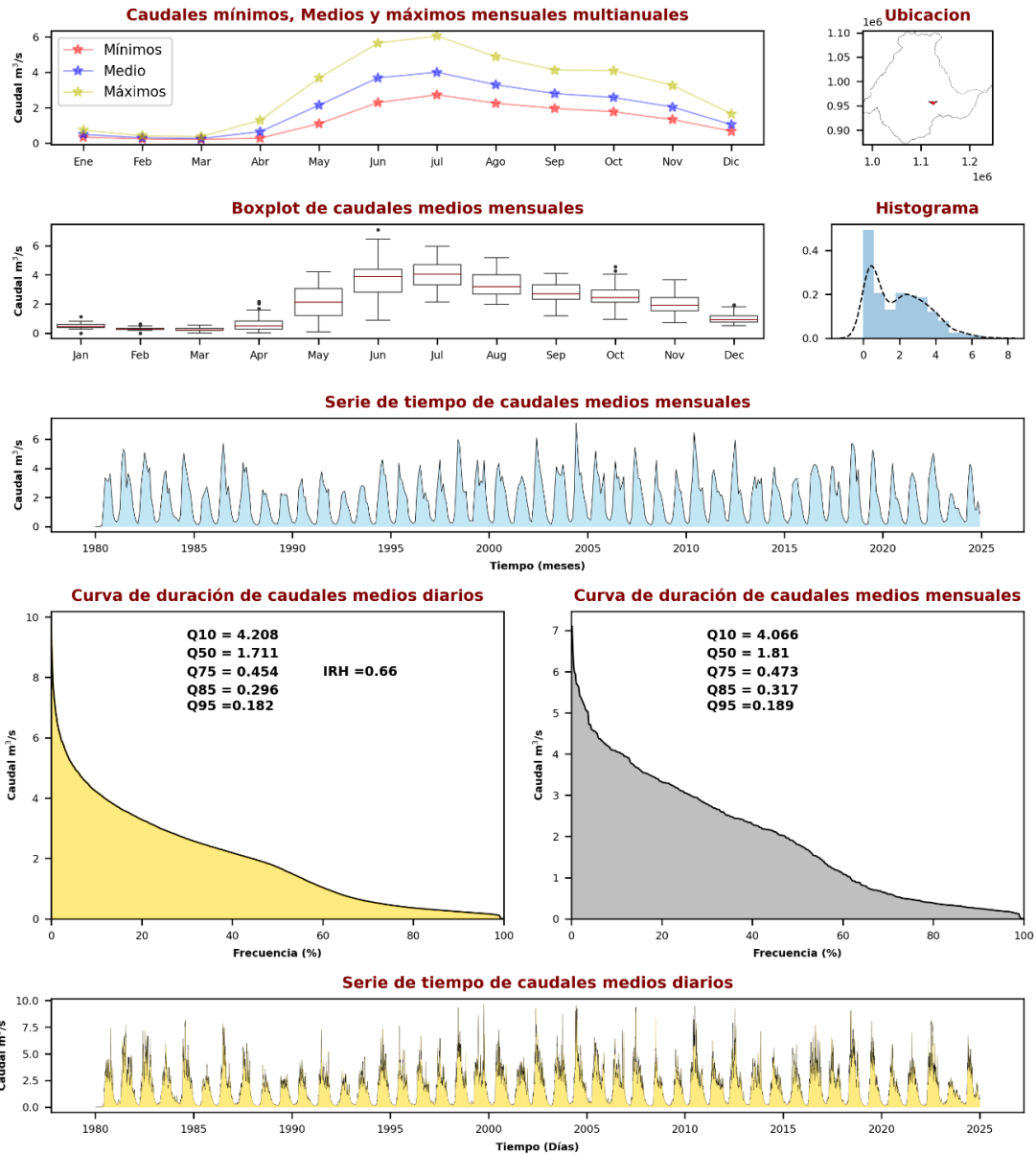


Figura 3.2.4-47 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño El Totumal [35270107]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Güio (35270103) se presenta en la **Figura 3.2.4-48** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,08 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,65 que evidencia que la cuenca no tiene alta capacidad de retención.

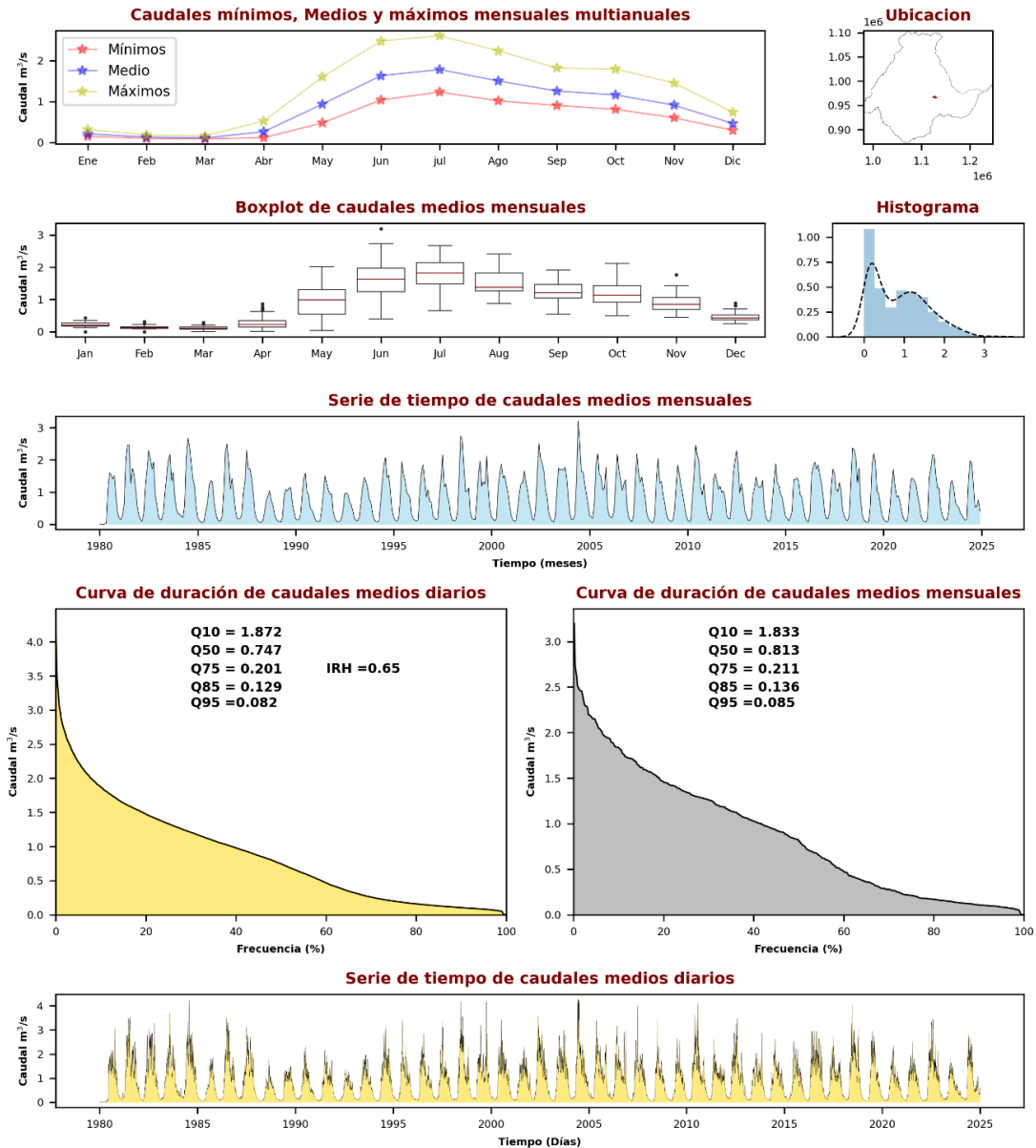


Figura 3.2.4-48 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Güio [35270103]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño San Pablo (35110118) se **Figura 3.2.4-49** presenta en la donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,002 m³/s , demostrando un índice de regulación hídrica de 0,46 que evidencia que la cuenca tiene muy baja capacidad de retención.

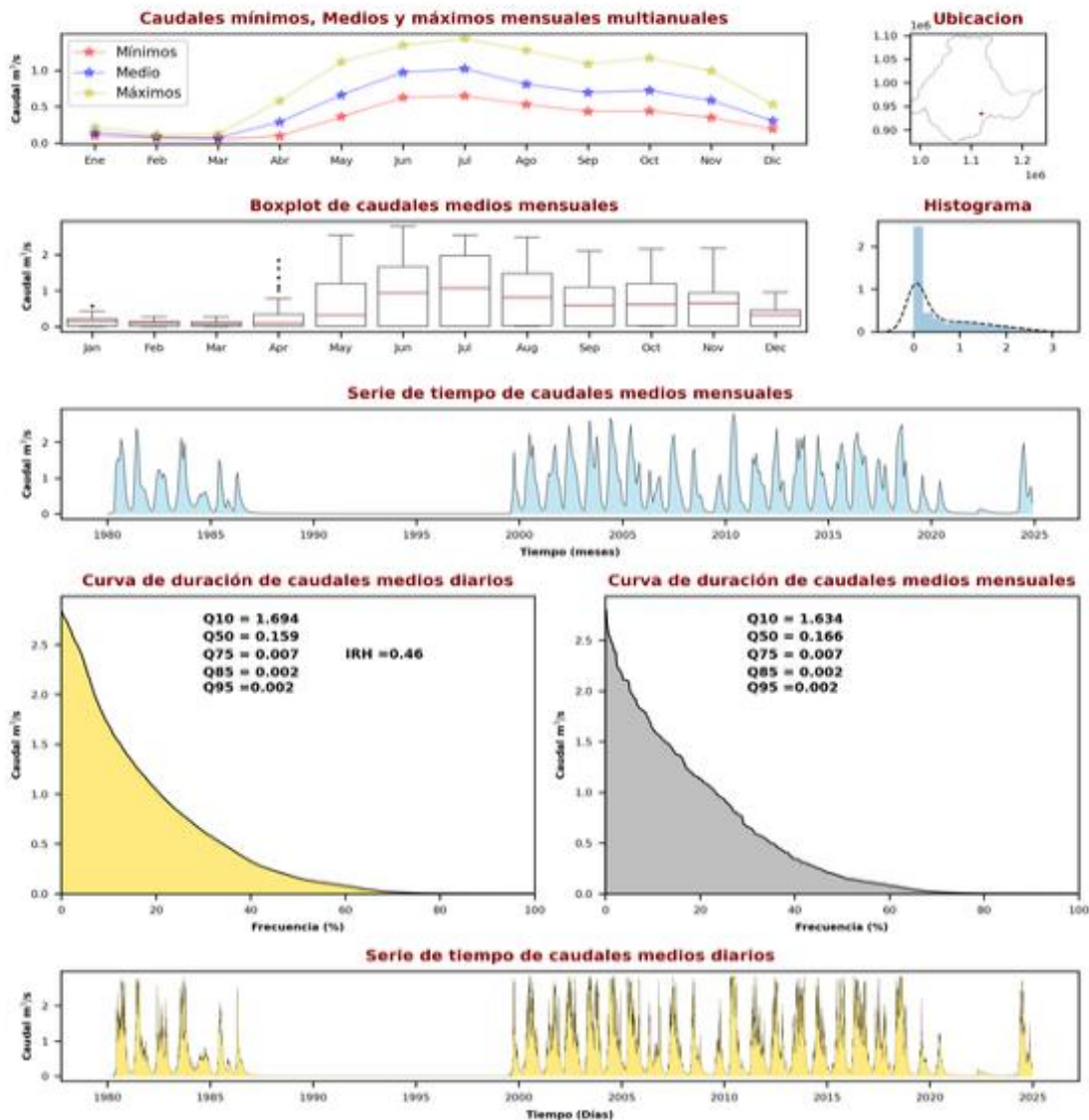


Figura 3.2.4-49 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño San Pablo [35110118]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Bajo Río Humea (35050101) se presenta en la **Figura 3.2.4-50** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 8,45 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,69 que evidencia que la cuenca no tiene una alta capacidad de retención.

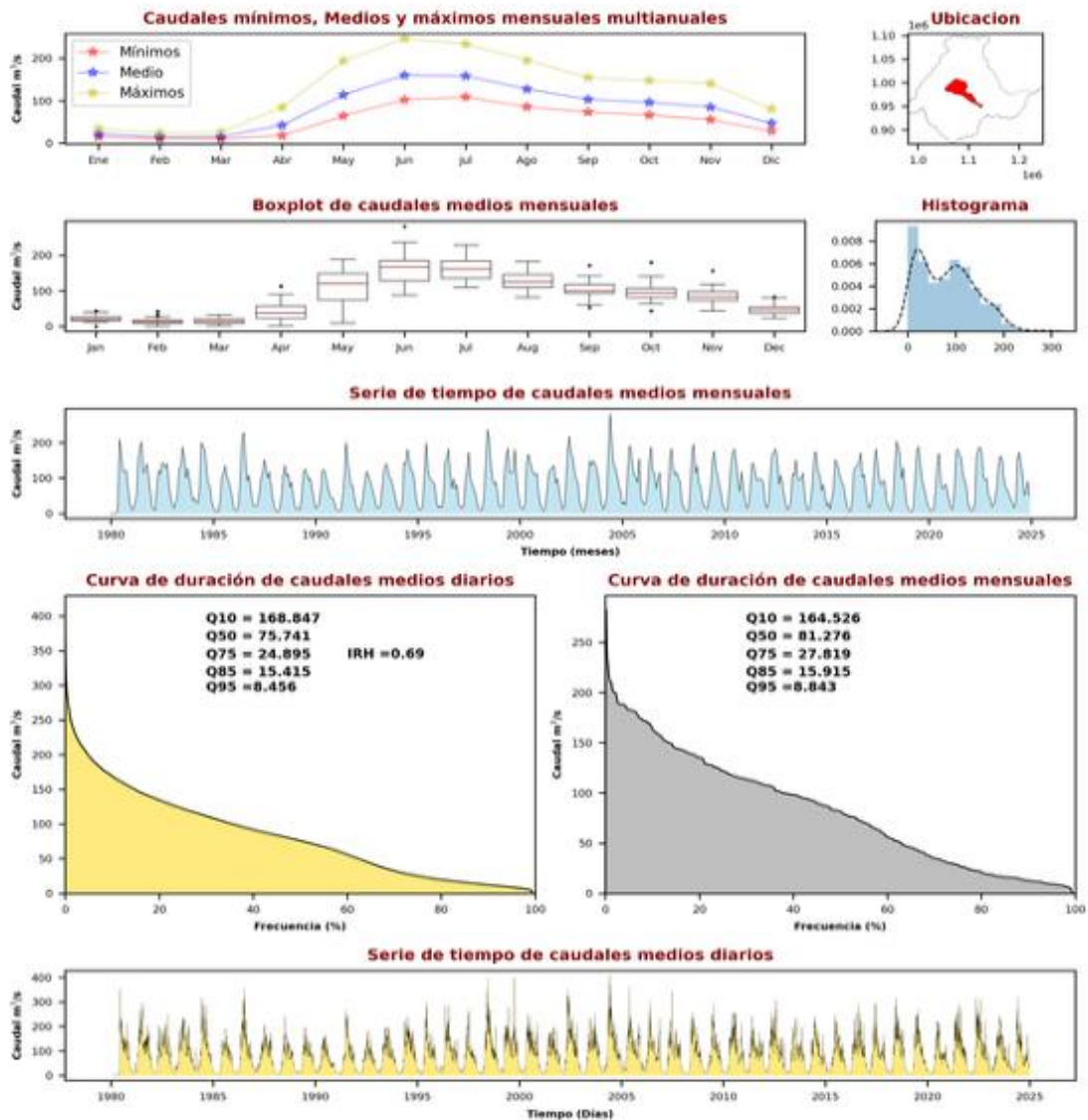


Figura 3.2.4-50 Resumen régimen hidrológico cuenca Bajo Río Humea [35050101]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Guayauriba (35110102) se presenta en la **Figura 3.2.4-51** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,15 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,6 que evidencia que la cuenca no tiene una alta capacidad de retención.

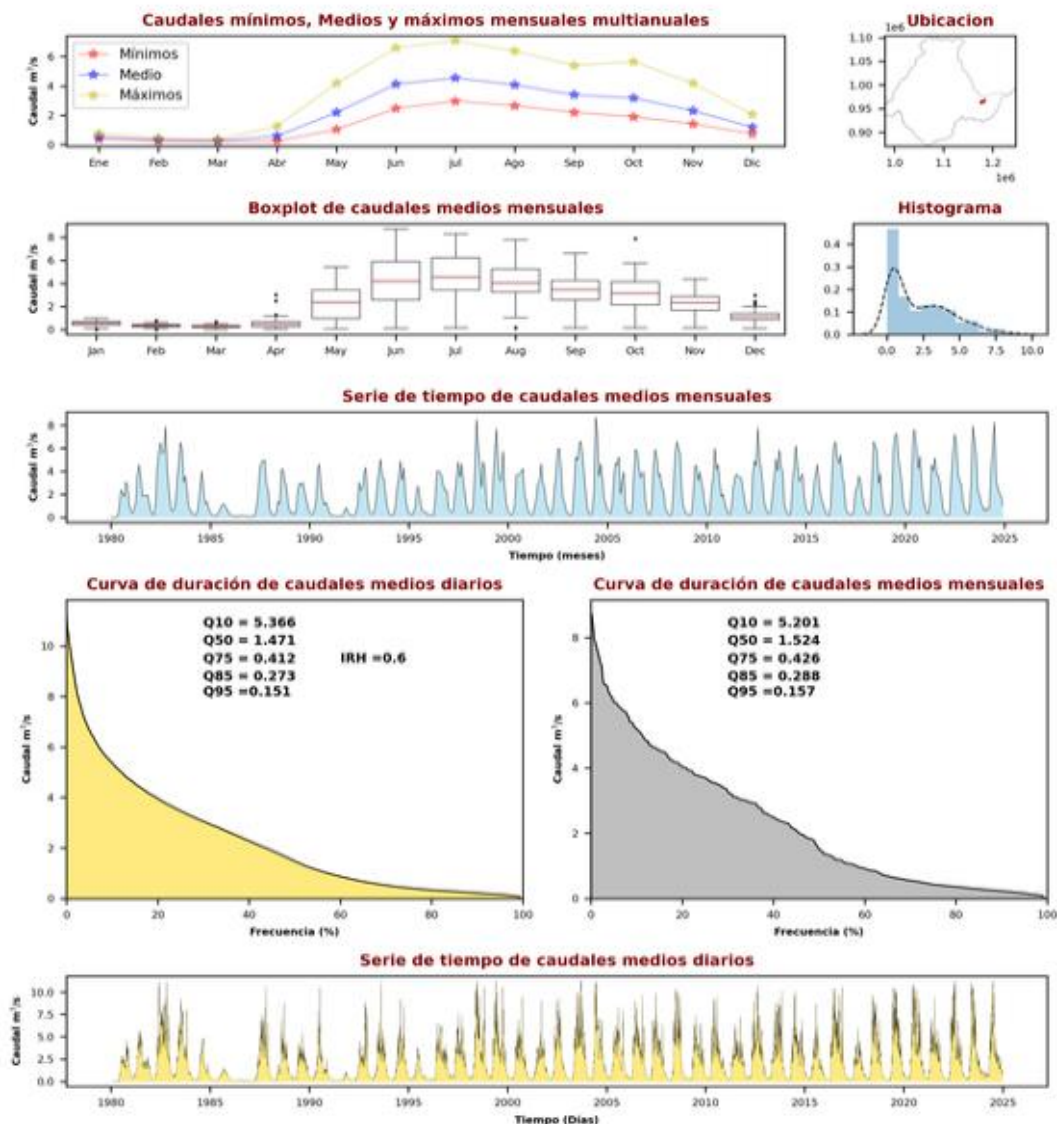


Figura 3.2.4-51 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Guayauriba [35110102]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Rio Meta (35110101) se presenta en la **Figura 3.2.4-52** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 171,18 m³/s, demostrando un índice de regulación hídrica de 0,69 que evidencia que la cuenca no tiene una alta capacidad de retención.

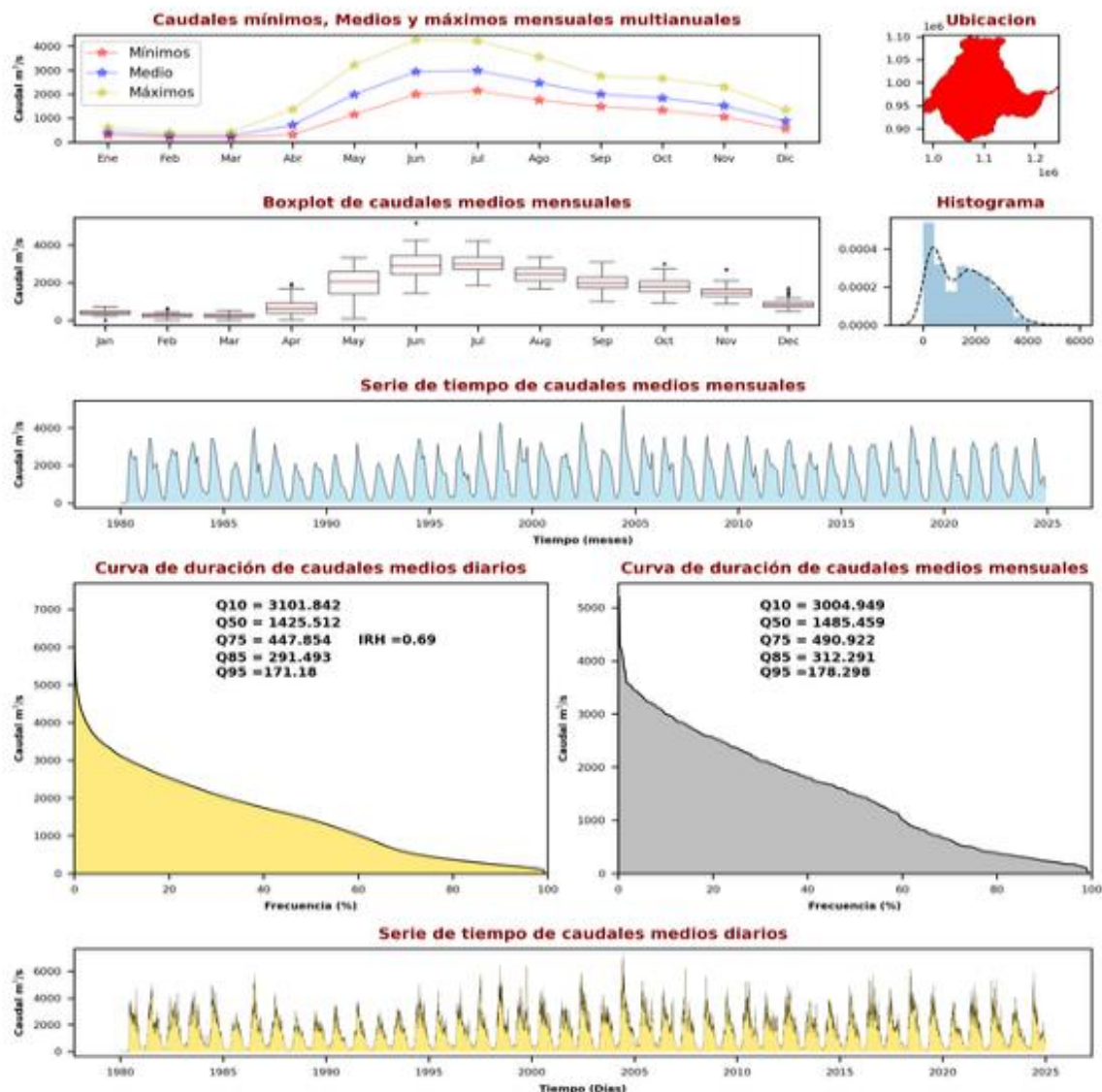


Figura 3.2.4-52 Resumen régimen hidrológico cuenca Rio Meta [35110101]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Rio Yucao (35120101) se presenta en la **Figura 3.2.4-53** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 7,56 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,65 que evidencia que la cuenca no tiene una alta capacidad de retención.

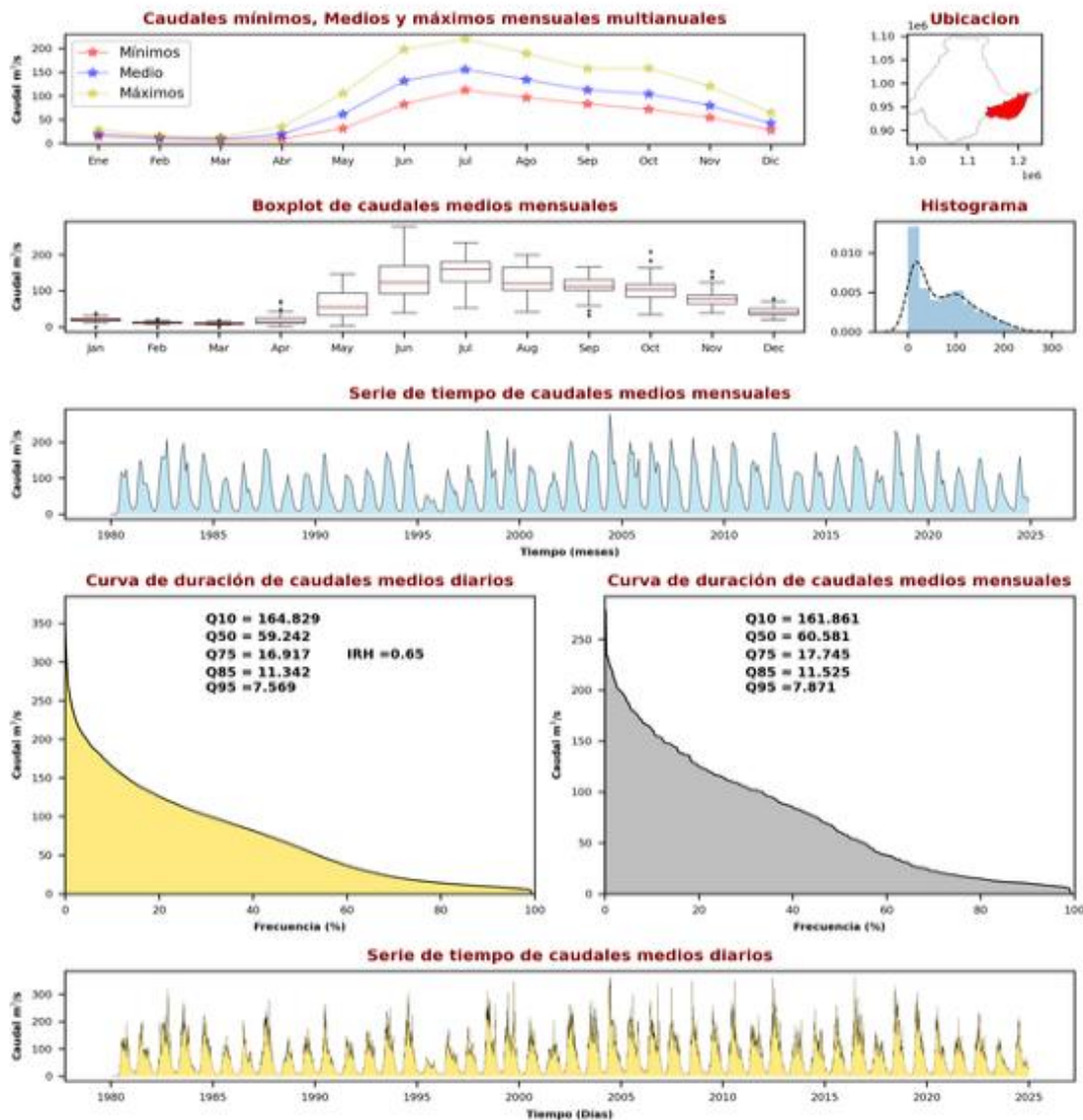


Figura 3.2.4-53 Resumen régimen hidrológico cuenca Rio Yucao [35120101]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Yarico (35270104) se presenta en la **Figura 3.2.4-54** donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,38 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,66 que evidencia que la cuenca no tiene una alta capacidad de retención.

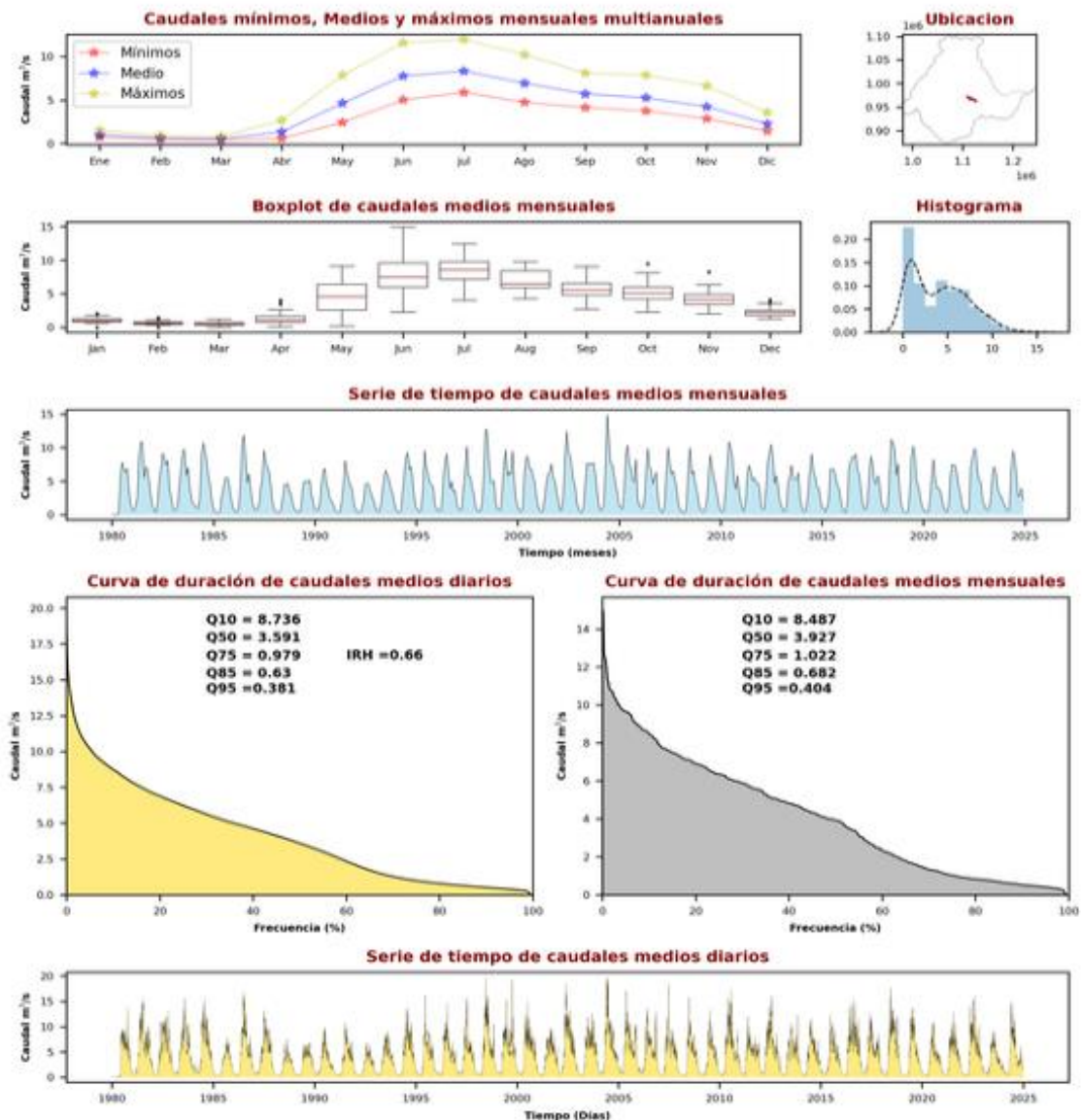


Figura 3.2.4-54 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Yarico [35270104]

Fuente: GessiG, 2025

La ficha resumen para la cuenca Caño Tigre (35030101) se presenta en **Figura 3.2.4-55** la donde se evidencia el comportamiento de los caudales, mínimos, medios y máximos mensuales, respecto a la curva de duración de caudales, teniendo como caudal mínimo probable el suministrado por Q95 de caudales diarios como 0,19 m³/s demostrando un índice de regulación hídrica de 0,66 que evidencia que la cuenca no tiene una alta capacidad de retención.

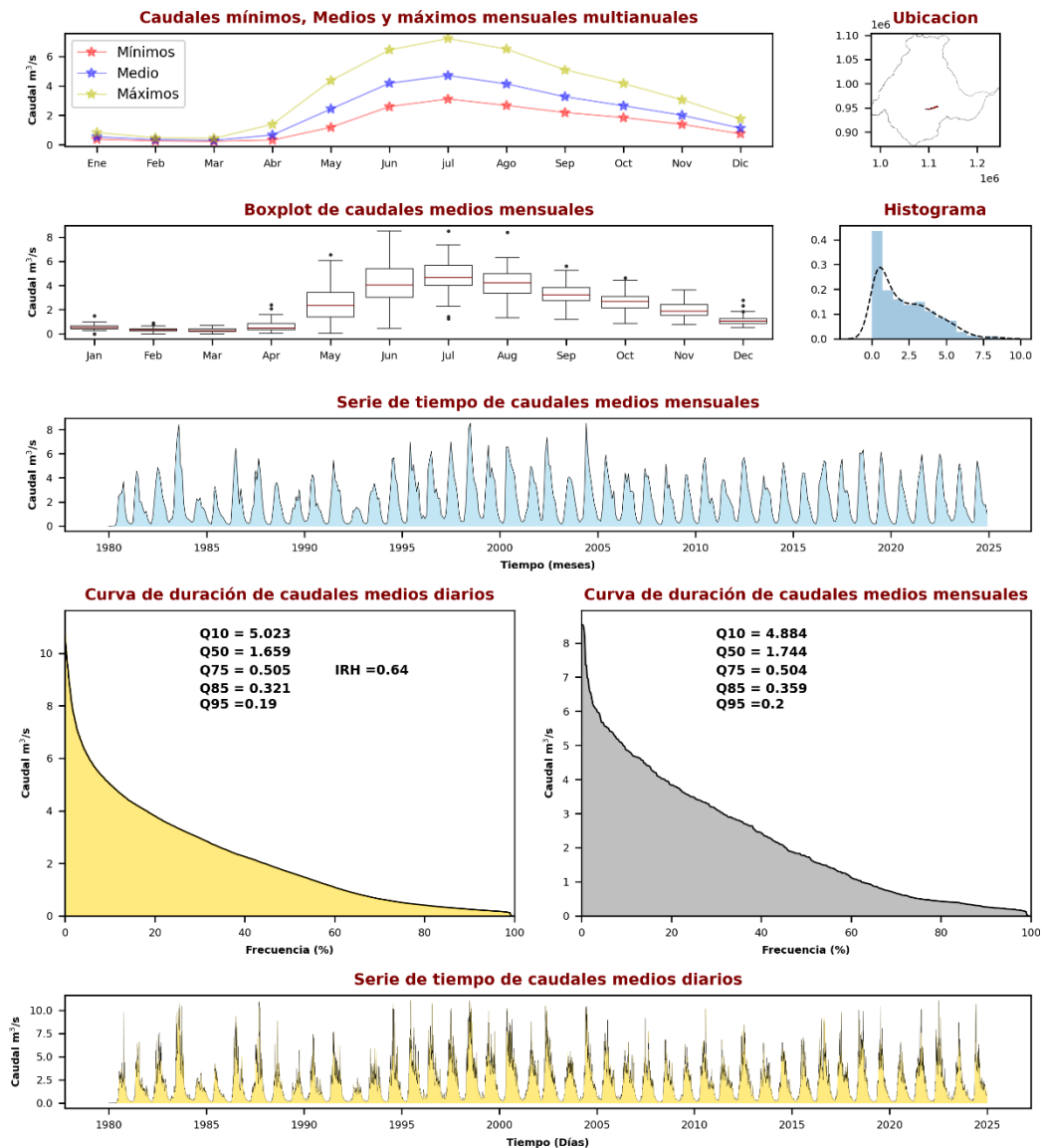


Figura 3.2.4-55 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Yarico [35270104]

Fuente: GessiG, 2025

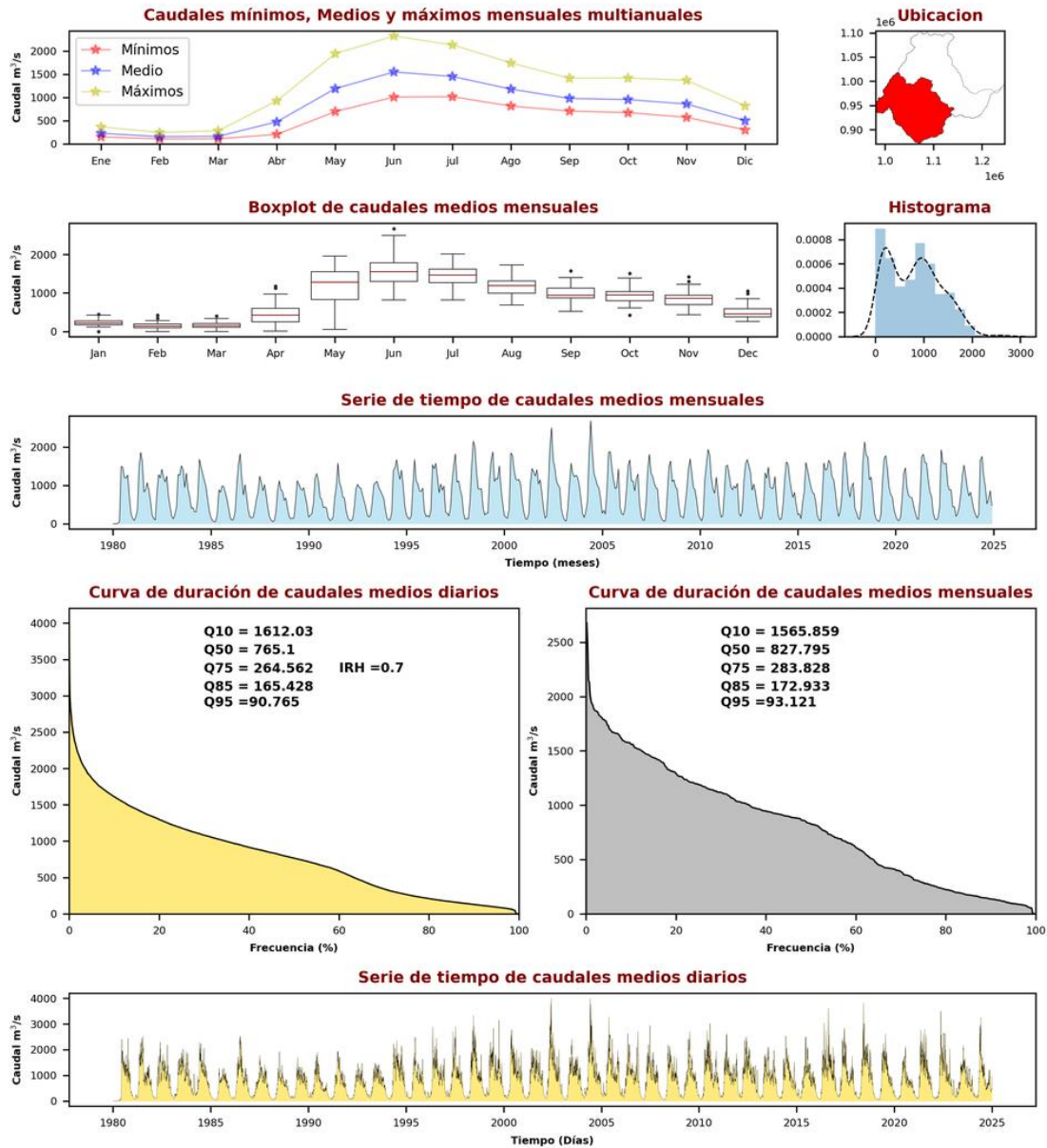


Figura 3.2.4-56 Resumen régimen hidrológico cuenca Caño Metica [35110117]

Fuente: GessiG, 2025

3.2.4.3.4 Periodos de Retorno

Por definición, un evento extremo ocurre si su magnitud supera o excede un cierto valor determinado. El intervalo de recurrencia τ de dicho evento es el tiempo entre ocurrencias del evento en cuestión²⁰. El periodo de retorno T de un evento es el promedio de los valores de τ sobre un número de ocurrencias lo suficientemente grande. De esta forma puede definirse el periodo de retorno de un evento hidrológico como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada. Puede relacionarse directamente el periodo de retorno con la probabilidad de ocurrencia del evento hidrológico. La probabilidad p de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso de su periodo de retorno.

$$p = \frac{1}{T}$$

La probabilidad de que el evento se produzca en cualquier año es el inverso del periodo de retorno asociado a dicho evento (i.e. si el evento hidrológico es que en un río se superen los 500 m³/s y este evento tiene un periodo de retorno de 10 años, la probabilidad de que en cualquier año 500 m³/s sean superados o excedidos es de 1/10 = 0,1).

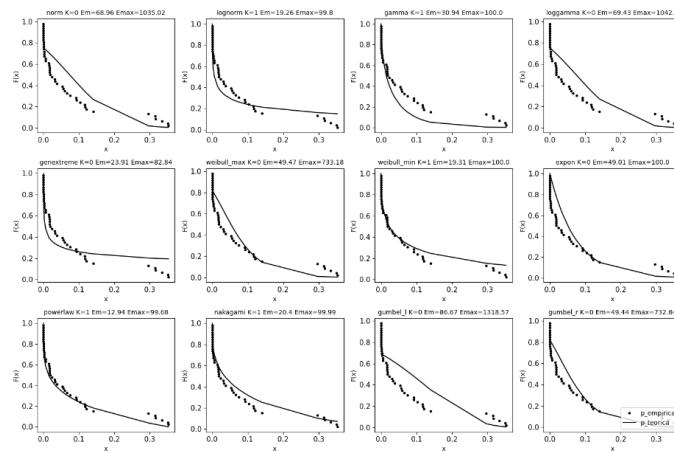




Figura 3.2.4-57 Funciones densidad de probabilidad cuenca 35270106 "Caño Macapay"

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

En este sentido, se realizó la estimación de las funciones de densidad de probabilidad para los caudales mínimos y máximos en cada uno de los meses del año. A manera de ejemplo, se presentan los ajustes de las doce funciones de densidad de probabilidad evaluadas para la estación Caño Macapay (35270106) en caudales máximos del mes de junio. Según se observa en la **Figura 3.2.4-57** de las funciones de densidad de probabilidad que mejor se ajustan son Genextreme, lognormal y loggamma.

²⁰ Chow, J., Watson, J., Fujita, E., Lu, Z., Lawson, D. Ashbaugh, L. (1994). Temporal and spatial variations of PM2.5 and PM10 aerosol in the Southern California air quality study. Journal Atmospheric Environment, 28(12) 2061-2080. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)90474-X](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)90474-X)

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Es importante aclarar que en los anexos de períodos de retorno se presentan en la ruta **AnxD-5_Hidrol/AnxD-5.4_Modelo Hidrológico/04_Periodos Retorno** donde se relacionan los resultados de 52 cuencas asociadas al complejo hídrico, información necesaria para obtener una visión integral y precisa del sistema. Sin embargo, en el presente documento se enfatiza el análisis de las 33 cuencas que conforman el AI.

A continuación, en la **Tabla 3.2.4-10**, se presentan los diferentes caudales asociados a periodos de retorno para eventos máximos. En este caso, la magnitud aumenta en función al periodo de retorno, y esto inverso a la probabilidad; en otras palabras, un periodo de retorno de 500 años tiene una probabilidad de ocurrencia menor, pero una magnitud considerable en relación a los valores normales de las series evaluadas, para las cuencas presentadas.

En la **Tabla 3.2.4-10** también se observa la comparación entre cuencas, la cual muestra diferencias claras asociadas a su tamaño y capacidad de drenaje. En las corrientes menores, como Caño El Paso, los caudales máximos permanecen por debajo de 5 m³/s incluso a 500 años de retorno, evidenciando sistemas estables y de bajo impacto hidrológico. En contraste, ríos mayores como el Upía y el Meta registran caudales superiores a 1.500 m³/s y 4.800 m³/s respectivamente para los mismos períodos, lo que sugiere su papel como reguladores de la dinámica hídrica regional, las cuencas pequeñas responden de manera localizada y controlada, mientras que las grandes cuencas concentran aportes significativos, sin que ello sea alarmante, sino coherente con su extensión y características morfométricas.

Tabla 3.2.4-10 Caudales máximos por mes para cada periodo de retorno en m³/s por cuenca

Nombre y código Cuenca	Periodo de retorno (años)									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
Caño El Paso 35110114	0,75	1,12	1,45	1,62	1,75	1,84	1,93	2,16	2,49	3,41
Caño Guio 35270103	1,27	1,72	1,99	2,13	2,24	2,31	2,38	2,54	2,76	3,26
Caño San Pablo 35110118	0.27	1.71	4.86	9.41	15.52	22.82	31.77	73.91	223.85	2212.81
Caño Banderas 35110115	1,06	1,83	2,41	2,75	3,02	3,22	3,41	3,92	4,70	7,08
Caño Ipapa 35110108	1,81	2,54	3,01	3,27	3,46	3,61	3,73	4,06	4,53	5,74
Caño El Aceite 35110107	2,48	3,50	4,14	4,50	4,76	4,95	5,12	5,55	6,15	7,59
Caño Navajitas 35110116	1,41	3,06	4,25	4,94	5,45	5,84	6,18	7,10	8,47	12,45
Caño Barbascos 35120104	2,43	3,28	3,80	4,08	4,27	4,42	4,54	4,86	5,29	6,23
Caño Navajas Sur 35110112	1,33	3,49	5,02	5,87	6,49	6,97	7,39	8,52	10,24	15,50
Caño El Totumal 35270107	2,88	3,93	4,57	4,92	5,17	5,35	5,51	5,92	6,50	7,95
Caño Venturosa 35110113	2,29	3,54	4,40	4,91	5,28	5,58	5,84	6,54	7,60	10,62



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Nombre y código Cuenca	Periodo de retorno (años)									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
Caño Cajon 35110105	2,93	3,98	4,63	4,98	5,24	5,43	5,60	6,03	6,64	8,14
Caño Piedra Candela 35110103	3,17	4,27	4,96	5,34	5,62	5,83	6,01	6,49	7,18	8,92
Caño Guayauriba 35110102	3,63	5,28	6,20	6,69	7,02	7,27	7,49	8,03	8,78	10,55
Caño La Victoria 35110104	4,004	5,34	6,17	6,62	6,94	7,19	7,41	7,97	8,76	10,82
Caño Yarico 35270104	5,91	7,86	9,03	9,66	10,09	10,42	10,69	11,40	12,34	14,48
Caño Santoya 35110109	5,81	8,19	9,71	10,55	11,15	11,62	12,02	13,09	14,63	18,83
Caño Yurimena 35110106	6,09	8,40	9,84	10,61	11,16	11,57	11,93	12,83	14,06	16,91
Caño Menegua 35110111	5,83	8,49	10,20	11,16	11,85	12,38	12,84	14,05	15,76	20,09
Caño Pirigua 35270101	8,045	11,75	14,21	15,60	16,61	17,38	18,05	19,83	22,38	29,06
Caño El Boral 35270105	10,66	14,16	16,28	17,42	18,22	18,82	19,33	20,65	22,44	26,62
Caño El Chocho 35100102	11,34	15,75	18,43	19,87	20,88	21,65	22,30	23,96	26,21	31,35
Caño Emma 35120103	19,87	26,94	31,27	33,58	35,21	36,42	37,45	40,05	43,53	51,22
Bajo Rio Negro 35100108	60,21	83,95	98,81	106,90	112,68	117,04	120,77	130,42	143,77	175,84
Rio Cabuyarito 35270102	59,51	80,87	93,75	100,60	105,43	109,04	112,10	119,90	130,43	154,38
Bajo Rio Humea 35050101	126,16	163,20	185,04	196,52	204,53	210,46	215,47	228,14	244,93	281,79
Rio Yucao 35120101	102,97	141,72	166,59	180,38	190,34	197,91	204,44	221,50	245,57	305,93
Rio Upía 35090101	691,30	881,33	995,17	1055,39	1097,62	1128,99	1155,54	1222,81	1312,42	1509,68
Rio Metica 35110117	1207,69	1586,49	1817,11	1940,82	2028,37	2093,86	2149,61	2292,25	2485,63	2927,33
Rio Meta 35110101	2207,53	2827,30	3191,42	3383,05	3517,20	3616,78	3701,02	3914,48	4199,03	4827,59
Caño Macapay 35270106	20,05	26,50	30,42	32,52	34,01	35,12	36,06	38,47	41,71	49,03
Caño La Lilbana 35110110	1,06	1,46	1,71	1,85	1,95	2,03	2,09	2,26	2,51	3,13
Caño El Tigre 35030101	3.37	4.65	5.41	5.81	6.10	6.32	6.50	6.98	7.65	9.33

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

En los períodos de retorno asociados a eventos mínimos, se evalúa la probabilidad de no excedencia, donde los caudales disminuyen progresivamente a medida que aumenta el período de retorno. Esto se refleja en que, mientras en horizontes cortos (2–5 años) los caudales

mantiene valores relativamente altos, en horizontes largos (100–500 años) tienden a aproximarse a cero en varias cuencas menores. Por ejemplo, corrientes pequeñas como Caño San Pablo, Caño Guayauriba alcanzan valores cercanos a 0 m³/s en retornos de 50 a 500 años, evidenciando alta vulnerabilidad a estiajes prolongados. En contraste, ríos principales como el Meta y el Upía mantienen caudales mínimos superiores a 500 m³/s y 80 m³/s respectivamente incluso a 500 años, lo cual nos sugiere así dos comportamientos: las cuencas menores presentan una marcada sensibilidad a la sequía, con descargas que desaparecen en eventos críticos, mientras que los grandes ríos, por su mayor área de captación y regulación natural, aseguran una oferta hídrica más estable aún bajo condiciones extremas. Los valores de caudales mínimos por mes para cada periodo de retorno por cuenca se presentan a continuación en la **Tabla 3.2.4-11**.

Tabla 3.2.4-11 Caudales mínimos por mes para cada periodo de retorno en m³/s por cuenca

Nombre y código Cuenca	Periodo de retorno (años)									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
Caño El Paso 35110114	0,31	0,20	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,003
Caño Guio 35270103	0,55	0,41	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,19	0,12
Caño San Pablo 35110118	0,14	0,016	0,001	0	0	0	0	0	0	0
Caño Banderas 35110115	0,44	0,25	0,17	0,14	0,11	0,10	0,082	0,057	0,019	0
Caño Ipapa 35110108	0,74	0,54	0,44	0,40	0,37	0,35	0,32	0,29	0,24	0,14
Caño El Aceite 35110107	1,02	0,74	0,61	0,55	0,51	0,48	0,44	0,40	0,33	0,19
Caño Navajitas 35110116	0,69	0,33	0,20	0,15	0,11	0,08	0,05	0,01	0	0
Caño Barbascos 35120104	1,14	0,85	0,72	0,66	0,61	0,58	0,54	0,49	0,42	0,27
Caño Navajas Sur 35110112	0,55	0,17	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03
Caño El Totumal 35270107	1,22	0,91	0,77	0,71	0,66	0,62	0,58	0,53	0,45	0,30
Caño Venturosa 35110113	0,97	0,62	0,47	0,40	0,35	0,32	0,28	0,23	0,15	0
Caño Cajon 35110105	1,30	0,96	0,80	0,73	0,67	0,63	0,59	0,53	0,44	0,26
Caño Piedra Candela 35110103	1,46	1,09	0,91	0,83	0,76	0,72	0,67	0,60	0,50	0,30
Caño Guayauriba 35110102	1,36	0,83	0,56	0,44	0,34	0,27	0,19	0,09	0	0
Caño La Victoria 35110104	1,82	1,36	1,13	1,03	0,94	0,89	0,83	0,74	0,61	0,35
Caño Yarico 35270104	2,64	2,00	1,69	1,55	1,44	1,37	1,28	1,17	1,00	0,65
Caño Santoya 35110109	2,36	1,72	1,41	1,28	1,17	1,11	1,02	0,92	0,75	0,43



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Nombre y código Cuenca	Periodo de retorno (años)									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
Caño Yurimena 35110106	2,64	1,94	1,59	1,45	1,32	1,25	1,15	1,03	0,84	0,45
Caño Menegua 35110111	2,33	1,62	1,29	1,15	1,04	0,97	0,88	0,77	0,60	0,28
Caño Pirigua 35270101	3,13	2,22	1,80	1,63	1,49	1,40	1,30	1,16	0,95	0,54
Caño El Boral 35270105	4,73	3,58	3,03	2,80	2,61	2,48	2,34	2,14	1,84	1,25
Caño El Chocho 35100102	4,73	3,32	2,63	2,33	2,07	1,91	1,72	1,46	1,06	0,26
Caño Emma 35120103	9,23	6,91	5,79	5,31	4,90	4,65	4,35	3,95	3,33	2,10
Bajo Rio Negro 35100108	25,29	18,56	15,22	13,76	12,51	11,73	10,77	9,50	7,50	3,47
Rio Cabuyarito 35270102	25,84	19,09	15,83	14,44	13,25	12,51	11,62	10,44	8,62	5,01
Bajo Rio Humea 35050101	51,61	40,10	34,72	32,47	30,58	29,41	28,01	26,20	23,44	18,17
Rio Yucao 35120101	48,46	35,40	29,16	26,52	24,25	22,86	21,16	18,94	15,50	8,73
Rio Upía 35090101	316,70	249,10	215,41	200,82	188,25	180,44	170,88	158,24	138,46	98,69
Rio Metica 35110117	519,27	406,04	351,22	327,83	307,83	295,48	280,46	260,76	230,30	170,62
Rio Meta 35110101	1023,47	801,58	691,81	644,55	603,96	578,79	548,08	507,63	444,62	319,27
Caño Macapay 35270106	8,75	6,65	5,65	5,23	4,86	4,64	4,37	4,02	3,47	2,40
Caño La Lilbana 35110110	0,44567	0,33018	0,27580	0,25284	0,23331	0,22129	0,206	0,188	0,158	0,1
Caño El Tigre 35030101	1.37	0.95	0.75	0.66	0.59	0.54	0.49	0.41	0.30	0.07

Fuente: Gessig S.A.S., 2025



3.2.4.3.5 Caudal Ambiental

A partir de las series de caudal medio diario, se realiza la estimación del caudal ambiental en cada una de las cuencas de análisis, de acuerdo con lo establecido para el componente hidrológico en la Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental 2013²¹. El cálculo inicia con la estimación del 7Q10 y el Q95%, tomando los años como años promedio.

Estrictamente hablando el cálculo del índice 7Q10, propuesto por Chiang y Johnson en 1976²², se realiza a partir de caudales medios mínimos diarios. Sin embargo, y considerando que estos

²¹ MinAmbiente, ANLA (2013). Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Bogotá

²² Chiang SL, Johnson FW (1976). Low flow criteria for diversions and impoundments. Journal Water - Asce. 102(2):227-238.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	



registros normalmente no se encuentran disponibles, se propone realizar su estimación a partir de los datos de caudales medios diarios. Para ello se debe considerar la totalidad del registro diario homogéneo, consistente y casi completo en la estación A, aplicar un promedio móvil de ventana 7 días (fácilmente aplicable usando las herramientas estadísticas de Excel) para estimar el caudal promedio semanal, y luego construir la serie anual de excedencias con los registros mínimos semanales de cada año. Seguidamente, realizar el análisis de frecuencias de eventos mínimos extremos para la serie anual antes construida, para la distribución de probabilidad de mejor ajuste (utilizando por ejemplo software libre de análisis de frecuencias como Distribuciones de Probabilidad Aplicadas a Hidrología DISPAH, FREQ, entre otros)²³ y seleccionar el caudal correspondiente al período de retorno de 10 años, que resulta ser el 7Q10.

En los anexos con ruta **AnxD-5.4_Modelo Hidrológico/ 05_Caudal Ambiental** se pueden encontrar los resultados de las 52 cuencas asociadas al complejo hídrico, información necesaria para obtener una visión integral y precisa del sistema. Sin embargo, en el presente documento se enfatiza el análisis de las 33 cuencas que conforman el AI físico-biótica del proyecto. Los resultados obtenidos para el análisis del 7Q10 en cada una de las cuencas de análisis se relacionan en la siguiente **Tabla 3.2.4-12**.

Tabla 3.2.4-12 Índice 7Q10 por cuenca

Código	Nombre	7Q10 (m³/s)
35110114	Caño El Paso	0,125
35270103	Caño Guio	0,127
35110118	Caño San Pablo	0,122
35110115	Caño Banderas	0,157
35110108	Caño Ipapa	0,177
35110107	Caño El Aceite	0,243
35110116	Caño Navajitas	0,223
35120104	Caño Barbascos	0,259
35110112	Caño Navajas Sur	0,237
35270107	Caño El Totumal	0,284
35110113	Caño Venturosa	0,307
35110105	Caño Cajon	0,292
35110103	Caño Piedra Candela	0,322
35110102	Caño Guayauriba	0,354
35110104	Caño La Victoria	0,404
35270104	Caño Yarico	0,606
35110109	Caño Santoya	0,555
35110106	Caño Yurimena	0,615
35110111	Caño Menegua	0,577
35270101	Caño Pirigua	0,763
35270105	Caño El Boral	1,089

²³ MinAmbiente, ANLA (2013). Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Bogotá

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Código	Nombre	7Q10 (m ³ /s)
35100102	Caño El Chocho	1,187
35120103	Caño Emma	2,080
35100108	Bajo Rio Negro	6,564
35270102	Rio Cabuyarito	5,893
35050101	Bajo Rio Humea	15,482
35120101	Rio Yucao	18,165
35090101	Rio Upía	87,504
35110117	Rio Metica	150,257
35110101	Rio Meta	265,840
35270106	Caño Macapay	2,058
35110110	Caño La Lilbana	0,105
35030101	Caño El Tigre	0.345

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Los resultados de la **Tabla 3.2.4-12** muestran el caudal 7Q10 que corresponde al caudal mínimo promedio de siete días consecutivos con un periodo de retorno de diez años, utilizado como indicador de las condiciones de sequía extrema en una fuente hídrica. Para la cuenca del caño San Pablo se obtuvo un valor de 7Q10 de 0,122 m³/s, lo que evidencia su alta susceptibilidad a descensos críticos de caudal en épocas secas. En contraste, la cuenca del río Meta presenta un 7Q10 de 265,840 m³/s, reflejando la capacidad de este sistema de gran escala para mantener caudales mínimos elevados incluso bajo escenarios de sequía. Esta diferencia resalta la heterogeneidad en la disponibilidad hídrica entre cuencas menores y mayores dentro de la región.

El cálculo del Q95% se lleva a cabo mediante el método NGPRP que realiza el cálculo del índice Q95% a partir de la construcción de las curvas de duración de caudales (CDC) medios diarios (para meses de enero a diciembre) y para la condición hidrológica promedio. Con base en las CDC se estima el Q95 y se obtienen los resultados que se muestran en la **Tabla 3.2.4-13**.

Tabla 3.2.4-13 Q95% mensual multianual (m³/s)

Cuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caño El Paso 35110114	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,17	0,36	0,36	0,34	0,25	0,18	0,11
Caño Guio 35270103	0,11	0,08	0,06	0,05	0,10	0,44	0,84	0,86	0,70	0,57	0,48	0,24
Caño San Pablo 35110118	0,0016	0,0016	0,0015	0,0016	0,0017	0,0017	0,0018	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0016
Caño Banderas 35110115	0,07	0,05	0,05	0,05	0,07	0,16	0,30	0,36	0,38	0,27	0,18	0,13
Caño Ipapa 35110108	0,15	0,11	0,08	0,07	0,13	0,41	0,98	1,13	0,88	0,72	0,60	0,31
Caño El Aceite 35110107	0,21	0,15	0,12	0,10	0,17	0,51	1,33	1,56	1,23	1,01	0,84	0,43
Caño Navajitas 35110116	0,11	0,08	0,07	0,06	0,08	0,13	0,21	0,23	0,26	0,32	0,26	0,17
Caño Barbascos 35120104	0,24	0,16	0,12	0,11	0,22	1,02	1,78	1,70	1,40	1,24	1,02	0,49





**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**

Cuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caño Navajas Sur 35110112	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,08	0,10	0,10	0,11	0,09
Caño El Totumal 35270107	0,25	0,17	0,13	0,12	0,26	1,25	2,07	1,89	1,54	1,19	1,02	0,50
Caño Venturosa 35110113	0,17	0,13	0,11	0,11	0,16	0,48	0,81	0,96	0,98	0,75	0,60	0,33
Caño Cajon 35110105	0,27	0,18	0,14	0,12	0,22	0,77	1,72	2,02	1,65	1,37	1,12	0,55
Caño Piedra Candela 35110103	0,30	0,21	0,16	0,14	0,25	0,99	2,03	2,26	1,82	1,58	1,28	0,62
Caño Guayauriba 35110102	0,18	0,15	0,12	0,11	0,11	0,24	0,64	0,85	0,61	0,52	0,64	0,36
Caño La Victoria 35110104	0,37	0,26	0,19	0,17	0,32	1,28	2,50	2,80	2,29	1,97	1,59	0,77
Caño Yarico 35270104	0,52	0,35	0,26	0,24	0,56	2,84	4,36	4,05	3,35	2,86	2,35	1,12
Caño Santoya 35110109	0,48	0,34	0,27	0,23	0,48	1,94	3,53	3,42	2,90	2,09	1,76	0,93
Caño Yurimena 35110106	0,54	0,37	0,29	0,25	0,46	1,56	3,47	4,04	3,18	2,69	2,23	1,11
Caño Menegua 35110111	0,43	0,32	0,26	0,25	0,46	1,46	3,30	3,19	2,46	1,91	1,53	0,83
Caño Pirigua 35270101	0,62	0,44	0,35	0,31	0,44	1,41	4,00	4,60	3,77	3,04	2,52	1,28
Caño El Boral 35270105	0,94	0,64	0,47	0,42	0,98	5,01	7,80	7,31	6,06	5,07	4,20	2,01
Caño El Chocho 35100102	0,92	0,62	0,47	0,45	0,82	2,96	6,48	5,65	5,31	4,52	3,63	1,87
Caño Emma 35120103	1,91	1,33	1,00	0,89	1,77	7,68	14,20	13,87	11,23	9,81	8,04	3,92
Bajo Rio Negro 35100108	5,16	3,44	2,63	2,28	5,18	26,03	36,87	33,68	29,59	25,84	21,60	10,83
Rio Cabuyarito 35270102	4,98	3,43	2,53	2,32	4,57	22,06	39,38	38,77	32,09	27,05	22,01	10,64
Bajo Rio Humea 35050101	9,88	6,63	4,72	5,73	25,13	82,82	93,41	76,08	60,07	55,83	46,64	22,23
Rio Yucao 35120101	10,24	7,41	5,60	5,23	10,03	37,34	67,59	69,43	52,16	45,96	40,93	20,84
Rio Upía 35090101	65,57	46,17	39,13	48,17	148,75	465,15	606,47	503,25	387,89	319,65	258,51	133,72
Rio Metica 35110117	106,26	69,72	52,79	63,79	262,17	782,64	872,72	721,23	624,98	562,56	491,63	233,21
Rio Meta 35110101	203,56	140,27	103,66	112,15	375,24	1457,06	1837,67	1536,57	1267,82	1108,00	926,77	442,93
Caño Macapay 35270106	1,68	1,15	0,82	0,78	2,00	10,51	15,22	13,37	11,04	9,74	7,92	3,75
Caño La Lilbana 35110110	0,09	0,06	0,05	0,04	0,09	0,40	0,70	0,66	0,54	0,42	0,36	0,18
Caño El Tigre 35030101	0,26	0,18	0,13	0,13	0,24	0,84	1,82	1,61	1,49	1,25	1,03	0,54

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

El análisis de los caudales Q95% mensual multianual evidencia una marcada estacionalidad en la región, con valores mínimos entre enero y abril, correspondientes a la época seca, y aumentos significativos entre julio y septiembre, asociados a la temporada de lluvias. En las cuencas menores, como los caños San Pablo, El Paso o Guavauriba, los caudales Q95% se mantienen por debajo de 0,1–0,5 m³/s en los meses críticos, reflejando su alta vulnerabilidad frente a periodos de estiaje. En contraste, los grandes ríos como el Meta, Upía y Yucao mantienen caudales Q95% elevados durante todo el año, alcanzando valores superiores a 1800 m³/s en el caso del Meta.

A partir de los resultados del cálculo del 7Q10 y del Q95% se toman como caudales mensuales ambientales como el valor máximo entre el 7Q10 y el Q95% (máximo (7Q10, Q95%)) para el correspondiente mes. En la **Tabla 3.2.4-14** se presentan los caudales ambientales para la condición hidrológica promedio en todas las cuencas de análisis.

Tabla 3.2.4-14 Caudales ambientales por cuenca (m³/s)

Cuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caño El Paso 35110114	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,17	0,36	0,36	0,34	0,25	0,18	0,13
Caño Guio 35270103	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,44	0,84	0,86	0,70	0,57	0,48	0,24
Caño San Pablo 35110118	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Caño Banderas 35110115	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,30	0,36	0,38	0,27	0,18	0,16
Caño Ipapa 35110108	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,41	0,98	1,13	0,88	0,72	0,60	0,31
Caño El Aceite 35110107	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,51	1,33	1,56	1,23	1,01	0,84	0,43
Caño Navajitas 35110116	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,26	0,32	0,26	0,22
Caño Barbascos 35120104	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	1,02	1,78	1,70	1,40	1,24	1,02	0,49
Caño Navajas Sur 35110112	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Caño El Totumal 35270107	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	1,25	2,07	1,89	1,54	1,19	1,02	0,50
Caño Venturosa 35110113	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,48	0,81	0,96	0,98	0,75	0,60	0,33
Caño Cajon 35110105	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,77	1,72	2,02	1,65	1,37	1,12	0,55
Caño Piedra Candela 35110103	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,99	2,03	2,26	1,82	1,58	1,28	0,62
Caño Guayauriba 35110102	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,64	0,85	0,61	0,52	0,64	0,36
Caño La Victoria 35110104	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	1,28	2,50	2,80	2,29	1,97	1,59	0,77
Caño Yarico 35270104	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	2,84	4,36	4,05	3,35	2,86	2,35	1,12



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA
MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE
EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA
AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5**



**CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO**



Cuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caño Santoya 35110109	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	1,94	3,53	3,42	2,90	2,09	1,76	0,93
Caño Yurimena 35110106	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	1,56	3,47	4,04	3,18	2,69	2,23	1,11
Caño Menegua 35110111	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	1,46	3,30	3,19	2,46	1,91	1,53	0,83
Caño Pirigua 35270101	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	1,41	4,00	4,60	3,77	3,04	2,52	1,28
Caño El Boral 35270105	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	5,01	7,80	7,31	6,06	5,07	4,20	2,01
Caño El Chocho 35100102	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	2,96	6,48	5,65	5,31	4,52	3,63	1,87
Caño Emma 35120103	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	7,68	14,20	13,87	11,23	9,81	8,04	3,92
Bajo Rio Negro 35100108	6,56	6,56	6,56	6,56	6,56	26,03	36,87	33,68	29,59	25,84	21,60	10,83
Rio Cabuyarito 35270102	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	22,06	39,38	38,77	32,09	27,05	22,01	10,64
Bajo Rio Humea 35050101	15,48	15,48	15,48	15,48	25,13	82,82	93,41	76,08	60,07	55,83	46,64	22,23
Rio Yucao 35120101	18,17	18,17	18,17	18,17	18,17	37,34	67,59	69,43	52,16	45,96	40,93	20,84
Rio Upía 35090101	87,50	87,50	87,50	87,50	148,75	465,15	606,47	503,25	387,89	319,65	258,51	133,72
Rio Metica 35110117	150,26	150,26	150,26	150,26	262,17	782,64	872,72	721,23	624,98	562,56	491,63	233,21
Rio Meta 35110101	265,84	265,84	265,84	265,84	375,24	1457,06	1837,67	1536,57	1267,82	1108,00	926,77	442,93
Caño Macapay 35270106	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	10,51	15,22	13,37	11,04	9,74	7,92	3,75
Caño La Lilbana 35110110	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,40	0,70	0,66	0,54	0,42	0,36	0,18
Caño El Tigre 35030101	0.346	0.346	0.346	0.346	0.346	0.840	1.816	1.613	1.488	1.250	1.032	0.535

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Complementariamente, se genera la estimación del caudal ambiental mediante la metodología propuesta por el IDEAM la cual toma como insumos la curva de duración de caudales y el índice de regulación hídrica.

El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), desarrollado por el IDEAM en Colombia, evalúa la capacidad de las cuencas para retener y regular el agua, utilizando la forma de la curva de duración de caudales medios diarios (CDC) para identificar zonas con escurrimientos más estables y la ocurrencia de caudales extremos este índice está relacionado en la **Tabla 3.2.4-15** .



En la estimación del caudal ambiental, el IRH se emplea para determinar el percentil de caudal que debe considerarse. Cuando el IRH es bajo, indicando una menor capacidad de regulación hídrica, se recomienda utilizar el Q85 (caudal que es igualado o excedido el 85% del tiempo) como

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

referencia para el caudal ambiental. Por el contrario, si el IRH es alto, reflejando una mayor capacidad de regulación, se sugiere emplear el Q75 (caudal igualado o excedido el 75% del tiempo). Esta metodología permite ajustar el caudal ambiental a las características específicas de regulación hídrica de cada cuenca, asegurando la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y la provisión de servicios ecosistémicos.

Tabla 3.2.4-15 Caudales ambientales por cuenca (m³/s) Método IRH

Nombre y Código cuenca	Q75 (m ³ /s)
Caño El Paso 35110114	0,11
Caño Guio 35270103	0,20
Caño San Pablo 35110118	0,01
Caño Banderas 35110115	0,16
Caño Ipapa 35110108	0,27
Caño El Aceite 35110107	0,37
Caño Navajitas 35110116	0,22
Caño Barbascos 35120104	0,41
Caño Navajas Sur 35110112	0,16
Caño El Totumal 35270107	0,45
Caño Venturosa 35110113	0,35
Caño Cajon 35110105	0,45
Caño Piedra Candela 35110103	0,51
Caño Guayauriba 35110102	0,41
Caño La Victoria 35110104	0,64
Caño Yarico 35270104	0,98
Caño Santoya 35110109	0,86
Caño Yurimena 35110106	0,94
Caño Menegua 35110111	0,86
Caño Pirigua 35270101	1,11

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Nombre y Código cuenca	Q75 (m ³ /s)
Caño El Boral 35270105	1,75
Caño El Chocho 35100102	1,77
Caño Emma 35120103	3,27
Bajo Rio Negro 35100108	10,35
Rio Cabuyarito 35270102	9,50
Bajo Rio Humea 35050101	24,89
Rio Yucao 35120101	16,92
Rio Upía 35090101	142,89
Rio Metica 35110117	165,43
Rio Meta 35110101	447,85
Caño Macapay 35270106	3,38
Caño La Lilbana 35110110	0,16
Caño El Tigre 35030101	0,50

Fuente: Gessig S.A.S., 2025



Sin embargo, al observar los resultados, para el cálculo posterior de la oferta hídrica neta, se toma como referencia los caudales ambientales presentados por el método 7Q10 ya que permiten observar una variabilidad mensual y en su base conceptual comprenden diferentes elementos propios del sistema hídrico.

La **Tabla 3.2.4-15** evidencia una amplia variabilidad en los caudales ambientales estimados bajo el Q75. Los valores más bajos corresponden a caños como San Pablo (0,01 m³/s) y El Paso (0,11 m³/s), mientras que los más altos se registran en ríos principales como el Meta (447,85 m³/s) y el Upía (142,89 m³/s). En general, los caños de menor orden presentan caudales por debajo de 1 m³/s, mientras que los ríos de mayor jerarquía superan ampliamente este rango, reflejando diferencias asociadas al tamaño y características de cada cuenca.

3.2.4.3.6 Oferta Hídrica disponible

Los anexos de este capítulo se encuentran en la ruta **AnxD-5_Hidrol/AnxD-5.4_Modelo Hidrológico/06_Oferta**.



La Oferta Hídrica Disponible (OHTD) es el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

de los ecosistemas y de los sistemas fluviales, y en alguna medida un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas (caudal ambiental); es un valor que cobra importancia en la estimación del Índice de Uso de Agua, se asume como los valores medios anuales generados de los resultados del modelo hidrológico. A continuación, se presenta la oferta hídrica total en m³/año para las diferentes unidades hidrográficas en estudio en la **Tabla 3.2.4-16**.

Tabla 3.2.4-16 Oferta hídrica disponible

Cuenca	Oferta total m ³ /año	Q ambiental m ³ /año	Oferta neta (m ³ /año)
Caño El Paso 35110114	16.428.530,89	6.312.242,24	10.116.288,65
Caño Guio 35270103	27.250.122,12	12.527.315,33	14.722.806,79
Caño San Pablo 35110118	16.689.907,36	3.843.205,46	12.846.701,90
Caño Banderas 35110115	24.833.754,83	6.811.317,26	18.022.437,57
Caño Ipapa 35110108	37.828.969,12	15.544.052,80	22.284.916,32
Caño El Aceite 35110107	52.080.018,65	21.321.090,89	30.758.927,75
Caño Navajitas 35110116	37.730.776,29	7.502.138,24	30.228.638,05
Caño Barbascos 35120104	54.339.612,58	26.135.335,52	28.204.277,06
Caño Navajas Sur 35110112	37.035.360,55	7.480.373,16	29.554.987,40
Caño El Totumal 35270107	61.139.339,77	28.618.431,55	32.520.908,23
Caño Venturosa 35110113	50.677.321,83	16.920.055,69	33.757.266,14
Caño Cajon 35110105	63.261.180,15	28.000.202,36	35.260.977,80
Caño Piedra Candela 35110103	70.002.307,51	32.070.820,77	37.931.486,74
Caño Guayauriba 35110102	70.282.594,02	15.087.231,47	55.195.362,55
Caño La Victoria 35110104	87.300.851,42	39.988.355,07	47.312.496,35
Caño Yarico 35270104	127.714.688,63	62.976.517,45	64.738.171,19
Caño Santoya 35110109	121.244.350,72	50.871.145,16	70.373.205,56
Caño Yurimena 35110106	130.364.374,23	56.127.899,39	74.236.474,84
Caño Menegua 35110111	121.082.869,64	46.184.653,13	74.898.216,51
Caño Pirigua 35270101	166.573.442,67	64.227.576,62	102.345.866,05
Caño El Boral 35270105	229.793.627,06	112.763.698,46	117.029.928,60

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

Cuenca	Oferta total m ³ /año	Q ambiental m ³ /año	Oferta neta (m ³ /año)
Caño El Chocho 35100102	236.887.825,66	95.528.382,58	141.359.443,08
Caño Emma 35120103	441.359.086,88	208.057.490,46	233.301.596,42
Bajo Rio Negro 35100108	1.261.464.720,07	570.918.107,21	690.546.612,86
Rio Cabuyarito 35270102	1.269.773.918,39	582.027.435,55	687.746.482,84
Bajo Rio Humea 35050101	2.588.838.742,60	1.377.456.299,41	1.211.382.443,19
Rio Yucao 35120101	2.311.588.241,91	1.117.111.280,87	1.194.476.961,05
Rio Upía 35090101	14.928.393.266,38	8.339.673.213,26	6.588.720.053,12
Rio Metica 35110117	25.456.268.341,57	13.539.906.650,92	11.916.361.690,65
Rio Meta 35110101	47.926.944.487,02	26.320.495.219,73	21.606.449.267,29
Caño Macapay 35270106	428.717.528,33	215.063.255,59	213.654.272,74
Caño La Lilbana 35110110	22.424.290,95	9.936.147,11	12.488.143,85
35030101 Caño El Tigre	69.243.517,25	27.078.083,01	42.165.434,24

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

3.2.4.3.7 Variabilidad climática - Teleconexiones hidrología



De acuerdo con Pabón²⁴, la Variabilidad Climática se define como las fluctuaciones del clima durante períodos de tiempo tales como meses, años o decenios, de manera que es natural registrar valores por encima o por debajo de la normal climatológica o valor normal (promedio de 30 años). Esta diferencia es perturbada cuando cada una de esas fluctuaciones en sus respectivas escalas de tiempo, (intraestacional, interanual, interdecadal y secular), interactúan entre sí de manera que intensifican o debilitan los parámetros meteorológicos.

Para Colombia, la variabilidad climática está condicionada por procesos geofísicos desde la escala horaria hasta la escala interanual, entre ellos el ciclo diurno de temperaturas, las ondas tropicales del este, el ciclo semianual debido al paso de la ZCIT, El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), y la Oscilación Inter Decadal del Pacífico²⁵.

Con el fin de establecer la afectación de fenómenos regionales como el Niño sobre el régimen climático de la cuenca, se determinó el grado de asociación lineal entre los distintos índices que monitorean las oscilaciones en el clima a nivel global y regional (NOAA), con series de precipitación, temperatura y humedad relativa.

²⁴ Pabón C, J. D. (2011). El Cambio Climático en el Territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

²⁵ Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. rev. Acad. Colomb. Cienc., 201-222.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5	
	CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	

La identificación de la variabilidad climática y los fenómenos macroclimáticos se abordó desde un análisis de teleconexiones, el cual consiste en una serie de correlaciones cruzadas entre las series de precipitación y las de temperatura media, a resolución mensual, contra los índices océano-atmosféricos.

Para el desarrollo de las teleconexiones se aplicaron las metodologías que se observan en la **Tabla 3.2.4-17**, en donde se describen.

Tabla 3.2.4-17 Índices Océano Atmosféricos

Metodología	Abreviación	Descripción
Índice Multivariado del ENOS	MEI	Variabilidad interanual del ENSO sobre el Pacífico Tropical
Índice de la Oscilación del Sur	SOI	Variabilidad interanual de la posición geográfica e intensidad de los centros de baja y alta presión sobre el Pacífico Sur Ecuatorial (ENSO).
Índice del Atlántico Norte/Sur Tropical	TNA	Variabilidad de la TSM en la parte tropical del Atlántico Norte/Sur
	TSA	
Índice de la Oscilación del Norte	ONI	Eventos climáticos tropicales (ENSO) y extratropicales sobre el Pacífico Norte
Índices del ENSO	NINO1+2	Efectos de la variabilidad interanual del ENSO sobre la TSM en distintas regiones del Pacífico Tropical.
	NINO3	
	NINO4	
	NINO3.4	

Fuente: NOAA

Para el análisis de resultados es importante aclarar que, en los gráficos de teleconexiones (**Figura 3.2.4-58**), los números al interior de las celdas muestran las relaciones significativas, de acuerdo con diferentes autores, una correlación significativa aquella mayor a 0.7, siendo rojo las correlaciones inversas y la azul las directas. El eje de las abscisas contiene los índices océano-atmosféricos y el de las ordenadas presenta los rezagos temporales.

➤ *Caudales*

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el análisis se llevó a cabo en las 33 cuencas definidas dentro del área de influencia físico-biótica del Bloque CPO-5, como se presenta en la ruta de anexo **AnxD-5_Hidrol/AnxD-5.4_Modelo Hidrológico**. No obstante, en este documento se presentará únicamente la gráfica de una cuenca con fines explicativos, con el propósito de mantener el texto más ordenado y evitar la inclusión excesiva de imágenes

En la **Figura 3.2.4-58** se muestran los resultados correspondientes a los caudales medios de la cuenca Bajo Río Humea (35050101); dado que, esta estación destaca como aquella con mayores correlaciones directas en el fenómeno NIÑO1+2. Las correlaciones directas (positivas) alcanzan un valor máximo de 0,69 con rezagos de -7 a -2 meses, lo que sugiere que los eventos de El Niño afectan anticipadamente los caudales del río. Por otro lado, las correlaciones inversas (negativas) tienen un valor mínimo de -0,19 en rezagos de -1 a +4 meses, lo que sugiere una respuesta débil pero persistente y ligeramente retardada a los eventos de La Niña, con efectos que pueden

comenzar un mes antes y extenderse hasta cuatro meses después del evento. Las celdas rojas representan las correlaciones inversas, mientras que las celdas azules reflejan las correlaciones directas, diferenciándose por su intensidad y rezago temporal. Este análisis permite entender la sensibilidad del régimen hídrico de la cuenca a los eventos de ENSO, siendo crucial para la gestión y modelación de recursos hídricos en contextos climáticos extremos.

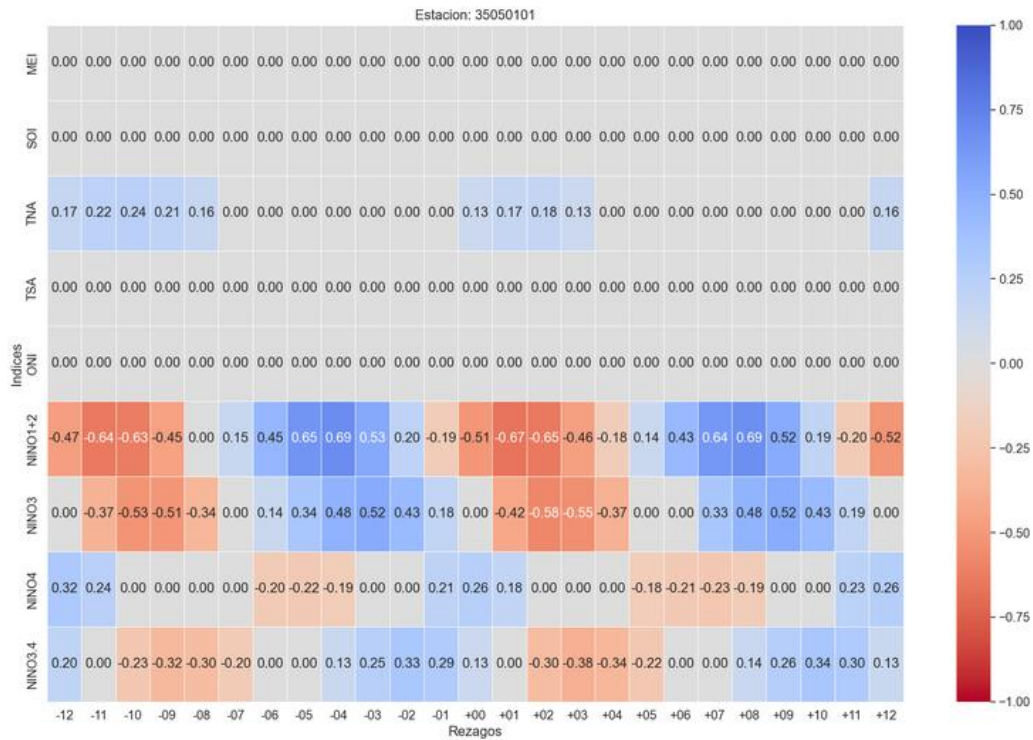


Figura 3.2.4-58 Resultado para teleconexiones cuenca Bajo Rio Humea [3505101]

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

Los resultados para el ENSO se aprecian en la **Figura 3.2.4-59**, se muestra una gran influencia de eventos Niño principalmente en el año 2020. Por otro lado, los eventos Niña se ven más acentuados en el año 2010 a 2015, aun así, los eventos Niña se ven con mayor frecuencia e intensidad.

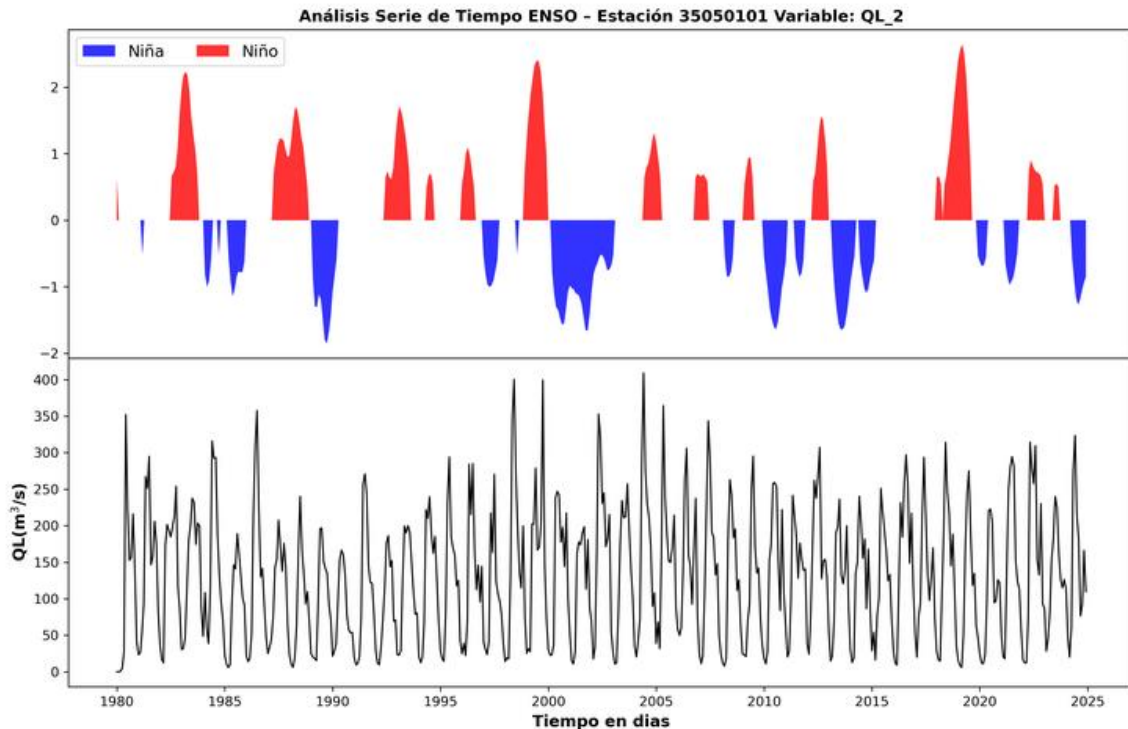




Figura 3.2.4-59 Resultados ENSO caudal medio cuenca 35050101 "Río Humea"

Fuente: Gessig S.A.S., 2025

La segunda gráfica presenta la serie temporal del índice ENSO y su comparación con los caudales medios observados en el Río Humea. La parte superior muestra las fases del ENSO, donde los valores positivos (en rojo) representan eventos de El Niño y los valores negativos (en azul) corresponden a eventos de La Niña. La parte inferior ilustra la variabilidad de los caudales del río, destacando patrones cíclicos que coinciden con las fluctuaciones del ENSO. Durante los eventos de El Niño, es evidente un impacto significativo en los caudales, reflejado en los valores más altos o extremos, mientras que La Niña está asociada a caudales más bajos y persistentes. Este análisis conjunto permite identificar patrones de influencia climática sobre el régimen hídrico del Río Humea, ayudando a prever impactos futuros y ajustar estrategias de manejo hídrico ante eventos extremos.

Este análisis es fundamental para comprender la influencia del fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) sobre el régimen hidrológico en la zona y sus implicaciones en la gestión de los recursos hídricos. Al identificar correlaciones significativas entre los índices océano-atmosféricos y los caudales, este estudio permite establecer patrones temporales que explican cómo eventos como El Niño y La Niña afectan los flujos de agua, tanto de forma anticipada como retardada. Esto es particularmente importante para la planificación hidrológica, ya que facilita la predicción de escenarios extremos, como sequías o inundaciones, mejorando la capacidad de respuesta ante estos eventos. Además, la relación entre los rezagos temporales y los caudales contribuye al

	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DE LA FASE EXPLORATORIA, A TRAVÉS DE LA OBTENCIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DE DESARROLLO PARA EL BLOQUE CPO-5</p>	
	<p align="center">CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO</p>	

diseño de estrategias de manejo adaptativo, especialmente en contextos de variabilidad climática donde la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos tienden a aumentar.

Los resultados para las demás unidades hidrográficas se presentan en la carpeta **\AnxD-5_Hidrol/AnxD-5.4_Modelo Hidrológico**, carpeta Teleconexiones_Variabilidad.

3.2.4.4 Conclusiones

- Se delimitaron 33 cuencas dentro del área de influencia físico-biótica del Bloque CPO-5, lo que permitió establecer una línea base sólida para el análisis hidrológico. La mayoría de estas cuencas presentan formas alargadas e irregulares, con pendientes suaves y baja densidad de drenaje, condiciones que influyen en una respuesta hidrológica lenta y en la acumulación de agua en planicies aluviales. Esta configuración aporta información clave para la planeación de medidas de manejo hídrico y prevención de riesgos.
- Mediante el uso combinado de imágenes satelitales y sobrevuelos con dron se logró identificar y caracterizar los cuerpos de agua lénticos (lagunas, madrevejas, pantanos) y lóticos (caños y ríos) presentes en el área de estudio. Los resultados muestran que varios de estos sistemas son permanentes y mantienen conectividad hídrica durante todo el año, mientras que otros son estacionales, activándose en periodos de lluvia intensa. Esta información es esencial para diferenciar los sistemas que actúan como reservas de agua estables frente a aquellos más sensibles a la variabilidad climática.
- Se identificó que la mayoría de las cuencas presentan un patrón de drenaje dendrítico, característico de terrenos con litología homogénea y pendientes bajas, lo cual favorece el escurrimiento natural y estable del agua. Sin embargo, también se observaron tramos con trayectorias rectilíneas, producto de intervenciones humanas como canales de drenaje, que alteran la conectividad natural de los cauces y pueden incrementar los procesos de erosión o el riesgo de inundaciones en zonas bajas.
- El análisis multitemporal realizado entre 2015 y 2024 evidenció una tendencia a la reducción de la humedad superficial en los años más recientes. Esta disminución puede estar asociada tanto a la variabilidad climática interanual como a los cambios en el uso y cobertura del suelo. Los resultados muestran que en 2015 y 2018 existían mayores extensiones con alta presencia de agua superficial, mientras que en 2020 y 2024 predominan áreas con menor humedad, lo que señala una reducción en la disponibilidad hídrica y un aumento en la vulnerabilidad frente a sequías.
- La aplicación del modelo GR4J permitió simular caudales en las distintas cuencas, establecer periodos de retorno para eventos extremos y calcular los caudales mínimos ecológicos necesarios para la conservación de los ecosistemas acuáticos. Estos resultados brindan información crítica tanto para la gestión del riesgo (inundaciones y sequías) como para garantizar que el aprovechamiento del recurso hídrico en el área se realice sin comprometer la sostenibilidad ambiental.