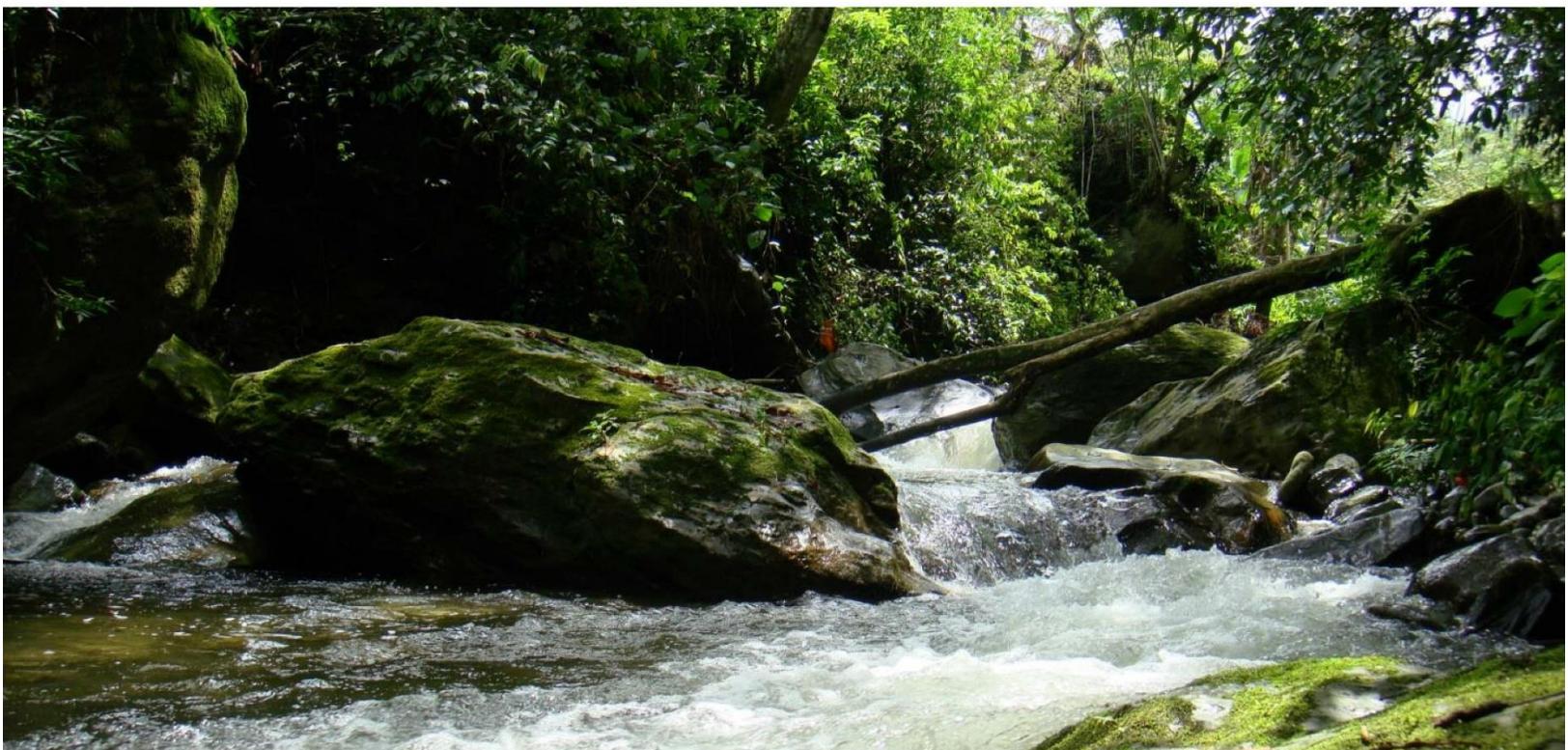


DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO

EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA



Plan de Acción Institucional
"Protegiendo el patrimonio
ambiental y más cerca
del ciudadano"
2020 - 2023



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 006 - 2021

Corporación Autónoma Regional del Quindío
Universidad del Tolima
2023

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	42
2.	OFERTA HÍDRICA.....	45
2.1.	MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO	45
2.1.1.	Ciclo Hidrológico.....	45
2.1.1.1.	Precipitación.....	46
2.1.1.2.	Intercepción	46
2.1.1.3.	Evapotranspiración.....	46
2.1.1.4.	Infiltración	47
2.1.1.5.	Percolación.....	47
2.1.1.6.	Esorrentía Superficial	47
2.1.1.7.	Esorrentía Subsuperficial	47
2.1.1.8.	Flujo Base	47
2.1.1.9.	Flujo en la red de cauces	48
2.1.1.10.	Regulación de caudales a través de embalses	48
2.1.1.11.	Trasvases de caudal.....	48
2.1.1.12.	Caudales de retorno	48
2.1.1.13.	Extracciones de caudal	49
2.1.2.	Modelación Hidrológica de Cuencas	49
2.1.3.	Régimen Hidrológico	50
2.1.4.	Enfoque Metodológico	50
2.2.	UNIDADES HIDROLÓGICAS Y TRAMOS DE ANÁLISIS	52
2.2.1.	Unidades Hidrológicas para Análisis de Oferta y Demanda Hídrica	53
2.2.2.	Fuentes Abastecedoras de Acueductos	57
2.3.	MODELACIÓN HIDROLÓGICA	59
2.3.1.	Selección del Modelo Hidrológico	59
2.3.1.1.	Definición de Criterios de Selección	59
2.3.1.2.	Valoración y ponderación de Modelos Candidatos	60
2.3.2.	Modelo Hidrológico Distribuido TETIS.....	63
2.3.3.	Información Base para la Modelación Hidrológica	65
2.3.4.	Información Meteorológica Histórica	65
2.3.4.1.	Red de Estaciones Meteorológicas de la ERA-2023	68
2.3.4.2.	Régimen Pluviométrico en el Periodo 1990 a 2022	70
2.3.4.3.	Régimen Térmico en el Periodo 1990 a 2022	75

2.3.5.	<i>Información Hidrométrica Histórica.....</i>	78
2.3.6.	<i>Estimación de Parámetros del Modelo Hidrológico Distribuido Tetis.....</i>	80
2.3.6.1.	<i>Parámetros Derivados de la Topografía.....</i>	80
2.3.6.1.1.	<i>Mapa de Elevación</i>	80
2.3.6.1.2.	<i>Mapa de Direcciones de Flujo</i>	80
2.3.6.1.3.	<i>Mapa de Acumulación de Flujo</i>	80
2.3.6.1.4.	<i>Mapa de Pendientes.....</i>	80
2.3.6.1.5.	<i>Mapa de Velocidad de Flujo en Ladera.....</i>	80
2.3.6.2.	<i>Parámetros de Cobertura Vegetal</i>	86
2.3.6.2.1.	<i>Índices de Vegetación.....</i>	86
2.3.6.2.2.	<i>Capacidad de Intercepción</i>	86
2.3.6.3.	<i>Evapotranspiración de Referencia</i>	88
2.3.6.4.	<i>Parámetros hidráulicos del suelo</i>	90
2.3.6.4.1.	<i>Valores Modales de Almacenamiento Estático (Hu).....</i>	90
2.3.6.4.2.	<i>Valores Modales de Conductividad Hidráulica Vertical (Ks) y Conductividad Hidráulica para el Interflujo (Kss)</i>	92
2.3.6.5.	<i>Parámetros hidráulicos del estrato rocoso</i>	105
2.3.6.6.	<i>Parámetros de Propagación del Flujo en Cauces</i>	109
2.3.7.	<i>Estructura del Modelo Hidrológico Implementado en la ERA</i>	110
2.3.8.	<i>Índices para la evaluación de la eficiencia de los modelos hidrológicos implementados.....</i>	110
2.3.9.	<i>Calibración y Validación del modelo hidrológico</i>	112
2.3.10.	<i>Conclusiones de la Modelación Hidrológica</i>	121
2.4.	<i>OFERTA HÍDRICA EN RÉGIMEN NATURAL (OHTS Y OHTD)</i>	123
2.4.1.	<i>Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS).....</i>	123
2.4.2.	<i>Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD)</i>	123
2.4.3.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada La Picota.....</i>	126
2.4.4.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Lejos</i>	128
2.4.5.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Navarco</i>	130
2.4.6.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 1</i>	132
2.4.7.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 2</i>	134
2.4.8.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 3</i>	136
2.4.9.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 4</i>	138
2.4.10.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 5.....</i>	140
2.4.11.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 6.....</i>	142
2.4.12.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 7.....</i>	144
2.4.13.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 8.....</i>	146
2.4.14.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 9.....</i>	148
2.4.15.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 10.....</i>	150
2.4.16.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 11.....</i>	152
2.4.17.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 12.....</i>	154

2.4.18.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Santo Domingo</i>	<i>156</i>
2.4.19.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Verde Tramo 1</i>	<i>158</i>
2.4.20.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Verde Tramo 2</i>	<i>160</i>
2.4.21.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio San Juan</i>	<i>162</i>
2.4.22.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Gris</i>	<i>164</i>
2.4.23.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Rojo</i>	<i>166</i>
2.4.24.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Buenavista Tramo 1</i>	<i>168</i>
2.4.25.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Buenavista Tramo 2</i>	<i>170</i>
2.4.26.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada La Tigra</i>	<i>172</i>
2.4.27.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Campo Alegre</i>	<i>174</i>
2.4.28.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 1</i>	<i>176</i>
2.4.29.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 2</i>	<i>178</i>
2.4.30.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 3</i>	<i>180</i>
2.4.31.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 4</i>	<i>182</i>
2.4.32.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 5</i>	<i>184</i>
2.4.33.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 6</i>	<i>186</i>
2.4.34.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 7</i>	<i>188</i>
2.4.35.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Lacha</i>	<i>190</i>
2.4.36.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Drenajes al rio Barbas</i>	<i>192</i>
2.4.37.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Drenajes al Rio Barragan</i>	<i>194</i>
2.4.38.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Drenajes al Rio La Vieja</i>	<i>196</i>
2.4.39.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Cristales</i>	<i>198</i>
2.4.40.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Espejo</i>	<i>200</i>
2.4.41.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Bolivia</i>	<i>202</i>
2.4.42.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Corozal</i>	<i>204</i>
2.4.43.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Cristalina</i>	<i>206</i>
2.4.44.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cruz Gorda</i>	<i>208</i>
2.4.45.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Aguila</i>	<i>210</i>
2.4.46.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado 2</i>	<i>212</i>
2.4.47.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado La Gata ..</i>	<i>214</i>
2.4.48.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Diamantina</i>	<i>216</i>
2.4.49.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Llorona</i>	<i>218</i>
2.4.50.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Picota</i>	<i>220</i>
2.4.51.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Vibora</i>	<i>222</i>
2.4.52.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Pizarras</i>	<i>224</i>
2.4.53.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Naranjal</i>	<i>226</i>
2.4.54.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Roble Los Justos ..</i>	<i>228</i>
2.4.55.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Pijao</i>	<i>230</i>
2.4.56.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Gris</i>	<i>232</i>
2.4.57.	<i>OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Quindio EPA</i>	<i>234</i>

2.4.58.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Quindio Tebaida	236
2.4.59.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Quindio Estación de Bombeo	238
2.4.60.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Verde	240
2.4.61.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada San Rafael.....	242
2.4.62.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Santo Domingo	244
2.4.63.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cajones	246
2.4.64.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Bosque	248
2.4.65.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Arenosa	250
2.4.66.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Marina	252
2.4.67.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Paloma	254
2.4.68.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Soledad	256
2.4.69.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Lajas	258
2.4.70.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Buenavista.....	260
2.4.71.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Circasia	262
2.4.72.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 1.....	264
2.4.73.	OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 2.....	266
2.5.	ÍNDICE DE REGULACIÓN Y RETENCIÓN HÍDRICA	268
2.6.	ÍNDICE DE ARIDEZ.....	272
3.	AGUAS SUBTERRÁNEAS	283
3.1.	SELECCIÓN Y CORRECCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN.....	283
3.1.1.	Corrección de los Modelos Digitales de Elevación Analizados	284
3.1.2.	Evaluación de la Precisión Vertical de los Modelos Digitales de Elevación.....	285
3.2.	LOCALIZACIÓN	291
3.3.	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	292
3.4.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	297
3.5.	ESTRATIGRAFÍA	297
3.6.	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	299
3.7.	MONITOREO DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA E HIDROQUÍMICO EN EL SISTEMA ACUÍFERO DEL QUINDÍO – SAQ -	299
3.8.	MAPAS DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	301
3.9.	INTERACCIÓN ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SISTEMA ACUÍFERO DEL QUINDÍO – SAQ -	305
3.10.	MONITOREO DEL ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA EN EL SISTEMA ACUÍFERO DEL QUINDÍO (SAQ) USANDO OBSERVACIONES DEL SATÉLITE “GRAVITY RECOVERY AND CLIMATE EXPERIMENT” (GRACE) DE LA NASA.....	309
3.10.1.	Cambio Espacio-Temporal del Espesor Equivalente de Agua en el SAQ.....	311
3.10.2.	Prueba No-Paramétrica Mann-Kendall para el Análisis de la Tendencia del Espesor Equivalente de Agua en el SAQ.	317
3.11.	HIDROQUÍMICA EN EL SISTEMA ACUÍFERO DEL QUINDÍO - SAQ -	328
3.11.1.	Distribución Espacial de Cationes, Aniones, pH y CE en el SAQ	328
3.11.2.	Facies Hidroquímica	342

3.12.	MECANISMOS QUE CONTROLAN LA QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	342
3.12.1.	<i>Matrices de Correlación de Pearson</i>	345
3.12.2.	<i>Diagramas de Durov, Gibbs, Gaillardet y HFE</i>	349
3.12.3.	<i>Regresiones Lineales</i>	355
3.13.	ISOTOPÍA.....	357
3.13.1.	<i>Isótopos estables en la precipitación del Abanico</i>	357
3.13.2.	<i>Isótopos estables en el agua subterránea del abanico.....</i>	366
3.13.3.	<i>Contaminación con nitratos.....</i>	369
3.13.4.	<i>Datación del agua subterránea</i>	373
3.13.4.1.	Tritio.....	373
3.13.4.2.	Radiocarbono y carbono-13	375
3.14.	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL QUINDÍO (SAQ)	379
3.15.	MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	379
3.16.	RECOMENDACIONES EN FUTUROS ESTUDIOS.....	383
4.	DEMANDA HÍDRICA	385
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	385
4.2.	SECTORES USUARIOS	386
4.3.	DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL CONCESIONADA	387
4.3.1.	<i>Demanda Superficial para Uso Doméstico.....</i>	388
4.3.2.	<i>Demanda Superficial para Uso Agrícola.....</i>	389
4.3.3.	<i>Demanda Superficial para Uso Acuícola</i>	390
4.3.4.	<i>Demanda Superficial para Uso Energético.....</i>	391
4.3.5.	<i>Demanda Superficial para Uso Industrial.....</i>	392
4.3.6.	<i>Demanda Superficial para Uso Pecuario.....</i>	393
4.3.7.	<i>Demanda Superficial para Uso Piscícola</i>	394
4.3.8.	<i>Demanda Superficial para Uso Recreativo.....</i>	395
4.3.9.	<i>Demanda Superficial para Uso de Riego.....</i>	396
4.4.	DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA CONCESIONADA	396
4.4.1.	<i>Demanda Subterránea para Uso Doméstico.....</i>	397
4.4.2.	<i>Demanda Subterránea para Uso Agrícola</i>	398
4.4.3.	<i>Demanda Subterránea para Uso Industrial</i>	399
4.4.4.	<i>Demanda Subterránea para Uso Pecuario.....</i>	400
4.4.5.	<i>Demanda Subterránea para Uso Piscícola</i>	401
4.4.6.	<i>Demanda Subterránea para Uso Recreativo.....</i>	402
5.	INDICADORES DE PRESIÓN POR USO Y VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	403
5.1.	ÍNDICE DE USO DEL AGUA.....	403
5.1.1.	<i>Índices de uso del agua anual para las unidades hidrológicas de análisis.....</i>	403
5.1.2.	<i>Índices de uso del agua mensuales en las unidades hidrológicas de análisis</i>	413
5.1.2.1.	IUA mensual en la UHA Quebrada La Picota.....	416

5.1.2.2.	IUA mensual en la UHA Rio Lejos.....	416
5.1.2.3.	IUA mensual en la UHA Rio Navarco.....	417
5.1.2.4.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 1	417
5.1.2.5.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 2	418
5.1.2.6.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 3	418
5.1.2.7.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 4	419
5.1.2.8.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 5	419
5.1.2.9.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 6	420
5.1.2.10.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 7	420
5.1.2.11.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 8	421
5.1.2.12.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 9	421
5.1.2.13.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 10.....	422
5.1.2.14.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 11.....	422
5.1.2.15.	IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 12.....	423
5.1.2.16.	IUA mensual en la UHA Rio Santo Domingo	423
5.1.2.17.	IUA mensual en la UHA Rio Verde Tramo 1	424
5.1.2.18.	IUA mensual en la UHA Rio Verde Tramo 2	424
5.1.2.19.	IUA mensual en la UHA Rio San Juan.....	425
5.1.2.20.	IUA mensual en la UHA Rio Gris	425
5.1.2.21.	IUA mensual en la UHA Rio Rojo	426
5.1.2.22.	IUA mensual en la UHA Quebrada Buenavista T 1.....	426
5.1.2.23.	IUA mensual en la UHA Quebrada Buenavista T 2.....	427
5.1.2.24.	IUA mensual en la UHA Quebrada La Tigra	427
5.1.2.25.	IUA mensual en la UHA Quebrada Campoalegre.....	428
5.1.2.26.	IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 1	428
5.1.2.27.	IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 2	429
5.1.2.28.	IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 3	429
5.1.2.29.	IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 4	430
5.1.2.30.	IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 5	430
5.1.2.31.	IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 6	431
5.1.2.32.	IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 7	431
5.1.2.33.	IUA mensual en la UHA Quebrada Lacha.....	432
5.1.2.34.	IUA mensual en la UHA Drenajes al rio Barbas.....	432
5.1.2.35.	IUA mensual en la UHA Drenajes al Rio Barragán.....	433
5.1.2.36.	IUA mensual en la UHA Drenajes al Rio La Vieja.....	433
5.1.2.37.	IUA mensual en la UHA Quebrada Cristales	434
5.1.2.38.	IUA mensual en la UHA Rio Espejo	434
5.1.3.	<i>Índices de uso del agua mensuales en las fuentes abastecedoras de acueductos</i>	<i>435</i>
5.1.3.1.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Bolivia	435
5.1.3.2.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Corozal	435

5.1.3.3.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Cristalina.....	436
5.1.3.4.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Cruz Gorda	436
5.1.3.5.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Águila	437
5.1.3.6.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Salado 2.....	437
5.1.3.7.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Salado La Gata.....	438
5.1.3.8.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Diamantina	438
5.1.3.9.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Llorona	439
5.1.3.10.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Picota	439
5.1.3.11.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Víbora.....	440
5.1.3.12.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Las Pizarras	440
5.1.3.13.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Naranjal.....	441
5.1.3.14.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Roble Los Justos	441
5.1.3.15.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Pijao	442
5.1.3.16.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Gris.....	442
5.1.3.17.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Quindío EPA	443
5.1.3.18.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Quindío Tebaida	443
5.1.3.19.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Quindío Estación de Bombeo	444
5.1.3.20.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Verde	444
5.1.3.21.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada San Rafael	445
5.1.3.22.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Santo Domingo	445
5.1.3.23.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Cajones	446
5.1.3.24.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Bosque	446
5.1.3.25.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Arenosa	447
5.1.3.26.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Marina	447
5.1.3.27.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Paloma	448
5.1.3.28.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Soledad.....	448
5.1.3.29.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Lacha.....	449
5.1.3.30.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Las Lajas.....	449
5.1.3.31.	IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Buenavista	450
5.1.3.32.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Roble Circasia.....	450
5.1.3.33.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 1	451
5.1.3.34.	IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 2	451
5.2.	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO (IVH)	452
5.3.	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES (IVET)	459
6.	CALIDAD DEL AGUA: CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA	465
6.1.	INTRODUCCIÓN	465
6.2.	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES.....	466
6.2.1.	<i>Factores de Contaminación</i>	466
6.2.1.1.	Tasa Retributiva.....	466

6.2.1.2.	Estimación de Cargas Contaminantes.....	467
6.2.1.2.1.	Aguas Residuales Domésticas.....	468
6.2.1.2.2.	Aguas Industriales, Comerciales y Turismo.....	469
6.2.1.2.3.	Cargas Aportadas por el Beneficio del Café.....	469
6.2.1.3.	Metas de Carga Proyectada.....	474
6.3.	DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA	476
6.3.1.	<i>Definición de los Determinantes de Calidad de Agua</i>	483
6.4.	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA	485
6.4.1.	<i>Índice de Calidad del Agua (ICA)</i>	485
6.4.1.1.	Construcción de las Curvas Funcionales	487
6.4.1.1.1.	Oxígeno Disuelto (OD):.....	487
6.4.1.1.2.	Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	488
6.4.1.1.3.	Demanda Química de Oxígeno (DQO):	489
6.4.1.1.4.	Conductividad Eléctrica (C.E.):.....	489
6.4.1.1.5.	Nitrógeno Total/Fósforo Total (NT/PT).....	489
6.4.1.1.6.	pH.....	490
6.4.1.1.7.	Coliformes Termotolerantes/Fecales	490
6.4.1.2.	Metodología para el Cálculo del ICA.....	491
6.4.2.	<i>Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL)</i>	492
6.4.2.1.	Metodología para el Cálculo del IACAL.....	492
6.4.2.2.	Unidades Hidrológicas y Tramos Objeto de Estudio para Análisis de la Calidad del Agua	495
6.4.2.3.	Determinación de la Oferta Hídrica	502
6.5.	RESULTADOS DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).....	503
6.5.1.	<i>Unidad Hidrográfica de la quebrada Campoalegre (Quebrada Agua Linda)</i>	503
6.5.2.	<i>Unidad Hidrográfica de las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha</i>	504
6.5.3.	<i>Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista</i>	506
6.5.4.	<i>Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales</i>	508
6.5.5.	<i>Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota</i>	510
6.5.6.	<i>Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José</i>	512
6.5.7.	<i>Unidad Hidrográfica del Río Espejo</i>	513
6.5.8.	<i>Unidad Hidrográfica del Río Gris</i>	517
6.5.9.	<i>Unidad Hidrográfica del Río San Juan</i>	518
6.5.10.	<i>Unidad Hidrográfica del Río Rojo</i>	520
6.5.11.	<i>Unidad Hidrográfica del Río Lejos</i>	521
6.5.12.	<i>Unidad Hidrográfica del Río Quindío</i>	523
6.5.13.	<i>Unidad Hidrográfica del Río Roble</i>	529
6.6.	RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL)	532
6.6.1.	<i>Unidad Hidrográfica de la Campoalegre (Quebrada Agua Linda)</i>	532
6.6.2.	<i>Unidad Hidrográfica de las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha</i>	536
6.6.3.	<i>Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista</i>	539

6.6.4.	Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales.....	545
6.6.5.	Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota.....	550
6.6.6.	Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José.....	554
6.6.7.	Unidad Hidrográfica del Río Espejo.....	557
6.6.8.	Unidad Hidrográfica del Río Rojo.....	567
6.6.9.	Unidad Hidrográfica del Río San Juan.....	571
6.6.10.	Unidad Hidrográfica del Río Gris.....	573
6.6.11.	Unidad Hidrográfica del Río Lejos.....	575
6.6.12.	Unidad Hidrográfica del Río Quindío.....	580
6.6.13.	Unidad Hidrográfica del Río Roble.....	593
6.7.	CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL PARA USO DOMÉSTICO (BOCATOMAS).....	599
6.8.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARGAS CONTAMINANTES.....	602
6.9.	SEGUIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA.....	609
6.9.1.	Evaluación Demanda Biológica de Oxígeno -DBO ₅ -.....	612
6.9.2.	Evaluación Sólidos Suspendidos Totales -SST-.....	615
6.9.3.	Evaluación Oxígeno Disuelto -OD-.....	618
6.9.4.	Evaluación Nitritos y Nitratos.....	621
6.9.5.	Evaluación Demanda Química de Oxígeno -DQO-.....	623
6.9.6.	Evaluación del pH.....	626
6.10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	629
7.	CALIDAD DEL AGUA: CARACTERIZACIÓN HIDROBIOLÓGICA.....	633
7.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	633
7.1.1.	Estaciones de Monitoreo.....	634
7.2.	PROTOCOLO DE MONITOREO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS.....	645
7.2.1.	Colecta de Campo.....	645
7.2.2.	Métodos de Laboratorio.....	645
7.2.3.	Análisis de Datos.....	646
7.2.3.1.	Representatividad del Muestreo.....	646
7.2.3.2.	Abundancia.....	646
7.2.3.3.	Diversidad.....	646
7.2.3.4.	Índice de Calidad del Agua.....	646
7.2.3.5.	Análisis de Ordenación.....	646
7.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	647
7.3.1.	Unidad Hidrográfica del Río San Juan.....	647
7.3.1.1.	Representatividad.....	647
7.3.1.2.	Composición y Abundancia.....	648
7.3.1.3.	Diversidad.....	650
7.3.1.4.	Índice de Calidad de Agua.....	651
7.3.2.	Unidad Hidrográfica del Río Gris.....	652

7.3.2.1.	Representatividad	652
7.3.2.2.	Composición y Abundancia	653
7.3.2.3.	Diversidad.....	654
7.3.2.4.	Índice de Calidad de Agua	655
7.3.3.	Unidad Hidrográfica del Río Rojo	656
7.3.3.1.	Representatividad	656
7.3.3.2.	Composición y Abundancia	657
7.3.3.3.	Diversidad.....	659
7.3.3.4.	Índice de Calidad de Agua	660
7.3.4.	Unidad Hidrográfica del Río Lejos	660
7.3.4.1.	Representatividad	660
7.3.4.2.	Composición y Abundancia	661
7.3.4.3.	Diversidad.....	663
7.3.4.4.	Índice de Calidad de Agua	664
7.3.4.5.	Análisis de Correspondencia Canónica	665
7.3.5.	Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota.....	666
7.3.5.1.	Representatividad	666
7.3.5.2.	Composición y Abundancia	667
7.3.5.3.	Diversidad.....	668
7.3.5.4.	Índice de Calidad de Agua	669
7.3.5.5.	Análisis de Correspondencia Canónica	670
7.3.6.	Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales.....	671
7.3.6.1.	Representatividad	671
7.3.6.2.	Composición y Abundancia	672
7.3.6.3.	Diversidad.....	674
7.3.6.4.	Índice de Calidad de Agua	675
7.3.7.	Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista	676
7.3.7.1.	Representatividad	676
7.3.7.2.	Composición y Abundancia	677
7.3.7.3.	Diversidad.....	678
7.3.7.4.	Índice de Calidad de Agua	680
7.3.7.5.	Análisis de Correspondencia Canónica	680
7.3.8.	Unidad Hidrográfica del Río Espejo.....	681
7.3.8.1.	Representatividad	681
7.3.8.2.	Composición y Abundancia	682
7.3.8.3.	Diversidad.....	684
7.3.8.4.	Índice de Calidad de Agua	685
7.3.8.5.	Análisis de Correspondencia Canónica	686
7.3.9.	Unidad Hidrográfica del Río Roble	687
7.3.9.1.	Representatividad	687

7.3.9.2.	Composición y abundancia	688
7.3.9.3.	Diversidad.....	690
7.3.9.4.	Índice de Calidad de Agua	691
7.3.9.5.	Análisis de Correspondencia Canónica	691
7.3.10.	<i>Unidad Hidrográfica del Río Quindío</i>	692
7.3.10.1.	Representatividad	692
7.3.10.2.	Composición y Abundancia	693
7.3.10.3.	Diversidad	696
7.3.10.4.	Índice de Calidad de Agua	698
7.3.10.5.	Análisis de Correspondencia Canónica	699
REFERENCIAS		700
ANEXOS		707

Lista de Tablas

TABLA 1. INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO QUE DEFINEN UNIDADES DE ANÁLISIS EN JURISDICCIÓN DE CRQ.....	52
TABLA 2. UNIDADES HIDROLÓGICAS PARA ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA.....	53
TABLA 3. MICROCUENCAS ABASTecedorAS DE ACUEDUCTOS	57
TABLA 4. CALIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS CON BASE A LOS SUS CRITERIOS DE SELECCIÓN	62
TABLA 5. FACTORES DE CORRECCIÓN Y PARÁMETROS EFECTIVOS DEL MODELO TETIS.....	64
TABLA 6. ESTACIONES ACTIVAS EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO Y ZONA POLÍTICO-ADMINISTRATIVA LIMÍTOFE	66
TABLA 7. TAMAÑO RECOMENDADO DE SERIES METEOROLÓGICAS Y CLIMATOLÓGICAS	68
TABLA 8. ESTACIONES QUE NO CUMPLEN CON LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA VARIABLE PRECIPITACIÓN	68
TABLA 9. ESTACIONES CON SERIES DE PRECIPITACIÓN DIARIA CONSISTENTE PARA LA ERA-2023	69
TABLA 10. ESTACIONES QUE NO CUMPLEN CON LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA VARIABLE TEMPERATURA	69
TABLA 11. ESTACIONES CON SERIES DE TEMPERATURA DIARIA CONSISTENTE PARA LA ERA-2023	69
TABLA 12. ESTACIONES CON REGISTROS SISTEMÁTICOS HISTÓRICOS DE NIVELES DIARIOS PARA EL PERIODO DE ANÁLISIS EN JURISDICCIÓN DE CRQ.....	78
TABLA 13. ÍNDICES DE VEGETACIÓN POR CLASIFICACIÓN DE COBERTURA EN LA ERA-2023	87
TABLA 14. VALORES DE CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN POR CLASE DE COBERTURA	88
TABLA 15. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL Y PROFUNDIDAD DE RAÍZ POR TIPO DE COBERTURA	104
TABLA 16. VALORES DE REFERENCIA DE KSA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ROCA	105
TABLA 17. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS ADOPTADOS	109
TABLA 18. CRITERIOS DE USADOS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL MODELO HIDROLÓGICO TETIS.....	111
TABLA 19. FACTORES CORRECTORES CALIBRADOS Y RANGOS DE BÚSQUEDA PARA LOS MODELOS 1, 2 Y 3	112
TABLA 20. ESTADO INICIAL DEL SISTEMA HIDROLÓGICO PARA LA EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN	113
TABLA 21. MÉTRICAS DE ERROR ENTRE LOS CAUDALES DIARIOS OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EVALUADAS	115
TABLA 22. MÉTRICAS DE ERROR ENTRE LOS CAUDALES MENSUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EVALUADAS	115
TABLA 23. PORCENTAJES MEDIOS DE ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO NATURAL PARA CADA ÍNDICE DE ALTERACIÓN CON EL CAUDAL AMBIENTAL DEFINIDO	124
TABLA 24. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD QUEBRADA LA PICOTA	126

TABLA 25. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO LEJOS	128
TABLA 26. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO NAVARCO	130
TABLA 27. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 1	132
TABLA 28. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 2	134
TABLA 29. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 3	136
TABLA 30. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 4	138
TABLA 31. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 5	140
TABLA 32. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 6	142
TABLA 33. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 7	144
TABLA 34. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 8	146
TABLA 35. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 9	148
TABLA 36. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 10	150
TABLA 37. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 11	152
TABLA 38. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO QUINDIO TRAMO 12	154
TABLA 39. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO SANTO DOMINGO	156
TABLA 40. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO VERDE TRAMO 1.....	158
TABLA 41. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO VERDE TRAMO 2.....	160
TABLA 42. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO SAN JUAN	162
TABLA 43. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO GRIS	164
TABLA 44. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROJO	166

TABLA 45. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD QUEBRADA BUENAVISTA TRAMO 1	168
TABLA 46. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD QUEBRADA BUENAVISTA TRAMO 2	170
TABLA 47. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD QUEBRADA LA TIGRERA	172
TABLA 48. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD QUEBRADA CAMPO ALEGRE	174
TABLA 49. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROBLE TRAMO 1	176
TABLA 50. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROBLE TRAMO 2	178
TABLA 51. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROBLE TRAMO 3	180
TABLA 52. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROBLE TRAMO 4	182
TABLA 53. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROBLE TRAMO 5	184
TABLA 54. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROBLE TRAMO 6	186
TABLA 55. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ROBLE TRAMO 7	188
TABLA 56. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD QUEBRADA LACHA	190
TABLA 57. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD DRENAJES AL RIO BARBAS	192
TABLA 58. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD DRENAJES AL RIO BARRAGAN	194
TABLA 59. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD DRENAJES AL RIO LA VIEJA	196
TABLA 60. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD QUEBRADA CRISTALES	198
TABLA 61. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD RIO ESPEJO	200
TABLA 62. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BOLIVIA	202
TABLA 63. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA COROZAL	204

TABLA 64. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA CRISTALINA	206
TABLA 65. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CRUZ GORDA.....	208
TABLA 66. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL AGUILA.....	210
TABLA 67. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO 2	212
TABLA 68. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO LA GATA	214
TABLA 69. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA DIAMANTINA	216
TABLA 70. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA LLORONA	218
TABLA 71. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PICOTA.....	220
TABLA 72. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA VIBORA	222
TABLA 73. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS PIZARRAS	224
TABLA 74. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL NARANJAL.....	226
TABLA 75. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL ROBLE LOS JUSTOS	228
TABLA 76. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA PIJAO	230

TABLA 77. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO GRIS..	232
TABLA 78. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO EPA.....	234
TABLA 79. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO TEBAIDA	236
TABLA 80. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO ESTACIÓN DE BOMBEO	238
TABLA 81. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO VERDE	240
TABLA 82. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA SAN RAFAEL	242
TABLA 83. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO SANTO DOMINGO.....	244
TABLA 84. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CAJONES.....	246
TABLA 85. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL BOSQUE	248
TABLA 86. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA ARENOSA.....	250
TABLA 87. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA MARINA	252
TABLA 88. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PALOMA	254
TABLA 89. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA SOLEDAD	256
TABLA 90. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS LAJAS	258

TABLA 91. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BUENAVISTA.....	260
TABLA 92. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE CIRCASIA.....	262
TABLA 93. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 1	264
TABLA 94. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS), CAUDAL AMBIENTAL (CA) Y OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) PARA LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE AÑO MEDIO, AÑO HÚMEDO Y AÑO SECO EN LA UNIDAD FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 2	266
TABLA 95. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA (IRH). (FUENTE: IDEAM, 2020A).....	268
TABLA 96. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE ARIDEZ. FUENTE: (IDEAM, 2013)	272
TABLA 97. ESTADÍSTICOS IMPLEMENTADOS PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LOS MDES.	287
TABLA 98. ESTADÍSTICOS CALCULADOS PARA MEDIR LA INCERTIDUMBRE TOPOGRÁFICA DE LOS MDES, CON RESPECTO A LOS PUNTOS OBSERVACIÓN DE ELEVACIÓN ORTOMÉTRICA MEDIDOS POR IGAC Y SGC.	287
TABLA 99. RESULTADOS DE LA PRUEBA NO-PARAMÉTRICA MANN-KENDALL BAJO LOS TRES ENFOQUES PROPUESTOS A ESCALA MENSUAL PARA EL PERIODO 2002-2022, PARA LAS SERIES DE EWH DE LOS PUNTOS QUE SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDOS DENTRO DEL SAQ.	323
TABLA 100. RESULTADOS DE LA PRUEBA NO-PARAMÉTRICA MANN-KENDALL BAJO LOS TRES ENFOQUES PROPUESTOS EN EL PERIODO DEF, PARA LAS SERIES DE EWH DE LOS PUNTOS QUE SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDOS DENTRO DEL SAQ.	324
TABLA 101. RESULTADOS DE LA PRUEBA NO-PARAMÉTRICA MANN-KENDALL BAJO LOS TRES ENFOQUES PROPUESTOS EN EL PERIODO MAM, PARA LAS SERIES DE EWH DE LOS PUNTOS QUE SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDOS DENTRO DEL SAQ.	325
TABLA 102. RESULTADOS DE LA PRUEBA NO-PARAMÉTRICA MANN-KENDALL BAJO LOS TRES ENFOQUES PROPUESTOS EN EL PERIODO JJA, PARA LAS SERIES DE EWH DE LOS PUNTOS QUE SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDOS DENTRO DEL SAQ.	326
TABLA 103. RESULTADOS DE LA PRUEBA NO-PARAMÉTRICA MANN-KENDALL BAJO LOS TRES ENFOQUES PROPUESTOS EN EL PERIODO SON, PARA LAS SERIES DE EWH DE LOS PUNTOS QUE SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDOS DENTRO DEL SAQ.	327
TABLA 104. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA ISÓTOPOS ESTABLES EN EL AGUA SUBTERRÁNEA. CAMPAÑA 2021.	366
TABLA 105. RESULTADOS TRITIO MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. CAMPAÑA 2019.	374
TABLA 106. EDADES APARENTES ESTIMADAS CON EL MÉTODO SEMI-CUANTITATIVO (TRITIO). CAMPAÑA DE 2019.....	375
TABLA 107. RESULTADOS DE RADIOCARBONO CAMPAÑAS 2019 Y 2021.	376
TABLA 108. DATACIÓN SIN CORRECCIÓN.	378
TABLA 109. CATEGORÍAS DE USO DEL AGUA (FUENTE: DECRETO 3930 DE 2010)	386
TABLA 110. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE USO DEL AGUA. (FUENTE: IDEAM, 2023).....	403
TABLA 111. ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO Y SECO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.....	404
TABLA 112. ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO Y SECO EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS.....	410
TABLA 113. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA QUEBRADA LA PICOTA.....	416
TABLA 114. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA QUEBRADA LA PICOTA.....	416
TABLA 115. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO LEJOS.....	416

TABLA 116. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO LEJOS	416
TABLA 117. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO NAVARCO	417
TABLA 118. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO NAVARCO	417
TABLA 119. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 1	417
TABLA 120. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 1	417
TABLA 121. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RÍO QUINDÍO TRAMO 2	418
TABLA 122. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RÍO QUINDÍO TRAMO 2.....	418
TABLA 123. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 3	418
TABLA 124. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 3.....	418
TABLA 125. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 4	419
TABLA 126. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 4.....	419
TABLA 127. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 5	419
TABLA 128. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 5.....	419
TABLA 129. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 6	420
TABLA 130. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 6.....	420
TABLA 131. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 7	420
TABLA 132. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 7.....	420
TABLA 133. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 8	421
TABLA 134. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 8.....	421
TABLA 135. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 9	421
TABLA 136. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 9.....	421
TABLA 137. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 10	422
TABLA 138. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 10.....	422
TABLA 139. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 11	422
TABLA 140. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 11.....	422
TABLA 141. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 12	423
TABLA 142. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO QUINDÍO TRAMO 12.....	423
TABLA 143. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO SANTO DOMINGO.....	423
TABLA 144. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO SANTO DOMINGO	423
TABLA 145. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO VERDE TRAMO 1.....	424
TABLA 146. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO VERDE TRAMO 1	424
TABLA 147. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO VERDE TRAMO 2.....	424
TABLA 148. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO VERDE TRAMO 2	424
TABLA 149. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO SAN JUAN	425
TABLA 150. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO SAN JUAN.....	425
TABLA 151. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO GRIS	425
TABLA 152. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO GRIS	425
TABLA 153. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROJO.....	426
TABLA 154. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROJO	426
TABLA 155. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA QUEBRADA BUENAVISTA T 1	426

TABLA 156. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA QUEBRADA BUENAVISTA T 1	426
TABLA 157. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA QUEBRADA BUENAVISTA T 2.....	427
TABLA 158. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA QUEBRADA BUENAVISTA T 2	427
TABLA 159. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA QUEBRADA LA TIGRERA.....	427
TABLA 160. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA QUEBRADA LA TIGRERA	427
TABLA 161. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA QUEBRADA CAMPOALEGRE	428
TABLA 162. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA QUEBRADA CAMPOALEGRE.....	428
TABLA 163. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 1.....	428
TABLA 164. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 1	428
TABLA 165. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 2.....	429
TABLA 166. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 2	429
TABLA 167. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 3.....	429
TABLA 168. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 3	429
TABLA 169. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 4.....	430
TABLA 170. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 4	430
TABLA 171. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 5.....	430
TABLA 172. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 5	430
TABLA 173. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 6.....	431
TABLA 174. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 6	431
TABLA 175. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 7.....	431
TABLA 176. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ROBLE TRAMO 7	431
TABLA 177. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA QUEBRADA LACHA	432
TABLA 178. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA QUEBRADA LACHA	432
TABLA 179. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA DRENAJES AL RIO BARBAS	432
TABLA 180. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA DRENAJES AL RIO BARBAS.....	432
TABLA 181. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA DRENAJES AL RIO BARRAGÁN	433
TABLA 182. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA DRENAJES AL RIO BARRAGÁN.....	433
TABLA 183. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA DRENAJES AL RIO LA VIEJA	433
TABLA 184. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA DRENAJES AL RIO LA VIEJA.....	433
TABLA 185. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA QUEBRADA CRISTALES.....	434
TABLA 186. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA QUEBRADA CRISTALES	434
TABLA 187. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA UHA RIO ESPEJO.....	434
TABLA 188. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA UHA RIO ESPEJO	434
TABLA 189. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BOLIVIA	435
TABLA 190. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BOLIVIA.....	435
TABLA 191. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA COROZAL.....	435
TABLA 192. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA COROZAL	435
TABLA 193. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA CRISTALINA .	436
TABLA 194. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA CRISTALINA...	436
TABLA 195. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CRUZ GORDA...	436

TABLA 196. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CRUZ GORDA	436
TABLA 197. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL ÁGUILA	437
TABLA 198. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL ÁGUILA	437
TABLA 199. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO 2....	437
TABLA 200. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO 2	437
TABLA 201. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO LA GATA	438
TABLA 202. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO LA GATA	438
TABLA 203. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA DIAMANTINA	438
TABLA 204. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA DIAMANTINA	438
TABLA 205. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA LLORONA	439
TABLA 206. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA LLORONA.....	439
TABLA 207. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PICOTA	439
TABLA 208. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PICOTA	439
TABLA 209. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA VÍBORA	440
TABLA 210. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA VÍBORA.....	440
TABLA 211. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS PIZARRAS ..	440
TABLA 212. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS PIZARRAS	440
TABLA 213. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL NARANJAL ...	441
TABLA 214. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL NARANJAL.....	441
TABLA 215. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL ROBLE LOS JUSTOS	441
TABLA 216. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL ROBLE LOS JUSTOS	441
TABLA 217. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA PIJAO.....	442
TABLA 218. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA PIJAO	442
TABLA 219. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO GRIS	442
TABLA 220. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO GRIS.....	442
TABLA 221. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDÍO EPA.....	443
TABLA 222. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDÍO EPA	443
TABLA 223. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDÍO TEBAIDA	443
TABLA 224. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDÍO TEBAIDA	443
TABLA 225. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDÍO ESTACIÓN DE BOMBEO.....	444
TABLA 226. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDÍO ESTACIÓN DE BOMBEO.....	444
TABLA 227. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO VERDE.....	444
TABLA 228. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO VERDE	444
TABLA 229. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA SAN RAFAEL.....	445

TABLA 230. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA SAN RAFAEL	445
TABLA 231. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO SANTO DOMINGO	445
TABLA 232. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO SANTO DOMINGO	445
TABLA 233. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CAJONES	446
TABLA 234. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CAJONES.....	446
TABLA 235. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL BOSQUE.....	446
TABLA 236. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL BOSQUE	446
TABLA 237. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA ARENOSA	447
TABLA 238. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA ARENOSA.....	447
TABLA 239. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA MARINA.....	447
TABLA 240. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA MARINA	447
TABLA 241. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PALOMA	448
TABLA 242. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PALOMA.....	448
TABLA 243. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA SOLEDAD	448
TABLA 244. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA SOLEDAD.....	448
TABLA 245. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LACHA.....	449
TABLA 246. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LACHA	449
TABLA 247. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS LAJAS	449
TABLA 248. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS LAJAS.....	449
TABLA 249. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BUENAVISTA.....	450
TABLA 250. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BUENAVISTA	450
TABLA 251. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE CIRCASIA.....	450
TABLA 252. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE CIRCASIA	450
TABLA 253. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 1	451
TABLA 254. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 1	451
TABLA 255. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO MEDIO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 2	451
TABLA 256. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA AÑO SECO EN LA FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 2	451
TABLA 257. MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO. FUENTE: (IDEAM, 2020c)	452
TABLA 258. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	453
TABLA 259. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	455
TABLA 260. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS	457
TABLA 261. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS	458
TABLA 262. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTOS TORRENCIALES. (FUENTE: IDEAM, 2013)	459

TABLA 263. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD TORRENCIAL POR VARIABILIDAD DE CAUDALES. FUENTE: IDEAM, 2013 ..	459
TABLA 264. CRITERIOS PARA CATEGORIZAR EL ÍNDICE MORFOMÉTRICO	460
TABLA 265. MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE MORFOMÉTRICO (FUENTE: IDEAM, 2013)	460
TABLA 266. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	462
TABLA 267. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LAS FUENTES ABASTecedorAS DE ACUEDUCTOS EN EL PERIODO 1990 A 2022	464
TABLA 268. VALORES ADOPTADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CARGAS	469
TABLA 269. RENDIMIENTO DE CAFÉ VER EQUIVALENTE POR MUNICIPIO	470
TABLA 270. FACTORES PARA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE DBO5 Y SST PARA EL BENEFICIO DE CAFÉ.....	471
TABLA 271. FACTORES DE CONVERSIÓN PARA EL CÁLCULO DE CONCENTRACIONES POR TIPO DE ACTIVIDAD	473
TABLA 272. OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA LOS 37 TRAMOS SEGÚN LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO 2029	474
TABLA 273. SITIOS DE MONITOREO POR UNIDAD HIDROLÓGICA	477
TABLA 274. PUNTOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DEFINIDOS	477
TABLA 275. DETERMINANTES DE CALIDAD A MEDIR SEGÚN TIPO DE MUESTREO	483
TABLA 276. PESOS PARA LAS VARIABLES DEL ICA	486
TABLA 277. DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DEL ÁMBITO NUMÉRICO DEL ICA	492
TABLA 278 RANGOS DE LOS CATIACALES	494
TABLA 279 CATEGORIZACIÓN IACAL.	494
TABLA 280. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN PLANTEADOS.....	495
TABLA 281. TRAMOS – UNIDADES DE HIDROLÓGICAS DEFINIDAS PARA EL ANÁLISIS DE LA ALTERACIÓN POTENCIAL A LA CALIDAD DEL AGUA	497
TABLA 282. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE LA QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA)	503
TABLA 283. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE LAS QUEBRADAS BARRO BLANCO, CHORROBOLILLOS Y LACHA (MUNICIPIO DE FILANDIA).....	505
TABLA 284. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE LA QUEBRADA BUENAVISTA.....	506
TABLA 285. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE LA QUEBRADA CRISTALES	508
TABLA 286. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE LA QUEBRADA LA PICOTA.....	511
TABLA 287. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE LA QUEBRADA SAN JOSÉ (MUNICIPIO DE FILANDIA)	512
TABLA 288. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE EL RÍO ESPEJO.....	514
TABLA 289. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE EL RÍO GRIS	517
TABLA 290. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE EL RÍO SAN JUAN	518
TABLA 291. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE EL RÍO ROJO	520
TABLA 292. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE EL RÍO LEJOS.....	522
TABLA 293. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE EL RÍO QUINDÍO	524
TABLA 294. RESULTADOS DE ICA DETERMINADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO SOBRE EL RÍO ROBLE.....	529
TABLA 295. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA). VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	534

TABLA 296. CARGAS CONTAMINANTES PARA LAS QUEBRADAS BARRO BLANCO, CHORROBOLILLOS Y LACHA (MUNICIPIO DE FILANDIA). VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	538
TABLA 297. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	543
TABLA 298. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	548
TABLA 299. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	553
TABLA 300. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA SAN JOSÉ. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	556
TABLA 301. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESPEJO. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	561
TABLA 302. CARGAS CONTAMINANTES PARA LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS ROJO, SAN JUAN Y GRÍS. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	569
TABLA 303. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	578
TABLA 304. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	584
TABLA 305. CARGAS CONTAMINANTES PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE. VALORES DETERMINADOS PARA EL AÑO 2022	596
TABLA 306. CRITERIOS MÍNIMOS DE CALIDAD PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO	599
TABLA 307. CUMPLIMIENTO DE LOS CRITERIOS MÍNIMOS DE CALIDAD PARA LAS FUENTES ABASTECEDORAS	600
TABLA 308. EVALUACIÓN DE CARGAS ESTIMADA VS CARGAS DETERMINADAS EN LOS MONITOREOS DE CALIDAD DE AGUA	603
TABLA 309. TRAMOS DE CORRIENTES SUPERFICIALES CON OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA DEFINIDOS	610
TABLA 310. GRADO DE CUMPLIMIENTO A LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA	611
TABLA 311. EVALUACIÓN DE LA DBO5 (MG/L) EN LOS TRAMOS ANALIZADOS EN EL SEGUIMIENTO 2023	613
TABLA 312. EVALUACIÓN DE LOS SST (MG/L) EN LOS TRAMOS ANALIZADOS EN EL SEGUIMIENTO 2023	615
TABLA 313. EVALUACIÓN DEL OD (MG/L) EN LOS TRAMOS ANALIZADOS EN EL SEGUIMIENTO 2023	619
TABLA 314. EVALUACIÓN NITRITOS-NITRATOS (MG/L) EN LOS TRAMOS ANALIZADOS EN EL SEGUIMIENTO 2023	621
TABLA 315. EVALUACIÓN DE LA DQO (MG/L) EN LOS TRAMOS ANALIZADOS EN EL SEGUIMIENTO 2023	624
TABLA 316. EVALUACIÓN DEL PH EN LOS TRAMOS ANALIZADOS EN EL SEGUIMIENTO 2023	626
TABLA 317. RESUMEN DEL SEGUIMIENTO A LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA	631
TABLA 318. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO.	635
TABLA 319. DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO POR UNIDAD HIDROGRÁFICA	636
TABLA 320. INTERPRETACIÓN DEL BMWP/COL	647
TABLA 321. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA EL RÍO SAN JUAN.	648
TABLA 322. CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/COL REPORTADO PARA LA ESTACIÓN DE MONITOREO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA EL RÍO SAN JUAN	651
TABLA 323. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA EL RÍO GRIS.	653

TABLA 324. CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/COL REPORTADO PARA LA ESTACIÓN DE MONITOREO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRIS.	656
TABLA 325. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA EL RÍO ROJO.....	657
TABLA 326. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO.....	660
TABLA 327. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA EL RÍO LEJOS.	661
TABLA 328. CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/COL REPORTADO PARA LAS ESTACIONES DE MONITOREO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS.	664
TABLA 329. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA PICOTA.	667
TABLA 330. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA.	670
TABLA 331. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES.	673
TABLA 332. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES.....	676
TABLA 333. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA.	677
TABLA 334. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA.	680
TABLA 335. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RIO ESPEJO.	683
TABLA 336. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESPEJO.	685
TABLA 337. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RIO ROBLE.	688
TABLA 338. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE.....	691
TABLA 339. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	694
TABLA 340. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.	698

Lista de Figuras

FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA DEL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	44
FIGURA 2. DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL CICLO HIDROLÓGICO NATURAL EN CADA UNIDAD DE ANÁLISIS (FUENTE: BARRIOS, 2022)	45
FIGURA 3. ESQUEMA CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN LA ERA. (FUENTE: (IDEAM, 2013)	51
FIGURA 4. UNIDADES HIDROLÓGICAS PARA ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA	56
FIGURA 5. MICROCUENCAS ABASTecedoras DE ACUEDUCTOS.....	58
FIGURA 6. ESQUEMA CONCEPTUAL DE CELDA DEL MODELO TETIS (FRANCÉS, ET AL, 2007)	63
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL POR MUNICIPIO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO, PERIODO 1990 A 2022 ...	70
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES EVALUADAS (PERIODO 1990 – 2022). EL NÚMERO QUE ETIQUETA CADA ESTACIÓN EN LA PARTE DERECHA DE LA FIGURA CORRESPONDE AL CÓDIGO DE LA ESTACIÓN.....	71
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO (1990 – 2022)	72
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO (1990 – 2022)	73
FIGURA 11. TENDENCIA DE ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN ANUAL DEL PERIODO 1990 A 2022 EN LAS ESTACIONES DE LA ERA-2023....	74
FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA ANUAL POR MUNICIPIO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO, PERIODO 1990 A 2022 .	75
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LAS ESTACIONES EVALUADAS (PERIODO 1990 – 2022) .	76
FIGURA 14. TENDENCIA DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL DEL PERIODO 1990 A 2022 EN LAS ESTACIONES DE LA ERA- 2023.....	76
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO (1990 – 2022).....	77
FIGURA 16. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS SELECCIONADAS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	78
FIGURA 17. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS CON REGISTROS SISTEMÁTICOS HISTÓRICOS DE NIVELES DIARIOS PARA EL PERIODO DE ANÁLISIS EN JURISDICCIÓN DE CRQ.....	79
FIGURA 18. MAPA DE ELEVACIÓN MEDIA DEL TERRENO CON RELACIÓN AL NIVEL DEL MAR EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO. FUENTE: FATHOM, (2023).....	81
FIGURA 19. MAPA DE DIRECCIONES DE FLUJO CON ALGORITMO D8 EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	82
FIGURA 20. MAPA DE ACUMULACIÓN DE FLUJO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	83
FIGURA 21. MAPA DE PENDIENTES TOPOGRÁFICAS POR CELDA EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO.....	84
FIGURA 22. MAPA DE VELOCIDAD DE FLUJO EN LADERA EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	85
FIGURA 23. MAPA DE CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN (MM) EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	89
FIGURA 24. MAPA DE ALMACENAMIENTO ESTÁTICO (HU) EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO.....	93
FIGURA 25. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO.....	94
FIGURA 26. MAPA DE ESPESOR DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	95
FIGURA 27. MAPA DE PROFUNDIDAD DE RAÍCES EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO.....	96
FIGURA 28. MAPA DE PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	97
FIGURA 29. MAPA DE AGUA DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS (CM ³ /CM ³) EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	98
FIGURA 30. MAPA DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL DE AGUA POR EFECTO DE LA COBERTURA EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	99

FIGURA 31. MAPA DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL DE AGUA POR EFECTO DE LA PENDIENTE TOPOGRÁFICA EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	100
FIGURA 32. MAPA DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL TOTAL DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	101
FIGURA 33. MAPA DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA VERTICAL DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	102
FIGURA 34. MAPA DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA HORIZONTAL DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	103
FIGURA 35. MAPA DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA DEL ACUÍFERO (KSA) EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	106
FIGURA 36. MAPA DE CAPACIDAD DE PERCOLACIÓN DEL SUBSTRATO (Kp) EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	107
FIGURA 37. MAPA DE CAPACIDAD DE PERCOLACIÓN DEL ACUÍFERO PROFUNDO (Kps) EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO	108
FIGURA 38. CAUDALES OBSERVADOS Y SIMULADOS DURANTE EL PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LAS ESTACIONES BALÍ, LA HERRADURA Y PUERTO ALEJANDRÍA.....	116
FIGURA 39. CAUDALES OBSERVADOS Y SIMULADOS DURANTE EL PERIODO DE VALIDACIÓN EN LAS ESTACIONES BALÍ Y LA HERRADURA ..	117
FIGURA 40. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES Y DIAGRAMA DE CAJAS-BIGOTES DEL CAUDAL DIARIO OBSERVADO Y SIMULADO PARA EL PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LA ESTACIÓN BALÍ	117
FIGURA 41. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES Y DIAGRAMA DE CAJAS-BIGOTES DEL CAUDAL DIARIO OBSERVADO Y SIMULADO PARA EL PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LA ESTACIÓN LA HERRADURA	118
FIGURA 42. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES Y DIAGRAMA DE CAJAS-BIGOTES DEL CAUDAL DIARIO OBSERVADO Y SIMULADO PARA EL PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LA ESTACIÓN PUERTO ALEJANDRÍA	118
FIGURA 43. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES Y DIAGRAMA DE CAJAS-BIGOTES DEL CAUDAL DIARIO OBSERVADO Y SIMULADO PARA EL PERIODO DE VALIDACIÓN EN LA ESTACIÓN BALÍ.....	118
FIGURA 44. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES Y DIAGRAMA DE CAJAS-BIGOTES DEL CAUDAL DIARIO OBSERVADO Y SIMULADO PARA EL PERIODO DE VALIDACIÓN EN LA ESTACIÓN LA HERRADURA.....	119
FIGURA 45. CAUDAL MEDIO MENSUAL PARA EL PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LA ESTACIÓN BALÍ	119
FIGURA 46. CAUDAL MEDIO MENSUAL PARA EL PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LA ESTACIÓN LA HERRADURA	119
FIGURA 47. CAUDAL MEDIO MENSUAL PARA EL PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LA ESTACIÓN PUERTO ALEJANDRÍA	120
FIGURA 48. CAUDAL MEDIO MENSUAL PARA EL PERIODO DE VALIDACIÓN EN LA ESTACIÓN BALÍ	120
FIGURA 49. CAUDAL MEDIO MENSUAL PARA EL PERIODO DE VALIDACIÓN EN LA ESTACIÓN LA HERRADURA	120
FIGURA 50. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA LA PICOTA.....	126
FIGURA 51. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA LA PICOTA	127
FIGURA 52. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO LEJOS	128
FIGURA 53. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO LEJOS	129
FIGURA 54. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO NAVARCO.....	130
FIGURA 55. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO NAVARCO	131
FIGURA 56. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 1	132
FIGURA 57. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 1.....	133
FIGURA 58. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 2	134

FIGURA 59. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 2.....	135
FIGURA 60. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 3.....	136
FIGURA 61. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 3.....	137
FIGURA 62. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 4.....	138
FIGURA 63. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 4.....	139
FIGURA 64. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 5.....	140
FIGURA 65. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 5.....	141
FIGURA 66. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 6.....	142
FIGURA 67. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 6.....	143
FIGURA 68. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 7.....	144
FIGURA 69. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 7.....	145
FIGURA 70. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 8.....	146
FIGURA 71. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 8.....	147
FIGURA 72. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 9.....	148
FIGURA 73. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 9.....	149
FIGURA 74. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 10.....	150
FIGURA 75. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 10.....	151
FIGURA 76. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 11.....	152
FIGURA 77. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 11.....	153
FIGURA 78. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO QUINDIO TRAMO 12.....	154
FIGURA 79. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO QUINDIO TRAMO 12.....	155
FIGURA 80. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO SANTO DOMINGO.....	156
FIGURA 81. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO SANTO DOMINGO.....	157
FIGURA 82. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO VERDE TRAMO 1.....	158
FIGURA 83. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO VERDE TRAMO 1.....	159
FIGURA 84. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO VERDE TRAMO 2.....	160

FIGURA 85. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO VERDE TRAMO 2	161
FIGURA 86. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO SAN JUAN.....	162
FIGURA 87. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO SAN JUAN	163
FIGURA 88. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO GRIS.....	164
FIGURA 89. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO GRIS.....	165
FIGURA 90. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROJO.....	166
FIGURA 91. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
RIO ROJO.....	167
FIGURA 92. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA BUENAVISTA TRAMO 1..	168
FIGURA 93. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
QUEBRADA BUENAVISTA TRAMO 1.....	169
FIGURA 94. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA BUENAVISTA TRAMO 2..	170
FIGURA 95. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
QUEBRADA BUENAVISTA TRAMO 2.....	171
FIGURA 96. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA LA TIGRERA	172
FIGURA 97. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
QUEBRADA LA TIGRERA	173
FIGURA 98. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA CAMPO ALEGRE	174
FIGURA 99. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS	
QUEBRADA CAMPO ALEGRE	175
FIGURA 100. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 1	176
FIGURA 101. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE	
ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 1.....	177
FIGURA 102. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 2	178
FIGURA 103. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE	
ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 2.....	179
FIGURA 104. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 3	180
FIGURA 105. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE	
ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 3.....	181
FIGURA 106. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 4	182
FIGURA 107. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE	
ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 4.....	183
FIGURA 108. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 5	184
FIGURA 109. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE	
ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 5.....	185
FIGURA 110. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 6	186

FIGURA 111. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 6	187
FIGURA 112. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 7	188
FIGURA 113. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ROBLE TRAMO 7	189
FIGURA 114. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA LACHA	190
FIGURA 115. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA LACHA	191
FIGURA 116. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS DRENAJES AL RIO BARBAS.....	192
FIGURA 117. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS DRENAJES AL RIO BARBAS	193
FIGURA 118. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS DRENAJES AL RIO BARRAGAN.....	194
FIGURA 119. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS DRENAJES AL RIO BARRAGAN	195
FIGURA 120. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS DRENAJES AL RIO LA VIEJA	196
FIGURA 121. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS DRENAJES AL RIO LA VIEJA.....	197
FIGURA 122. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA CRISTALES	198
FIGURA 123. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS QUEBRADA CRISTALES	199
FIGURA 124. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ESPEJO	200
FIGURA 125. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS RIO ESPEJO	201
FIGURA 126. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BOLIVIA	202
FIGURA 127. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BOLIVIA	203
FIGURA 128. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA COROZAL	204
FIGURA 129. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA COROZAL	205
FIGURA 130. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA CRISTALINA	206
FIGURA 131. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA CRISTALINA	207
FIGURA 132. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CRUZ GORDA.....	208
FIGURA 133. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CRUZ GORDA	209

FIGURA 134. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL AGUILA.....	210
FIGURA 135. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL AGUILA	211
FIGURA 136. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO 2	212
FIGURA 137. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO 2	213
FIGURA 138. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO LA GATA	214
FIGURA 139. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL SALADO LA GATA	215
FIGURA 140. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA DIAMANTINA	216
FIGURA 141. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA DIAMANTINA.....	217
FIGURA 142. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA LLORONA	218
FIGURA 143. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA LLORONA.....	219
FIGURA 144. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PICOTA.....	220
FIGURA 145. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PICOTA	221
FIGURA 146. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA VIBORA	222
FIGURA 147. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA VIBORA	223
FIGURA 148. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS PIZARRAS	224
FIGURA 149. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS PIZARRAS	225
FIGURA 150. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL NARANJAL.....	226
FIGURA 151. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL NARANJAL.....	227
FIGURA 152. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL ROBLE LOS JUSTOS	228
FIGURA 153. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL ROBLE LOS JUSTOS	229

FIGURA 154. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA PIJAO	230
FIGURA 155. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA PIJAO	231
FIGURA 156. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO GRIS .	232
FIGURA 157. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO GRIS.....	233
FIGURA 158. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO EPA.....	234
FIGURA 159. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO EPA.....	235
FIGURA 160. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO TEBAIDA	236
FIGURA 161. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO TEBAIDA	237
FIGURA 162. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO ESTACIÓN DE BOMBEO	238
FIGURA 163. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO QUINDIO ESTACIÓN DE BOMBEO	239
FIGURA 164. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO VERDE	240
FIGURA 165. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO VERDE	241
FIGURA 166. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA SAN RAFAEL	242
FIGURA 167. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA SAN RAFAEL	243
FIGURA 168. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO SANTO DOMINGO.....	244
FIGURA 169. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO SANTO DOMINGO.....	245
FIGURA 170. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CAJONES.....	246
FIGURA 171. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA CAJONES.....	247
FIGURA 172. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL BOSQUE	248
FIGURA 173. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA EL BOSQUE	249
FIGURA 174. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA ARENOSA.....	250

FIGURA 175. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA ARENOSA	251
FIGURA 176. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA MARINA	252
FIGURA 177. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA MARINA	253
FIGURA 178. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PALOMA	254
FIGURA 179. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA PALOMA.....	255
FIGURA 180. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA SOLEDAD	256
FIGURA 181. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LA SOLEDAD	257
FIGURA 182. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS LAJAS	258
FIGURA 183. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA LAS LAJAS	259
FIGURA 184. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BUENAVISTA.....	260
FIGURA 185. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA QUEBRADA BUENAVISTA.....	261
FIGURA 186. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE CIRCASIA.....	262
FIGURA 187. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE CIRCASIA	263
FIGURA 188. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 1	264
FIGURA 189. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 1.....	265
FIGURA 190. RENDIMIENTO HÍDRICO DE AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 2	266
FIGURA 191. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA MENSUAL PARA AÑO MEDIO, HÚMEDO Y SECO EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS FUENTE ABASTECEDORA RIO ROBLE MONTENEGRO 2.....	267
FIGURA 192. ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS PARA EL PERIODO (1990 A 2022).....	269
FIGURA 193. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS PARA EL PERIODO (1990 A 2022)	270
FIGURA 194. ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS PARA EL PERIODO (1990 A 2022).....	271

FIGURA 195. ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO MEDIO PARA LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	274
FIGURA 196. MAPA DE ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO MEDIO PARA LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	275
FIGURA 197. ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO SECO PARA LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	276
FIGURA 198. MAPA DE ÍNDICE DE ARIDEZ SECO EN AÑO MEDIO PARA LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	277
FIGURA 199. ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO HÚMEDO PARA LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	278
FIGURA 200. MAPA DE ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO HÚMEDO PARA LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	279
FIGURA 201. ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO MEDIO PARA LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	280
FIGURA 202. ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO SECO PARA LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	281
FIGURA 203. ÍNDICE DE ARIDEZ MENSUAL EN AÑO HÚMEDO PARA LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS DE ANÁLISIS EN EL PERIODO 1990 A 2022	282
FIGURA 204. ONDULACIÓN MODELO GEOPOTENCIAL EGM2008 DE 3 SEGUNDOS DE ARCO PARA EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO... ..	285
FIGURA 205. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN ANALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO Y UBICACIÓN DE LA RED DE PUNTOS DE ELEVACIÓN ORTOMÉTRICA. (A) SRTM, (B) ASTER GDEM V3, (C) ALOS PALSAR, (D) TANDEM-X.....	286
FIGURA 206. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN ENTRE LOS PUNTOS OBSERVACIÓN DE ALTURA ORTOMÉTRICA MEDIDOS POR IGAC Y SGC FRENTE A LAS ALTURAS DE LOS DIFERENTES MODELOS DE ELEVACIÓN ANALIZADOS.	289
FIGURA 207. DIAGRAMA DE TAYLOR PARA EVALUAR LA PRECISIÓN VERTICAL DE LOS MDEs.....	289
FIGURA 208. VISTA 3D Y 2D DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN ALOS PALSAR CON CORRECCIÓN GEOIDAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO.	290
FIGURA 209. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO	291
FIGURA 210. ESQUEMA DEL DESARROLLO DE LOS ABANICOS DISTALES. (B) BASAMENTO PRECUATERNARIO; (AP) CONJUNTO DE ABANICOS PROXIMALES; (Ai) CONJUNTO DE ABANICOS INTERMEDIOS; (AD) CONJUNTO DE ABANICOS DISTALES. TOMADO DE ESPINOSA–BAQUERO, 2020.	295
FIGURA 211. MAPA GEOLÓGICO Y SISTEMA DE FALLAS DEL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO. ADAPTADO (SGC, 2016).	296
FIGURA 212. DESCRIPCIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y PERFIL GEOELÉCTRICO LOCALIZADOS DENTRO DEL SAQ	298
FIGURA 213. MAPA HIDROGEOLOGÍCO DEL QUINDÍO. ADAPTADO (SGC, 2016).....	300
FIGURA 214. MAPAS PIEZOMÉTRICOS Y DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA, PARA DEL ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑAS DE MEDICIÓN. A. 5/2010, B. 8/2010	303
FIGURA 215. MAPAS PIEZOMÉTRICOS Y DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA, PARA DEL ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑAS DE MEDICIÓN. A. 12/2018, B. 8-9/2019	304
FIGURA 216. MAPAS PIEZOMÉTRICOS Y DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA, PARA DEL ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑAS DE MEDICIÓN. E. 8/20210	305

FIGURA 217. ZONAS POTENCIALES DE RECARGA Y DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA, PARA DEL ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑAS DE MEDICIÓN. A. 8/2010, B. 8/2019 Y C. 8/2021.	306
FIGURA 218. INTERACCIÓN ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SAQ. SUPERFICIE DEL TERRENO (LÍNEA NEGRA), SUPERFICIE FREÁTICA (LÍNEA AZUL).....	308
FIGURA 219. CAMBIO ESPACIO-TEMPORAL DEL ESPESOR EQUIVALENTE DE AGUA, CON UNA RESOLUCIÓN DE 10 DÍAS, PARA 22 PUNTOS DE MONITOREO EVALUADOS EN EL SAQ PARA EL PERIODO 2002-2022.	314
FIGURA 220. CAMBIO ANUAL DEL ESPESOR EQUIVALENTE DE AGUA EN EL SAQ, PARA EL PERIODO 2002-2022. ABANICO PROXIMAL (LÍNEAS COLOR AZUL), ABANICO INTERMEDIO (LÍNEAS COLOR VERDE), ABANICO DISTAL (LÍNEAS COLOR ROJO) Y PARA TODO EL SAQ (LÍNEA COLOR NEGRO).....	315
FIGURA 221. CAMBIO PROMEDIO MENSUAL DEL ESPESOR EQUIVALENTE DE AGUA EN EL SAQ, PARA EL PERIODO 2002-2022. ABANICO PROXIMAL (LÍNEAS COLOR AZUL), ABANICO INTERMEDIO (LÍNEAS COLOR VERDE), ABANICO DISTAL (LÍNEAS COLOR ROJO) Y PARA TODO EL SAQ (LÍNEA COLOR NEGRO).....	315
FIGURA 222. COMPARACIÓN MENSUAL ENTRE: A. ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA (TWS= SW+GW), HUMEDAD DEL SUELO HASTA LA ZONA DE RAÍCES (SW) Y NIVEL DE AGUA SUBTERRÁNEA (GW) Y B. VARIACIÓN DEL ÍNDICE CLIMÁTICO ESTANDARIZADO ONI Y NIVEL DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SAQ PARA EL PERIODO 2002-2022.	316
FIGURA 223. VARIACIÓN PROMEDIO ESTACIONAL DEL EWH PARA EL PERIODO 2002-2022 EN EL SAQ. A. DICIEMBRE-ENERO-FEBRERO, B. MARZO-ABRIL-MAYO, C. JUNIO-JULIO-AGOSTO Y D. SEPTIEMBRE-OCTUBRE-NOVIEMBRE.	318
FIGURA 224. CONCENTRACIÓN DE CALCIO (CA) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.....	332
FIGURA 225. CONCENTRACIÓN DE MAGNESIO (MG) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.	333
FIGURA 226. CONCENTRACIÓN DE SODIO (NA) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.....	334
FIGURA 227. CONCENTRACIÓN DE POTASIO (K) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.....	335
FIGURA 228. CONCENTRACIÓN DE BICARBONATO (HCO ₃ ⁻) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.	336
FIGURA 229. CONCENTRACIÓN DE SULFATO (SO ₄ ⁻) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.	337
FIGURA 230. CONCENTRACIÓN DE CLORURO (CL ⁻) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.....	338
FIGURA 231. CONCENTRACIÓN DE NITRATO (NO ₃ ⁻) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.	339
FIGURA 232. CONCENTRACIÓN DE PH EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.	340
FIGURA 233. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (μS/CM) EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.	341
FIGURA 234. DIAGRAMAS PIPER EN EL SAQ: CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018, C. 2019 Y D. 2021.....	343

FIGURA 235. DIAGRAMAS STIFF DE CONTENIDO DE IONES MAYORITARIOS EN EL SAQ: ACUÍFERO SOMERO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019. ACUÍFERO PROFUNDO DEL QUINDÍO, CAMPAÑA DE MONITOREO: D. 2010 Y E. 2021.	344
FIGURA 236. MATRIZ DE CORRELACIÓN ACUÍFERO SOMERO, CAMPAÑA DE MONITOREO AÑO 2010.	346
FIGURA 237. MATRIZ DE CORRELACIÓN ACUÍFERO SOMERO, CAMPAÑA DE MONITOREO AÑO 2018.	347
FIGURA 238. MATRIZ DE CORRELACIÓN ACUÍFERO SOMERO, CAMPAÑA DE MONITOREO AÑO 2019.	347
FIGURA 239. MATRIZ DE CORRELACIÓN ACUÍFERO PROFUNDO, CAMPAÑA DE MONITOREO AÑO 2010.	348
FIGURA 240. MATRIZ DE CORRELACIÓN ACUÍFERO PROFUNDO, CAMPAÑA DE MONITOREO AÑO 2021.	348
FIGURA 241. DIAGRAMAS DE DUROV, CAMPAÑAS DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018, C. 2019 Y D. 2021.	351
FIGURA 242. DIAGRAMAS DE GIBBS, CAMPAÑAS DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018 Y C. 2019.	352
FIGURA 243. DIAGRAMAS GAILLARDET, CAMPAÑAS DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018, C. 2019 Y D. 2021.	353
FIGURA 244. DIAGRAMAS HFE, CAMPAÑAS DE MONITOREO: A. 2010, B. 2018, C. 2019 Y D. 2021.	354
FIGURA 245. DIAGRAMAS BIVARIADOS DE LAS AGUAS DE ASQ DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO 2010 (A Y B), 2018 (C Y D) Y 2019 (E Y F) INDICANDO LA RELACIÓN ENTRE NA Y SiO ₂ (A, C Y E) Y LA RELACIÓN ENTRE NA/CL Y CL (B, D Y F).	356
FIGURA 246. DIAGRAMAS BIVARIADOS DE LAS AGUAS DE APQ DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO 2010 (A Y B) Y 2021 (C Y D) INDICANDO LA RELACIÓN ENTRE NA Y SiO ₂ (A Y C) Y LA RELACIÓN ENTRE NA/CL Y CL (B Y D).	357
FIGURA 247. LOCALIZACIÓN DE LA RED DE MONITOREO DE ISÓTOPOS DE LA PRECIPITACIÓN (QNIP).	358
FIGURA 248. RECTA METEÓRICA DEL SAQ, CONSTRUIDA A PARTIR DE 205 MEDICIONES.	359
FIGURA 249. VARIACIÓN MENSUAL DEL OXÍGENO-18 EN LA PRECIPITACIÓN PARA EL PERIODO (2018-2021) EN LOS 5 PUNTOS DE MONITOREO.	360
FIGURA 250. PROMEDIO MENSUAL EN LA PRECIPITACIÓN PARA EL PERIODO (2018-2021) DE: A OXÍGENO-18, B. DEUTERIO Y C. EXCESO D DEUTERIO.	362
FIGURA 251. COMPARACIÓN EXCESO DE DEUTERIO: VALORES INTERPOLADOS POR TERZER (CÍRCULOS BLANCOS) Y PROMEDIOS DE LA RED QNIP (CÍRCULOS NEGROS).	363
FIGURA 252. CONCENTRACIONES ISOTÓPICAS PONDERADAS POR CANTIDAD DE LLUVIA. DATOS HASTA SEPTIEMBRE DE 2021.	365
FIGURA 253. DIAGRAMAS CAJAS Y BIGOTES ISÓTOPOS ESTABLES EN EL AGUA SUBTERRÁNEA. VALORES EN ‰ VSMOW.	367
FIGURA 254. OXÍGENO-18 VS DEUTERIO. AGUA SUBTERRÁNEA. CAMPAÑA 2021.	368
FIGURA 255. ZONIFICACIÓN EXCESO DE DEUTERIO. ACUÍFERO CONFINADO.	369
FIGURA 256. RANGOS PARA LA FIRMA ISOTÓPICA, DIFERENTES FUENTES DE NITRATOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA.	371
FIGURA 257. NO ₃ VS ¹⁵ N, AGUA SUBTERRÁNEA.	372
FIGURA 258. MODELO CONCEPTUAL SOBRE EL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL QUINDÍO.	382
FIGURA 259. CONCEPTOS BÁSICOS PARA DEFINIR LA DEMANDA HÍDRICA A NIVEL REGIONAL. FUENTE: (IDEAM, 2013).	385
FIGURA 260. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL POR SECTORES.	388
FIGURA 261. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL DOMÉSTICA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.	389
FIGURA 262. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL AGRÍCOLA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.	390
FIGURA 263. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL ACUÍCOLA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.	391
FIGURA 264. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL ENERGÉTICA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.	392
FIGURA 265. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL INDUSTRIAL POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.	393
FIGURA 266. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL PECUARIA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.	394
FIGURA 267. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL PISCÍCOLA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.	395

FIGURA 268. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL RECREATIVA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	395
FIGURA 269. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL PARA RIEGO POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	396
FIGURA 270. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA POR SECTORES	397
FIGURA 271. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA DOMÉSTICA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.....	398
FIGURA 272. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA AGRÍCOLA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	399
FIGURA 273. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA INDUSTRIAL POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS.....	400
FIGURA 274. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA PECUARIA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	401
FIGURA 275. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA PISCÍCOLA POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	401
FIGURA 276. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO POR UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	402
FIGURA 277. ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	406
FIGURA 278. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	407
FIGURA 279. ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	408
FIGURA 280. MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	409
FIGURA 281. ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS	411
FIGURA 282. ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LAS FUENTES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS	412
FIGURA 283. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	454
FIGURA 284. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS	456
FIGURA 285. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE ANÁLISIS PARA EL PERIODO 1990 A 2022	463
FIGURA 286. LOCALIZACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO SUPERFICIALES MICROBIOLÓGICO Y BÁSICO	484
FIGURA 287. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SITIOS DEFINIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL IACAL.....	502
FIGURA 288. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA)	503
FIGURA 289. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA)	504
FIGURA 290. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO QUEBRADAS BARRO BLANCO, CHORROBILLOS Y LACHA (MUNICIPIO DE FILANDIA) .	505
FIGURA 291. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LAS QUEBRADAS BARRO BLANCO, CHORROBILLOS Y LACHA (MUNICIPIO DE FILANDIA).....	505
FIGURA 292. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO QUEBRADA BUENAVISTA	507
FIGURA 293. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA.....	507
FIGURA 294. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO QUEBRADA CRISTALES	509
FIGURA 295. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES	510
FIGURA 296. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO QUEBRADA LA PICOTA	511
FIGURA 297. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA.....	512
FIGURA 298. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO QUEBRADA SAN JOSÉ (MUNICIPIO DE FILANDIA)	512
FIGURA 299. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA SAN JOSÉ (MUNICIPIO DE FILANDIA)	513
FIGURA 300. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO RÍO ESPEJO	514

FIGURA 301. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA RÍO ESPEJO.....	516
FIGURA 302. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO RÍO GRIS	517
FIGURA 303. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA RÍO GRIS	518
FIGURA 304. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO RÍO SAN JUAN	519
FIGURA 305. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA RÍO SAN JUAN	519
FIGURA 306. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO RÍO ROJO	520
FIGURA 307. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA RÍO ROJO	521
FIGURA 308. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO RÍO LEJOS	522
FIGURA 309. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA RÍO LEJOS.....	523
FIGURA 310. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO RÍO QUINDÍO	526
FIGURA 311. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA RÍO QUINDÍO	528
FIGURA 312. DESCRIPTOR DEL ICA POR TRAMO RÍO ROBLE	530
FIGURA 313. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL (ICA) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA RÍO ROBLE	531
FIGURA 314. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA)	533
FIGURA 315. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA).....	533
FIGURA 316. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA).....	535
FIGURA 317. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA QUEBRADA AGUA LINDA (MUNICIPIO DE QUIMBAYA).....	535
FIGURA 318. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LAS QUEBRADAS LACHA Y BARRO BLANCO (MUNICIPIO DE FILANDIA)	536
FIGURA 319. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LAS QUEBRADAS LACHA Y BARRO BLANCO (MUNICIPIO DE FILANDIA)	537
FIGURA 320. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LAS QUEBRADAS LACHA Y BARRO BLANCO (MUNICIPIO DE FILANDIA)	537
FIGURA 321. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA	539
FIGURA 322. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA	540
FIGURA 323. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA	542
FIGURA 324. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA	542
FIGURA 325. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES	545
FIGURA 326. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES	546
FIGURA 327. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES	547
FIGURA 328. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES	547
FIGURA 329. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA	550
FIGURA 330. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA	551

FIGURA 331. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA	552
FIGURA 332. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA	552
FIGURA 333. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA QUEBRADA SAN JOSÉ (MUNICIPIO DE FILANDIA)	554
FIGURA 334. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA QUEBRADA SAN JOSÉ (MUNICIPIO DE FILANDIA)	554
FIGURA 335. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA SAN JOSÉ (MUNICIPIO DE FILANDIA)	555
FIGURA 336. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA SAN JOSÉ (MUNICIPIO DE FILANDIA)	555
FIGURA 337. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESPEJO	557
FIGURA 338. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESPEJO	559
FIGURA 339. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESPEJO.....	560
FIGURA 340. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESPEJO	560
FIGURA 341. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO.....	567
FIGURA 342. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO.....	567
FIGURA 343. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO	568
FIGURA 344. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO.....	568
FIGURA 345. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JUAN	571
FIGURA 346. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JUAN	571
FIGURA 347. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JUAN.....	572
FIGURA 348. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JUAN.....	572
FIGURA 349. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRIS	573
FIGURA 350. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRIS.....	573
FIGURA 351. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRÍS.....	574
FIGURA 352. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRÍS.....	574
FIGURA 353. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS	575
FIGURA 354. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS	576
FIGURA 355. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS	577
FIGURA 356. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO.....	577

FIGURA 357. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	580
FIGURA 358. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	582
FIGURA 359. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	583
FIGURA 360. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	583
FIGURA 361. CARGA TOTAL APORTADA POR SECTORES EN EL AÑO 2022 PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE	593
FIGURA 362. DESCRIPTOR DEL IACAL POR TRAMO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE	594
FIGURA 363. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO MEDIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE	595
FIGURA 364. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE	595
FIGURA 365. CORRELACIÓN ENTRE CARGAS ESTIMADAS VS CARGAS DETERMINADAS EN LOS MONITOREOS DE CALIDAD DE AGUA.....	608
FIGURA 366. COMPARACIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO5) ENTRE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SEGUIMIENTO MUESTREOS ERA 2023.....	614
FIGURA 367. COMPARACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) ENTRE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SEGUIMIENTO MUESTREOS ERA 2023.....	617
FIGURA 368. COMPARACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTUO (OD) ENTRE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SEGUIMIENTO MUESTREOS ERA 2023.....	620
FIGURA 369. COMPARACIÓN DE NITRATOS + NITRITOS ENTRE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SEGUIMIENTO MUESTREOS ERA 2023	622
FIGURA 370. COMPARACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) ENTRE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SEGUIMIENTO MUESTREOS ERA 2023.....	625
FIGURA 371. COMPARACIÓN DEL PH ENTRE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SEGUIMIENTO MUESTREOS ERA 2023.....	628
FIGURA 372. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO PARA EL MONITOREO HIDROBIOLÓGICO EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO.	633
FIGURA 373. ESTACIONES DE MUESTREO DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS SAN JUAN, GRIS, ROJO Y LA QUEBRADA LA PICOTA.....	638
FIGURA 374. ESTACIONES DE MUESTREO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS Y LA QUEBRADA CRISTALES.	640
FIGURA 375. ESTACIONES DE MUESTREO DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA QUEBRADA BUENAVISTA Y EL RÍO ESPEJO.....	641
FIGURA 376. ESTACIONES DE MUESTREO DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE	642
FIGURA 377. ESTACIONES DE MUESTREO DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO QUINDÍO.	643
FIGURA 378. ESTACIONES DE MUESTREO DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO QUINDÍO (TRIBUTARIOS).....	644
FIGURA 379. MÉTODO DE COLECTA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS	645
FIGURA 380. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JUAN.....	648
FIGURA 381. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD HIDROGRÁFICA EL RÍO SAN JUAN. ...	649
FIGURA 382. DIVERSIDAD DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA EL RÍO SAN JUAN. .	651
FIGURA 383. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRIS.	652

FIGURA 384. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRIS ...	654
FIGURA 385. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GRIS.....	655
FIGURA 386. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO.	656
FIGURA 387. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN EL RIO ROJO.....	658
FIGURA 388. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROJO.....	659
FIGURA 389. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS.	661
FIGURA 390. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN EL RIO LEJOS.	663
FIGURA 391. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS.....	664
FIGURA 392. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LEJOS.	665
FIGURA 393. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA.	666
FIGURA 394. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA QUEBRADA LA PICOTA.	668
FIGURA 395. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA. A: PERFIL DE DIVERSIDAD; B: Q0; C: Q1; D: Q2. FUENTE: AUTORES (2023).....	669
FIGURA 396. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA PICOTA.	671
FIGURA 397. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES.	672
FIGURA 398. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA QUEBRADA CRISTALES.....	674
FIGURA 399. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CRISTALES	675
FIGURA 400. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA.	676
FIGURA 401. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA QUEBRADA BUENAVISTA.	678
FIGURA 402. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA.....	679
FIGURA 403. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA BUENAVISTA.	681
FIGURA 404. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RIO ESPEJO.	682
FIGURA 405. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN EL RIO ESPEJO.	684
FIGURA 406. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESPEJO.	685
FIGURA 407. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DEL RIO ESPEJO.	686
FIGURA 408. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE.	687
FIGURA 409. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN EL RIO ROBLE.	689

FIGURA 410. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE.	690
FIGURA 411. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DEL RIO ROBLE.	692
FIGURA 412. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RIO QUINDÍO.	693
FIGURA 413. ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN EL RIO QUINDÍO.	695
FIGURA 414. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.	696
FIGURA 415. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO (TRIBUTARIOS).	697
FIGURA 416. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REPORTADOS EN UNIDAD LA HIDROGRÁFICA DEL RIO QUINDÍO.	699

1. Introducción

Dada la importancia que tienen los recursos hídricos en el funcionamiento de los ecosistemas y su valor estratégico para el desarrollo social y económico del departamento del Quindío, se hace necesario articular las diferentes normas e instrumentos existentes para orientar los procesos de planificación y ordenación del recurso hídrico por parte de la Autoridad Ambiental, bajo un criterio de gestión integral, tal como lo establece la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH (MAVDT, 2010).

Lo anterior implica la necesidad de generar, sistematizar y analizar información que permita establecer el estado y dinámica del agua en una perspectiva de seguimiento continuo, siguiendo estándares nacionales que garanticen su calidad y transferencia de datos entre las distintas entidades regionales con el fin de consolidar los escenarios de gobernanza del agua en armonía con el marco legal nacional (IDEAM, 2013).

Por ello, el Estudio Nacional del Agua (ENA) (IDEAM, 2010) junto a los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua propuestos por el IDEAM (2013), plantean la necesidad de establecer la Evaluación Regional del Agua (ERA) en cada región del país y la actualización de sus indicadores hídricos en cortes periódicos de cuatro años; en tal sentido, el artículo 8 del Decreto 1640 del 2012 compilado en el decreto 1076 de 2015, decreta que las autoridades ambientales regionales deberán desarrollar la ERA a fin de dar cumplimiento a la normatividad ambiental. La Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), en el marco del plan de acción institucional 2020 - 2023 denominado "Protegiendo el patrimonio ambiental y más cerca del ciudadano", plantea la necesidad de formular la Actualización de la ERA del Departamento del Quindío a fin establecer indicadores relacionados con la oferta, demanda, calidad y riesgos de los recursos hídricos en su jurisdicción, esta información servirá de insumo para la toma de decisiones especialmente en lo relacionado con su disponibilidad, uso y aprovechamiento (IDEAM, 2013), teniendo en cuenta que la ERA del departamento del Quindío fue inicialmente elaborada en el año 2017, siendo necesaria su actualización.

En concordancia, el programa de Investigación del plan de desarrollo de la Universidad del Tolima busca consolidar procesos de investigación aplicada con transferencia de conocimiento hacia la toma de decisiones a nivel local y regional. En este contexto, la Universidad orienta sus líneas de investigación hacia el análisis y tratamiento de problemáticas que contribuyan a resolver necesidades en materia de desarrollo territorial sostenible.

Desde esta perspectiva, la Universidad del Tolima en asocio con la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) a través del convenio interadministrativo No. 006 de 2021, desarrollaron el presente estudio denominado “Actualización de la Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío” , el cual busca establecer el estado, dinámica y tendencia del agua en sus componentes de oferta hídrica, calidad, demanda y riesgos a la seguridad hídrica en las unidades hidrográficas de los ríos Quindío, San Juan, Gris, Rojo, Lejos, Roble, Espejo y las quebradas Buenavista, Cristales, y La Picota, cubriendo la totalidad del territorio en los doce (12) municipios del departamento (Figura 1). Lo anterior con el propósito de generar conocimiento para dar cumplimiento a los principios de la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico.

El estudio busca contribuir al desarrollo de la ciencia hidrológica en el área de la modelación hidrológica a través de la generación de estrategias de asimilación de información meteorológica satelital con información observada en superficie de la red hidrometeorológica del departamento del Quindío para evaluar su contribución a la robustez de la simulación hidrológica. Otro aspecto de interés investigativo es contrastar diferentes hipótesis sobre los patrones de flujo, su parametrización, y acoplamiento a los modelos hidrológicos de las unidades hidrográficas objeto de estudio, conceptualizando los mecanismos de producción de escorrentía y generar un sistema de indicadores hídricos actualizados que contribuyan a soportar la toma de decisiones en materia de gestión y administración de los recursos hídricos del departamento.

El presente informe documenta los resultados finales de la ejecución del convenio, se encuentra organizado en cinco capítulos relacionados con los componentes de Modelación Hidrológica, Oferta Hídrica, Aguas Subterráneas, Demanda Hídrica, Presión por Uso del Recurso Hídrico y Calidad del Agua.

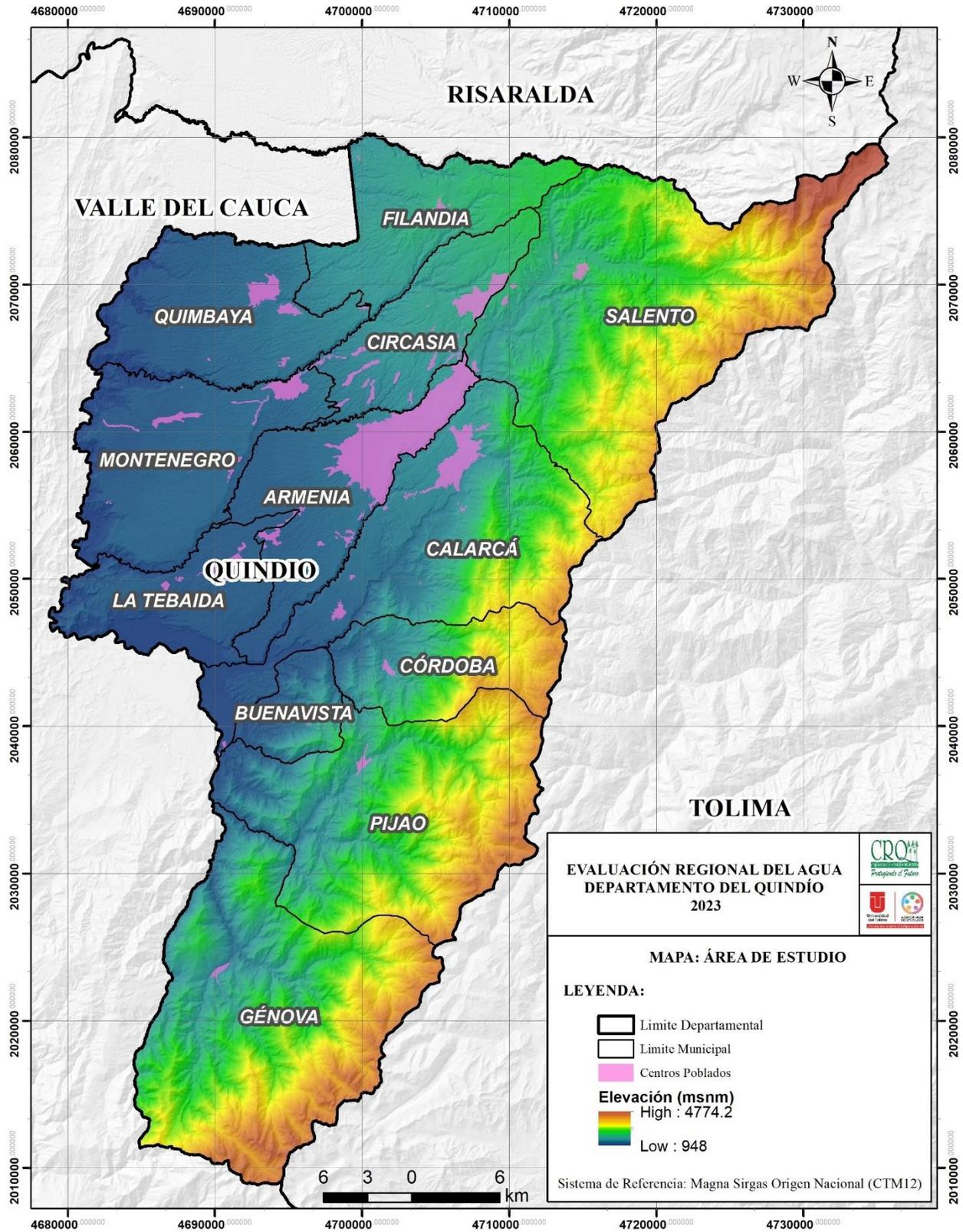


Figura 1. Área de Estudio para la Actualización de la Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío

2. Oferta Hídrica

2.1. Marco Conceptual y Metodológico

2.1.1. Ciclo Hidrológico

El concepto fundamental aplicado para cuantificar la oferta hídrica en la Evaluación Regional del Agua (ERA) es el ciclo hidrológico. En él se establece el modelo conceptual de la distribución de los flujos y almacenamientos de agua en la tierra y la atmósfera en sus estados líquido, sólido y gaseoso (Davie, 2008). El ciclo hidrológico se puede definir en un amplio rango de escalas espaciales y temporales. Para la ERA se analiza a nivel de dos tipos de unidades de análisis, referidas como Unidades Hidrográficas y Fuentes Abastecedoras de Acueductos, las cuales son relevantes para la gestión del recurso hídrico en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ).

Los procesos que componen el ciclo hidrológico natural en cada unidad de análisis de la ERA son la precipitación, la interceptación, la evapotranspiración, la infiltración, la percolación, la escorrentía superficial, la escorrentía subsuperficial, el flujo base y el flujo en la red de cauces (Figura 2). En un instante de tiempo, el agua se encuentra en condición de flujo en movimiento, en estado de almacenamiento, o en condición de cambio de estado entre las fases líquida, sólida y gaseosa.

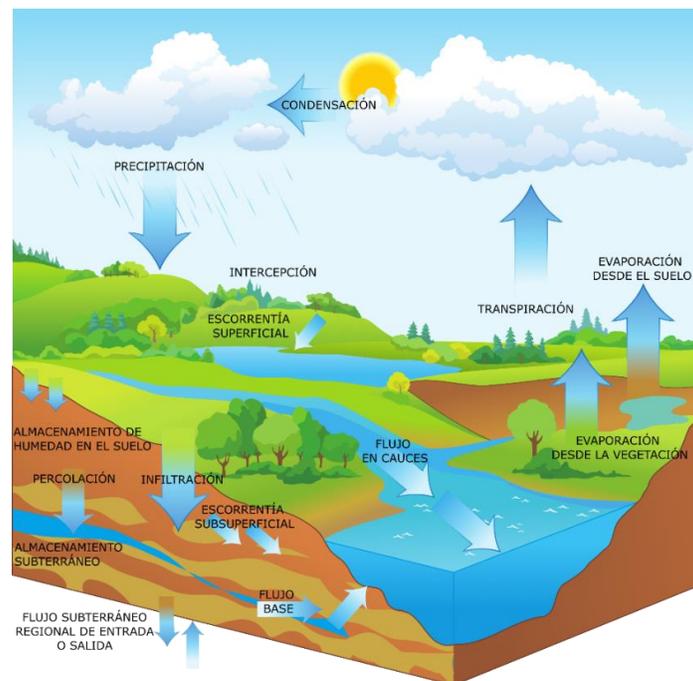


Figura 2. Diagrama conceptual del ciclo hidrológico natural en cada unidad de análisis (Fuente: Barrios, 2022)

Los usos antrópicos del agua, los usos del suelo y el efecto del cambio climático alteran el ciclo hidrológico natural descrito en la Figura 2, por lo que en el estudio y determinación de la distribución de los flujos y almacenamientos de agua en la Evaluación Regional del Agua se han considerado los efectos de Regulación de Caudales, Trasvases, Retornos y Extracciones que implican el cálculo de un régimen de caudales alterados en cada unidad de análisis. A continuación, se describen los procesos hidrológicos naturales y antrópicos considerados para la evaluación de la oferta hídrica en la ERA:

2.1.1.1. Precipitación

Es el aporte de agua desde la atmósfera a la superficie de la tierra, se integra por agua en todos sus estados, incluyendo nieve, granizo y lluvia. Esta es la mayor entrada de agua a una unidad hidrográfica en el departamento del Quindío, la cual se da principalmente en forma de lluvia. Varios aspectos de la lluvia afectan la producción de escorrentía, tales como el volumen, la intensidad, duración, variabilidad espacial y estacionalidad, por lo que es importante implementar métodos de interpolación espacial e imputación de datos faltantes de las mediciones puntuales de lluvia provenientes de la red de estaciones pluviométricas.

2.1.1.2. Intercepción

Representa el volumen de agua precipitada que se almacena temporalmente en el follaje, tallos y ramas de la vegetación, y que posteriormente retorna a la atmósfera mediante el proceso de evaporación.

2.1.1.3. Evapotranspiración

Integra los procesos de evaporación de agua desde la superficie del suelo, evaporación de agua desde el agua interceptada por la vegetación, evaporación desde cuerpos de agua superficial y la transpiración de la vegetación. La evaporación se refiere al cambio de estado del agua líquida a gaseosa que retorna a la atmósfera, cuya principal fuente de energía es la radiación solar y está influenciada por condiciones meteorológicas como temperatura del aire, humedad atmosférica, presión de vapor, velocidad del viento, y presión atmosférica. La transpiración corresponde a un proceso biofísico en el que las plantas liberan vapor de agua a la atmósfera, cuya magnitud depende del gradiente de presión de vapor entre la cámara subestomática y la atmósfera, la especie vegetal, y las condiciones atmosféricas. Debido a que la evaporación y transpiración ocurren de forma simultánea es difícil separar los dos procesos, por lo que es común integrarlos en el término evapotranspiración y de esta forma ser representados en un modelo hidrológico.

2.1.1.4. Infiltración

Es el proceso definido por el ingreso de agua al suelo a través de sus poros desde la superficie del terreno. El proceso está influenciado por la intensidad y duración de la lluvia, propiedades físicas del suelo, la humedad del suelo, la pendiente topográfica de la superficie del terreno, el tipo de cobertura de la tierra, y las condiciones de uso del suelo.

2.1.1.5. Percolación

Es el movimiento del agua a través de los horizontes del suelo por acción de fuerzas capilares y gravitacionales hasta sus capas más profundas, donde fluye como recarga al almacenamiento de agua subterránea saturada en los sistemas acuíferos conectados hidráulicamente con la columna de suelo.

2.1.1.6. Escorrentía Superficial

Se refiere al flujo de agua por la superficie del terreno hasta ser vertido a la red de cauces naturales. La proporción de precipitación que no es interceptada ni infiltrada en el suelo queda disponible en la superficie del terreno para fluir como escorrentía superficial hacia aguas abajo hasta alcanzar la red de corrientes naturales, el cual es denominado mecanismo de producción de escorrentía superficial por exceso de infiltración. Otro origen relevante de escorrentía superficial es el mecanismo por exceso de saturación, en el cual el suelo de la ladera admite toda la precipitación que entra en contacto con la superficie del suelo convirtiéndose en almacenamiento y flujo subsuperficial, del cual retorna una proporción a la superficie en las partes bajas de las laderas en forma de escorrentía superficial para finalmente fluir superficialmente hacia aguas abajo hasta alcanzar la red de corrientes naturales.

2.1.1.7. Escorrentía Subsuperficial

Representa el flujo de agua que llega a la red de corrientes naturales proveniente de la zona insaturada del suelo (zona vadosa), la cual comprende la región entre la subsuperficie del suelo y el nivel freático. Su cuantificación representa un reto para la ciencia hidrológica ya que en la zona vadosa convergen múltiples procesos hidrológicos, como la infiltración, la redistribución de humedad, percolación, flujo subsuperficial en caminos preferenciales de flujo, flujo en la matriz de suelo, y absorción de humedad por los sistemas radiculares de las plantas.

2.1.1.8. Flujo Base

Se refiere al flujo de agua en el medio poroso saturado (sistema acuífero) que fluye hacia la red de corrientes naturales conectadas hidráulicamente con el sistema acuífero. El flujo base está gobernado por fuerzas de presión y gravedad que actúan en el medio

poroso saturado y determinado por las características de almacenamiento, transmisividad, conductividad hidráulica, litología, estratigrafía y topografía.

2.1.1.9. Flujo en la red de cauces

Es el movimiento de agua superficial por acción de la gravedad en corrientes naturales expresada en unidades de volumen de agua por unidad de tiempo, está integrada por cuatro componentes: la precipitación directa sobre el cuerpo de agua (comúnmente despreciada en los modelos que representan el ciclo hidrológico), la escorrentía superficial, la escorrentía subsuperficial, y el flujo base.

2.1.1.10. Regulación de caudales a través de embalses

Este proceso hidrológico de origen antrópico o natural se genera por la modificación temporal de la evolución del caudal dado el almacenamiento temporal de volúmenes de agua en embalses artificiales o naturales. La redistribución del caudal en el tiempo puede darse desde pocas horas hasta algunos meses dependiendo el tamaño y usos dados al embalse (Hingray, Picouet, & Musy, 2015). Para modelar el efecto regulador de los embalses en los caudales es necesario considerar tres tipos de ecuaciones: ecuación de continuidad o de balance, ecuación de almacenamiento que por lo general relaciona el volumen de agua almacenada en función del nivel del embalse, y una o varias ecuaciones caudal de salida del embalse, que dependen de las reglas de regulación del embalse definidas con el control de las estructuras hidráulicas de salida. En el caso de la Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío, no se han considerado este tipo de procesos de regulación debido a que no hay presencia de embalses en las unidades hidrográficas objeto de estudio.

2.1.1.11. Trasvases de caudal

Representa los caudales que ingresan o salen de la unidad hidrológica de análisis, según IDEAM (2013), *“el trasvase se define como la cantidad de agua que se desvía de una corriente de agua propia de una cuenca hacia otra, el caudal de trasvase es positivo o negativo si este entra a la cuenca o sale de ella respectivamente”*.

2.1.1.12. Caudales de retorno

Hace referencia a los caudales no consumidos por usos benéficos del agua que retornan al cuerpo de agua en la unidad hidrológica de análisis. Según IDEAM (2013), cuando este caudal no se ha monitoreado se puede considerar un porcentaje dependiendo de la actividad y región.

2.1.1.13. Extracciones de caudal

Se refiere a los caudales captados para usos benéficos del agua en el cuerpo de agua objeto de evaluación en la unidad hidrológica de análisis. Según IDEAM (2013), se calcula como la sumatoria de las demandas para los diferentes usos.

2.1.2. Modelación Hidrológica de Cuencas

Dada la insuficiente completitud de información hidrológica y la necesidad de mejorar la comprensión, conceptualización y cuantificación de la distribución de flujos y almacenamientos constitutivos del ciclo hidrológico en cada unidad hidrológica de análisis, se requiere aplicar los conceptos y herramientas desarrollados para la modelación hidrológica, la cual comprende un sistema de relaciones cuantitativas entre los diferentes procesos que constituyen el ciclo hidrológico para relacionar y distribuir la lluvia que ingresa al sistema hidrológico con el flujo resultante en la red de cauces.

Existe una gran cantidad de modelos hidrológicos de cuenca, desde modelos simples agregados hasta complejos modelos espacialmente distribuidos con capacidad de realizar predicciones en el espacio y en el tiempo (Hingray et al., 2015), los modelos desarrollados presentan desde conceptualizaciones muy simplificadas hasta complejas ecuaciones físicamente basadas para representar los procesos hidrológicos. Debido a ello, la selección de un modelo para ser aplicado en un caso particular resulta ser un paso imprescindible en el proceso de modelación hidrológica de cuencas, considerando entre otros aspectos que incluso el modelo más complejo es una representación aproximada del ciclo hidrológico y las predicciones realizadas solamente podrán ser tan precisas como los datos de entrada usados para implementarlo.

Por tanto, es necesario contar con una conceptualización de los procesos relevantes para ser representados, una parametrización, selección de la formulación numérica y matemática y la definición de la resolución temporal y espacial de modelación. Sin embargo, en la aplicación de un modelo a una cuenca real, el valor de los parámetros no se conoce directa o exactamente, por lo que es necesario calibrar el modelo a través de un procedimiento que permite identificar un conjunto aceptable de parámetros por "ensayo y error" de forma manual o aplicando un algoritmo de optimización automática, en ambos casos se cambian los valores de los parámetros del modelo en un rango definido hasta encontrar el/los mejor/es ajuste/s probables. La calibración automática es objetiva en contraste con la subjetividad asociada a la calibración manual, sin embargo, sus resultados son sensibles a la selección de la función objetivo a optimizar.

Debido a la posibilidad de realizar un sobreajuste del modelo a las características de la muestra de datos hidrometeorológicos usados en la calibración, es necesario que el modelo sea validado a través de la evaluación del resultado de su simulación con un

conjunto de datos hidrometeorológicos independientes a los usados en la calibración. Se considera que el modelo está validado si su rendimiento es aceptable al comparar los caudales observados y simulados para la muestra hidrometeorológica independiente.

2.1.3. Régimen Hidrológico

Según la Organización Meteorológica Mundial (2012), hace referencia a las variaciones del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos. En el caso de la Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío, el régimen hidrológico se define en las escalas espaciales de las Unidades Hidrográficas y Microcuencas objeto de análisis en las resoluciones temporales diaria, mensual y anual.

2.1.4. Enfoque Metodológico

Según IDEAM (2013), la determinación de la oferta hídrica superficial implica el cálculo de la oferta hídrica total superficial (OHTS), la oferta hídrica total disponible (OHTD), y la oferta hídrica regional disponible (OHRD). La aplicación de estos conceptos implica establecer el caudal en régimen natural y en régimen alterado para cada unidad de análisis, por lo que se consideraron las conexiones hidráulicas provenientes de las captaciones y retornos.

A partir del análisis de la completitud y consistencia de la información hidrometeorológica disponible en el departamento del Quindío se determinó la necesidad de implementar modelación hidrológica para establecer la oferta hídrica en régimen natural, ello con el propósito de contar con series continuas de caudales en la escala diaria en cada unidad de análisis en sus respectivos puntos de cierre. A partir de las series de caudales en régimen natural y la determinación de las conexiones hidráulicas, la demanda hídrica total y sectorial por unidad de análisis, se calcularon las siguientes variables:

Oferta hídrica total superficial (OHTS): De acuerdo con IDEAM (2013) *“es el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Es el agua que fluye por la superficie del suelo, que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos y/o en los cuerpos de agua lénticos”*. IDEAM (2013) sugiere que para cuencas “poco intervenidas” e instrumentadas se calcule a partir de la serie histórica de caudales medios seleccionando estaciones hidrológicas representativas, es decir, se refiere al régimen natural de caudales en el punto de la red de drenaje analizado, y para unidades de análisis poco instrumentadas se calcula a partir de modelos lluvia-escorrentía. En la actualización de la ERA se calculó a través de modelación hidrológica distribuida para cada unidad hidrológica de análisis de la ERA.



Figura 3. Esquema conceptual para la evaluación de la oferta hídrica en la ERA. (Fuente: (IDEAM, 2013))

Oferta hídrica total disponible (OHTD): Se define como el volumen de agua por unidad de tiempo que resulta de sustraer a la OHTS el caudal que garantice el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuente hídricas asociadas a estos ecosistemas (IDEAM, 2010). Se calcula sustrayendo el caudal ambiental del caudal total superficial (OHTS).

Oferta hídrica regional disponible (OHRD): se determina al sustraer del caudal de oferta hídrica total superficial (OHTS) el caudal ambiental, adicionar los caudales de retorno y restar o sustraer los caudales de trasvase. De acuerdo con IDEAM (2013), es la oferta utilizada para calcular el índice de uso del agua (IUA).

Oferta hídrica regional aprovechable (OHRA): se define como el caudal que resulta de sustraer del caudal medido en la estación hidrométrica el caudal ambiental (IDEAM, 2013).

Caudal Ambiental: según el artículo 2.2.3.3.1.3 del Decreto 1076 de 2015 modificado por el Decreto 050 de 2018, se refiere al “*Volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos*”. De acuerdo con esta definición de caudal ambiental, su cálculo debe considerar todo el régimen de caudales (Minambiente e IDEAM 2019): “...*el caudal ambiental no se entiende como un valor mínimo constante en el tiempo, ni tampoco como un régimen de caudales mínimos.*”

Por el contrario, todo el régimen de caudales tiene una importancia desde el punto de vista del funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y de los servicios ecosistémicos que estos prestan, de los cuales depende el bienestar social y económico de los seres humanos”.

En la ERA se actualizó el caudal ambiental definido en instrumentos anteriores para actualizar sus valores al periodo de análisis (1990 a 2022), según se presenta en la sección 2.4.2.

2.2. Unidades Hidrológicas y Tramos de Análisis

Con el fin de establecer las unidades hidrológicas y tramos de análisis para la actualización de la ERA se realizó una revisión de los instrumentos de planificación y administración del recurso hídrico establecidos por la CRQ en ejercicio de sus funciones. En la revisión documental se observó que la Corporación ha generado un progresivo nivel de detalle en sus procesos de análisis en concordancia con la adopción de instrumentos específicos para la evaluación y ordenamiento del recurso hídrico (Tabla 1):

Tabla 1. Instrumentos de planificación y administración del recurso hídrico que definen unidades de análisis en jurisdicción de CRQ

Instrumento o Estudio	Año	Número de Unidades de Análisis	Observaciones
Propuesta de Ordenación del Recurso Hídrico en la cuenca del río La Vieja	2011	10	Define como unidades de análisis las unidades hidrográficas de los ríos Quindío, Boquerón, Navarco, Santo Domingo, Verde, Barragán, Lejos, Azul, Rojo, San Juan
Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Quindío	2014	18	Involucra 12 tramos sobre el cauce principal del río Quindío y 6 afluentes.
Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío	2017	43	Establece 11 unidades hidrográficas de análisis y 32 microcuencas abastecedoras de acueductos.
Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río La Vieja	2018	35	Define 6 subcuencas y 29 microcuencas abastecedoras en jurisdicción de CRQ. En toda el área de la Subzona Hidrográfica del río la Vieja presenta 66 unidades de análisis.
Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Roble	2019	7	Presenta 7 tramos definidos con criterios basados en cambios en la calidad del agua por vertimientos puntuales, y cambios en la cantidad de flujo por captaciones y afluentes.
Objetivos de Calidad del Agua (2019 – 2029) en Fuentes Receptoras de Vertimientos del Departamento del Quindío	2019	37	Los tramos definidos corresponden a segmentos de cuerpos de agua superficial de fuentes receptoras de vertimientos puntuales.
Oferta, Demanda Hídrica e Índice de Uso del Agua (IUA) de las Unidades Hidrográficas del Departamento del Quindío para el año 2021	2021	35	Establece 18 unidades de análisis conformadas por 35 tramos.

Considerando los siguientes criterios se definieron 38 unidades hidrológicas de análisis (Tabla 2) y 34 áreas drenantes de fuentes abastecedoras de acueducto (Tabla 3):

- ❖ Tramos establecidos en instrumentos de ordenamiento del recurso hídrico
- ❖ Tramos establecidos en instrumentos de seguimiento y administración del recurso hídrico
- ❖ Cambios de magnitud del caudal por aportes de afluentes principales
- ❖ Áreas hidrográficas drenantes a Bocatomas

2.2.1. Unidades Hidrológicas para Análisis de Oferta y Demanda Hídrica

A continuación, se presenta la descripción (Tabla 2) y ubicación espacial (Figura 4) de las 38 unidades de análisis:

Tabla 2. Unidades hidrológicas para análisis de oferta y demanda hídrica

ID	UHA	Descripción	Inicio del Tramo	Fin del Tramo
1	Quebrada Lacha	Desde su nacimiento hasta la bocatoma de Filandia	Divisoria de aguas	X: 4711076.7 Y: 2077157.9
2	Drenajes al Rio Barbas	Interfluvios y drenajes directos al río Barbas en el departamento del Quindío	Divisoria de aguas, excluyendo la UHA quebrada Lacha	X: 4609066.8 Y: 2079453.9
6	Quebrada La Tigrera	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río La Vieja	Divisoria de aguas	X: 4682716.4 Y: 2066965.7
4	Quebrada Buenavista Tramo 1	Desde su nacimiento hasta aguas arriba de la Captación "Bocatoma Quimbaya, EPQ"	Divisoria de aguas	X: 4696574.8 Y: 2070411.2
5	Quebrada Buenavista Tramo 2	Desde aguas abajo de la captación "Bocatoma Quimbaya, EPQ" hasta antes de su confluencia con el río La Vieja	X: 4696574.8 Y: 2070411.2	X: 4683657.7 Y: 2069502.7
3	Quebrada Campo Alegre - Ángeles	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río La Vieja	Divisoria de aguas	X: 4684867.1 Y: 2071594.2
7	Rio Roble Tramo 1	Desde el nacimiento de la quebrada Portachuelo hasta antes del centro urbano de Filandia	Divisoria de aguas de la quebrada Portachuelo	X: 4706573.2 Y: 2074304.1
8	Rio Roble Tramo 2	Desde el centro urbano de Filandia hasta aguas arriba de la confluencia de la quebrada Portachuelo con el río Roble	X: 4706573.2 Y: 2074304.1	X: 4703340.9 Y: 2069502.9
9	Rio Roble Tramo 3	Desde el nacimiento de la quebrada Cajones hasta la bocatoma de EPQ en Circasia	Divisoria de aguas de la quebrada Cajones	X: 4708322.7 Y: 2069502.9
10	Rio Roble Tramo 4	Desde la bocatoma de EPQ en Circasia sobre la quebrada Cajones hasta aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cajones con el río Roble	X: 4708322.7 Y: 2069502.9	X: 4706515.9 Y: 2069502.5

ID	UHA	Descripción	Inicio del Tramo	Fin del Tramo
11	Rio Roble Tramo 5	Desde el nacimiento del río Roble hasta aguas arriba de su confluencia con quebrada Cajones	Divisoria de aguas del río Roble	X: 4706485.9 Y: 2069564.6
12	Rio Roble Tramo 6	Desde el río Roble aguas abajo de su confluencia con la quebrada Cajones hasta aguas arriba de la bocatoma de Montenegro sobre el río Roble	X: 4706485.9 Y: 2069564.6 Excluyendo las UHA río Roble 3 y río Roble 4	X: 4699048.1 Y: 2066507.3
13	Rio Roble Tramo 7	Desde la bocatoma de Montenegro en el río Roble hasta la desembocadura del río Roble en el río La Vieja	X: 4699048.1 Y: 2066507.3	X: 4681899.9 Y: 2064230.9
14	Drenajes directos al Rio La Vieja	Interfluvios y drenajes que confluyen directamente al río La Vieja en jurisdicción del departamento del Quindío	Divisoria de aguas de interfluvios y drenajes directos al río La Vieja	Margen izquierdo del río La Vieja
15	Rio Espejo	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río La Vieja	Divisoria de aguas del río Espejo	X: 4681786.9 Y: 2050923.5
16	Quebrada Cristales	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río La Vieja	Divisoria de aguas de la quebrada Cristales	X: 4683351.5 Y: 2046153.9
17	Rio Quindío Tramo 1	Desde el nacimiento del río Quindío hasta el punto "El Escobal"	Divisoria de aguas del río Quindío	X: 4719134.9 Y: 2070950.6
18	Rio Quindío Tramo 2	Desde el punto "El Escobal" hasta aguas arriba de la Bocatoma del Municipio de Armenia	X: 4719134.9 Y: 2070950.6	X: 4712228.1 Y: 2069926.2
19	Rio Quindío Tramo 3	Desde aguas arriba de la Bocatoma del Municipio de Armenia hasta aguas arriba de la confluencia del río Navarco	X: 4712228.1 Y: 2069926.2	X: 4711061.6 Y: 2068725.1
20	Rio Navarco	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río Quindío	Divisoria de aguas del río Navarco	X: 4711132.0 Y: 2068761.7
21	Rio Quindío Tramo 4	Desde aguas arriba de la confluencia del río Navarco hasta aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Cusumbo	X: 4711061.6 Y: 2068725.1 Excluyendo la UHA río Navarco	X: 4709602.8 Y: 2066712.6
22	Rio Quindío Tramo 5	Desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Cusumbo hasta aguas arriba de la captación de la PCH Campestre	X: 4709602.8 Y: 2066712.6	X: 4708060.2 Y: 2063869.7
23	Rio Quindío Tramo 6	Desde aguas arriba de la captación de la PCH Campestre hasta aguas arriba de la captación de la PCH Bayona	X: 4708060.2 Y: 2063869.7	X: 4706335.9 Y: 2061220.4
24	Rio Quindío Tramo 7	Desde aguas arriba de la captación de la PCH Bayona hasta aguas arriba de la captación de la PCH La Unión	X: 4706335.9 Y: 2061220.4	X: 4704775.7 Y: 2059466.9
25	Rio Quindío Tramo 8	Desde aguas arriba de la captación de la PCH La Unión hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada La Florida	X: 4704775.7 Y: 2059466.9	X: 4703229.1 Y: 2058470.8
26	Rio Quindío Tramo 9	Desde aguas arriba de la confluencia de la Quebrada La Florida hasta aguas arriba de la captación de la PCH El Bosque	X: 4703229.1 Y: 2058470.8	X: 4702108.6 Y: 2057180.3
27	Rio Quindío Tramo 10	Desde aguas arriba de la captación de la PCH El Bosque hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada El Pescador	X: 4702108.6 Y: 2057180.3	X: 4701851.8 Y: 2056055.0

ID	UHA	Descripción	Inicio del Tramo	Fin del Tramo
28	Rio Quindío Tramo 11	Desde aguas arriba de la confluencia de la Quebrada El Pescador hasta aguas arriba de la confluencia del río Verde	X: 4701851.8 Y: 2056055.0	X: 4693401.5 Y: 2044387.7
29	Rio Santo Domingo	Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Verde	Divisoria de aguas del río Santo Domingo	X: 4697463.6 Y: 2045353.0
30	Rio Verde Tramo 1	Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Santo Domingo	Divisoria de aguas del río Verde	X: 4697510.6 Y: 2045300.3
31	Rio Verde Tramo 2	Desde aguas abajo de su confluencia con el río Santo Domingo hasta aguas arriba de su confluencia con el río Quindío	X: 4697510.6 Y: 2045300.3	X: 4693399.8 Y: 2044333.5
32	Rio Quindío Tramo 12	Desde aguas abajo de la confluencia del río Verde hasta aguas arriba de la confluencia con el río Barragán	X: 4693401.5 Y: 2044387.7 Excluyendo las UHA río Santo Domingo, río Verde Tramo 1 y río Verde Tramo 2	X: 4689386.2 Y: 2044148.3
33	Rio Gris	Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río San Juan	Divisoria de aguas del río Gris	X: 4690063.2 Y: 2023275.9
34	Rio San Juan	Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Rojo	Divisoria de aguas del río San Juan, excluyendo UHA río Gris	X: 4691274.8 Y: 2025284.2
35	Rio Rojo	Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Barragán	Divisoria de aguas del río Rojo, excluyendo las UHA río Gris y río San Juan	X: 4689724.2 Y: 2030314.5
36	Rio Lejos	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río Barragán	Divisoria de aguas del río Lejos	X: 4690003.8 Y: 2034912.2
37	Quebrada La Picota	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río Barragán	Divisoria de aguas de la quebrada La Picota	X: 4689370.2 Y: 2044059.4
38	Drenajes al Rio Barragán	Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río Quindío	Divisoria de aguas del río Barragán en el departamento del Quindío, excluyendo las UHA río Gris, río San Juan, río Rojo, río Lejos y quebrada La Picota	X: 4689358.9 Y: 2043997.4

Nota: Sistema de referencia Magna Sirgas origen nacional (CTM12)

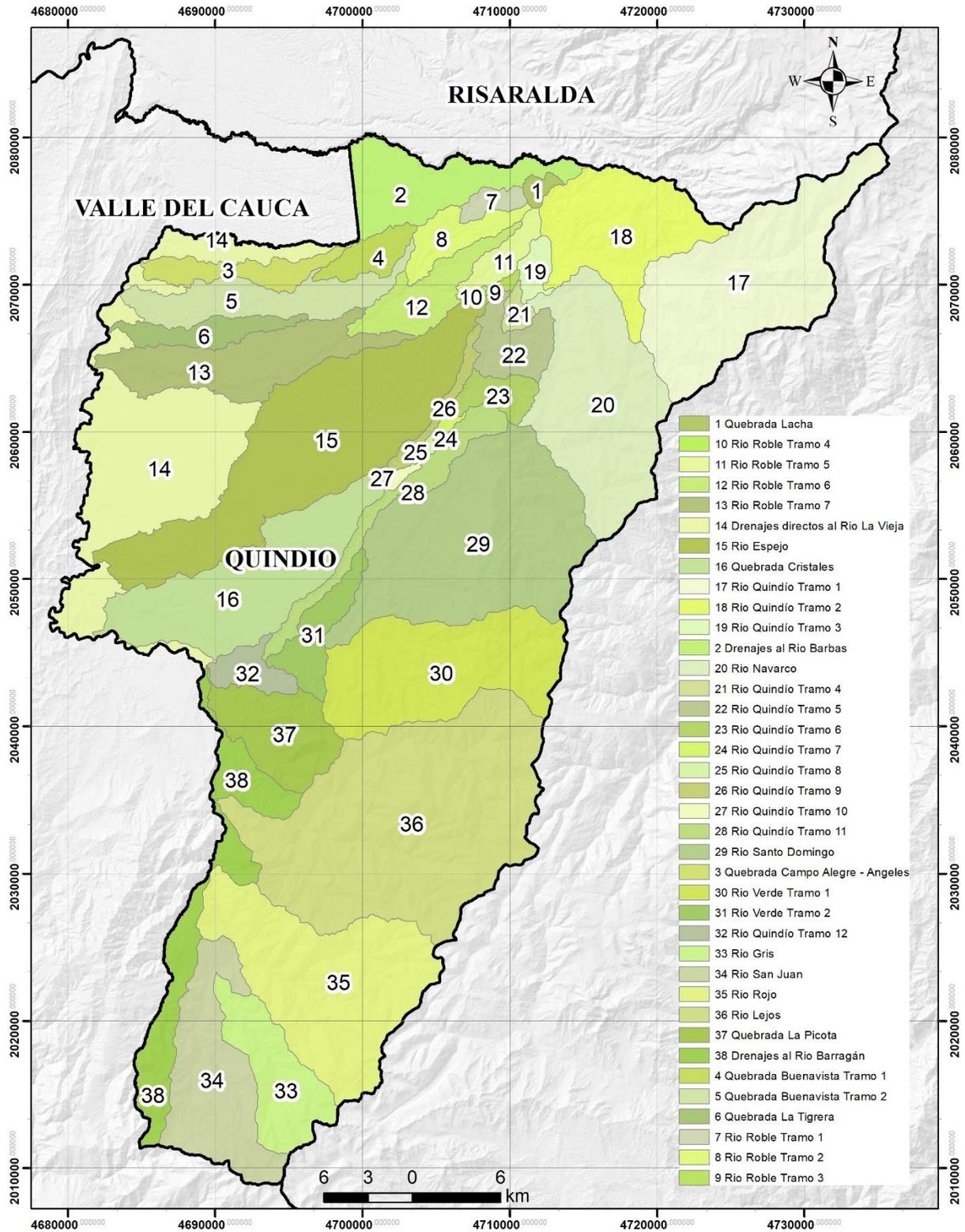


Figura 4. Unidades hidrológicas para análisis de oferta y demanda hídrica en la Evaluación Regional del Agua

2.2.2. Fuentes Abastecedoras de Acueductos

A continuación, se presenta la descripción (Tabla 3) y ubicación espacial (Figura 5) de las 34 microcuencas abastecedoras de acueductos:

Tabla 3. Microcuencas abastecedoras de acueductos

Nombre	Altitud	Latitud	Longitud	Municipio	Fuente Hídrica
Bolivia	2060	4.631861	-75.543417	Salento	Bolivia
Cajones Circasia	1817	4.62615	-75.623989	Circasia	Cajones Circasia
Corozal	2259	4.617239	-75.553192	Salento	Corozal
Cristalina	2125	4.627861	-75.540639	Salento	Cristalina
Cruz Gorda	2124	4.628611	-75.541111	Salento	Cruz Gorda
El Águila	1668	4.609833	-75.626694	Circasia	El Águila
El Bosque	1860	4.644253	-75.619103	Circasia	El Bosque
El Salado 2	1718	4.487472	-75.635639	Corregimiento La Virginia	El Salado 2
El Salado (La Gata)	1710	4.509444	-75.613167	Calarcá	El Salado (La Gata)
La Arenosa	1697	4.630947	-75.634283	Circasia	La Arenosa
La Diamantina	2048	4.324517	-75.684417	Pijao	La Diamantina
La Llorona	1678	4.610556	-75.6225	Circasia	La Llorona
La Marina	1859	4.642069	-75.618147	Circasia	La Marina
La Paloma	1435	4.595	-75.709444	Montenegro	La Paloma
La Picota	1562	4.358917	-75.728694	Buenavista	La Picota
La Soledad	1420	4.596944	-75.708611	Montenegro	La Soledad
La Víbora	1695	4.628056	-75.595083	Armenia	La Víbora
Lacha	1992	4.692472	-75.60425	Filandia	Lacha
Las Lajas	1338	4.586944	-75.720556	Montenegro	Las Lajas
Pizarras	1848	4.332972	-75.68875	Pijao	Pizarras
Naranjal 1	1610	4.530667	-75.6275	Calarcá	Naranjal 1
Buenavista	1382	4.631944	-75.735889	Quimbaya	Buenavista
El Roble (Los Justos)	1800	4.373528	-75.676639	Córdoba	El Roble (Los Justos)
Pijao	1762	4.339639	-75.711667	Pijao	Pijao
Río Gris	1529	4.19675	-75.790083	Génova	Gris
Río Quindío Bocatoma Armenia	1696	4.628278	-75.595	Armenia	Río Quindío
Río Quindío Bocatoma La Tebaida	1395	4.5335	-75.660639	La Tebaida	Río Quindío
Río Quindío Estación de Bombeo	1504	4.574439	-75.631875	Armenia	Río Quindío
Roble Bocatoma Circasia	1698	4.632139	-75.634667	Circasia	Roble
Roble Bocatoma Montenegro 1	1345	4.596667	-75.713333	Montenegro	Roble
Roble Bocatoma Montenegro 2	1408	4.612589	-75.694283	Montenegro	Roble
Río Verde Bocatoma Barcelona	1780	4.411417	-75.657639	Corregimiento de Barcelona	Río Verde
San Rafael	1625	4.523472	-75.614167	Calarcá	San Rafael
Santo Domingo Bocatoma Calarcá	1678	4.5095	-75.613278	Calarcá	Santo Domingo

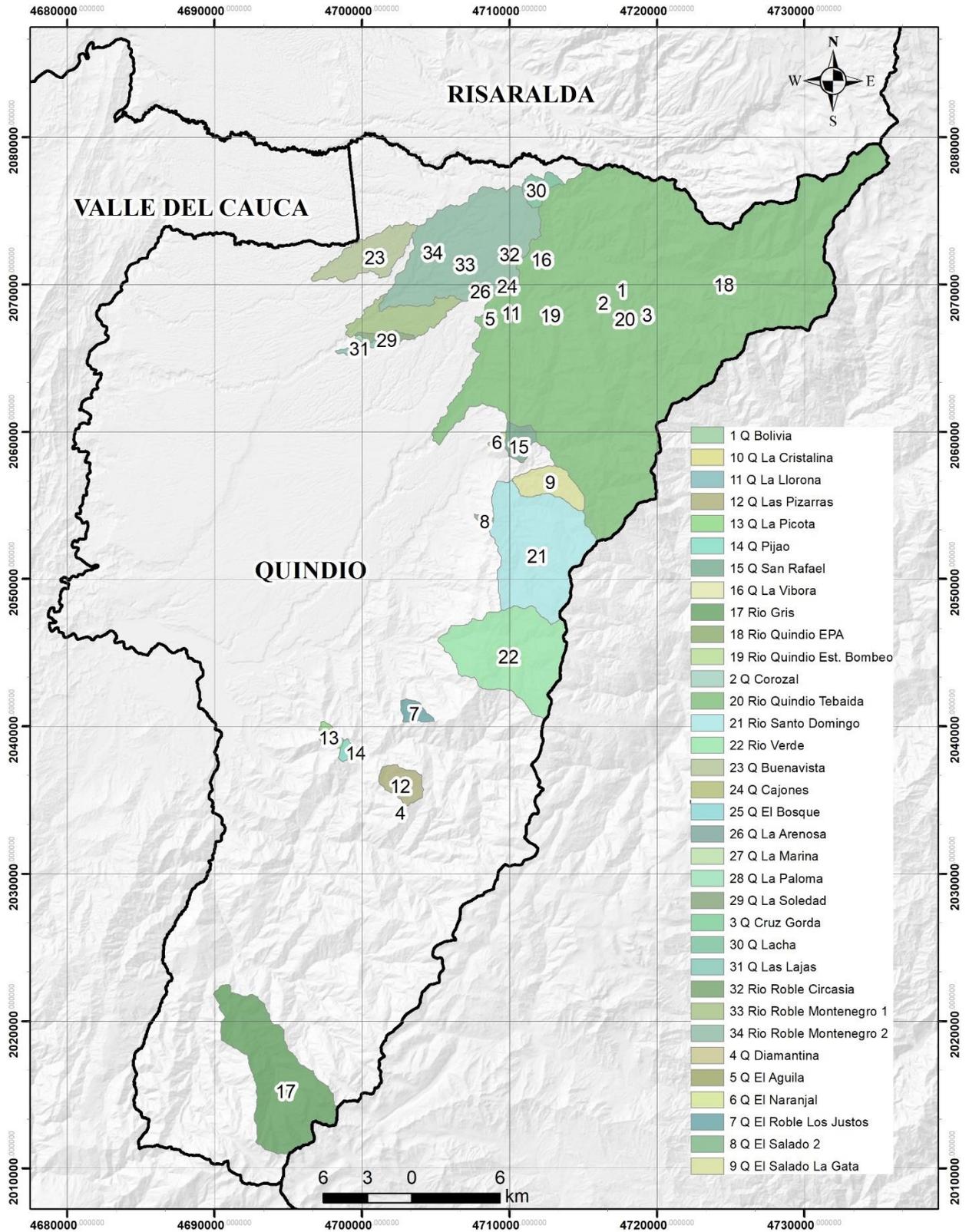


Figura 5. Microcuencas abastecedoras de acueductos

2.3. Modelación Hidrológica

2.3.1. Selección del Modelo Hidrológico

La selección de un modelo hidrológico orientado a la determinación de la oferta hídrica debe basarse en criterios relacionados el grado de representación física de los procesos hidrológicos, tipo de variables de entrada y salida en la simulación, escalas espaciales y temporales de trabajo, grado de complejidad y exigencia de información del modelo para su implementación y el tipo de algoritmos y métricas que use para la calibración y optimización de parámetros (Beven, 2012). Según la Guía de Practicas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011) es necesario que un procedimiento de selección de modelos hidrológicos tenga en cuenta factores basados en el objetivo general de la modelación, el tipo de sistema y elemento hidrológico a modelar, las características climáticas y fisiográficas de la unidad hidrográfica, la disponibilidad de los datos, la simplicidad del modelo, la transposición de parámetros y la capacidad de actualización del modelo.

Existe una amplia diversidad de modelos hidrológicos disponibles en la literatura con diferentes grados de complejidad y representatividad de procesos hidrológicos. Una de las clasificaciones de estos modelos se basa en el grado de representación espacial. Los modelos agregados asumen la cuenca como una sola unidad de modelación adoptando valores de promedios espaciales de las variables y parámetros, sin considerar el efecto de su variabilidad espacial. Los modelos distribuidos consideran explícitamente los patrones de variabilidad espacial, al discretizar la cuenca en elementos finitos regulares y resolviendo las ecuaciones de flujo en cada uno, ello permite obtener cálculos hidrológicos distribuidos en el espacio (Beven, 2005). Otro tipo de modelos son los semidistribuidos los cuales discretizan la cuenca hidrográfica en subcuencas que funcionan como unidades de modelación agregadas y propagan los caudales a través de elementos conceptuales que definen la red de cauces.

Es bien conocido que al usar un modelo que considere una alta complejidad de procesos hidrológico, no necesariamente se podría mejorar la capacidad predictiva del proceso de simulación, debido a que se amplían los grados de libertad de la modelación y aumenta la incertidumbre (Blume et al., 2009). Es por lo anterior, que los modelos *conceptuales* cobran importancia en la capacidad de resolver problemas de predicción hidrológica.

2.3.1.1. Definición de Criterios de Selección

Los criterios definidos para la selección del modelo hidrológico abarcan características propias del grado de representación de los procesos hidrológicos, como la estimación de flujo superficial, subsuperficial y subterráneo (C1 a C4), la capacidad

del modelo para representar e involucrar los diferentes flujos y mecanismos de producción de escorrentía en la zona saturada e insaturada del perfil del suelo (C5), la forma en que representa la propagación del flujo horizontal tanto en ladera o cuenca (C6) como en la red de cauces (C7), el grado de agregación espacial (C8) y las diferentes ecuaciones que lo componen (C9).

Así mismo, acorde a los objetivos y el alcance de la modelación dirigida a determinar y analizar la oferta hídrica a partir de la simulación y reconstrucción de los caudales, se toma en consideración la escala espacial y temporal exigida por el proyecto, se evalúa el tipo de simulación del modelo según el balance de humedad (C10) la compatibilidad de los datos de entrada del modelo y de los elementos que lo componen con los Sistemas de Información Geográfica SIG (C11), así como la resolución o escala espacial de análisis (C12) a la cual el modelo simula los procesos. Además, la disponibilidad de un interfaz de análisis y preprocesamiento (C13) para valorar el nivel de interacción que pueda tener el usuario con los datos de entrada al modelo previo a la simulación.

Con la consolidación de la información base disponible, es posible generar un diagnóstico del estado actual del sistema a modelar respecto al grado de instrumentación y conocimiento previo de la unidad, por lo que el número de variables de entrada del modelo (C14) juega un papel fundamental en la decisión. Por otro lado, como premisa de todos los enfoques de modelación, la parsimonia del modelo en función del número de parámetros involucrados (C15) resalta su complejidad o simplicidad para representar las abstracciones del sistema hidrológico, los métodos disponibles para la estimación de parámetros, algoritmos de optimización (C16) en relación con sus índices de desempeño (C17). Por último, se consideraron criterios relacionados con la aplicabilidad del modelo a nivel global (C18), en Colombia (C19), la capacidad de involucrar elementos artificiales (C20) como captaciones, trasvases, vertimientos, reservorios y el tipo de licencia del software del modelo (C21).

2.3.1.2. Valoración y ponderación de Modelos Candidatos

Para evaluar cuantitativamente las características estructurales de los modelos candidatos se definió una escala de calificación por criterio, la cual es homogénea y representativa numéricamente entre el rango de posibilidades para para los 21 criterios de selección, por lo que se consideró una escala de 1 a 9, siendo (1), características de escaso o nulo impacto durante el proceso de selección y (9), características de mayor impacto y relevancia.

Dentro de los criterios de selección destacables en interpretación, para los mecanismos de producción de escorrentía representados (C5) su calificación es generada sobre la capacidad del modelo para representar cada mecanismo. Dado que un modelo tiene la capacidad de representar múltiples mecanismos de producción de

escorrentía, estos se han agrupado por orden de importancia asignando una calificación más baja a grupos con menor relevancia respecto a los demás. En cuanto al grado de agregación espacial (C8) se asignó la mayor valoración a los modelos distribuidos debido al tamaño y complejidad de los sistemas a modelar. El número de variables de entrada al modelo (C14) se asocia de acuerdo con sus características y capacidad de simulación, donde modelos hidrológicos básicos en promedio cuentan con 3 o menos variables de entrada, los hidrológicos con mayor nivel de desarrollo conceptual entre 4 - 10, los hidrológicos con representación de sedimentos entre 11 - 15 y los hidrológicos con representación de sedimentos y calidad de aguas más de 15 variables. Así mismo, en cuanto al número de parámetros del modelo (C15), los modelos básicos requieren 5 o menos parámetros, modelos de mayor desarrollo conceptual entre 6 y 10, modelos hidrológicos que incluyen el ciclo de sedimentos entre 11 - 15 y modelos hidrológicos con un módulo de simulación de sedimentos y calidad del agua entre 16 - 21, o mayor de 21 según la estructura y capacidad de simulación.

Una vez establecida la escala de valoración, se aplicó cada criterio a cada modelo candidato con el fin de cuantificar la evaluación de cada criterio en cada uno de ellos según corresponda, en consecuencia, se obtuvo una calificación global representada en la sumatoria de las calificaciones parciales por criterio para cada modelo (Tabla 4). Los modelos que alcanzaron mayor puntaje fueron TETIS distribuido con 141 puntos, MIKE-SHE con 140 puntos y SWAT 137. Para este caso de aplicación, la principal ventaja de TETIS distribuido sobre MIKE-SHE es que tiene más flexibilidad para representar elementos artificiales dentro del sistema hidrológico y el ciclo de sedimentos, así como el tipo de licencia de uso, mientras que la principal ventaja de TETIS distribuido sobre SWAT es en la mejor representación de los mecanismos de producción de escorrentía, especialmente el que se da por exceso de saturación.

El modelo hidrológico distribuido TETIS ha sido implementado en diferentes regiones del mundo con resultados satisfactorios particularmente en Colombia, empleado para modelar la hidrología de cuencas húmedas de montaña y zonas secas. Dentro de sus principales virtudes se destaca su capacidad para simular mecanismos de producción de escorrentía por exceso de saturación y exceso de infiltración, interacción espacial horizontal y vertical del flujo desde un enfoque de modelación distribuida, lo que permite a este modelo aproximarse de forma razonable a los patrones reales de flujo, e involucrar explícitamente el efecto de la variabilidad y heterogeneidad espacial de variables y parámetros de modelación. Por ser un modelo dinámico, permite realizar simulaciones en la escala diaria, horaria o minutal en forma continua.

Tabla 4. Calificación de los modelos hidrológicos con base a los sus criterios de selección

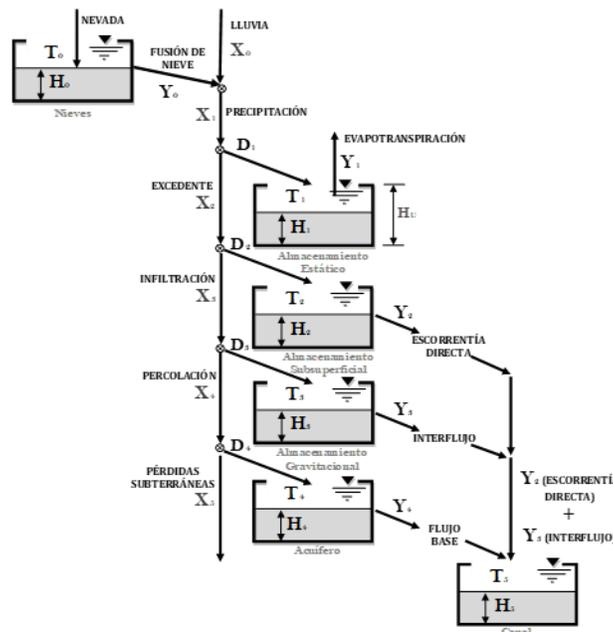
MODELO CANDIDATOS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	TOTAL
HBV - Light	6	3	2	2	3	6	1	5	1	9	3	6	3	3	9	9	9	6	9	1	3	99
Topkapi Distribuido	3	6	5	5	3	6	9	9	1	9	3	9	9	3	3	5	9	3	3	6	1	110
Topkapi Agrupado	6	3	5	5	3	9	1	1	1	9	3	1	3	3	3	5	9	1	3	1	1	76
HEC-HMS	6	9	1	5	5	9	1	5	9	9	9	3	9	9	9	5	2	9	6	6	3	129
SWAT	6	6	8	2	5	3	3	5	9	9	9	6	9	3	9	9	6	9	9	6	6	137
ABC	6	1	1	2	3	2	1	1	1	9	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1	3	45
TETIS Distribuido	9	6	5	5	5	9	9	9	3	9	3	9	9	6	9	9	6	3	6	9	3	141
TETIS agregado	6	3	2	2	1	2	1	1	1	9	3	1	3	1	3	1	6	1	3	1	3	54
SWMM	6	6	1	5	5	2	9	9	1	9	3	3	9	3	9	9	6	9	6	3	6	119
SWIM	6	6	8	2	3	3	3	5	9	9	9	6	9	6	9	5	6	9	3	1	6	123
MIKE-SHE (MIKE 11)	9	9	9	9	5	9	9	9	1	9	3	9	9	6	9	6	6	6	6	1	1	140
DHSVM	6	3	2	1	3	9	3	9	6	9	3	9	9	3	9	9	6	3	3	1	6	112
HSPF (USGS)	6	6	2	2	3	9	9	5	9	9	3	6	9	6	9	5	2	6	6	1	6	119
TopoFlow	9	9	7	1	1	9	9	9	1	9	3	9	9	3	3	1	6	1	1	3	6	109
WEAP	1	6	5	5	3	2	1	5	1	9	3	1	9	9	3	1	6	6	9	7	3	95
Hydro-BID	6	3	1	2	3	6	3	9	9	9	9	9	9	3	1	5	6	1	1	1	6	102
Hydrotel	3	9	8	2	3	9	9	9	1	9	3	6	9	3	7	5	6	3	1	1	6	112
TOPMODEL	6	3	5	1	1	6	9	9	1	9	9	6	9	3	3	9	6	6	3	1	6	111
VIC	6	6	1	5	3	3	9	5	1	9	3	9	3	6	9	3	6	9	9	6	6	117
GBHM	3	9	2	8	3	9	9	9	1	9	3	9	3	6	5	9	6	3	1	1	3	111
HYSTAR Model	6	9	1	8	3	6	6	9	3	9	3	9	9	9	5	9	6	1	1	1	3	116
ARIMA	1	3	1	1	1	1	1	1	1	9	3	1	9	1	1	9	9	6	9	1	9	78
ARIMAX	1	3	1	1	1	1	1	1	1	9	3	1	9	3	1	9	9	3	6	1	9	74
ANNs	1	6	1	1	1	1	1	1	1	9	3	1	9	3	9	9	9	9	9	1	9	94

2.3.2. Modelo Hidrológico Distribuido TETIS

La generación de la escorrentía se basa en la realización de un balance hídrico en la cuenca, asumiendo que el agua se distribuye en cinco niveles o tanques de almacenamiento conceptual y conectados entre sí. El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en ellos, por lo que las variables de estado son los volúmenes almacenados en cada uno de los tanques. La función que relaciona el flujo con estas variables de estado es función del esquema conceptual adoptado, del tipo de tanque y de las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo en la misma (Figura 6).

Para su aplicación, se utiliza la siguiente información base: Topografía, Cobertura y uso de la tierra, Suelos (estudio semidetallado de suelos del departamento del Quindío, incluyendo tipos de suelo y caracterización de éstos, en relación con la textura, profundidad y propiedades de tipo físico e hidráulico), Geología (información espacial de litología, estructura y provincias hidrogeológicas, y estudios hidrogeológicos), Series hidrometeorológicas (Información de las estaciones hidrometeorológicas y campañas históricas de aforo realizados en las áreas hidrográficas objeto de estudio).

Figura 6. Esquema conceptual de celda del modelo TETIS (Francés, et al, 2007)



Los parámetros del modelo describen las características del sistema hidrológico con relación al esquema conceptual de Tetis. Debido a que el modelo es espacialmente distribuido, su representación espacial se basa en una malla regular de celdas a partir de la resolución del modelo de elevación digital definido. En consecuencia, cada parámetro se representa mediante una capa ráster con un valor homogéneo del parámetro para cada celda. El modelo TETIS utiliza una estructura separada de parámetros efectivos (Francés et al., 2007), conformada por una estimación inicial de los mapas de parámetros a partir de las características físicas del medio natural en una escala espacial definida, y los factores correctores, que corresponden a coeficientes escalares que multiplican cada mapa de parámetros para corregir errores asociados a la estimación inicial del parámetro, errores de medición de inputs y efectos de escala.

La siguiente expresión representa la estructura separada de parámetros efectivos del modelo:

$$\theta_{i,j}^* = R_i \theta_{i,j} \quad ; \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, p$$

Donde $\theta_{i,j}^*$ es el parámetro efectivo i – *enesimo* para la celda j , R_i es el factor corrector del parámetro i , común para todas las celdas, $\theta_{i,j}$ es el parámetro estimado para la celda j , n es el número total de celdas y p es el número total de parámetros por celda. Según Francés et al. (2007), la ventaja principal de esta estructura de parámetros es que se reduce el número de variables que deben ser ajustadas en la fase de calibración del modelo, siendo necesario calibrar los p factores de corrección, en lugar de np valores. Por tanto, el modelo hidrológico podrá ser calibrado a través del ajuste de 9 factores correctores (Tabla 5):

Tabla 5. Factores de corrección y parámetros efectivos del modelo TETIS

Factor de corrección (R_i)	Parámetro ($\theta_{i,j}^*$)	Símbolo
FC1	Capacidad de almacenamiento hídrico	H_u
FC2	Índice de cobertura de vegetación	λ
FC3	Capacidad de infiltración	k_s
FC4	Velocidad del flujo superficial	u
FC5	Capacidad de percolación	k_p
FC6	Velocidad del flujo subsuperficial	k_{ss}
FC7	Capacidad de percolación profunda	k_{ps}
FC8	Velocidad de flujo base	k_{sa}
FC9	Velocidad del flujo en canal	v

Por ser un modelo de simulación continua, TETIS requiere que se definan las condiciones iniciales de las siguientes variables de estado:

- Nivel de agua equivalente en el manto de nieve (H_0)
- Nivel de almacenamiento estático (H_1)
- Nivel de almacenamiento superficial (H_2)
- Nivel de almacenamiento gravitacional (H_3)
- Nivel de almacenamiento subterráneo (H_4)
- Caudal en los canales (H_5)

El procedimiento recomendado para estimar las condiciones iniciales de humedad es realizar una simulación en un periodo de tiempo inmediatamente anterior y establecer la humedad final de dicho periodo como la condición inicial del periodo de simulación de interés. Es decir, establecer un periodo de calentamiento del modelo.

El nivel de almacenamiento estático se representa como un porcentaje del total de capacidad de almacenamiento hídrico del suelo, el caudal inicial en los canales se establece como un porcentaje del caudal a banca llena (bankfull), y los valores iniciales del almacenamientos superficial, gravitacional y subterráneo se definen como lámina de agua en milímetros de cada tanque.

2.3.3. Información Base para la Modelación Hidrológica

La información necesaria para desarrollar el proceso de modelación hidrológica en el marco de la Evaluación Regional del Agua involucra las siguientes categorías:

- **Información Hidrometeorológica Histórica**: es necesaria para definir los periodos de calibración y validación de los modelos hidrológicos, y ser usada como datos de entrada a los modelos.
- **Información de Cartografía Temática**: se requiere para desarrollar el proceso de estimación de parámetros de los modelos hidrológicos previo a su calibración y validación.
- **Información de Conexiones Hidráulicas**: se utiliza para restituir los caudales de las estaciones hidrométricas al régimen natural y proceder con su calibración y validación, esta información hace referencia a la identificación de captaciones, vertimientos o retornos y trasvases de caudal en cada unidad hidrográfica objeto de modelación.

2.3.4. Información Meteorológica Histórica

Con el fin de realizar el análisis del estado y tendencia de la oferta hídrica, es necesario tomar los datos meteorológicos como información base de entrada a los

modelos hidrológicos. Para la ERA-2023, se procedió a consolidar la información sistemática disponible de las redes meteorológicas operadas por las autoridades ambientales a nivel nacional y regional en jurisdicción del departamento del Quindío y el área aledaña al límite político-administrativo con los departamentos de Valle del Cauca, Risaralda y Tolima. Se reporta la presencia de 55 estaciones activas, de las cuales 29 son operadas por IDEAM y 26 por CRQ (Tabla 6).

Debido a que las series meteorológicas pueden presentar datos faltantes y atípicos, fue necesario definir criterios para la selección de las estaciones meteorológicas consistentes con el objetivo de realizar estimación de oferta hídrica con base en modelación y simulación hidrológica continua a escala diaria. Tras consultar varias fuentes bibliográficas (Tabla 7), se define que la longitud mínima de las series para la ERA-2023 es 20 años de registros continuos, así mismo, la Organización Meteorológica Mundial recomienda que para los análisis es deseable contar con series con más del 80 % de datos de años completos, siendo la resolución apropiada para el análisis en recursos hídricos la escala diaria. Por lo anterior, se establecieron los siguientes criterios de selección:

1. Series con observaciones recientes y periodos de observación mayores iguales a 20 años.
2. Series temporales con más del 80 % de datos completos.
3. Series con datos consecutivos sin faltantes menores a tres años.
4. Series con masa acumulada proporcional a la serie de referencia definida como el promedio regional
5. Series correlacionadas regionalmente con un coeficiente de Pearson igual o superior a 0.25
6. Series cuyos residuos mensuales con relación a la serie de referencia no presenten tendencia según la prueba de Mann Kendall modificada (Hamed y Rao, 1998)

Tabla 6. Estaciones activas en el departamento del Quindío y zona político-administrativa limítrofe

Código	Nombre	Categoría	Entidad	Departamento	Municipio
21210130	Delicias Las [21210130]	PM	IDEAM	Tolima	Cajamarca
21210140	Plan El [21210140]	PM	IDEAM	Tolima	Cajamarca
21210150	Cascada La [21210150]	PM	IDEAM	Tolima	Cajamarca
21210260	Silencio El [21210260]	PG	IDEAM	Tolima	Ibagué
21215130	Cucuana Hacienda [21215130]	CO	IDEAM	Tolima	Cajamarca
21215190	Cajamarca - Aut [21215190]	CP	IDEAM	Tolima	Cajamarca
22075050	Paramo De Yerbabuena - Aut [22075050]	CP	IDEAM	Tolima	Roncesvalles
26100300	Obando [26100300]	PM	IDEAM	Valle	Obando

Código	Nombre	Categoría	Entidad	Departamento	Municipio
26100790	Italia La [26100790]	PM	IDEAM	Valle	Sevilla
26100830	Palmasola [26100830]	PM	IDEAM	Valle	Cartago
26105250	Zaragoza - Aut [26105250]	AM	IDEAM	Valle	Cartago
26120120	Camelia La [26120120]	PM	IDEAM	Valle	Caicedonia
26120130	Corozal [26120130]	PM	IDEAM	Valle	Zarzal
26120150	Alcala [26120150]	PM	IDEAM	Valle	Alcalá
26120160	Salento [26120160]	PM	IDEAM	Quindío	Salento
26120170	Pijao [26120170]	PM	IDEAM	Quindío	Pijao
26120180	Alambrado El-Alert [26120180]	PM	IDEAM	Valle	Zarzal
26125061	Aeropuerto El Eden - - Aut [26125061]	SP	IDEAM	Quindío	La Tebaida
26125130	Cumbarco [26125130]	CO	IDEAM	Valle	Sevilla
26125290	Armenia - Aut [26125290]	CP	IDEAM	Quindío	Armenia
26125300	Calarca - Aut [26125300]	CP	IDEAM	Quindío	Calarcá
26125710	Aeropuerto Matecana [26125710]	SP	IDEAM	Risaralda	Pereira
26130180	San Isidro [26130180]	PM	IDEAM	Risaralda	Pereira
26130220	Maracay [26130220]	PM	IDEAM	Risaralda	Pereira
26130540	Playa Rica [26130540]	PM	IDEAM	Risaralda	Santa Rosa de Cabal
26130560	Pez Fresco [26130560]	PM	IDEAM	Risaralda	Santa Rosa de Cabal
26130570	Nuevo Libare [26130570]	PM	IDEAM	Risaralda	Pereira
26135040	Aeropuerto Matecana [26135040]	SP	IDEAM	Risaralda	Pereira
26135300	Pnn Quimbaya - Aut [26135300]	AM	IDEAM	Risaralda	Pereira
21	CRQ	MET	CRQ	Quindío	Armenia
61	Peñas Blancas	PM	CRQ	Quindío	Calarcá
26125260	Centro De Guadua [26125260]	CO	CRQ	Quindío	Córdoba
26125270	Bremen [26125270]	CP	CRQ	Quindío	Filandia
45	El Cairo	PM	CRQ	Quindío	Génova
ND	Subestación Electrica	PM	CRQ	Quindío	La Tebaida
24	La Playa	PM	CRQ	Quindío	Salento
26120690	Montaña La [26120690]	PM	CRQ	Quindío	Salento
26120300	Navarco [26120300]	PM	CRQ	Quindío	Calarcá
37	La Sierra	PM	CRQ	Quindío	Pijao
26120330	Picota La [26120330]	PM	CRQ	Quindío	Salento
67	El Tapir	PM	CRQ	Quindío	Pijao
26120430	Barragan [26120430]	PM	CRQ	Quindío	Pijao
ND	Instituto Montenegro	PM	CRQ	Quindío	Montenegro
26125200	Española La [26125200]	CO	CRQ	Quindío	Quimbaya
26120710	Estrella De Agua [26120710]	PM	CRQ	Quindío	Salento
261250021	Parque Ecológico	CP	CRQ	Quindío	Calarcá
5					
18	El Jardín	PM	CRQ	Quindío	Génova
26125720	Centro Guadua Auto	MET	CRQ	Quindío	Córdoba
ND	CRQ Auto	MET	CRQ	Quindío	Armenia
26125730	Estrella De Agua Auto	MET	CRQ	Quindío	Salento
26125740	La Montaña Auto	CO	CRQ	Quindío	Salento
ND	La Playa Auto	MET	CRQ	Quindío	Salento
ND	La Sierra Auto	MET	CRQ	Quindío	Pijao
26125750	Navarco Auto	MET	CRQ	Quindío	Salento
26125760	Peñas Blancas Auto	CO	CRQ	Quindío	Calarcá

ND: No definido; MET: Meteorológica; CO: Climatológica Ordinaria; CP: Climatológica Principal; AM: Agrometeorológica; SP: Sinoptica Principal; PG: Pluviográfica

Tabla 7. Tamaño recomendado de series meteorológicas y climatológicas

Entidad	Fuente	Periodo de registro recomendado
IDEAM	MinAmbiente y UNAL (2018)	15 años
USGS	USGS (2015)	20 años
ASCE	Richard y Vogel (1996)	20 años
OMM	WMO (2011)	30 años

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia; USGS: Servicio Geológico de Estados Unidos; ASCE: Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles; OMM: Organización Meteorológica Mundial

2.3.4.1. Red de Estaciones Meteorológicas de la ERA-2023

Con la inspección de la información meteorológica se determinó que los registros sistemáticos continuos en la zona de estudio corresponden a Precipitación, Temperatura Media, Temperatura Mínima y Temperatura Máxima en la escala diaria, por lo que los criterios de selección de estaciones se aplicaron para estas variables meteorológicas. El periodo de análisis seleccionado para la evaluación del estado y tendencia de la oferta hídrica en la ERA-2023 comprende 33 años desde 1990 a 2022. Al aplicar los criterios de selección a la variable Precipitación, se encontró que 43 estaciones no cumplen con el estándar requerido (Tabla 8), por lo que las estaciones seleccionadas son 12 (Tabla 9).

Tabla 8. Estaciones que no cumplen con los criterios de selección de información meteorológica para la variable precipitación

Criterio	Estaciones que no cumplen el criterio	No. Estaciones
Porcentaje de datos faltantes inferior a un 20%	26100790 (20.94%), La Sierra (21.52%), Picota La [26120330] (22.01%), Barragan [26120430] (22.50%), 21210150 (38.38%), Española La [26125200] (38.92%), Estrella De Agua [26120710] (43.39%), 21210260 (44.61%), 26130570 (50.89%), 21215190 (51.26%), El Cairo (54.89%), 22075050 (61.92%), El Jardín (64.93%), El Tapir (73.62%), 26130180 (73.89%), Parque Ecológico [2612500215] (78.05%), 26125300 (81.82%), 26105250 (81.82%), 26135300 (81.84%), Instituto Montenegro (82.23%), 26125710 (85.08%), La Montaña Auto (85.87%), Centro Guadua Auto (85.91%), Peñas Blancas Auto (85.91%), Navarco Auto (86.50%), Estrella De Agua Auto (86.87%), Peñas Blancas (87.78%), La Playa Auto (89.29%), La Sierra Auto (92.05%), CRQ Auto (92.75%), Subestación Electrica (94.24%), 26125290 (94.54%)	32
Curvas de doble masa inconsistentes	LA PLAYA – AUT [2612700130], 26120150, 26120160, LA MONTAÑA [26120690], 26120180, 21210140, 21215130, 21210130	8
Tendencia en residuos	26120130, 26135040, CRQ	3

Tabla 9. Estaciones con series de precipitación diaria consistente para la ERA-2023

CODIGO	NOMBRE	CATEGORIA	ENTIDAD	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
26100300	Obando [26100300]	PM	IDEAM	986	4.589	-75.966	Valle	Obando
26120170	Pijao [26120170]	PM	IDEAM	1685	4.333	-75.706	Quindío	Pijao
26130220	Maracay [26130220]	PM	IDEAM	1201	4.812	-75.843	Risaralda	Pereira
26120120	Camelia La [26120120]	PM	IDEAM	1240	4.332	-75.835	Valle	Caicedonia
26100830	Palmasola [26100830]	PM	IDEAM	940	4.688	-75.962	Valle	Cartago
26125130	Cumbarco [26125130]	CO	IDEAM	1749	4.185	-75.832	Valle	Sevilla
26125260	Centro De Guadua [26125260]	CO	CRQ	1212	4.400	-75.717	Quindío	Córdoba
26125061	Aeropuerto El Eden - - Aut [26125061]	SP	IDEAM	1229	4.455	-75.766	Quindío	La Tebaida
26120300	Navarco [26120300]	PM	CRQ	2278	4.483	-75.550	Quindío	Calarcá
26125270	Bremen [26125270]	CP	CRQ	2070	4.667	-75.600	Quindío	Filandia
26130560	Pez Fresco [26130560]	PM	IDEAM	1875	4.733	-75.576	Risaralda	Santa Rosa de Cabal
26130540	Playa Rica [26130540]	PM	IDEAM	1728	4.757	-75.597	Risaralda	Santa Rosa de Cabal

Al aplicar los criterios de selección a la variable Temperatura, se encontró que 13 estaciones presentan información en el periodo de análisis, sin embargo, 9 no cumplen con el estándar requerido (Tabla 10), por lo que las estaciones seleccionadas son 4 (Tabla 11).

Tabla 10. Estaciones que no cumplen con los criterios de selección de información meteorológica para la variable temperatura

Criterio	Estaciones que no cumplen el criterio	No. Estaciones
Porcentaje de datos faltantes inferior a un 20%	Centro De Guadua [26125260] (27.06%), Bremen [26125270] (27.86%), La Sierra (38.87%), La Playa (39.99%), 21215100 (45.11%), Española La [26125200] (52.77%), 21215130 (54.72%), CRQ (72.27%), El Cairo (80.74%)	9

Tabla 11. Estaciones con series de temperatura diaria consistente para la ERA-2023

Código	Nombre	Categoría	Entidad	Altitud	Latitud	Longitud	Departamento
26125130	Cumbarco [26125130]	CO	IDEAM	1749	4.185056	-75.832361	Valle
26105140	Barragán [26105140]	CO	IDEAM	2902	4.033056	-75.888028	Valle
26135040	Aeropuerto Matecana [26135040]	SP	IDEAM	1342	4.815861	-75.737222	Risaralda
26125061	Aeropuerto El Edén - - Aut [26125061]	SP	IDEAM	1229	4.454722	-75.766389	Quindío

2.3.4.2. Régimen Pluviométrico en el Periodo 1990 a 2022

La distribución mensual de la precipitación en las 12 estaciones meteorológicas seleccionadas presenta un régimen bimodal (Figura 8, Figura 9), con dos periodos húmedos en marzo, abril, mayo y octubre, noviembre, diciembre con valores medios mensuales para el departamento del Quindío de 240.5 mm, 266.3 mm, 231.3 mm y 290.5 mm, 327.6.5 mm, 228.3 mm respectivamente; y dos periodos secos en enero, febrero y junio, julio, agosto y septiembre con valores mensuales de 167.4 mm, 179.3 mm y 144.9 mm, 106.4 mm, 101.4 mm, 163.8 mm respectivamente.

La precipitación media anual en el departamento es de 2447.8 mm, con un valor máximo de 3168.9 mm y mínimo de 1640.6 mm, los volúmenes más altos se presentan al norte y los más bajos al oeste del departamento (Figura 10). Se evidencia una tendencia estadísticamente significativa al aumento de la precipitación anual en el periodo 1990 a 2022 en las estaciones localizadas al oeste de la zona de estudio (estaciones 26100830 y 26100300), mientras que en la mayoría del departamento no se presentan tendencias estadísticamente significativas en la precipitación anual (Figura 11).

Los municipios de Filandia, Circasia, Salento y Génova presentan volúmenes anuales de precipitación superiores al promedio departamental, con valores de 3055.9, 2832.1, 2780.3 y 2451.6 mm respectivamente (Figura 7), mientras que en el resto de los municipios se presenta valores inferiores: Armenia (2330.6 mm), Buenavista (2311.0 mm), Calarcá (2241.8 mm), Córdoba (2283.4 mm), La Tebaida (2216.9 mm), Montenegro (2142.0 mm), Pijao (2330.9 mm) y Quimbaya (2146.6 mm).

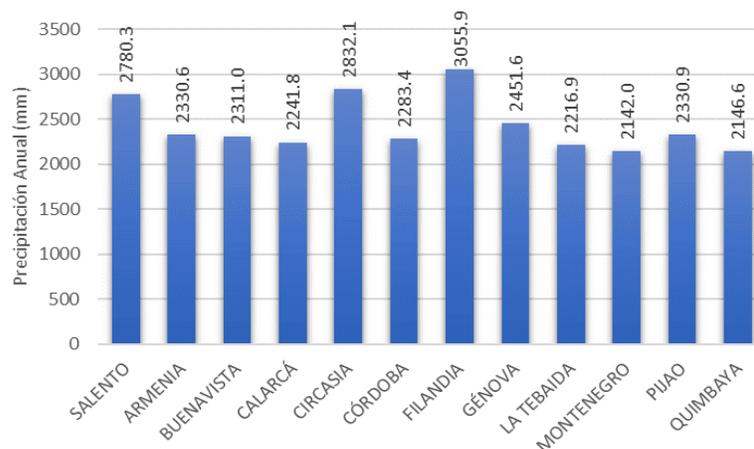


Figura 7. Distribución de la precipitación anual por municipio en el departamento del Quindío, periodo 1990 a 2022

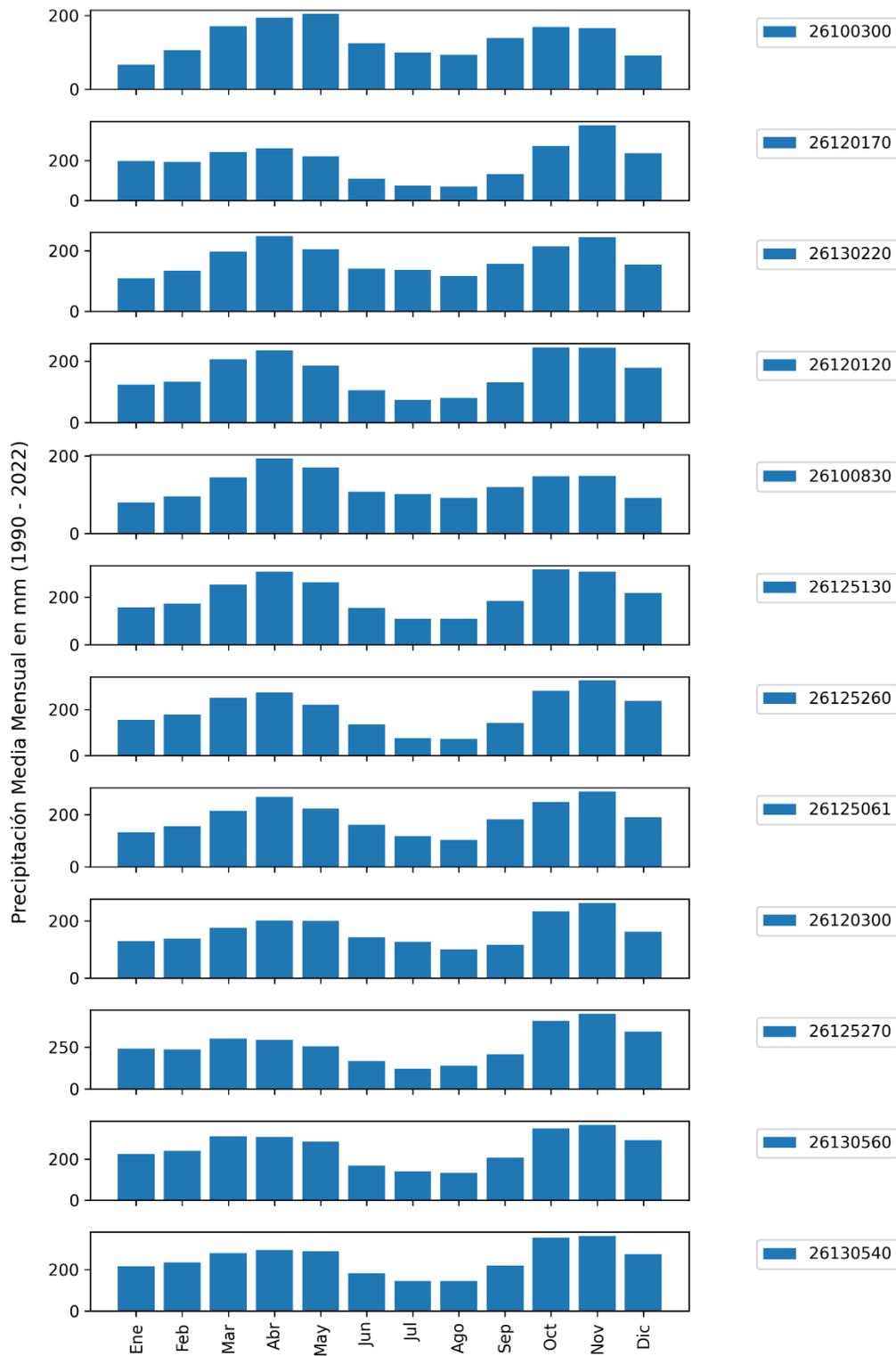


Figura 8. Distribución mensual de la precipitación en las estaciones evaluadas (periodo 1990 - 2022). El número que etiqueta cada estación en la parte derecha de la figura corresponde al código de la estación.

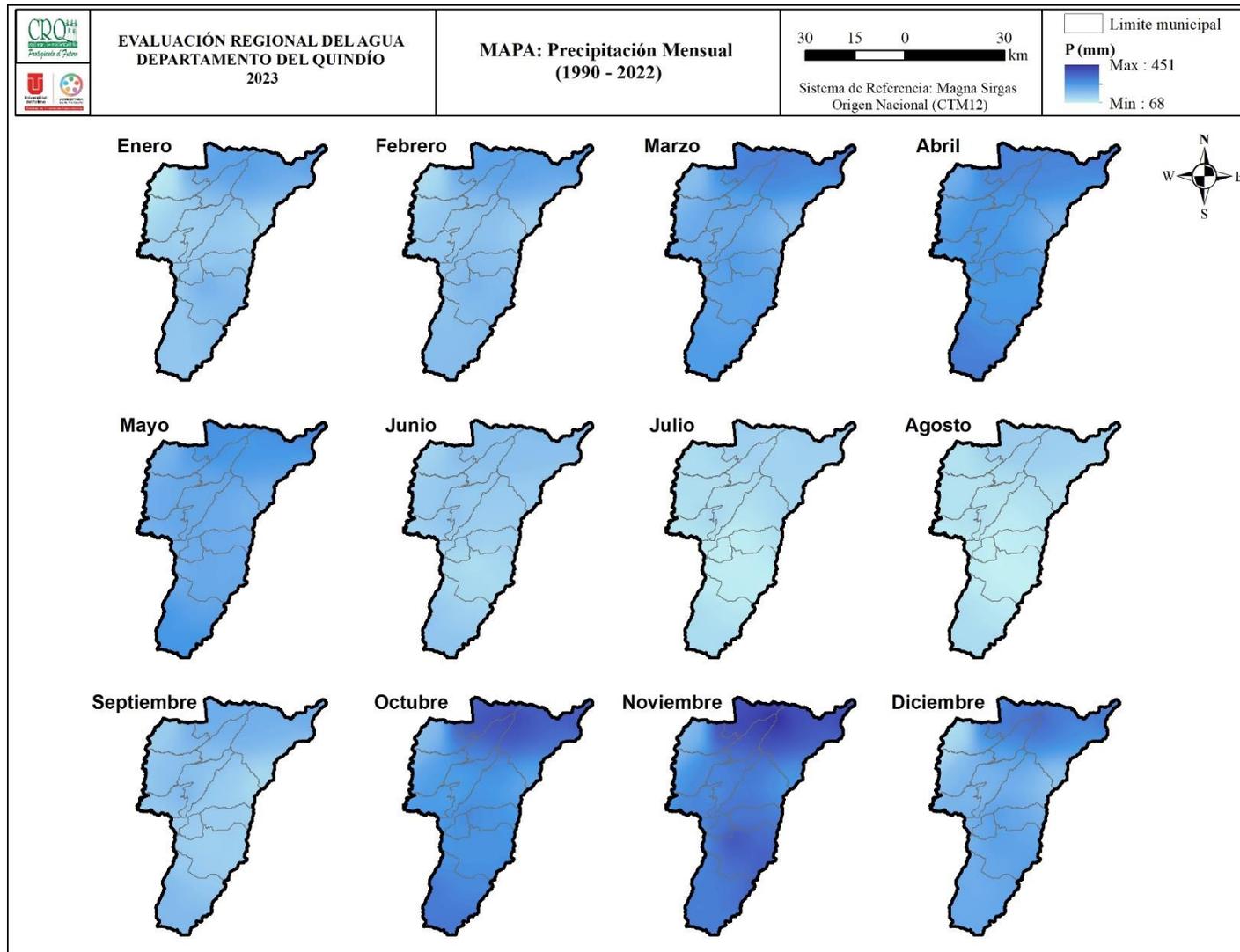


Figura 9. Distribución espacial de la precipitación mensual en el departamento del Quindío (1990 - 2022)

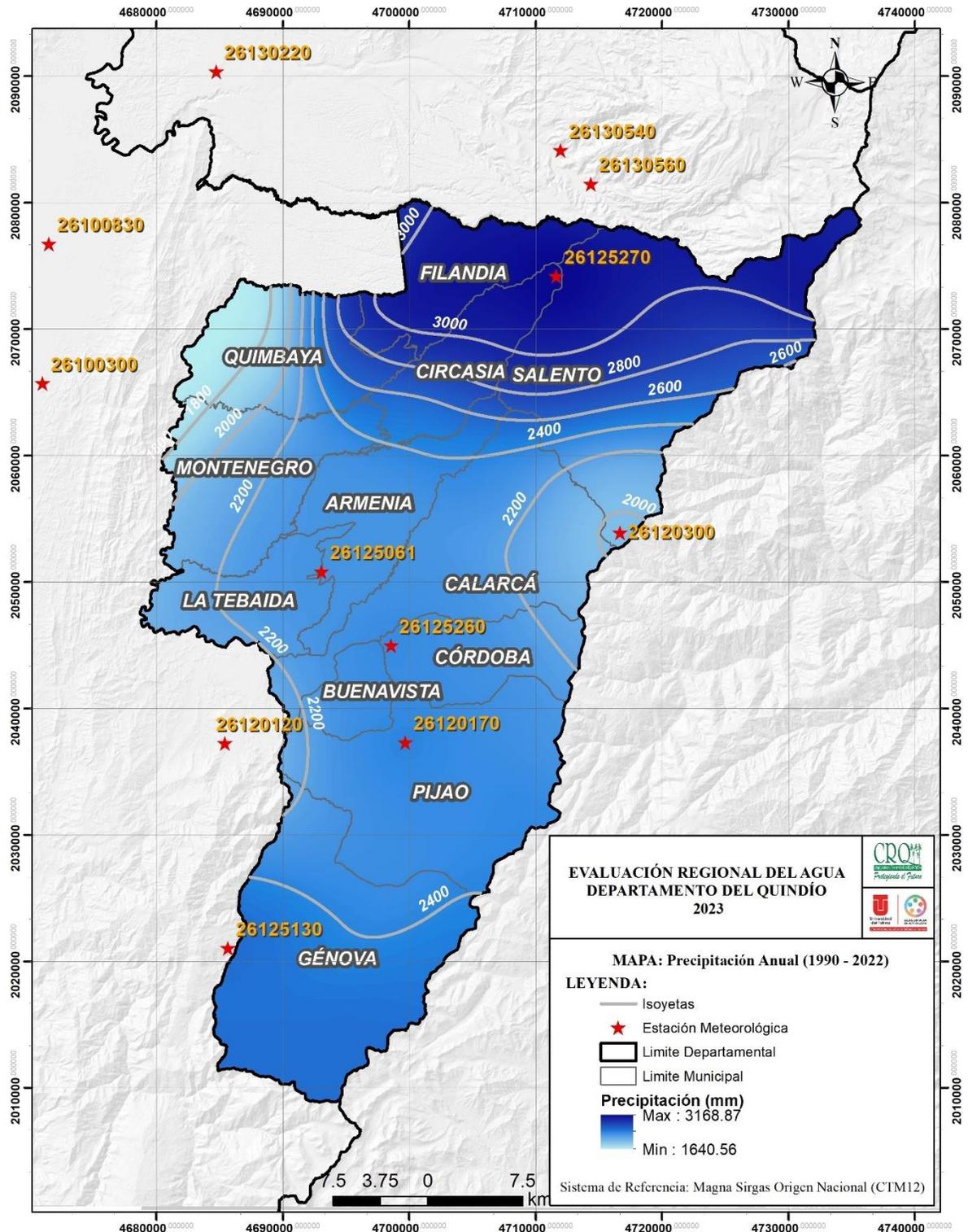


Figura 10. Distribución espacial de la precipitación anual en el departamento del Quindío (1990 - 2022)

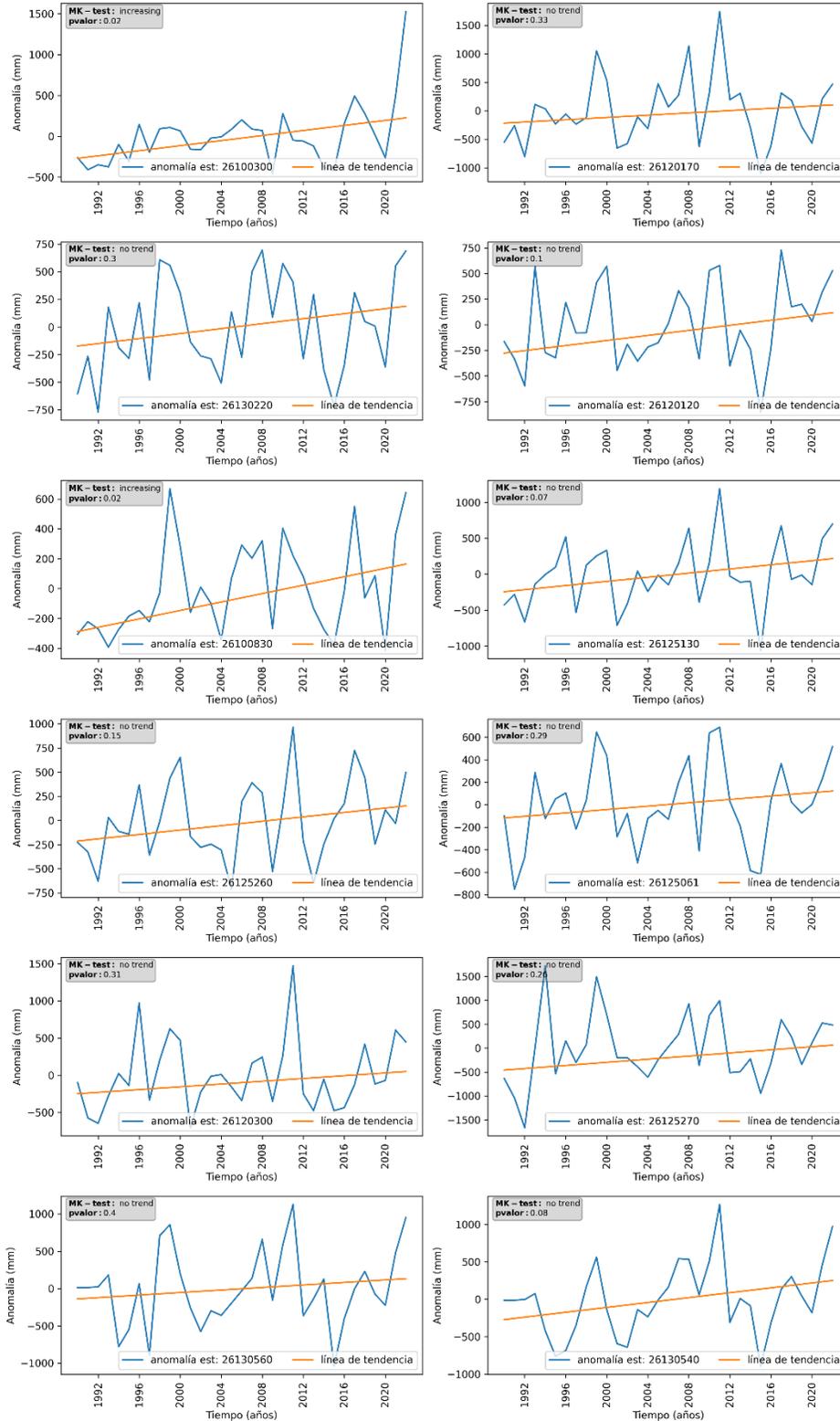


Figura 11. Tendencia de anomalías de precipitación anual del periodo 1990 a 2022 en las estaciones de la ERA-2023

2.3.4.3. Régimen Térmico en el Periodo 1990 a 2022

La temperatura media anual del departamento es 17.8°C (Figura 12), con una distribución entre 13.7°C y 23.3°C. Las más altas se presenta en los municipios de La Tebaida (23.3°C), Quimbaya (22.6°C), Montenegro (22.9°C), Armenia (22.2°C), Buenavista (21.8°C), Circasia (20.1°C), Calarcá (18.9°C) y Filandia (19.5°C), mientras que las más bajas ocurren en Salento (13.7°C), Córdoba (15.4°C), Génova (14.6°C) y Pijao (15.1°C).

Se evidencia que las temperaturas más bajas (<6°C) se encuentran en elevaciones superiores a los 3800 msnm (Figura 14), mientras que en el rango altitudinal entre 3800 y 1800 msnm la temperatura media se encuentra entre 6 y 19°C, y para el rango altitudinal entre 1800 y 948 msnm la temperatura media está entre 19 y 24.5°C. Las cuatro series de temperatura histórica indican una propensión a un incremento progresivo con el tiempo (Figura 14), sin embargo, la única serie que evidencia una tendencia estadísticamente significativa al incremento histórico de la temperatura es la registrada en la estación 26125061 (Aeropuerto El Edén).

La temperatura media presenta variaciones mensuales inferiores a 1°C (Figura 13), evidenciando mayores variaciones en las temperaturas máximas. Sin embargo, es más relevante en términos de magnitud la variabilidad espacial de la temperatura, la cual está asociada a la elevación, como se evidencia en la Figura 15.

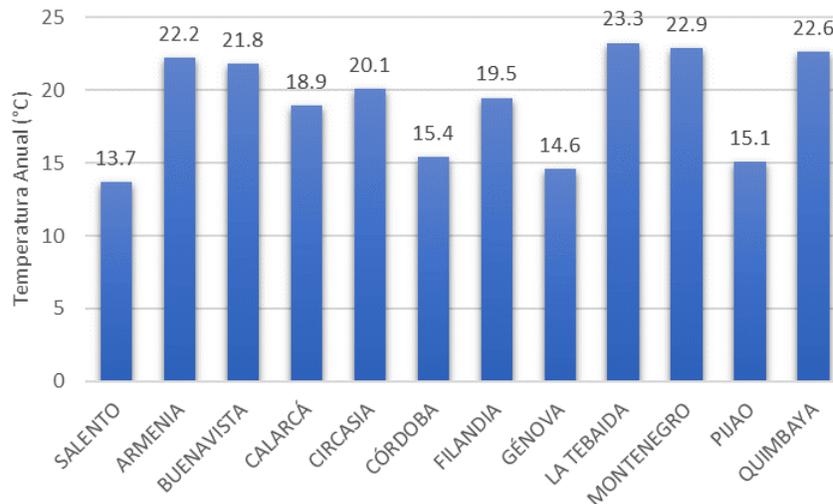


Figura 12. Distribución de la temperatura anual por municipio en el departamento del Quindío, periodo 1990 a 2022

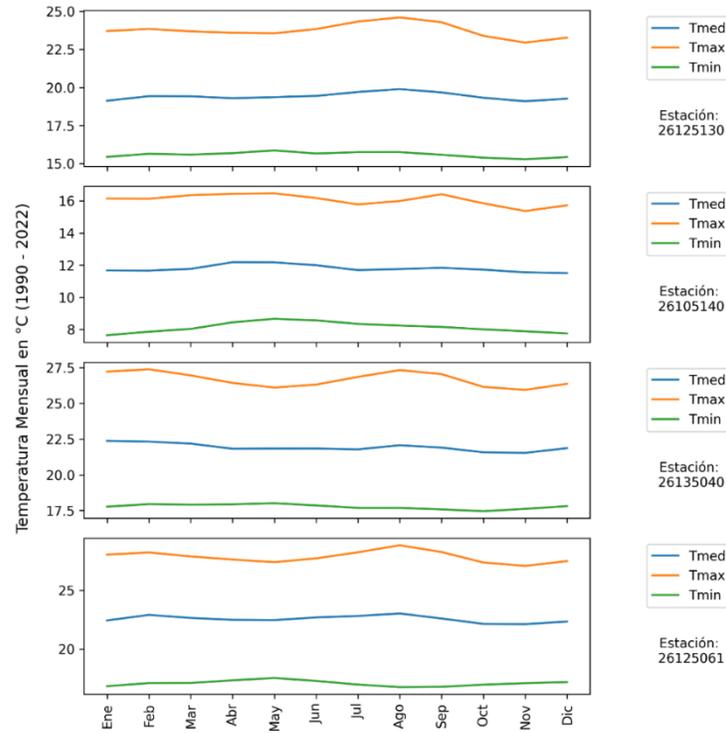


Figura 13. Distribución mensual de la temperatura media mensual en las estaciones evaluadas (periodo 1990 - 2022)

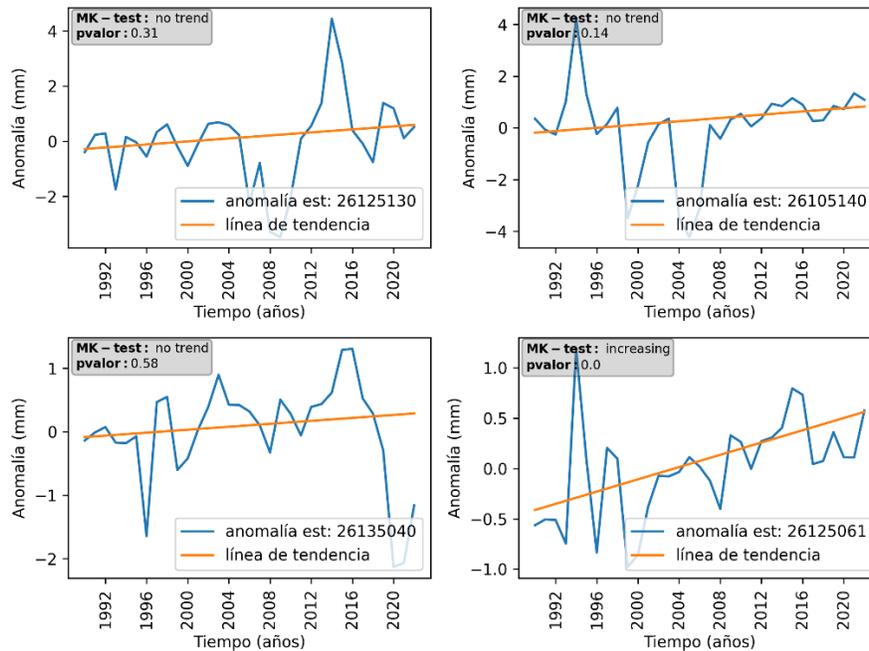


Figura 14. Tendencia de anomalías de temperatura media anual del periodo 1990 a 2022 en las estaciones de la ERA-2023

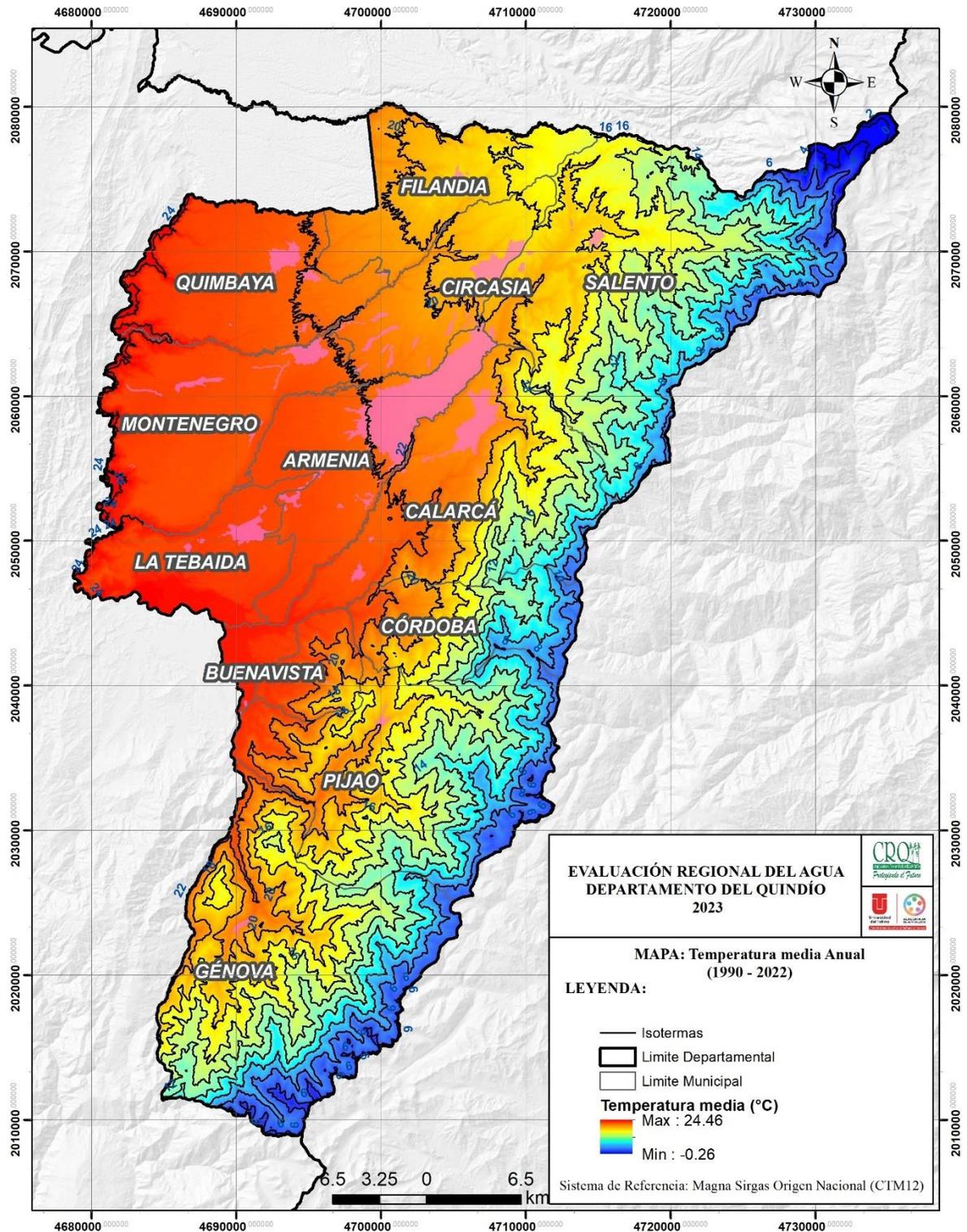


Figura 15. Distribución espacial de la temperatura media anual en el departamento del Quindío (1990 - 2022)

2.3.5. Información Hidrométrica Histórica

La base de información hidrométrica se consolidó a partir de la consulta del catálogo nacional del IDEAM y la red regional de CRQ. Se encontró que IDEAM no opera estaciones en las unidades hidrográficas objeto de estudio en el periodo de análisis (1990 a 2022), CRQ opera 9 estaciones con registros sistemáticos de niveles de lámina de agua (Tabla 12) contando con más de un 20% de datos faltantes en ocho de las nueve estaciones. Debido a que las curvas de gasto disponibles en la entidad cubren el periodo 2014-2018 fue necesario extrapolarlas para el periodo de registro de cada estación encontrando información consistente para las estaciones Balí, La Herradura y Puerto Alejandría (Figura 16).

Tabla 12. Estaciones con registros sistemáticos históricos de niveles diarios para el periodo de análisis en jurisdicción de CRQ

Nombre Estación	Inicio Registros	Fin Registros	Longitud del Periodo de Registro (días)	Número de datos Faltantes (días)	Datos Faltantes (%)
Bali	4/20/1987	12/31/2022	13040	6265	48.0
Bocatoma EPA	4/8/1987	12/31/2022	13052	5574	42.7
Centro Guadua	6/9/1987	3/1/2021	12320	7095	57.6
La Herradura	9/12/1988	2/1/2022	12196	8421	69.0
Palestina Baja	7/1/1995	12/31/2022	10046	6924	68.9
Puerto Alejandría	5/1/1987	4/27/2001	5111	823	16.1
La Española	4/15/1987	11/30/2011	8996	2816	31.3
PCH La Unión	5/18/2018	12/31/2022	1689	1001	59.3
Lacha	2/4/2019	8/28/2019	206	84	40.8

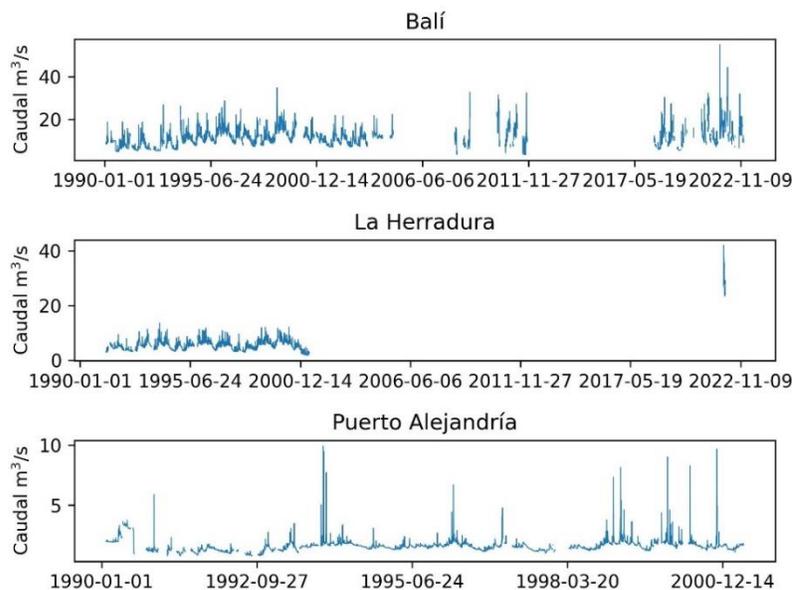


Figura 16. Estaciones hidrométricas seleccionadas para la modelación hidrológica

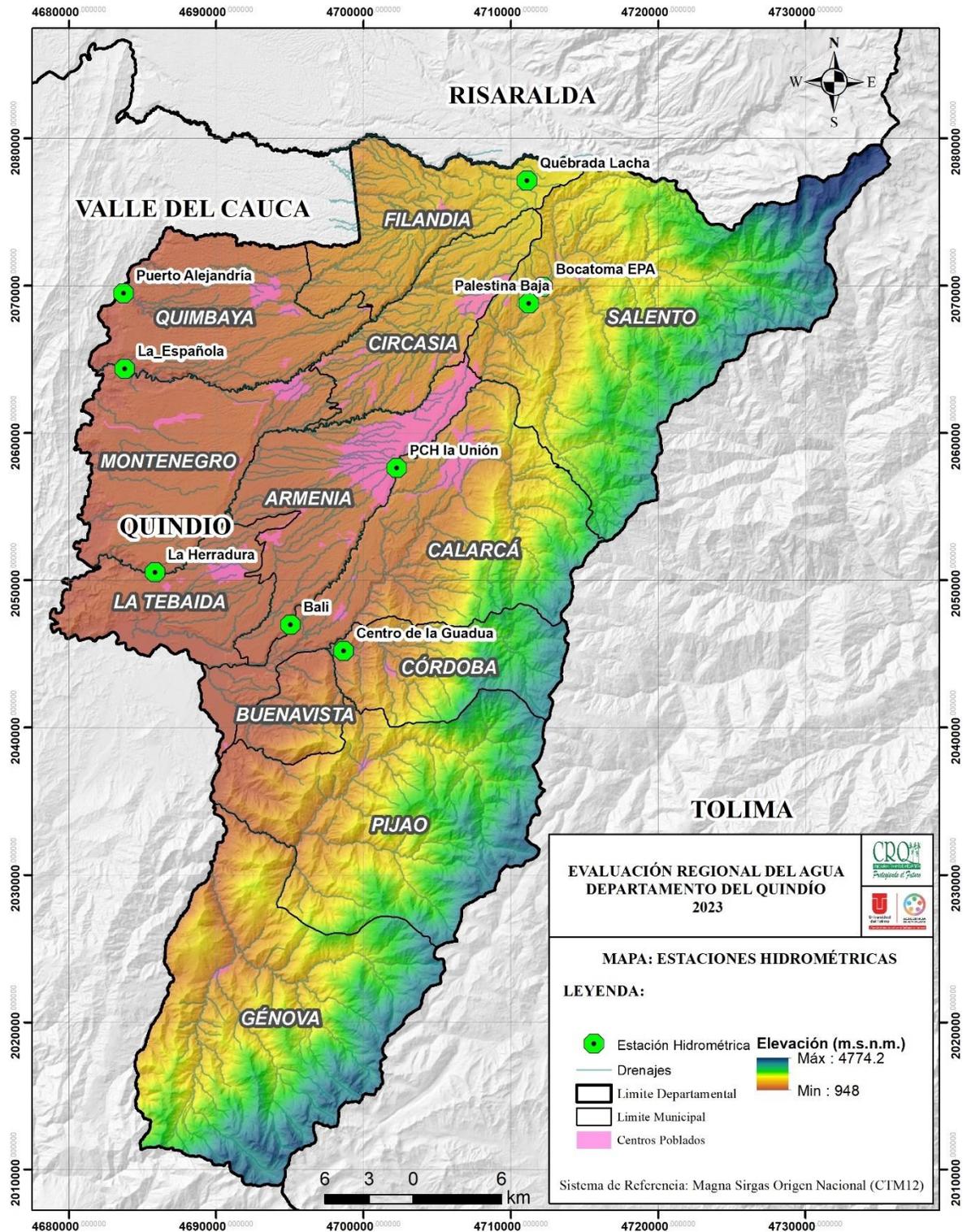


Figura 17. Estaciones Hidrométricas con registros sistemáticos históricos de niveles diarios para el periodo de análisis en jurisdicción de CRQ

2.3.6. Estimación de Parámetros del Modelo Hidrológico Distribuido Tetis

2.3.6.1. Parámetros Derivados de la Topografía

El modelo hidrológico requirió en su implementación la definición de los siguientes mapas de parámetros en formato ráster, calculados a partir del modelo de elevación digital: Elevación, Direcciones de Flujo, Acumulación de Flujo, Pendientes, Velocidad de Flujo en Ladera.

2.3.6.1.1. Mapa de Elevación

Se seleccionó el modelo FABDEM para representar los valores de elevación media con relación al nivel del mar en la zona de estudio, el cual es un mapa global de elevación con remoción de bosques y construcciones en una resolución espacial de 30 m (Fathom, 2023; Figura 18).

2.3.6.1.2. Mapa de Direcciones de Flujo

Se utilizó el algoritmo D8 de ARCGIS para establecer la dirección del flujo desde cada celda hasta su vecina con la pendiente descendente más alta (Figura 19).

2.3.6.1.3. Mapa de Acumulación de Flujo

Se define como un ráster de flujo acumulado para cada celda, determinado por la acumulación de celdas que fluyen hacia cada celda. Las celdas con acumulación de flujo alta corresponden a áreas de flujo concentrado y permiten identificar los drenajes (Figura 20).

2.3.6.1.4. Mapa de Pendientes

Se define como el gradiente topográfico o grado de inclinación de cada celda, se calculó en unidades m/m (Figura 21).

2.3.6.1.5. Mapa de Velocidad de Flujo en Ladera

La velocidad del flujo en ladera se determinó a través de una simplificación de la ecuación de onda cinemática (Figura 22):

$$V = 1.4 * \sqrt{S}$$

Donde, V es la velocidad de flujo en ladera (m/s), S es la pendiente.

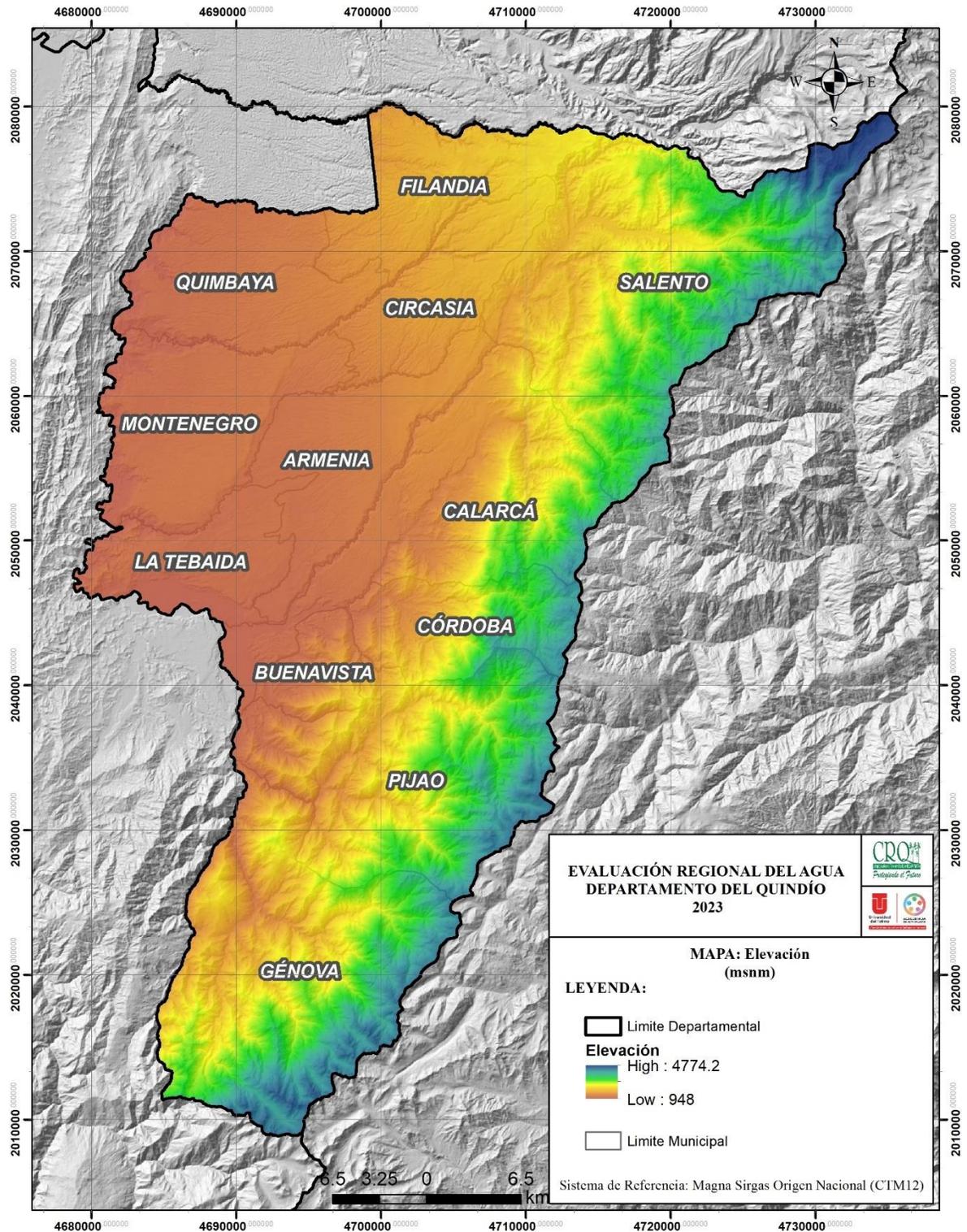


Figura 18. Mapa de elevación media del terreno con relación al nivel del mar en el departamento del Quindío. Fuente: Fathom, (2023)

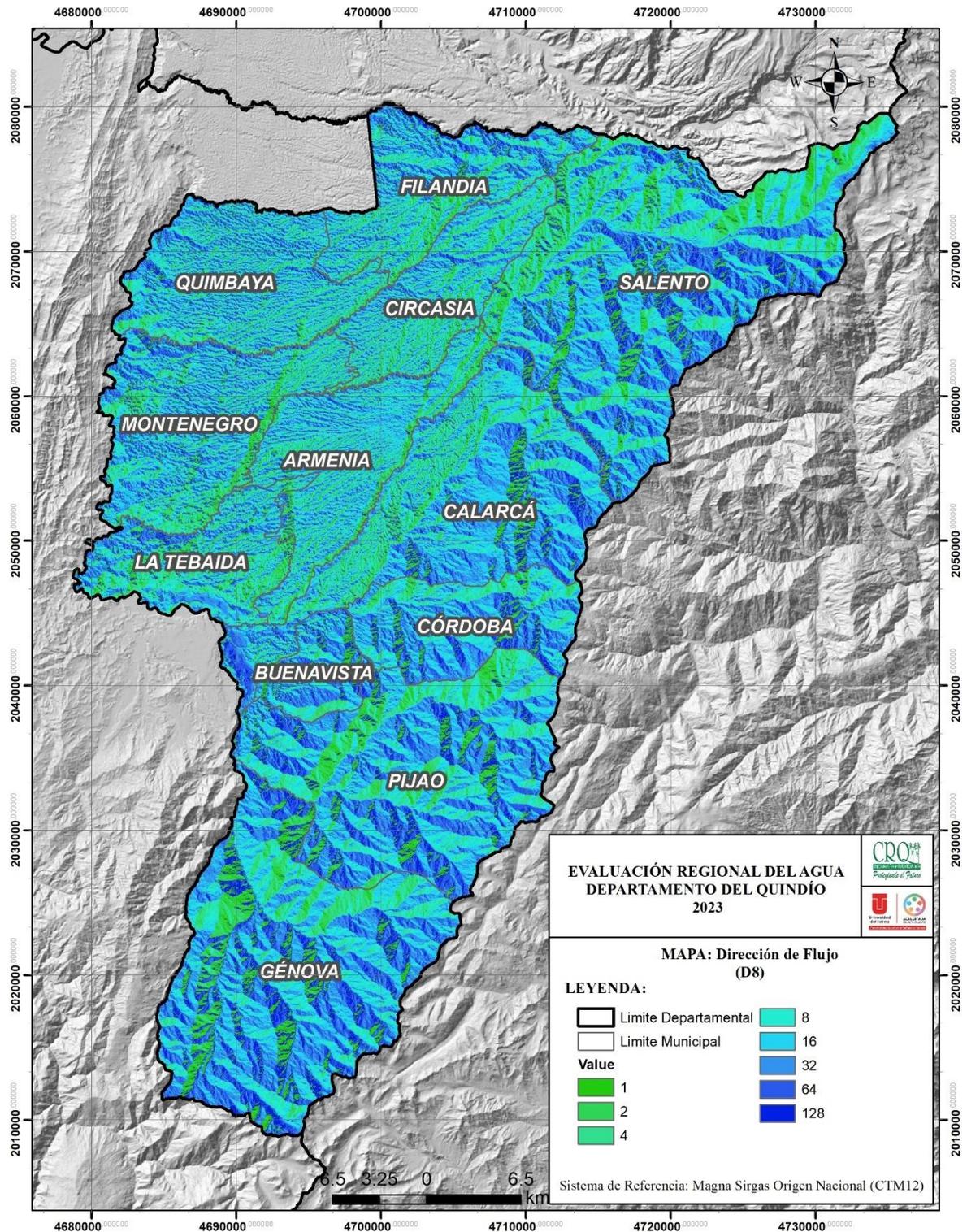


Figura 19. Mapa de direcciones de flujo con algoritmo D8 en el departamento del Quindío

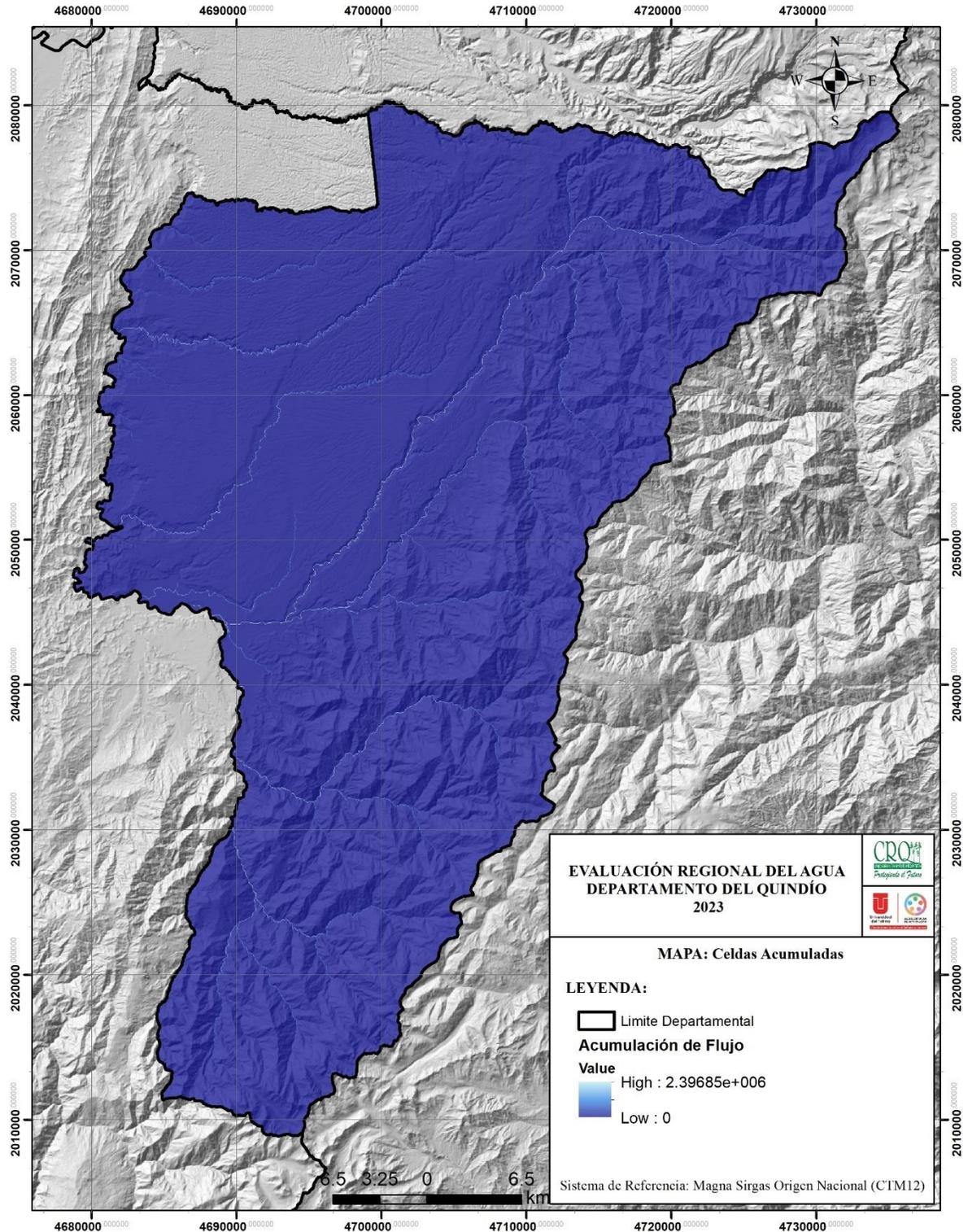


Figura 20. Mapa de acumulación de flujo en el departamento del Quindío

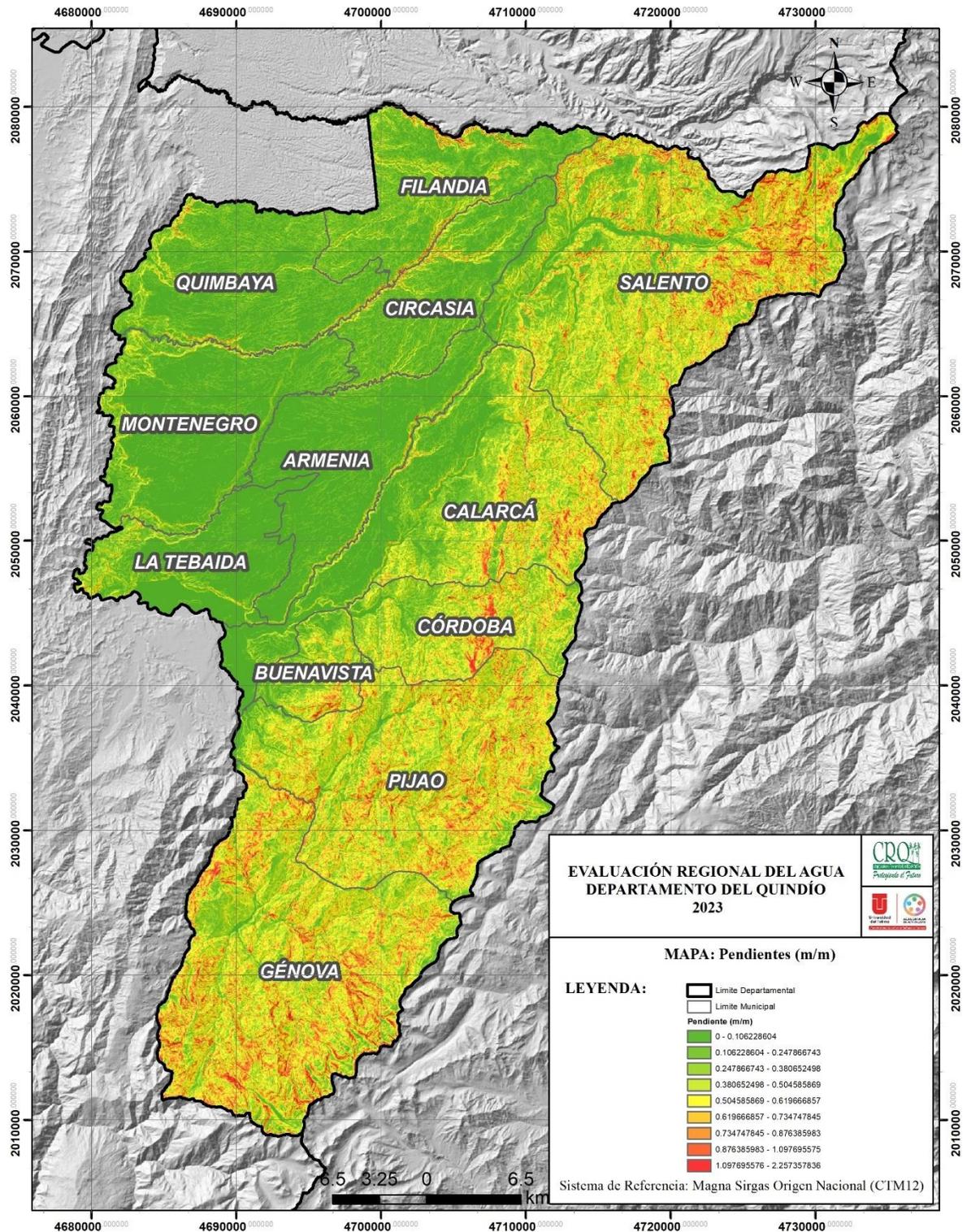


Figura 21. Mapa de pendientes topográficas por celda en el departamento del Quindío

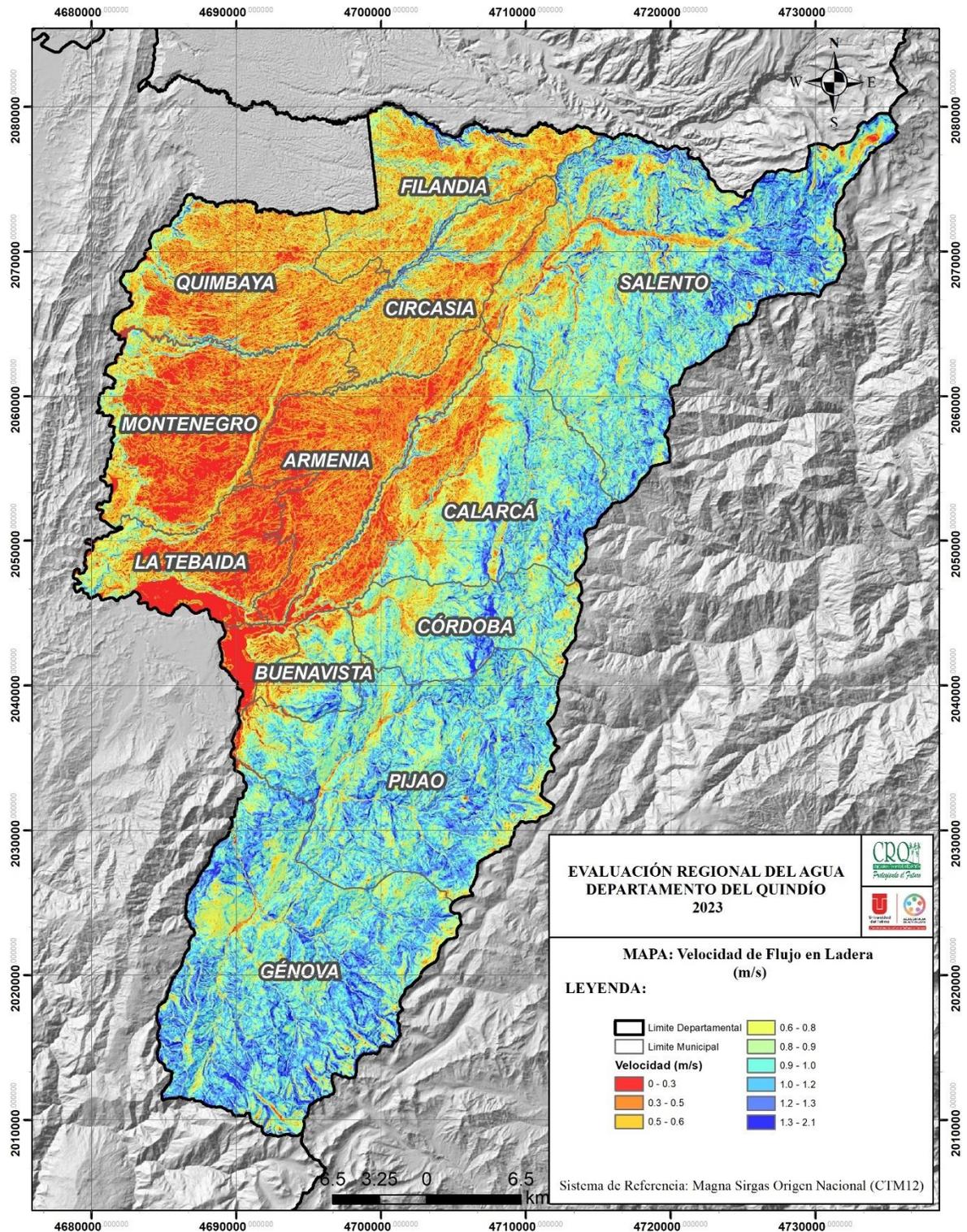


Figura 22. Mapa de velocidad de flujo en ladera en el departamento del Quindío

2.3.6.2. Parámetros de Cobertura Vegetal

Se realizó una clasificación de las coberturas en 35 categorías homogéneas con relevancia con relación a su comportamiento hidrológico, a partir de esta se definieron índices de vegetación para relacionar la evapotranspiración de referencia con la evapotranspiración máxima para cada categoría y se establecieron valores de referencia de capacidad de intercepción expresada en milímetros de lámina de agua. Como información base más reciente de cobertura de la tierra para la zona de estudio se utilizó el mapa de IDEAM (2018).

2.3.6.2.1. Índices de Vegetación

Para modelar el efecto de la dinámica del desarrollo de la vegetación en la variabilidad temporal de la evapotranspiración real se establecieron índices de cobertura mensual por clase de cobertura, los cuales representan a escala mensual la variabilidad de los procesos de evaporación en un ciclo anual. Dichos índices relacionan la evapotranspiración de referencia (E_{To}) con la evapotranspiración máxima para cada tipo de cobertura de la tierra. En términos prácticos las coberturas se han dividido en categorías relevantes desde un punto de vista hidrológico, y a cada categoría se asigna un factor de evapotranspiración, según el grado de desarrollo y la capacidad de transpiración para cada cobertura. Los índices de vegetación para cada tipo de cobertura fueron tomados de FAO (2006) para los valores de referencia en suelos agrícolas y de SGC & EAFIT (2016) para territorios artificializados, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua (Tabla 13).

2.3.6.2.2. Capacidad de Intercepción

La intercepción es un proceso que representa la captura, almacenamiento y disposición de agua en el follaje de la vegetación (Zinke, 1966) y define el proceso de redistribución aérea de la precipitación por la vegetación (Collins, 1970). Estudios realizados por Helvey (1967), Helvey & Patric (1965) y Zinke (1966), disponen de información concerniente a la capacidad de intercepción de la lluvia para coberturas arbóreas, así como (Tromble, 1988) para arbustos de pastizales áridos y semiáridos. En los procesos de modelación hidrológica, modelos como WetSpa cuentan con valores de intercepción máxima y mínima por determinada clase de cobertura (Verbeiren et al., 2016), al igual que UPV (2011) y URA (2003) proporcionan valores argumentados bajo la experticia del modelador y la revisión de literatura para su asignación. Los valores adoptados para las diferentes clases de cobertura se presentan en la Tabla 14, así como su respectiva distribución espacial (Figura 23) para efectos de la modelación hidrológica.

Tabla 13. Índices de vegetación por clasificación de cobertura en la ERA-2023

Cobertura	Índice de Vegetación (Kc)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, red vial y obras hidráulicas	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Tejido urbano discontinuo y construcciones rurales	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Zonas de extracción minera y zonas verdes urbanas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Instalaciones recreativas	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Otros cultivos transitorios	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Cereales	0.6	0.6	1.15	1.15	0.92	0.77	0.6	0.6	1.15	0.92	0.77	1.02
Hortalizas	1	1	1	1	0.7	1	1.05	1.05	0.95	1	1	1
Cultivos permanentes herbáceos	1.12	1.13	1.13	1.14	1.12	1.12	1.13	1.1	1.08	1.1	1.16	1.15
Cultivos permanentes arbustivos	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88	0.9	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Cultivos permanentes arbóreos	0.69	0.69	0.69	0.7	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73
Cultivos agroforestales y confinados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pastos limpios	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Pastos arbolados	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.8
Pastos enmalezados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mosaico de cultivos	0.9	0.85	0.89	0.95	0.89	0.91	0.88	0.91	0.96	0.91	0.88	0.94
Mosaico de pastos y cultivos	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.83	0.82	0.83	0.85	0.83	0.84	0.83	0.84	0.89	0.87	0.86	0.85
Mosaico de pastos con espacios naturales	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.8
Mosaico de cultivos con espacios naturales	0.75	0.73	0.75	0.78	0.75	0.76	0.74	0.76	0.78	0.76	0.74	0.77
Bosque denso y bosque abierto	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0.86	0.84	0.86	0.88	0.86	0.86	0.85	0.86	0.91	0.9	0.89	0.87
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Bosque de galería y ripario	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Plantación forestal	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Herbazal denso de tierra firme	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Herbazal abierto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arbustal denso	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Arbustal abierto	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Vegetación secundaria o en transición	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Zonas arenosas naturales, tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Afloramientos rocosos	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zonas glaciares y nivales	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Humedales y zonas pantanosas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, Cuerpos de agua artificiales	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Ríos	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Canales	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: (FAO, 2006; SGC & EAFIT, 2016)

Tabla 14. Valores de capacidad de intercepción por clase de cobertura

Cobertura	Capacidad de Intercepción (mm)
Tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, red vial y obras hidráulicas	0
Tejido urbano discontinuo y construcciones rurales	0
Zonas de extracción minera y zonas verdes urbanas	0
Instalaciones recreativas	0
Otros cultivos transitorios	1
Cereales	1
Hortalizas	1
Cultivos permanentes herbáceos	1
Cultivos permanentes arbustivos	1
Cultivos permanentes arbóreos	1
Cultivos agroforestales y confinados	5
Pastos limpios	0
Pastos arbolados	0
Pastos enmalezados	4
Mosaico de cultivos	5
Mosaico de pastos y cultivos	1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2
Mosaico de pastos con espacios naturales	0.5
Mosaico de cultivos con espacios naturales	1
Bosque denso y bosque abierto	15
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	15
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15
Bosque de galería y ripario	15
Plantación forestal	9
Herbazal denso de tierra firme	0.3
Herbazal abierto	0
Arbustal denso	1
Arbustal abierto	0.75
Vegetación secundaria o en transición	4
Zonas arenosas naturales, tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas	0
Afloramientos rocosos	0
Zonas glaciares y nivales	0
Humedales y zonas pantanosas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, Cuerpos de agua artificiales	0
Ríos	0
Canales	0

Fuente: (Helvey, 1967; Helvey & Patric, 1965; Tromble, 1988; UPV, 2011; URA, 2003; Verbeiren et al., 2016; Zinke, 1966)

2.3.6.3. Evapotranspiración de Referencia

La evapotranspiración de referencia (ET_o) se determinó a través de la aplicación del método FAO Penman Monteith, ampliamente reconocido como el método estándar único para el cálculo de la ET_o a partir de un cultivo de referencia. Uno de los principales inconvenientes para su aplicación es el elevado número de variables y/o datos climatológicos a emplear, que por lo general son de difícil disposición en cuencas poco instrumentadas o con algún grado de ausencia de información en las series de tiempo. FAO (2006) incluye métodos para la estimación de la ET_o a partir pocas variables climatológicas como la temperatura máxima y mínima, y de información geoespacial como la latitud y la altitud. De igual manera, esta metodología ha sido adoptada por el IDEAM para su reproducción y aplicación (Gómez & Cadena, 2017).

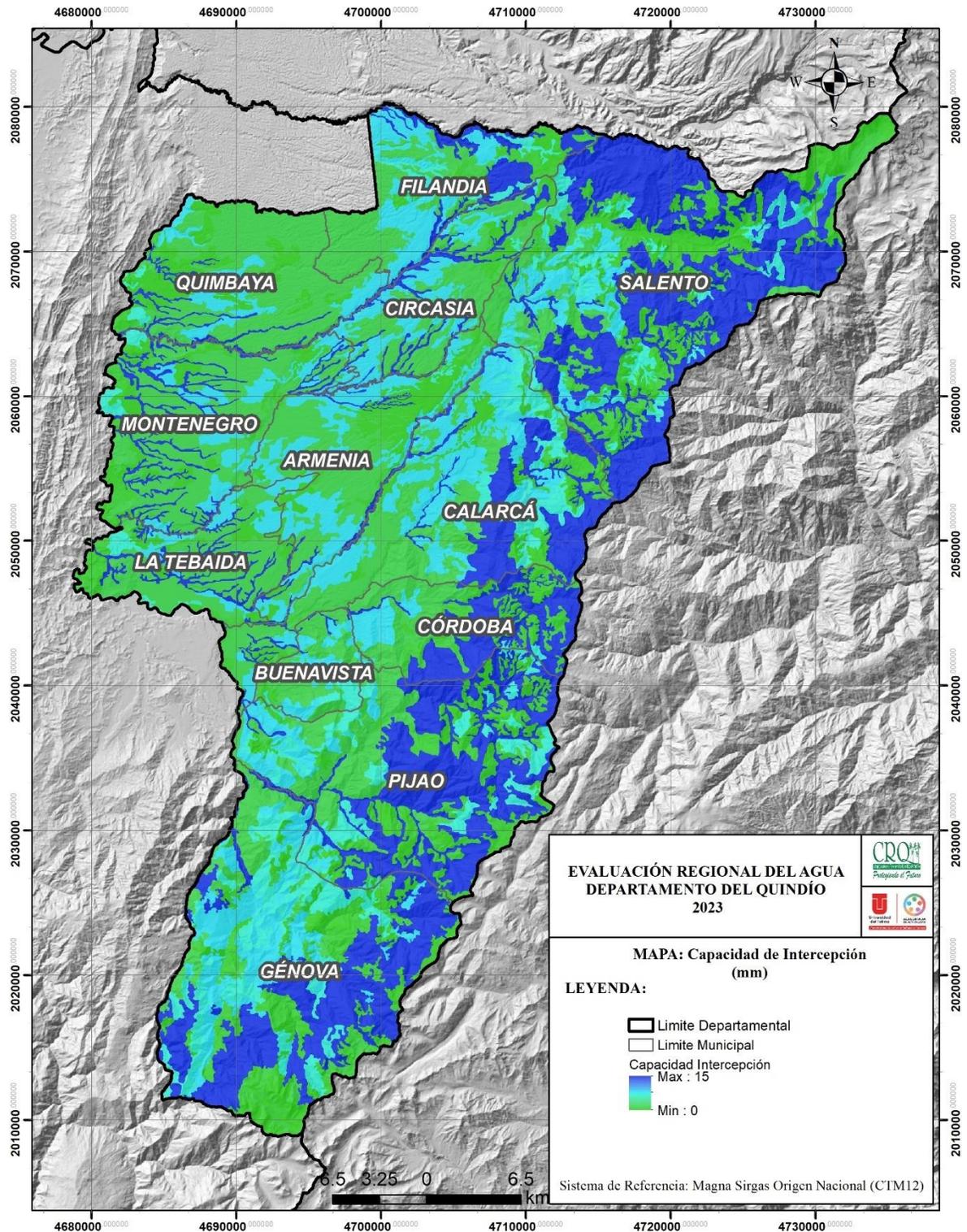


Figura 23. Mapa de capacidad de intercepción (mm) en el departamento del Quindío

2.3.6.4. Parámetros hidráulicos del suelo

Conceptualmente, el estado de humedad y flujo de agua en el suelo en el modelo hidrológico TETIS, es controlado por la capacidad de almacenamiento capilar (H_u) y por la conductividad hidráulica para el interflujo (K_{ss}) y la capacidad de infiltración del suelo (K_s). Caracterizar adecuadamente las diferentes tasas de infiltración sobre los estratos superficiales y profundos del suelo, implica disponer de información detallada dada la alta variabilidad espacial que a menudo se presentan en suelos naturales (Chapuis, 2012). Debido a la escasa información disponible que represente dicha variabilidad sobre las unidades hidrográficas a evaluar, se hace necesario emplear métodos para estimar estas propiedades hidráulicas a partir de mediciones puntuales (perfiles de suelo caracterizados) y a través de funciones de pedotransferencia, que relacionen propiedades físicas del suelo con sus propiedades hidráulicas.

Las características hidráulicas del suelo relacionadas con las curvas de retención de humedad se conocen sólo en algunas localizaciones puntuales del departamento del Quindío realizadas en el estudio semidetallado de suelos a partir de muestras analizadas en laboratorio (IGAC, 2013), consideradas representativas de las unidades cartográficas de suelo. La conductividad hidráulica saturada fue estimada de manera indirecta a través de la aplicación de funciones de edafotransferencia (Saxton y Rawls, 2006) a partir de la textura y contenido de materia orgánica del suelo.

2.3.6.4.1. Valores Modales de Almacenamiento Estático (H_u)

La capacidad de almacenamiento estático (H_u) representa el máximo volumen de almacenamiento capilar de agua en el suelo más el almacenamiento superficial por efecto de la rugosidad del terreno y la cobertura (Figura 24). El almacenamiento capilar máximo del suelo está en función del contenido de humedad a una presión de succión de -1500 kPa, el contenido de humedad en presión de succión de -33 kPa, la densidad aparente del suelo y la profundidad efectiva de raíces. Su estimación está dada por la siguiente expresión:

$$H_u = (\rho_b * p * AW) / (\rho_w * 100) + A_s$$

Donde:

H_u es el contenido de agua útil más el almacenamiento superficial (mm), ρ_b es la densidad aparente del perfil de suelo (gr/cm^3), ρ_w es la densidad del agua (gr/cm^3), p es el valor mínimo entre el espesor del suelo y la profundidad efectiva de raíces (mm), AW es el agua disponible para las plantas en el perfil de suelo en %, A_s es el

almacenamiento superficial de agua (mm). Para el cálculo del agua disponible para las plantas (AW) se considera como:

$$AW = \theta_{33} - \theta_{1500}$$

Los valores estimados de ρ_b , θ_{33} y θ_{1500} son ponderados en función de la profundidad de cada horizonte y la proporción del perfil por cada unidad cartográfica de suelo.

La profundidad efectiva de raíces (Pr) es considerada como la máxima profundidad a la cual la matriz del suelo es afectada por el sistema radicular. En FAO (2006) se estandarizan estos valores con base a un cultivo determinado, siendo esta una referencia inicial para establecer la profundidad efectiva del suelo en la capa superficial. El mapa de coberturas y uso de la tierra fue usado para espacializar Pr en el departamento del Quindío. En la Tabla 15, se establece la profundidad efectiva de raíz (m) en función de la cobertura, a partir de valores de referencia consultados en la literatura (FAO, 2006). Para la estimación del espesor del suelo (Es), se realizó una interpolación por inverso de la distancia al cuadrado a partir de las profundidades de suelo reportadas en 27 perfiles modales de suelo de la zona de estudio (IGAC, 2013). Con esta variable definida, la profundidad del suelo (p) es determinada como:

$$p = \min (Pr, Es)$$

Por último, el almacenamiento superficial de agua (A_s) representa el agua retenida en la superficie del terreno por efecto de su rugosidad. Los factores que más afectan dicha rugosidad son la clase de cobertura y la pendiente topográfica de la superficie. A medida que la pendiente aumenta, hay menor probabilidad de almacenar agua en depresiones, por ello se ha asumido una relación lineal entre capacidad de almacenamiento superficial por pendiente y la pendiente del terreno (SO):

$$A_s \text{ por pendiente} = -1.29 * SO + 9.98$$

El almacenamiento superficial por efecto de la cobertura es considerado a partir de estudios de modelación aplicada (UPV, 2011; URA, 2003) tomando como referencia el tipo de cobertura del suelo. En la Tabla 15 se determinan los valores de capacidad de almacenamiento superficial (mm) según el tipo de cobertura. Por lo que la capacidad de almacenamiento superficial se define como la suma de estas dos variables:

$$A_s = A_s \text{ por pendiente} + A_s \text{ por cobertura}$$

2.3.6.4.2. Valores Modales de Conductividad Hidráulica Vertical (Ks) y Conductividad Hidráulica para el Interflujo (Kss)

Asumiendo una isotropía en cada una de las capas del suelo se estima una permeabilidad equivalente siendo este un valor global al conjunto de capas consideradas como una unidad. Considerando la Ley de Darcy para caracterizar el flujo de agua en el suelo en un medio estratificado, la K_s se asume con la siguiente expresión:

$$K_s = (\sum K_i * b_i) / B$$

Donde:

K_s es la capacidad de infiltración del suelo equivalente (mm/h) para el perfil de suelo, K_i es la conductividad hidráulica (mm/h) de cada una de las capas del suelo, b_i es el espesor (m) de cada una de las capas del suelo, B es el espesor total (m) del perfil del suelo. De igual manera, la estimación de la conductividad hidráulica para el interflujo (K_{ss}) o conductividad hidráulica horizontal del perfil del suelo se infiere a partir de los valores estimados de la conductividad hidráulica vertical (K_s) y el espesor de cada horizonte del suelo respecto a la profundidad total del perfil. Así mismo, los valores de K_{ss} para cada unidad cartográfica de suelo son estimados en relación con la proporción que representa cada perfil en cada unidad.

$$K_{ss} = B / \sum b_i / K_i$$

Donde:

K_{ss} es la conductividad hidráulica para el interflujo (mm/h), B es el espesor total (m) del perfil del suelo, b_i es el espesor (m) de cada una de las capas del suelo, K_i es la conductividad hidráulica (mm/h) de cada una de las capas del suelo. Como resultado se obtiene los mapas de capacidad de infiltración (K_s) y de conductividad hidráulica para el interflujo (K_{ss}) en cada una de las unidades hidrográficas evaluadas representando espacialmente la variabilidad del gradiente de flujo superficial y subsuperficial en el suelo.

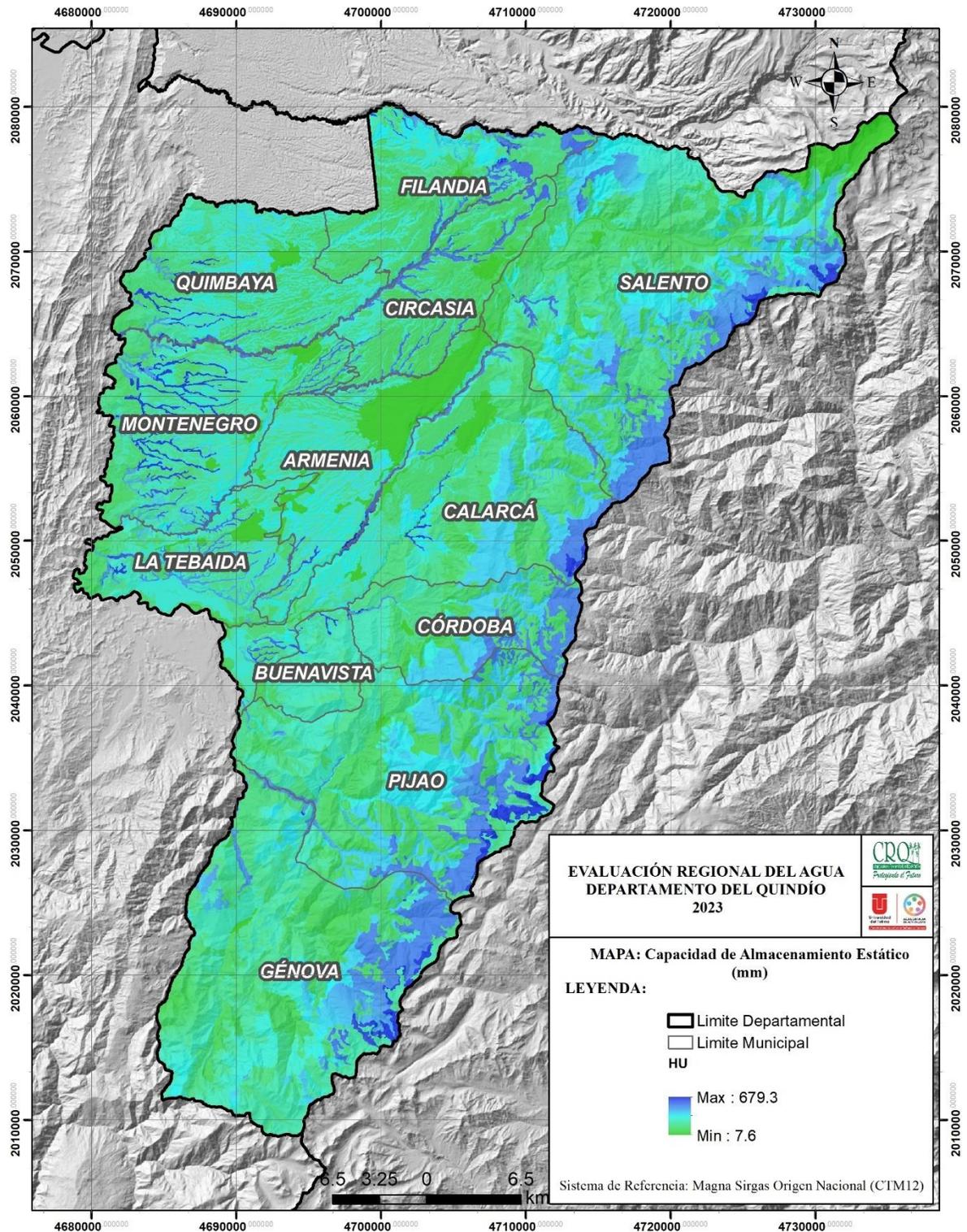


Figura 24. Mapa de Almacenamiento Estático (Hu) en el departamento del Quindío

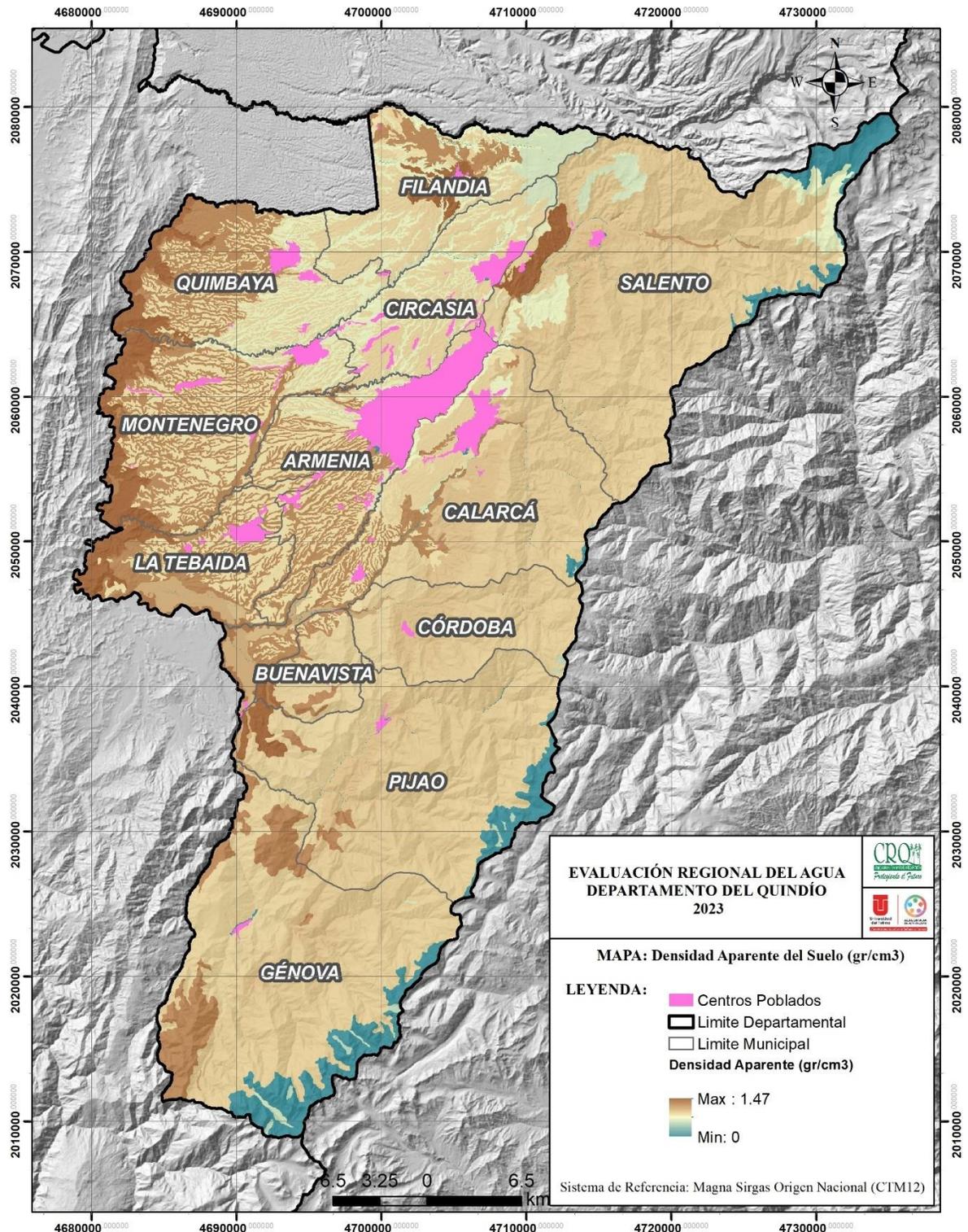


Figura 25. Mapa de distribución espacial de la densidad aparente del suelo en el departamento del Quindío

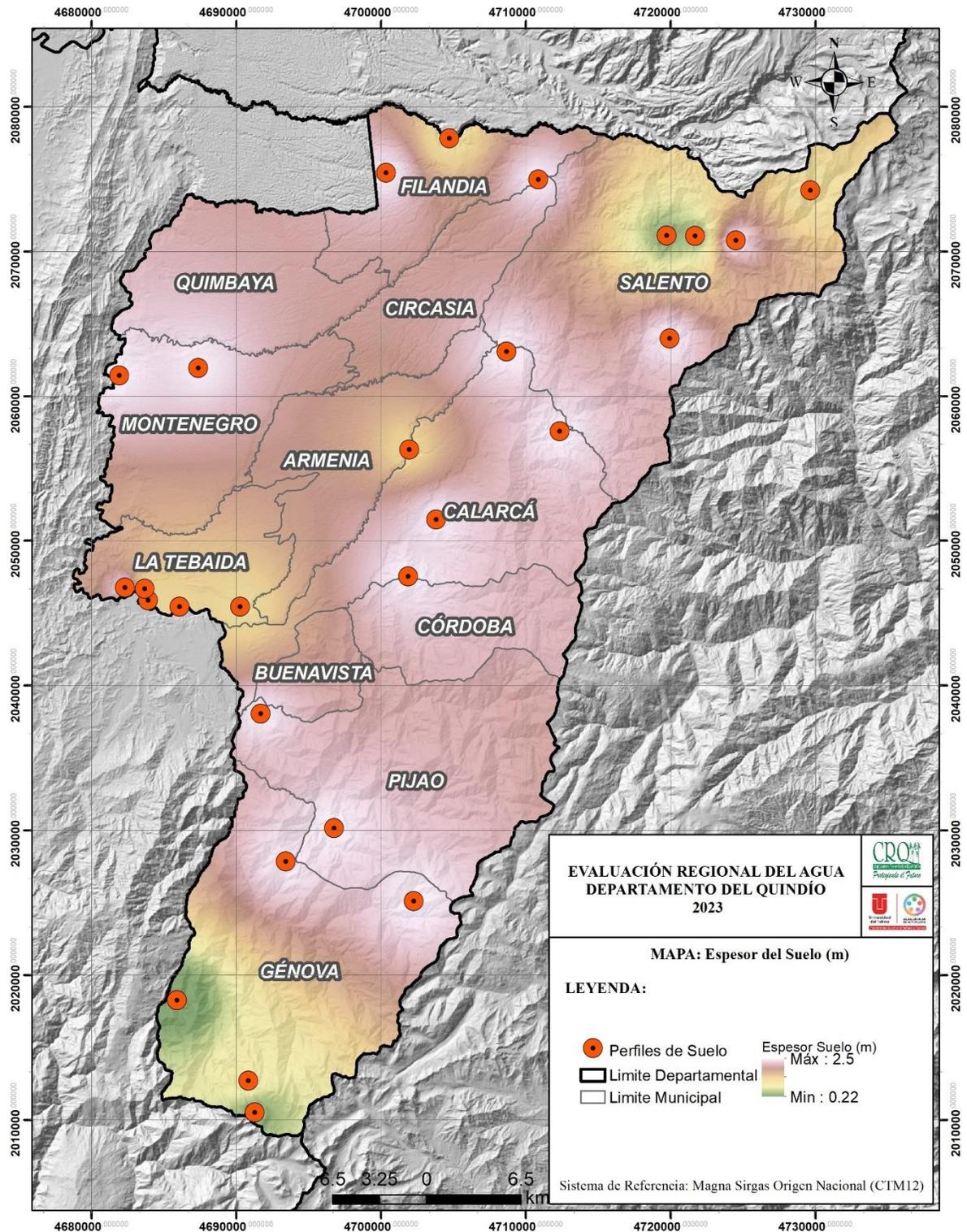


Figura 26. Mapa de espesor del suelo en el departamento del Quindío

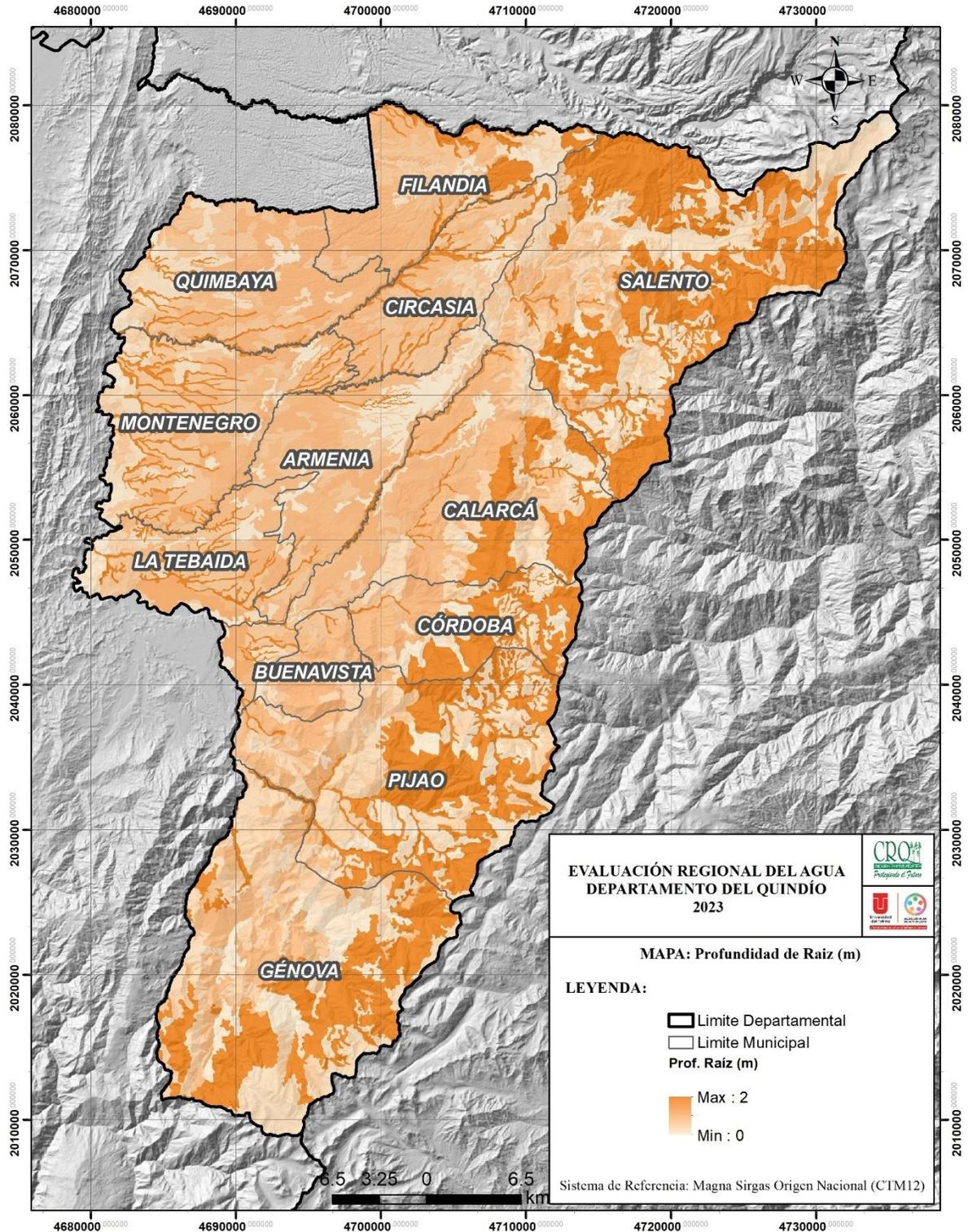


Figura 27. Mapa de profundidad de raíces en el departamento del Quindío

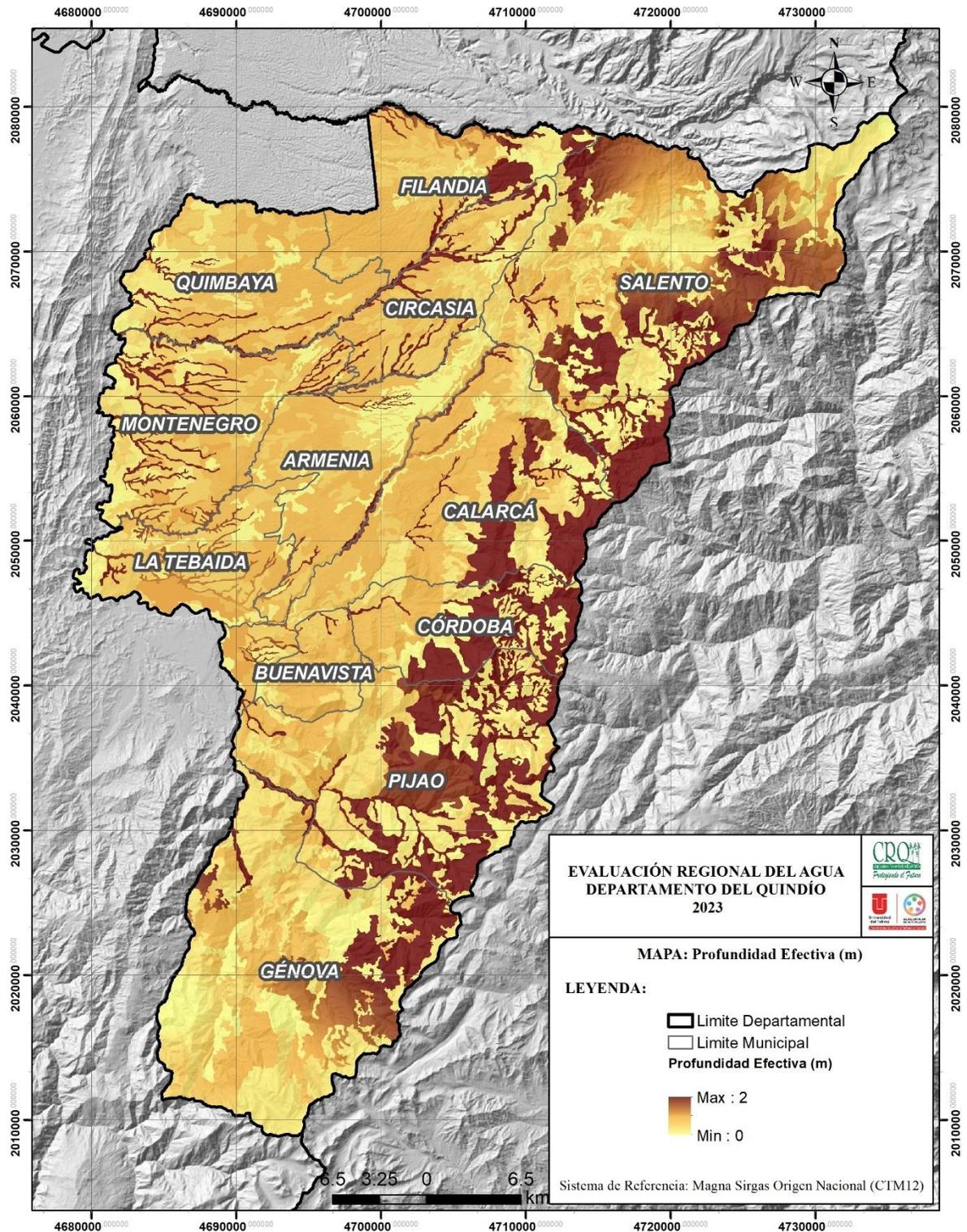


Figura 28. Mapa de profundidad efectiva del suelo en el departamento del Quindío

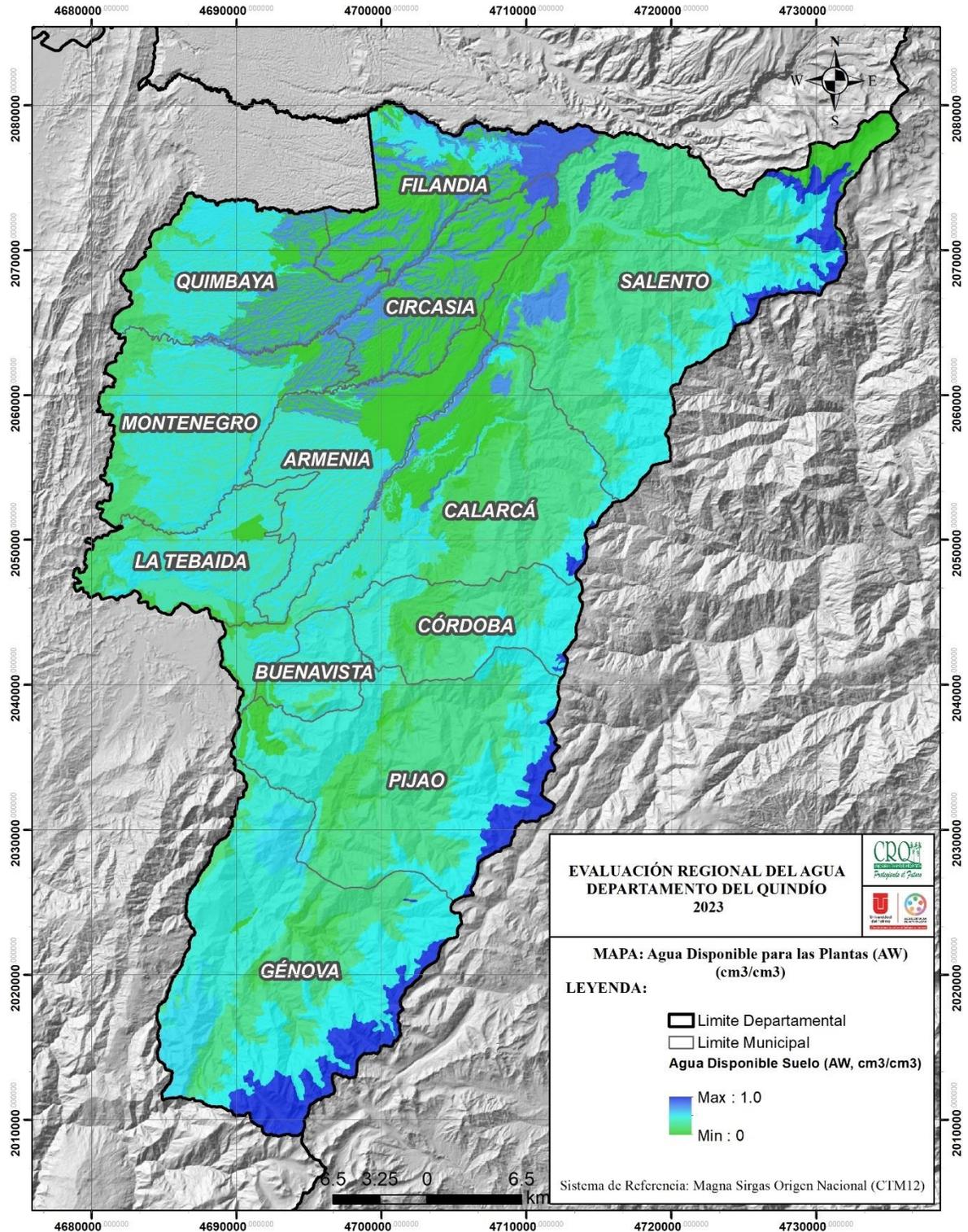


Figura 29. Mapa de agua disponible para las plantas (cm³/cm³) en el departamento del Quindío

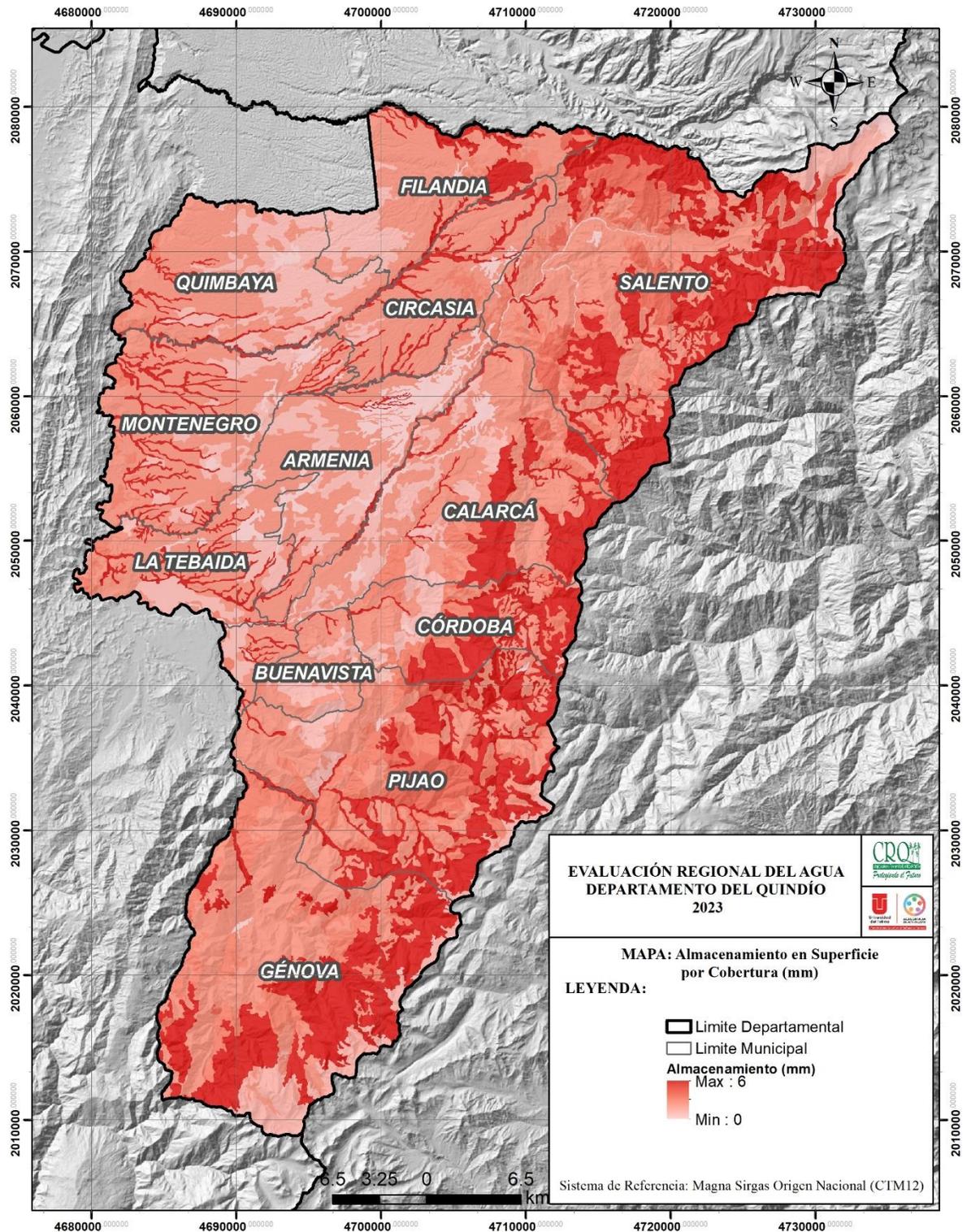


Figura 30. Mapa de capacidad de almacenamiento superficial de agua por efecto de la cobertura en el departamento del Quindío

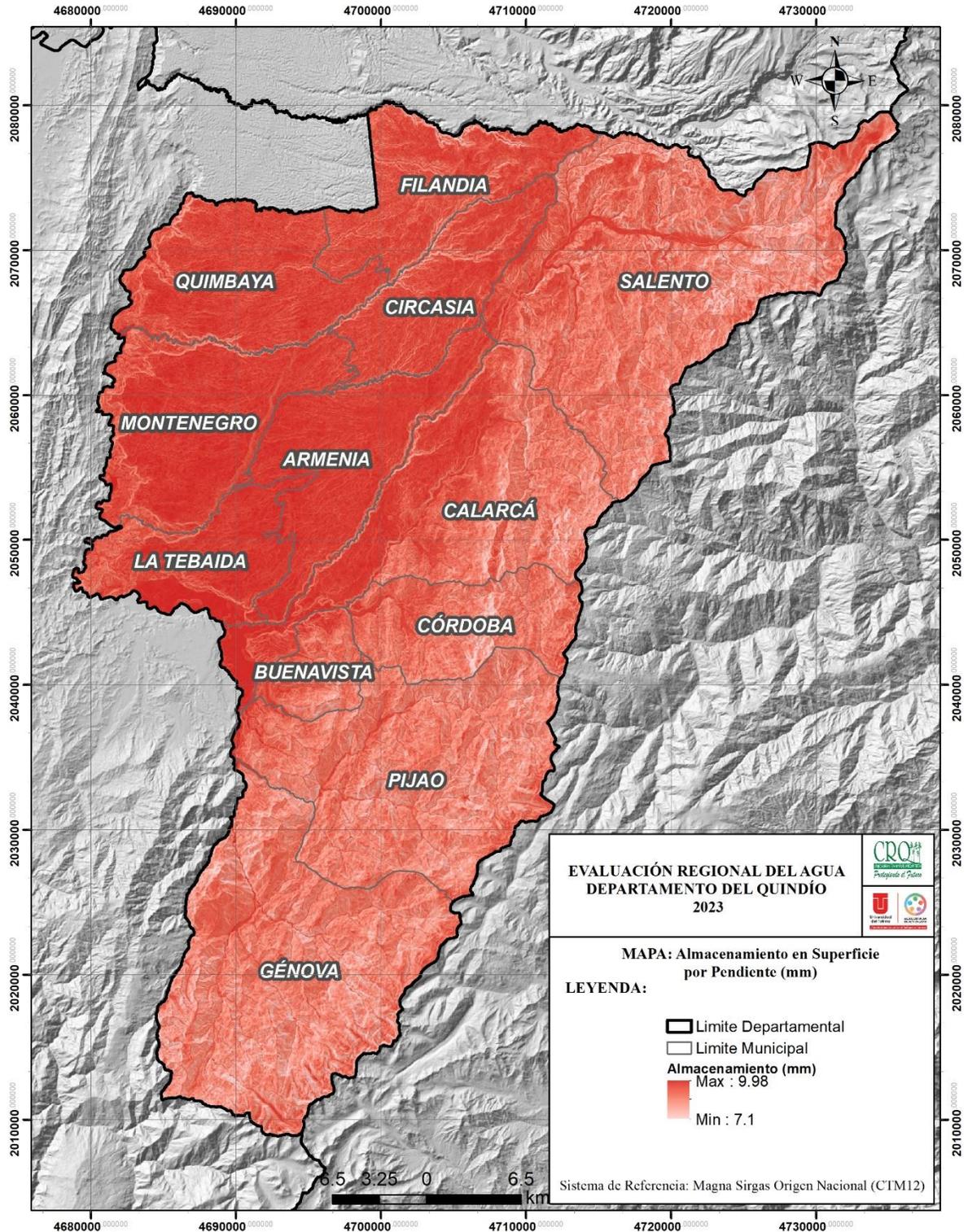


Figura 31. Mapa de capacidad de almacenamiento superficial de agua por efecto de la pendiente topográfica en el departamento del Quindío

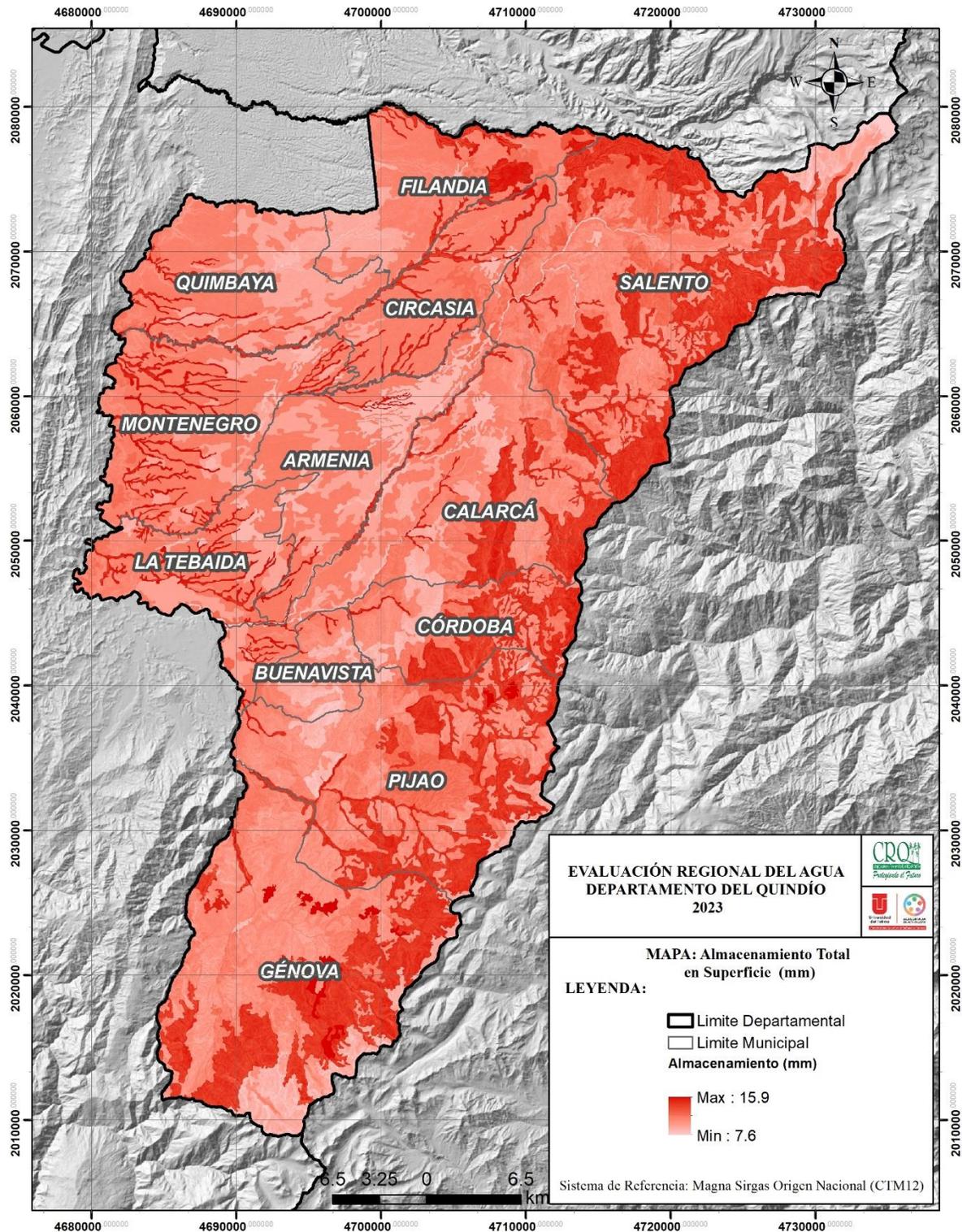


Figura 32. Mapa de capacidad de almacenamiento superficial total de agua en el departamento del Quindío

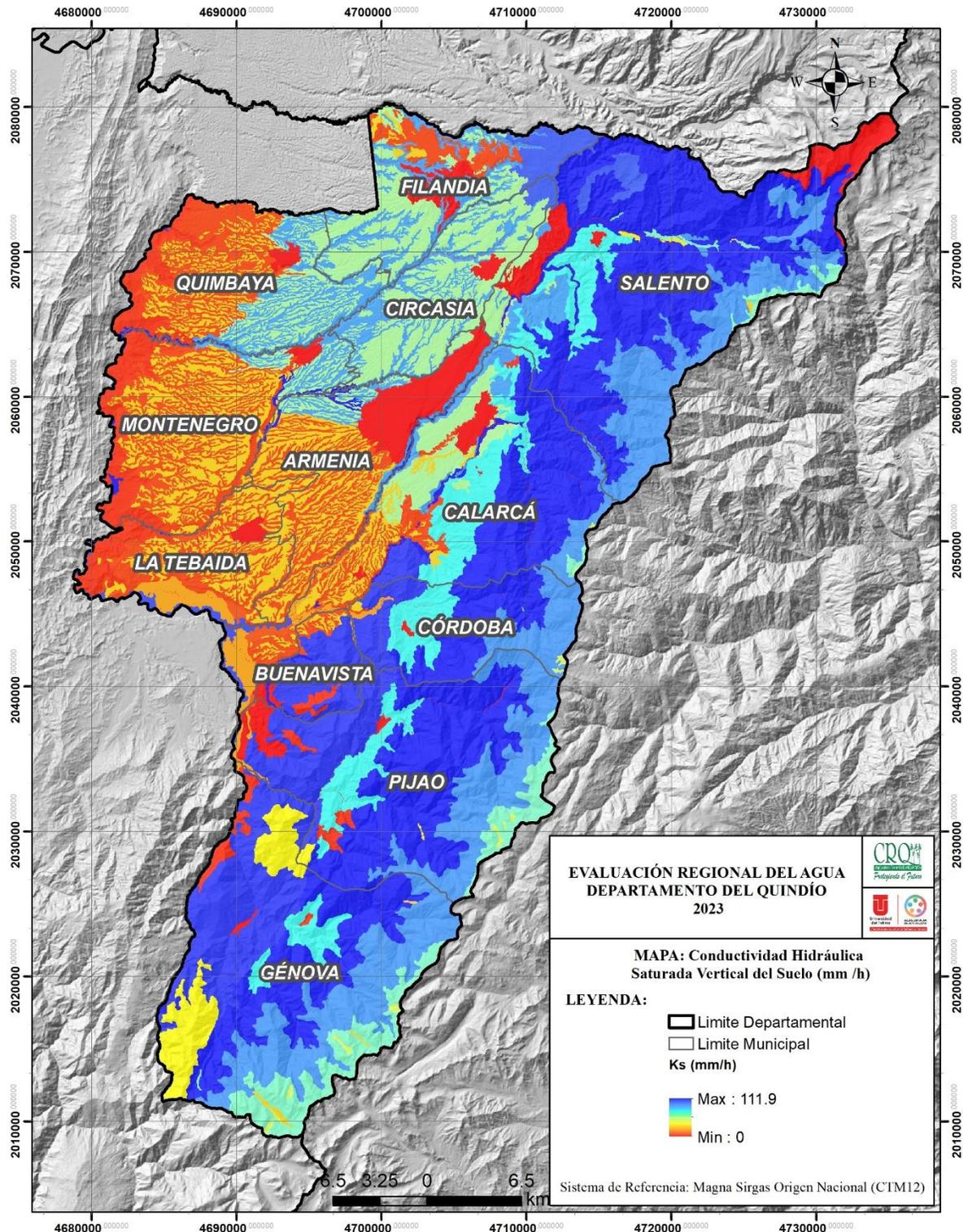


Figura 33. Mapa de conductividad hidráulica saturada vertical del suelo en el departamento del Quindío

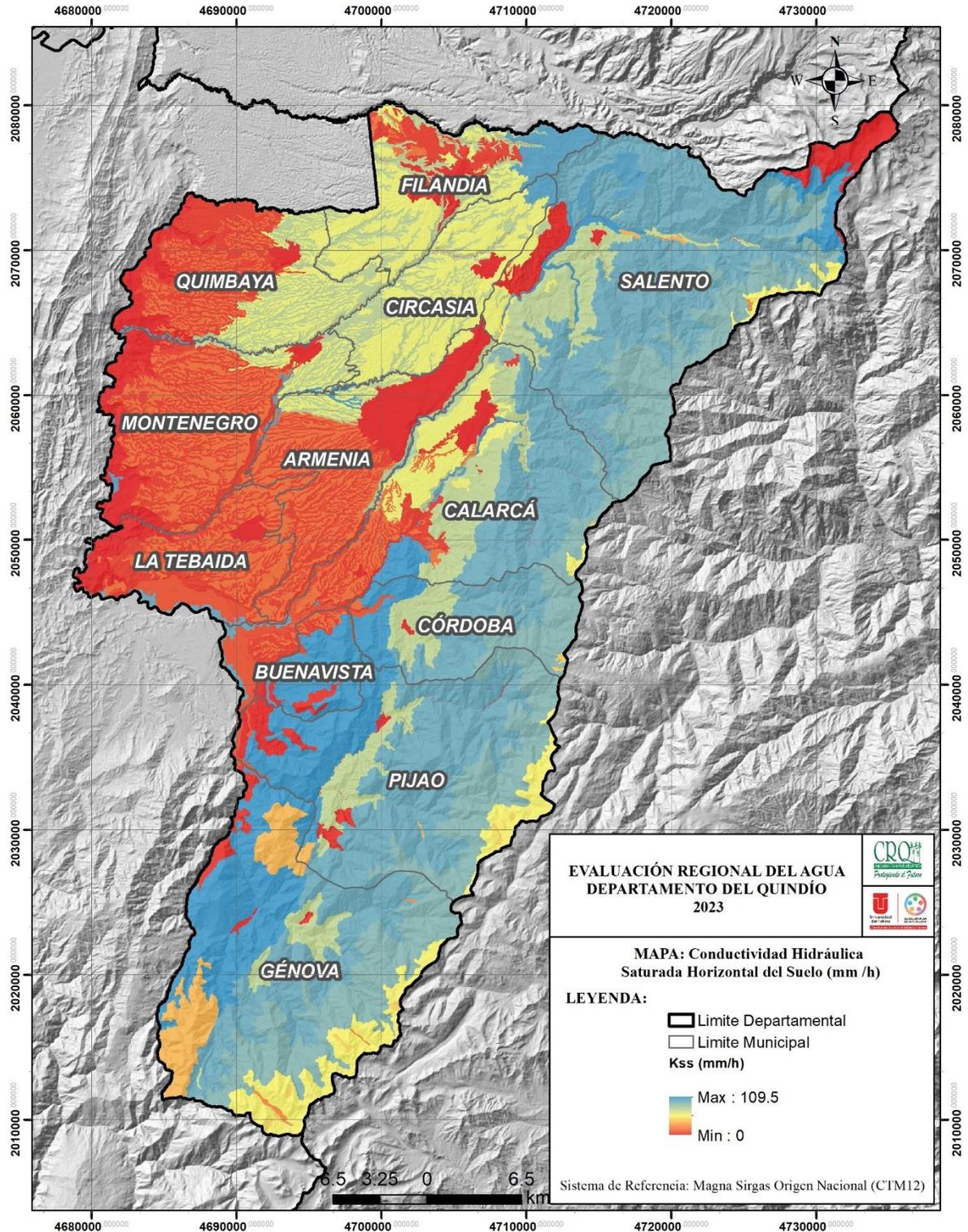


Figura 34. Mapa de conductividad hidráulica saturada horizontal del suelo en el departamento del Quindío

Tabla 15. Capacidad de almacenamiento superficial y profundidad de raíz por tipo de cobertura

Tipo de Cobertura	Capacidad de Almacenamiento (mm)*	Profundidad de Raíz (m)**
Tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, red vial y obras hidráulicas	0.5	0
Tejido urbano discontinuo y construcciones rurales	0.5	0
Zonas de extracción minera y zonas verdes urbanas	0.5	0
Instalaciones recreativas	0.5	0
Otros cultivos transitorios	1	1
Cereales	1	1.2
Hortalizas	1	0.5
Cultivos permanentes herbáceos	1	1.2
Cultivos permanentes arbustivos	1	1.07
Cultivos permanentes arbóreos	1	1.13
Cultivos agroforestales y confinados	2	1
Pastos limpios	2	0.5
Pastos arbolados	2	0.5
Pastos enmalezados	6	0.5
Mosaico de cultivos	2	1
Mosaico de pastos y cultivos	2	0.8
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.5	0.7
Mosaico de pastos con espacios naturales	2.5	0.4
Mosaico de cultivos con espacios naturales	2.5	0.6
Bosque denso y bosque abierto	4.5	2
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	4.5	2
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.5	2
Bosque de galería y ripario	4.5	2
Plantación forestal	3	1.8
Herbazal denso de tierra firme	1.16	0.56
Herbazal abierto	0.25	0.35
Arbustal denso	1.5	0.6
Arbustal abierto	1.25	0.55
Vegetación secundaria o en transición	2	0.7
Zonas arenosas naturales, tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas	0	0
Afloramientos rocosos	0	0
Zonas glaciares y nivales	0	0
Humedales y zonas pantanosas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, Cuerpos de agua artificiales	30	0
Ríos	0	0
Canales	0	0

Fuente: *(UPV, 2011; URA, 2003), **FAO (2006)

2.3.6.5. Parámetros hidráulicos del estrato rocoso

Para construir el mapa de conductividad hidráulica saturada del acuífero (K_{sa}), se empleó el mapa de unidades geológicas superficiales el cual integró información geológica de detalle generada en el POMCA del río La Vieja y las planchas cartográficas 224, 225, 243, 244 y 262 de Geología del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000.

Para determinar la permeabilidad en las unidades geológicas superficiales, se usaron diferentes fuentes de información para interpretar la conductividad hidráulica de rocas consolidadas y no consolidadas, que hacen parte del área englobada en la Evaluación Regional del Agua en el departamento del Quindío (Tabla 16). Para estimar la conductividad hidráulica en la zona en estudio se usaron las tablas de permeabilidad de Verruijt, 1970, Freeze y Cherry (1979), Chapman (1996), Custodio y Llamas (2001), Zhang (2016).

Para el caso de la capacidad de percolación del substrato (K_p , Figura 36) es pertinente asumir este valor como la décima parte de la conductividad hidráulica saturada del acuífero (K_{sa} , Figura 35) (Custodio y Llamas, 2001). En cuanto a la capacidad de percolación al acuífero profundo (K_{ps} , Figura 37) a falta de información más precisa, se puede estimar como un décimo de la capacidad de percolación de substrato (K_p).

Tabla 16. Valores de referencia de k_{sa} en función del tipo de roca

	Materiales Geológicos	Conductividad Hidráulica (mm/h)
Depósitos no consolidados	Gravas finas a gruesas	10800
	Arenas y gravas	1080
	Arenas gruesas	360
	Arenas finas	7
	Arenas limosas	4
	Limos y loess	3
	Depósitos glaciales	0.4
	Arcillas	0.003
Rocas consolidadas	Rocas ígneas y metamórficas masivas	0.00001
	Esquistos	0.0001
	Areniscas laminadas	0.1
	Areniscas cementadas, no unidas	0.1
	Areniscas cristalinas, no unidas	0.1
	Tobas volcánicas	3.3
	Granitos y neises fracturados y / o erosionados	4
	Areniscas articuladas	0.1
	Dolomitas	42
	Basaltos vesiculares	42
	Calizas kársticas	360

Fuente: Verruijt, 1970, Freeze y Cherry (1979), Chapman (1996), Custodio y Llamas (2001), Zhang (2016)

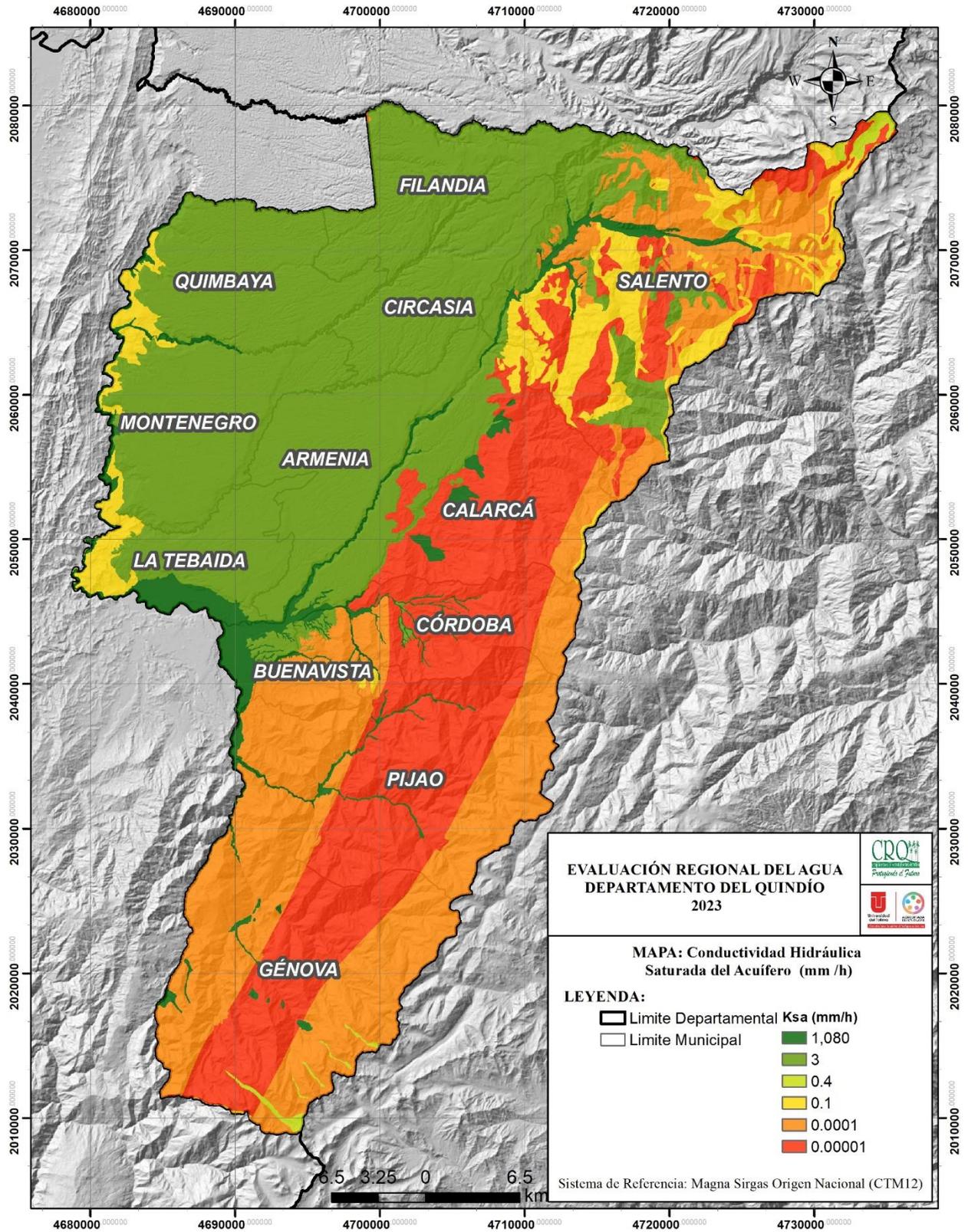


Figura 35. Mapa de Conductividad Hidráulica Saturada del Acuífero (Ksa) en el departamento del Quindío

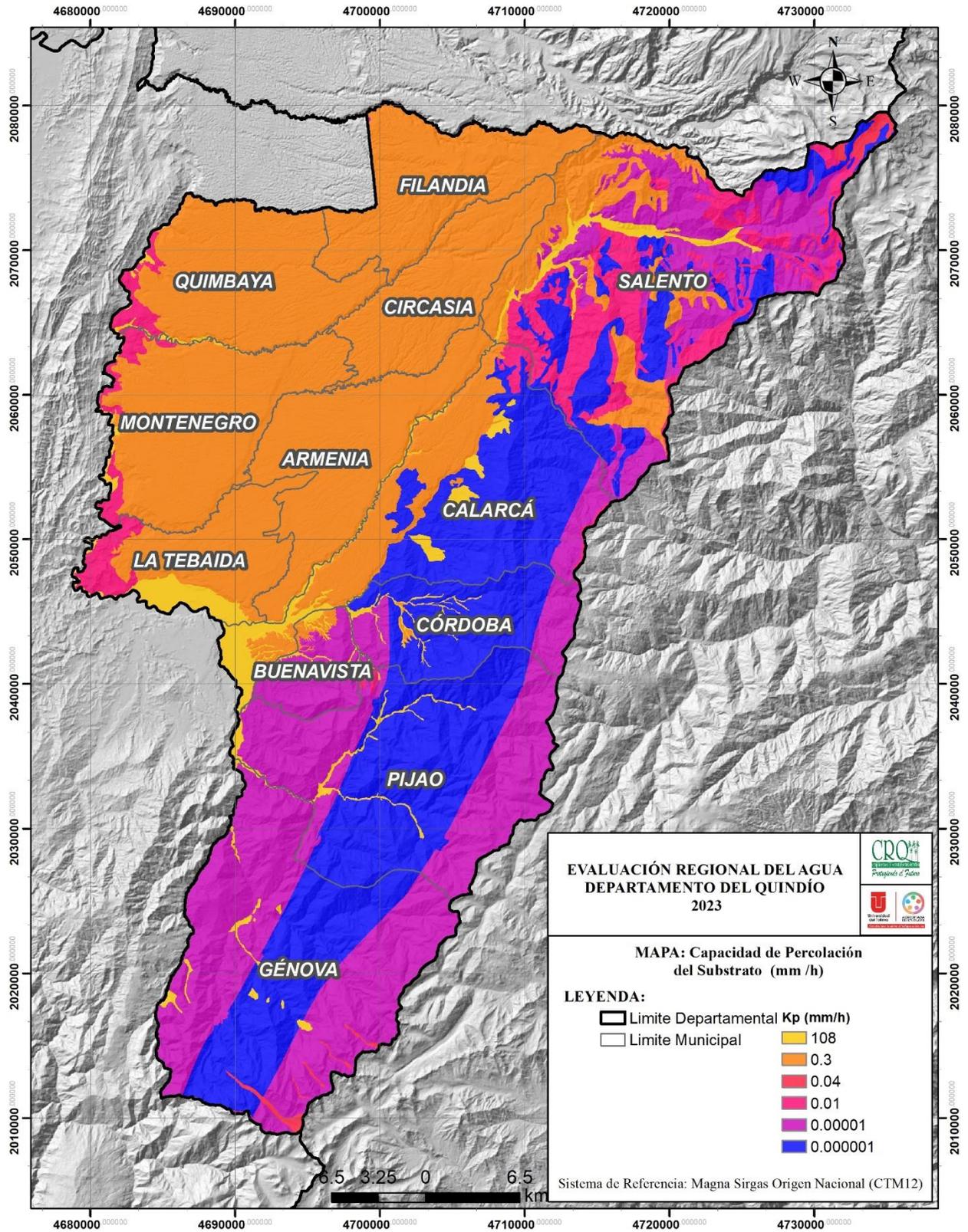


Figura 36. Mapa de Capacidad de Percolación del Substrato (Kp) en el Departamento del Quindío

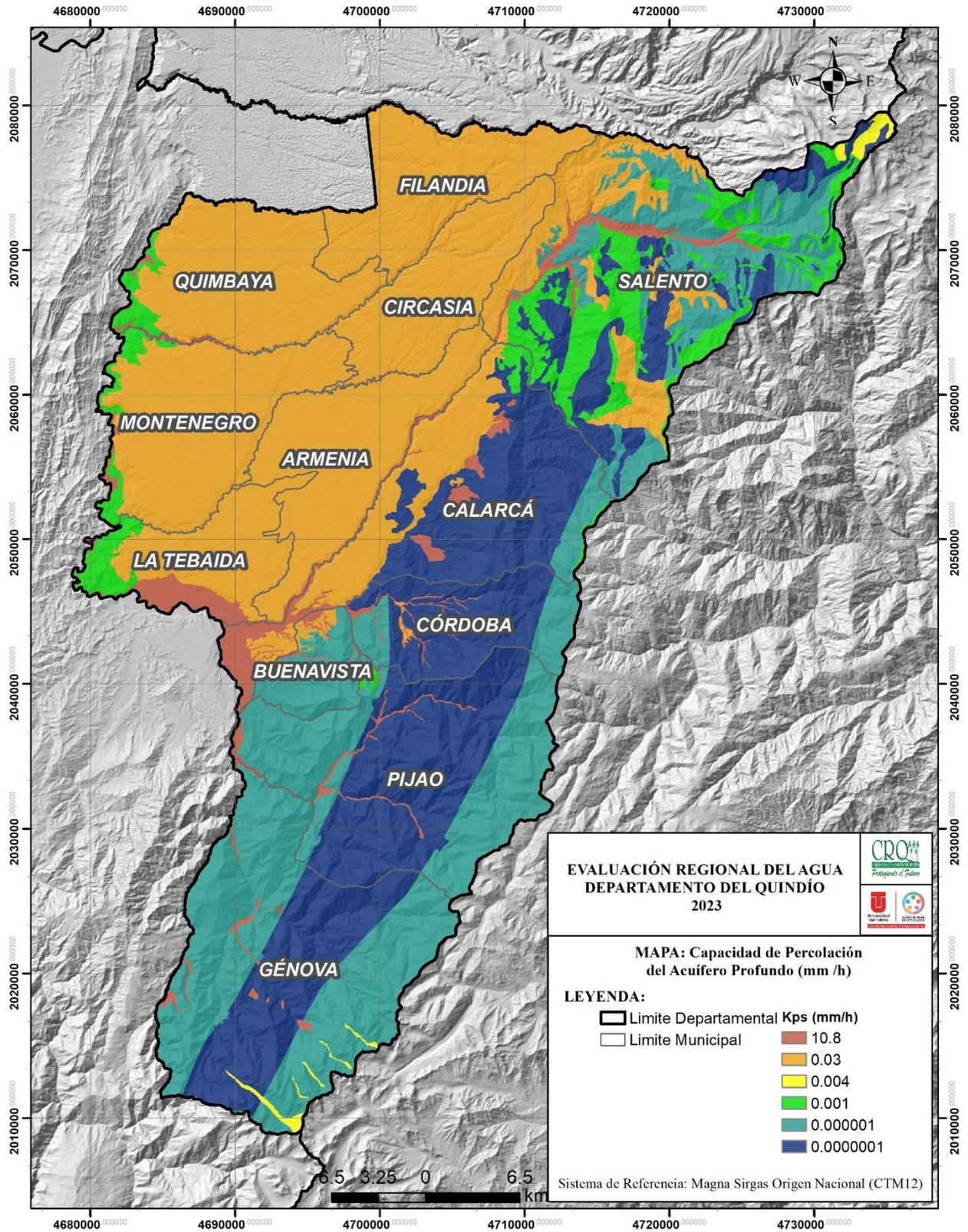


Figura 37. Mapa de Capacidad de Percolación del Acuífero Profundo (Kps) en el departamento del Quindío

2.3.6.6. Parámetros de Propagación del Flujo en Cauces

La propagación del flujo en cauces en el modelo hidrológico TETIS se realiza empleando el concepto de onda cinemática geomorfológica (Francés et al., 2007), y emplea nueve parámetros geomorfológicos relacionados mediante las siguientes expresiones potenciales:

$$\Lambda = k * Q_b^\varphi \quad W_b = a_1 * Q_b^{\alpha_1} \quad W = Q^{a_2}$$

$$d = C_d * (y_{s_0})^\theta \quad n = C_n * d^\xi$$

Donde:

Λ es el área acumulada de la cuenca, Q_b es el caudal a sección llena, W_b es el ancho de la sección transversal a sección llena, W es el ancho de la sección transversal, Q es el caudal que circula por el cauce en un instante determinado, d es el diámetro de sedimentos, y la profundidad del flujo, S_0 la pendiente topográfica del cauce.

Los coeficientes y los exponentes de las ecuaciones anteriores pueden estimarse utilizando regresiones lineales a partir de un estudio geomorfológico. Dado que sobre las unidades hidrográficas no se cuenta con un estudio geomorfológico detallado, Francés et al. (2007) recomienda utilizar valores medios definidos en Tetis. Los valores adoptados para el presente estudio se enuncian en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros geomorfológicos adoptados

Parámetro de Propagación	Rango	Adoptado
Coficiente (K)	0.5 – 0.75	0.6
Exponente (φ)	0.65 – 0.8	0.75
Coficiente (C_1)	0.5 – 5.75	3.26
Exponente (α_1)	0.34 – 0.55	0.5
Exponente (α_2)	0.05 – 0.2	0.2
Coficiente (C_d)	0.5 – 50	20
Exponente (θ)	0.5 – 2.75	1
Coficiente (C_n)	0.025 – 0.07	0.047
Exponente (ξ)	0.125 – 0.18	0.1667

Fuente: (Francés et al., 2007)

2.3.7. Estructura del Modelo Hidrológico Implementado en la ERA

De acuerdo con el análisis y depuración de información hidrométrica histórica se observa que no se dispone de información sistemática histórica de caudal para calibrar el modelo en cada subzona hidrográfica que hace parte del área de estudio de la evaluación regional del agua del departamento del Quindío. Por tanto, se implementaron tres (3) modelos regionales para la cuantificación del balance hídrico: Modelo 1. comprende las unidades hidrográficas del río Quindío, río Navarco, río Santo Domingo, río Verde, río Lejos, río Azul, quebrada La Picota, río Rojo, río Gris, y río San Juan. Modelo 2. comprende las unidades hidrográficas de la quebrada Cristales y río Espejo. Modelo 3. Comprende las unidades hidrográficas del río Roble y quebrada Buenavista.

El dominio para el modelo 1, se discretizó en una malla de 412162 celdas, constituidas por 1061 filas y 1322 columnas. El dominio para el modelo 2, se discretizó en una malla de 152339 celdas, constituidas por 636 filas y 775 columnas. El dominio para el modelo 3, se discretizó en una malla de 58773 celdas, constituidas por 239 filas y 649 columnas. Las celdas implementadas en estos tres modelos tienen una distribución uniforme y presentan una resolución espacial horizontal de 30.88 m. Los tres modelos fueron implementados con una resolución temporal diaria.

2.3.8. Índices para la evaluación de la eficiencia de los modelos hidrológicos implementados

La eficiencia de los tres modelos hidrológicos implementados fue evaluada para el periodo de calibración como de validación, se valoró su robustez en diferentes condiciones de simulación hidrológica (periodos secos y húmedos) y definir su potencial aplicación para estimar la oferta hídrica en la evaluación regional del agua del departamento del Quindío. Se implementaron métodos estadísticos y gráficos los cuales permitieron evaluar el ajuste del modelo hidrológico en las dimensiones espacial y temporal:

- Se aplicaron siete métodos estadísticos, los cuales evalúan el ajuste del modelo hidrológico, tanto para el periodo de calibración como de validación en los diferentes puntos de control analizados: sesgo relativo (PBIAS), coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), coeficiente de determinación (R^2), índice de eficiencia de Kling-Gupta (KGE), error en el volumen total (EV) y porcentaje de sesgo en la pendiente del segmento medio de la curva de duración de caudales (FMSBIAS).
- Se implementaron 5 métodos gráficos, que permiten evaluar y visualizar las discrepancias entre los caudales observados y calculados por el modelo TETIS para el periodo de calibración y validación: contraste de hidrogramas diarios, comparación de curvas de permanencia de caudal diario para evaluar la relación

entre la magnitud y la frecuencia de los caudales, diagramas de caja y bigote para visualizar la distribución de los caudales diarios, comparación promedio mensual y diagramas de dispersión a escala mensual.

- Análisis del balance hídrico

En la Tabla 18, se presentan las variables y ecuaciones de los estadísticos, como también el rango respectivo de valoración de cada estadístico implementado.

Tabla 18. Criterios de usados para evaluar el desempeño del modelo hidrológico TETIS.

Criterio	Ecuación	Rangos de valoración
Sesgo relativo % (PBIAS)	$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] * 100$	Satisfactorio: $\pm < 10\%$ Bueno: ± 10 y 15% Aceptable: ± 15 y 25% Bajo desempeño: $\pm > 25\%$
Coefficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE)	$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \mu_{obs})^2} \right]$	Satisfactorio: > 0.75 Bueno: $0.5 - 0.75$ Aceptable: $0 - 0.5$ Bajo desempeño: < 0
Raíz del error cuadrático medio (m ³ /s) (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{n}}$	-----
Coefficiente de determinación (R ²)	$R^2 = \frac{\sigma^2 Y_i^{obs} Y_i^{sim}}{\sigma^2 Y_i^{obs} \sigma^2 Y_i^{sim}}$	Satisfactorio: $0.75 - 1.00$ Bueno: $0.65 - 0.75$ Aceptable: $0.50 - 0.65$ Bajo desempeño: < 0.5
Coefficiente de eficiencia de Kling-Gupta (KGE)	$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2}$	Satisfactorio: > 0.75 Bueno: $0.5 - 0.75$ Aceptable: $0 - 0.5$ Bajo desempeño: < 0
Error en el volumen % (EV)	$EV = \frac{EV_{obs} - EV_{sim}}{EV_{obs}} * 100$	-----
Sesgo en la pendiente del segmento medio de la CDC % (BIASFMS)	$BIASFMS = \left \frac{[\log(QS_{0.2}) - \log(QS_{0.7})] - [\log(QO_{0.2}) - \log(QO_{0.7})]}{[\log(QO_{0.2}) - \log(QO_{0.7})]} \right * 100$	Satisfactorio: $< 10\%$ Bueno: $10 - 15\%$ Aceptable: $15 - 25\%$ Bajo desempeño: $> 25\%$

Donde: Y_i^{sim} : Caudal simulado (m³/s), Y_i^{obs} : caudal observado (m³/s), μ_{sim} : caudal promedio simulado (m³/s), μ_{obs} : caudal promedio observado (m³/s), σ_{sim} : desviación estándar de Y_i^{sim} , σ_{obs} : desviación estándar de Y_i^{obs} , n : número de datos de caudal analizados, $\sigma Y_i^{obs} Y_i^{sim}$: covarianza de Y_i^{obs} , Y_i^{sim} , r : coeficiente de correlación de Pearson. EV_{obs} : volumen total de agua observado, EV_{sim} : volumen total de agua simulado, $QS_{0.2}$: Caudal excedido o igualado al 20 %, $QS_{0.7}$: Caudal excedido o igualado al 70 %.

2.3.9. Calibración y Validación del modelo hidrológico

Dada la escasa información hidrométrica histórica, fue necesario seleccionar para los modelos 1, 2 y 3 una calibración en los periodos 1-oct-1995 a 30-sep-1999 (4 años), 1-oct-1993 a 30-sep-1996 (3 años) y 1-oct-1995 a 30-sep-1997 (2 años) respectivamente. Los modelos 1 y 2 fueron validados en los periodos 1-oct-1999 a 30-sep-2003 (4 años) y 1-oct-1996 a 30-sep-1998 (2 años) respectivamente.

La calibración del modelo TETIS se realizó en la escala temporal diaria, inicialmente se realizó una calibración manual permitiendo establecer los rangos de ajuste adecuados para cada parámetro. Posteriormente se implementó una calibración automática aplicando el método Shuffled Complex Evolution (SCE-UA), para obtener el valor ajustado final de cada parámetro, cuyos valores se presentan en la Tabla 19 con las condiciones iniciales presentadas en la Tabla 20

Tabla 19. Factores correctores calibrados y rangos de búsqueda para los modelos 1, 2 y 3

Factor Corrector (R_i)	Parámetro $\theta_{i,j}^*$	Valor mínimo	Valor máximo	Valor calibrado modelo 1	Valor calibrado modelo 2	Valor calibrado modelo 3
FC1	Almacenamiento estático máximo	0	2.0	0.5	0.5	0.5
FC2	Evapotranspiración	0	2.0	1.2	1.2	1.2
FC3	Infiltración	0	10	0.7	0.1	0.5
FC4	Escorrentamiento superficial	0	2	0.2	0.2	1.0
FC5	Percolación	0	500	250	1.0	1.0
FC6	Flujo subsuperficial	0	2	0.3	0.5	0.5
FC7	Flujo subterráneo profundo	0	100	15	1.0	2.0
FC8	Flujo base	0	200	20	20	20
FC9	Velocidad en la red fluvial	0	1.0	0.7	0.3	0.3
-	Exponente de infiltración del tanque estático	0	50	10	20	40
-	Capacidad de Tanque gravitacional (%Hu)	0	100000	1350	25000	5000

Los parámetros que tienen mayor incidencia en la respuesta hidrológica del Modelo 1 son los asociados a los factores Percolación (FC5), Flujo Subterráneo Profundo (FC7) Flujo Base (FC8) y el Almacenamiento gravitacional de agua en el suelo. Esto implica que en las unidades hidrográficas de montaña en el departamento del Quindío dominan los procesos de recarga del sistema acuífero del abanico del Quindío por la alta percolación

encontrada hacia el acuífero somero y hacia estratos hidrogeológicos más profundos; adicionalmente, se encontró una sensibilidad en el modelo a la capacidad de almacenamiento gravitacional, que una vez alcanzada activa procesos de exfiltración que controlan la escorrentía superficial, lo cual es evidencia de la importancia del mecanismo de producción de escorrentía por exceso de saturación en este sistema hidrológico.

Tabla 20. Estado inicial del sistema hidrológico para la ejecución de la simulación

Factor Corrector (R_i)	Parámetro $\theta_{i,j}^*$	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio modelo 1	Valor promedio modelo 2	Valor promedio modelo 3
H-1	Almacenamiento estático (%)	0	100	19.6	6.34	1.1
H-2	Agua en superficie (mm)	0	100	0	0	0
H-3	Almacenamiento gravitacional (mm)	0	1000	104.7	287.2	124.7
H-4	Nivel de agua subterránea (mm)	0	50000	37057.9	784.6	564.9
H-5	Cauce a sección llena (%)	0	1000	1.1	1.4	0.9

*Las condiciones iniciales corresponden a valores variables para cada celda de modelación definidos a partir del estado final de humedad en un periodo de calentamiento del modelo

En el Modelo 2 se observa que la respuesta hidrológica del sistema está fuertemente controlada por el mecanismo de producción de escorrentía por exceso de infiltración ya que el parámetro de Infiltración (FC3) toma un valor bajo para activar dicho mecanismo y de forma simultánea el modelo es menos sensible a la capacidad de almacenamiento gravitacional adoptando un valor mucho más alto en contraste con los modelos 1 y 3, limitando la exfiltración de flujo. Por otra parte, el flujo subterráneo es relevante en este modelo ya que el parámetro de flujo base (FC8) tiene un peso alto en contraste con los demás parámetros.

La geomorfología de las unidades hidrográficas que conforman el Modelo 3 está caracterizada por contar con laderas desarrolladas y escarpadas en la parte alta de las cuencas, lo cual explica que en este modelo se presente una mayor sensibilidad a la capacidad de almacenamiento gravitacional en contraste con el Modelo 2, lo cual se evidencia en que su valor es más pequeño (5000) en simultaneidad con un valor más alto en el parámetro de Infiltración (FC3), promoviendo la exfiltración cuando ocurre saturación de las laderas. En este modelo el flujo subterráneo (FC8) presenta mayor peso que los demás parámetros de calibración.

El modelo TETIS logra representar de manera aceptable la dinámica hidrológica asociada al caudal diario ya que se obtuvieron eficiencias de Nash Sutcliffe de 0.27 a

0.66 en los modelos evaluados durante el periodo de calibración, y valores de 0.51 y 0.32 en el periodo de validación. Lo cual se verifica con el estadístico KGE cuyos valores obtenidos en calibración se encuentran entre 0.5 y 0.83 en el periodo de calibración y 0.47 a 0.77 en validación (Tabla 21). Los errores entre el volumen de flujo observado y simulado presentaron un rango de variación entre 0.17% y 5.74% para los periodos de calibración y validación, lo cual es consistente con el resultado obtenido en el estadístico PBIAS, que evidencia un ajuste satisfactorio de los modelos con valores en el rango entre -0.17% a 5.74%.

Al comparar los hidrogramas observados y simulados (Figura 38 y Figura 39) se observa que el modelo TETIS logra representar de forma aceptable los periodos húmedos y secos en la escala diaria. Los caudales máximos extraordinarios no logran ser reproducidos por el modelo hidrológico, lo cual se debe principalmente a que probablemente la gran variabilidad espacial de la precipitación no logra ser representada de forma precisa por las estaciones meteorológicas disponibles para la modelación hidrológica, y también debido a que por ser un modelo de oferta hídrica a escala diaria no representa en detalle las variaciones cinemáticas asociadas a las ondas de crecida en ladera y red de cauces en la escala temporal horaria o minutar. Esta limitación del modelo se evidencia en las curvas de duración de caudales (Figura 40, Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44) en las que se identifica que la distribución de caudales diarios observados y simulados en el rango inter-cuartil (Q25 a Q75) presentan un comportamiento similar, sin embargo, para los valores atípicos (extremos) el modelo hidrológico tiende a subestimar los caudales diarios máximos. Debido a que los valores de caudal en el rango inter-cuartil son los que presentan mayor interés en la evaluación de los recursos hídricos en el marco de la evaluación regional del agua, el modelo TETIS reproduce adecuadamente los caudales diarios en estos percentiles.

Los estadísticos mensuales sustentan un ajuste satisfactorio del modelo TETIS al contrastar los caudales mensuales observados con los simulados (Tabla 22). El índice KGE establece un desempeño satisfactorio del modelo en todas las estaciones evaluadas tanto en calibración como en validación con valores en el rango entre 0.85 y 0.51, resultado que es consistente con el sesgo relativo mensual que se encuentra en el rango entre -4.37% y 5.74% representando un ajuste satisfactorio en la escala mensual.

En concordancia con el buen desempeño del modelo en la escala mensual, la capacidad del modelo para reproducir los caudales medios mensuales es igualmente satisfactoria ya que el estadístico KGE se encuentra en el rango entre 0.92 y 0.67 para las estaciones evaluadas (Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48 y Figura 49). Igualmente, el índice NSE demuestra un ajuste aceptable a satisfactorio con un rango de variación entre 0.44 y 0.9. Lo anterior se evidencia gráficamente al observar que los caudales medios mensuales simulados se distribuyen siguiendo el patrón estacional de

los caudales observados. De acuerdo con los resultados de modelación hidrológica, se evidencia que los modelos hidrológicos calibrados reproducen adecuadamente las características hidrológicas de las unidades hidrográficas objeto de estudio en diferentes condiciones geomorfológicas y climáticas, constituyéndose en una herramienta válida para la determinación de la oferta hídrica regional.

Tabla 21. Métricas de error entre los caudales diarios observados y simulados en las estaciones hidrométricas evaluadas

Periodo	Métrica	Balí	La Herradura	Puerto Alejandría
Calibración	NSE	0.66	0.27	0.35
	KGE	0.83	0.5	0.53
	PBIAS	1.5	5.74	2.62
	R2	0.69	0.34	0.37
	RMSE	2.2	1.2	0.34
	EV (%)	-1.49	-5.74	-2.62
	BiasFMS	0.07	32.9	34.8
Validación	NSE	0.51	0.32	----
	KGE	0.77	0.47	----
	PBIAS	-4.42	-0.17	----
	R2	0.61	0.34	----
	RMSE	1.9	1.03	----
	EV (%)	4.42	0.17	----
	BiasFMS	--	27.52	----

Tabla 22. Métricas de error entre los caudales mensuales observados y simulados en las estaciones hidrométricas evaluadas

Periodo	Métrica	Balí	La Herradura	Puerto Alejandría
Calibración	NSE	0.71	0.34	0.68
	KGE	0.85	0.58	0.85
	PBIAS	1.57	5.74	2.5
	R2	0.76	0.42	0.74
	RMSE	1.6	0.98	0.16
Validación	NSE	0.66	0.33	----
	KGE	0.85	0.51	----
	PBIAS	-4.37	-0.2	----
	R2	0.7396	0.3481	----
	RMSE	1.3	0.8	----

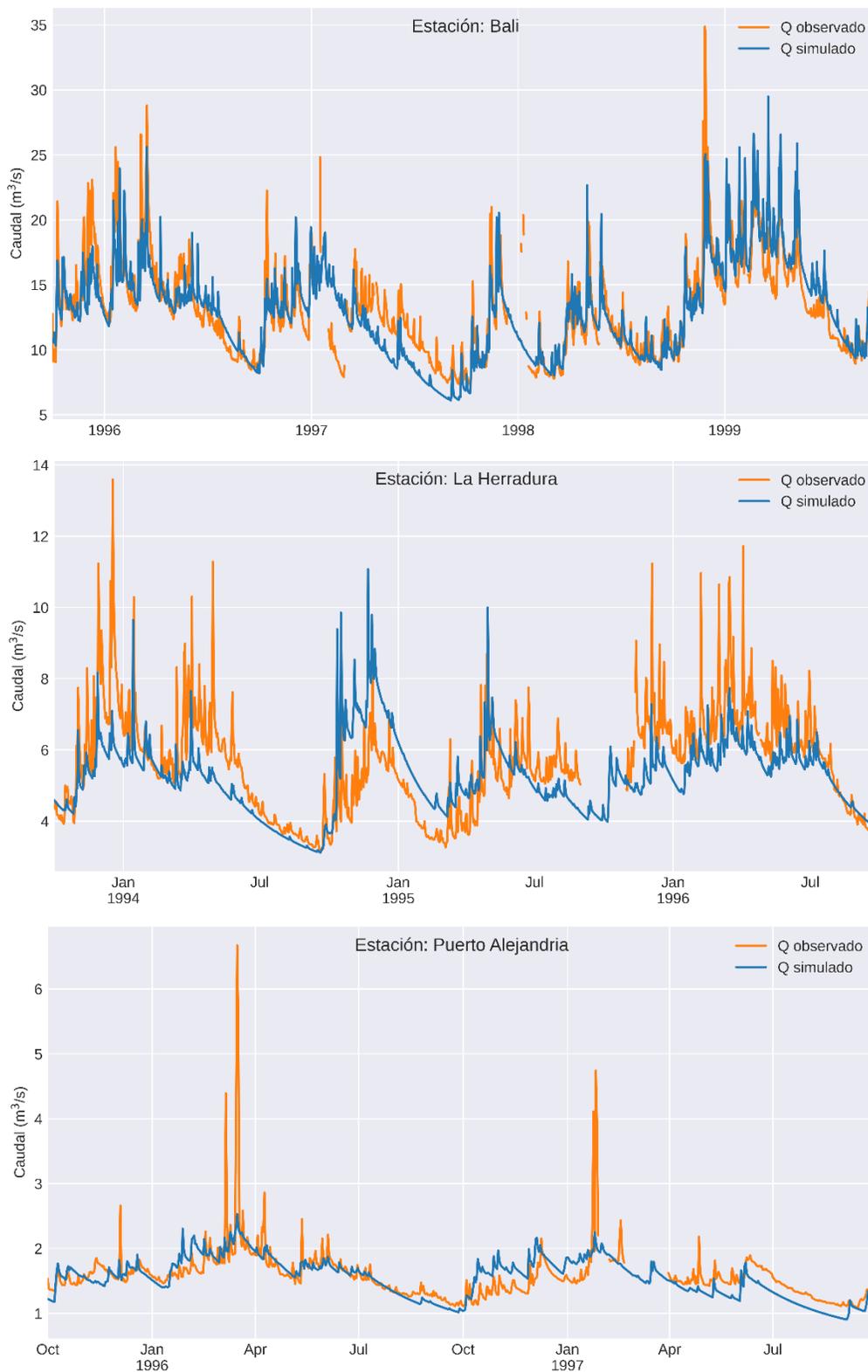


Figura 38. Caudales observados y simulados durante el periodo de calibración en las estaciones Balí, La Herradura y Puerto Alejandria

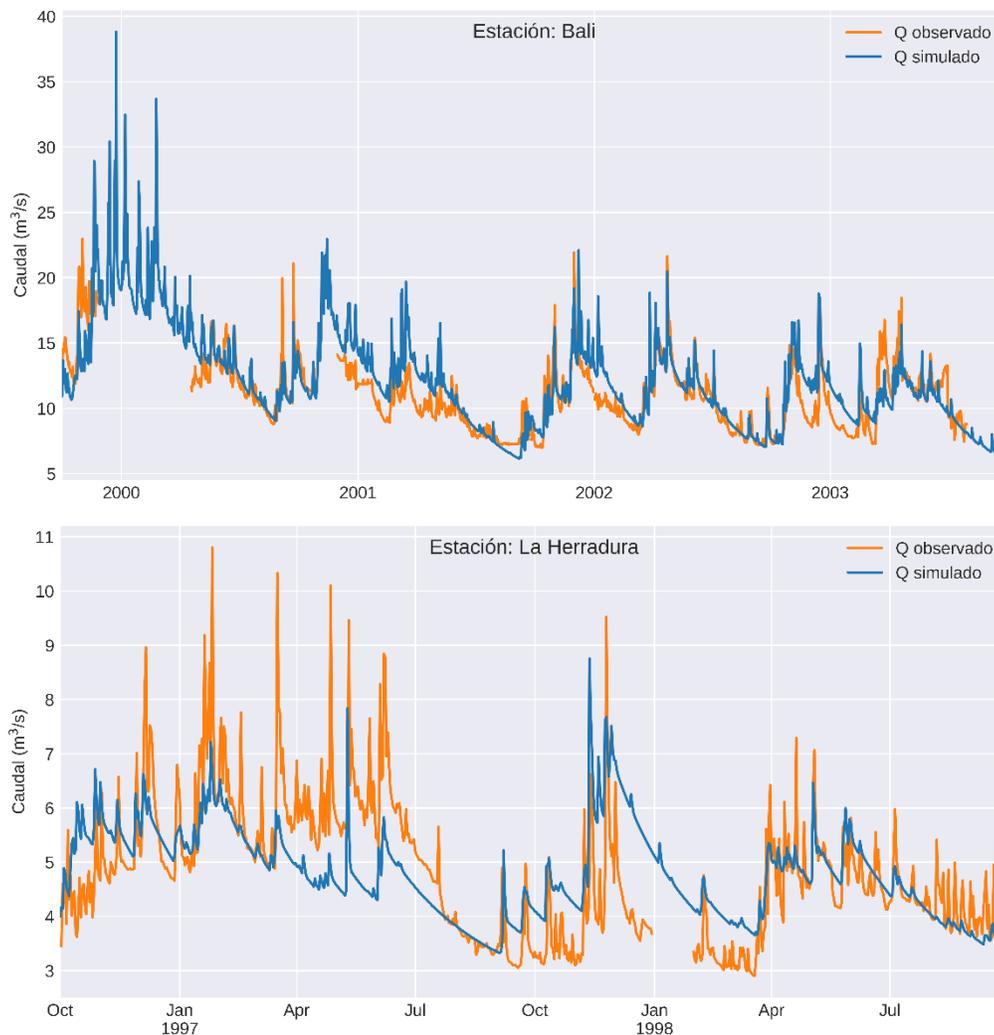


Figura 39. Caudales observados y simulados durante el periodo de validación en las estaciones Balí y La Herradura

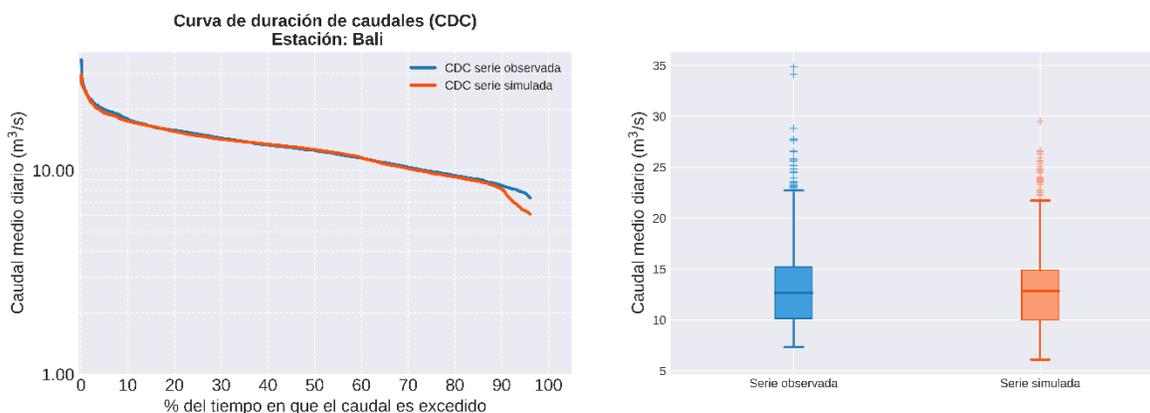


Figura 40. Curva de duración de caudales y diagrama de cajas-bigotes del caudal diario observado y simulado para el periodo de calibración en la estación Balí

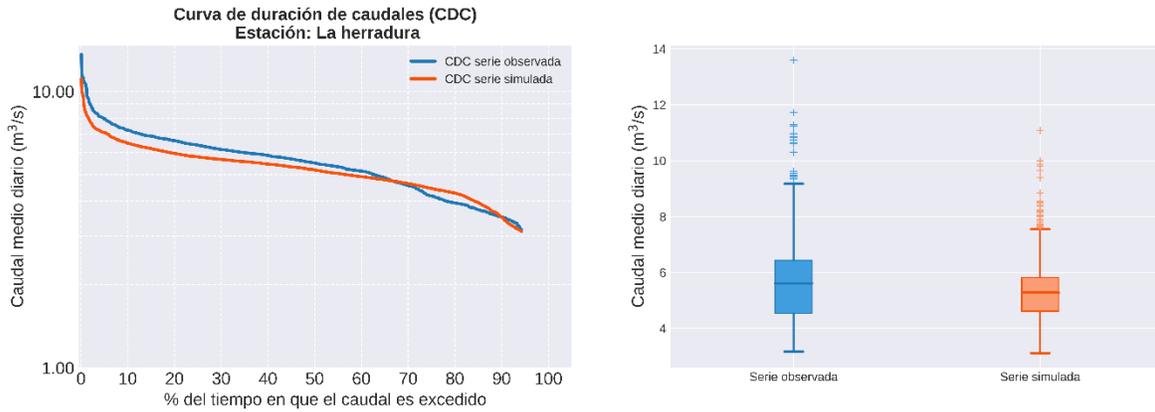


Figura 41. Curva de duración de caudales y diagrama de cajas-bigotes del caudal diario observado y simulado para el periodo de calibración en la estación La Herradura

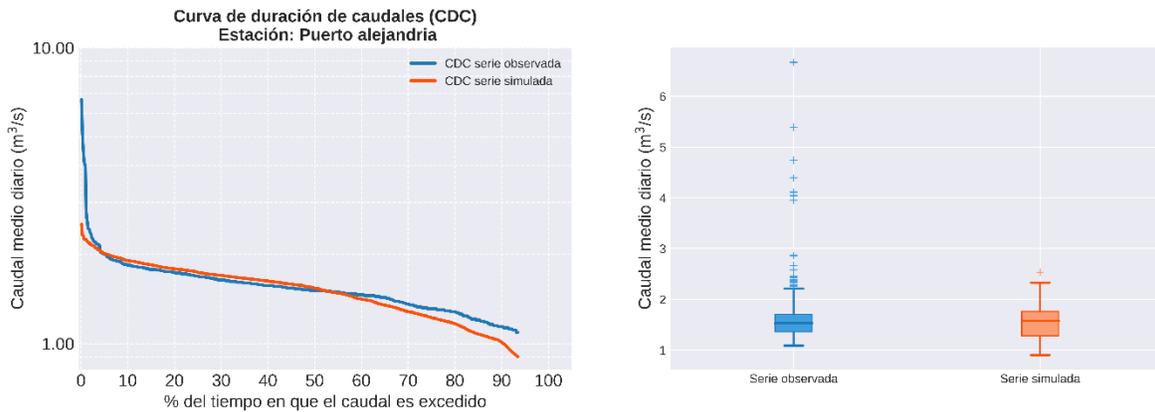


Figura 42. Curva de duración de caudales y diagrama de cajas-bigotes del caudal diario observado y simulado para el periodo de calibración en la estación Puerto Alejandría

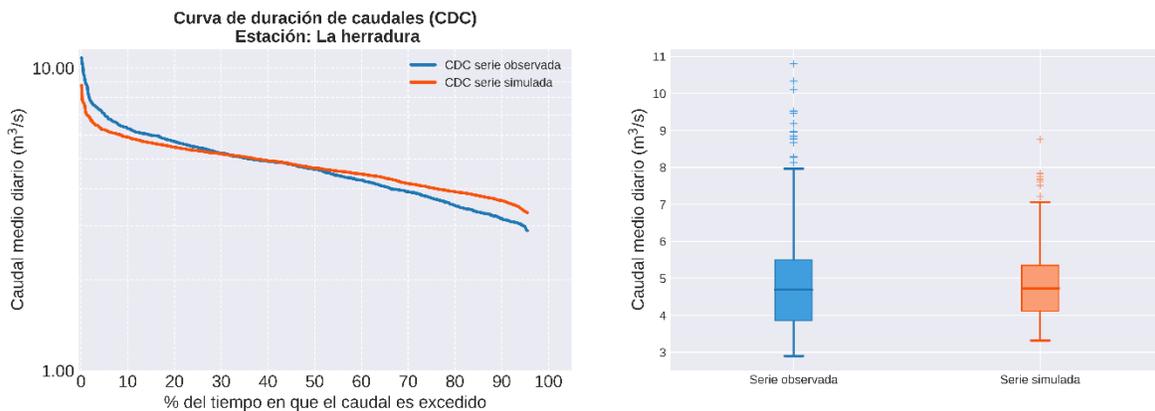


Figura 43. Curva de duración de caudales y diagrama de cajas-bigotes del caudal diario observado y simulado para el periodo de validación en la estación Bali

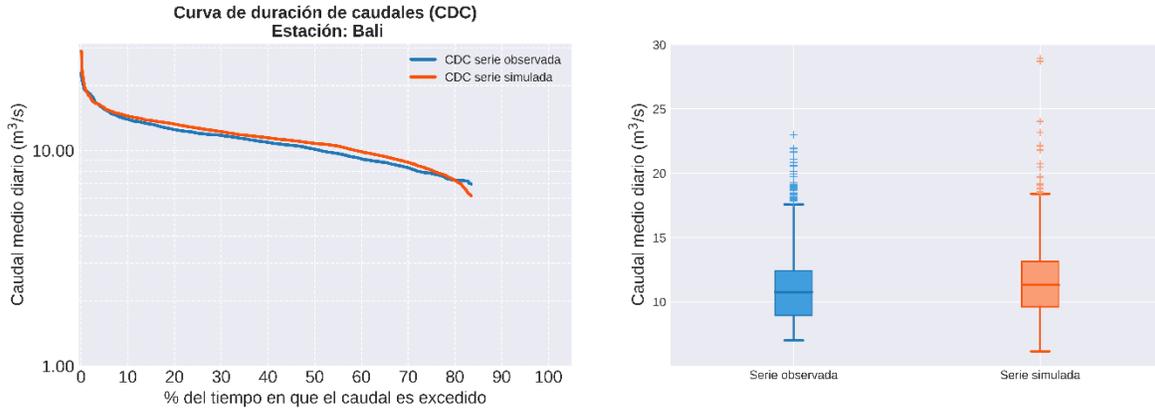


Figura 44. Curva de duración de caudales y diagrama de cajas-bigotes del caudal diario observado y simulado para el periodo de validación en la estación La Herradura

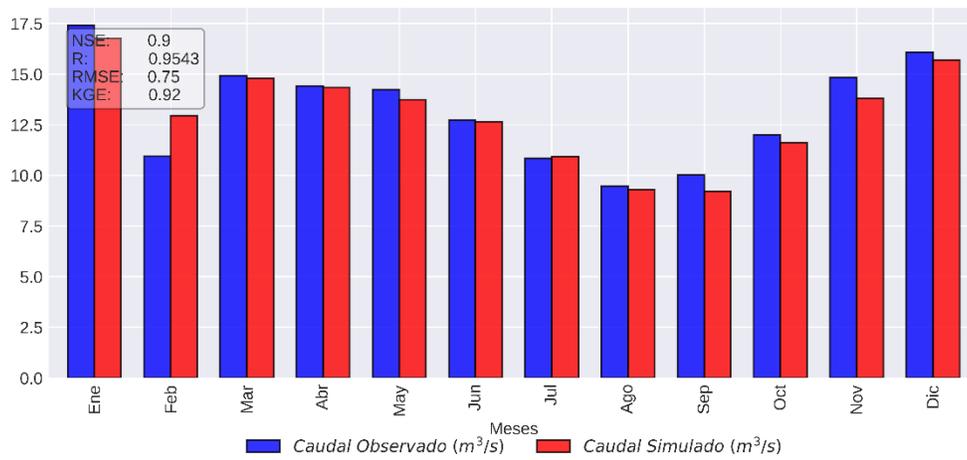


Figura 45. Caudal medio mensual para el periodo de calibración en la estación Bali

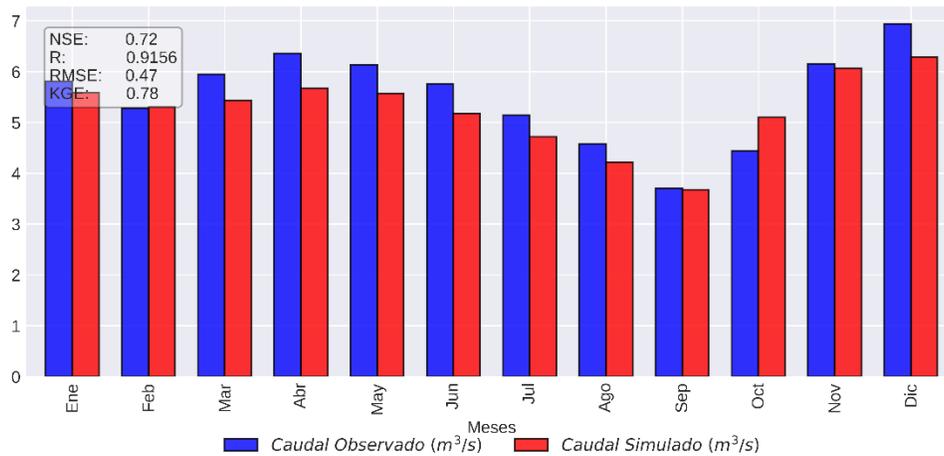


Figura 46. Caudal medio mensual para el periodo de calibración en la estación La Herradura

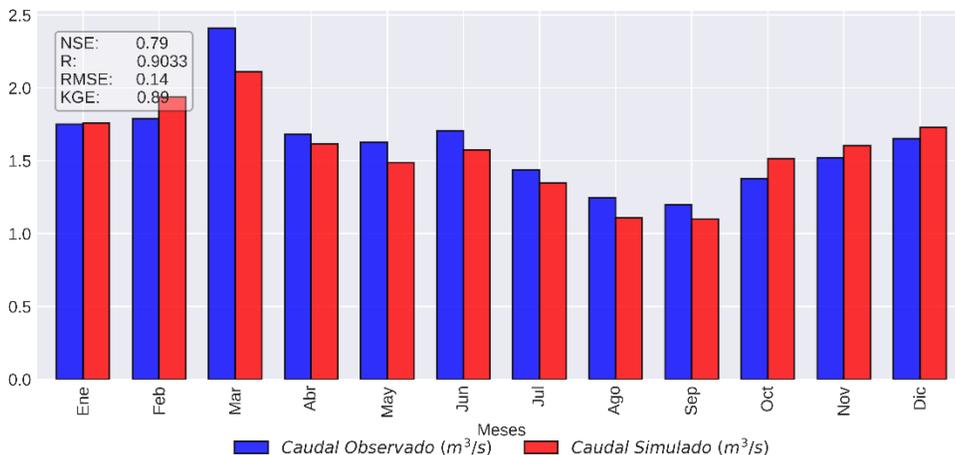


Figura 47. Caudal medio mensual para el periodo de calibración en la estación Puerto Alejandría

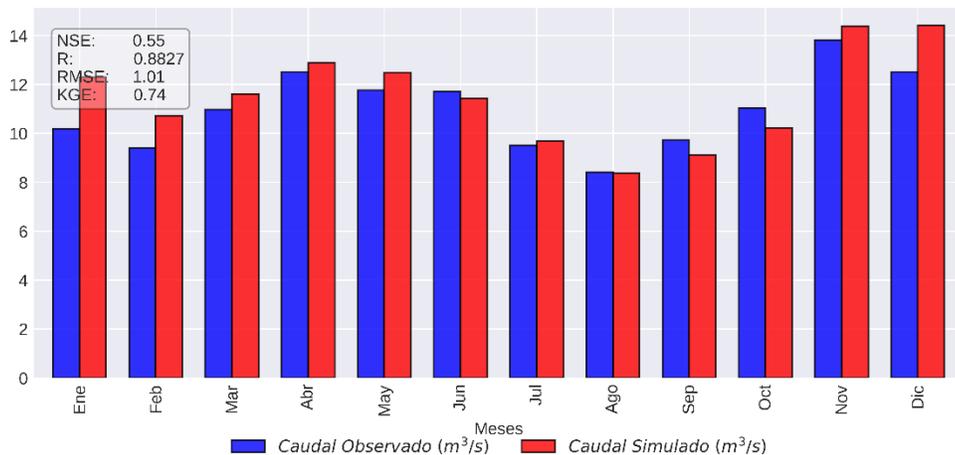


Figura 48. Caudal medio mensual para el periodo de validación en la estación Balí

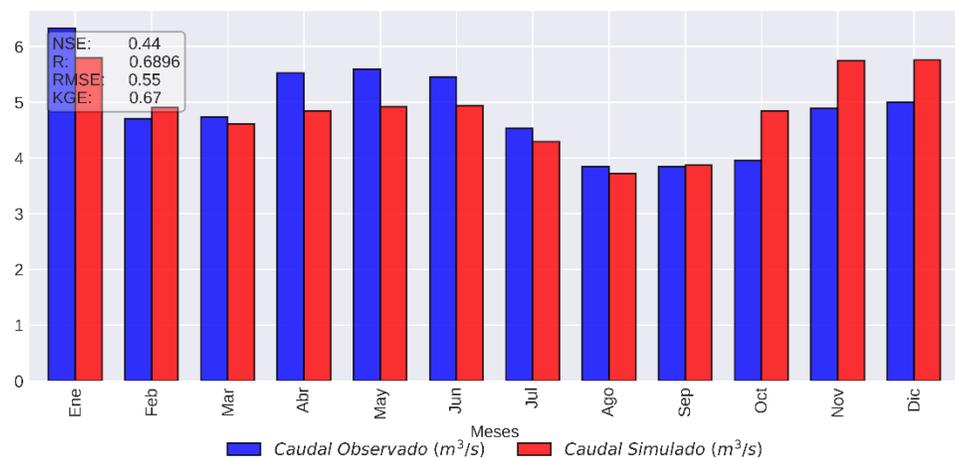


Figura 49. Caudal medio mensual para el periodo de validación en la estación La Herradura

2.3.10. Conclusiones de la Modelación Hidrológica

El modelo hidrológico implementado se evaluó con siete métricas de error que representan diferentes características del régimen hidrológico considerando la variabilidad de las series en la escala diaria, el grado de representación de caudales característicos de la curva de duración de caudales y el desempeño del modelo para simular los caudales medios mensuales. Con su aplicación se encontró que el modelo hidrológico distribuido logra alcanzar un funcionamiento eficiente para representar la oferta hídrica mensual y los caudales diarios en periodos secos y húmedos. Sin embargo, el modelo no logra representar adecuadamente los caudales máximos y mínimos asociados a eventos extraordinarios.

Con el fin de mejorar el desempeño de los modelos hidrológicos en futuros estudios de recursos hídricos y actualizaciones de la ERA, se requiere fortalecer los siguientes aspectos de línea base:

- ❖ Potenciar y ejecutar el protocolo mantenimiento preventivo y correctivo del funcionamiento de las estaciones meteorológicas e hidrométricas automáticas operadas por la autoridad ambiental para minimizar el riesgo de fallos en la captura y almacenamiento de los registros, y mantener un control documentado sobre el error sistemático de medición.
- ❖ Hacia la zona noroeste del departamento del Quindío la respuesta Hidrológica superficial está fuertemente condicionada por el flujo base, con el fin de mejorar el conocimiento de la dinámica del flujo subterráneo se recomienda en futuros estudios implementar una modelación hidrológica acoplada superficial y subterránea, que contemple las extracciones por bombeo y realizar el monitoreo piezométrico sistemático del sistema acuífero del abanico del Quindío. Esto permitirá cuantificar adecuadamente la variación espacio-temporal de los niveles de agua subterránea y la interacción entre aguas superficiales y subterráneas.
- ❖ Se requiere actualizar y mejorar el detalle de los estudios base, tanto de usos y/o coberturas del suelo, tipos de suelo y geología a una misma escala espacial, a fin de cuantificar con menos incertidumbre el movimiento vertical del agua tanto en la zona no saturada como en el acuífero.
- ❖ Considerando que las unidades hidrográficas de los ríos Santo Domingo, Verde, Lejos y quebrada Buenavista presentan una alta escases de información hidrometeorológica histórica, se requiere priorizar futuras inversiones en monitoreo hidrometeorológico en estas unidades hidrográficas, lo cual aportará conocimiento sobre la variabilidad temporal de los caudales, precipitación y temperatura del aire.

- ❖ Finalmente se sugiere a la entidad, continuar realizando batimetrías constantes en los puntos de medición de caudal, así como continuar las campañas de aforos de caudal en las secciones de control que se encuentran localizados en el área de estudio, a fin de mantener actualizadas las curvas de gasto y obtener caudales precisos para futuras modelaciones del balance hídrico.

2.4. Oferta Hídrica en Régimen Natural (OHTS y OHTD)

2.4.1. Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

La Oferta hídrica total superficial (OHTS) se define como el volumen de agua por unidad de tiempo que drena por la superficie y que no se infiltra o evapotranspira. En la Evaluación Regional del Agua se determinó a partir de simulación hidrológica a escala diaria en el periodo 1990 a 2022, calculada mediante los modelos hidrológicos distribuidos que fueron implementados en las 38 unidades hidrológicas de análisis y 34 fuentes abastecedoras de acueductos. La OHTS se expresa en términos de caudal (m^3/s), escorrentía (mm), y rendimiento hídrico ($l/s/km^2$). Para caracterizar y sintetizar la variabilidad y tendencia de la oferta hídrica, se calculó para cada unidad de análisis el diagrama de percentiles mensuales de caudal que expresa una representación gráfica de la distribución interanual de los caudales medios diarios cada mes del año hidrológico, se aplicó la prueba de Mann-Kendall (Hussain et al.; 2019) para las series anuales de caudales medios, máximos y mínimos diarios con el fin de evaluar sus tendencias históricas.

2.4.2. Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD)

La oferta hídrica total disponible se define como el resultado de sustraer el caudal ambiental a la oferta hídrica total superficial. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Art. 2 Decreto 50 de 2018), el término "caudal ambiental" se define como el volumen de agua necesario por unidad de tiempo, considerando tanto el régimen como la calidad del agua, para asegurar el funcionamiento y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos, así como su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos. En consecuencia, el concepto adoptado por el ministerio implica que al formular el caudal ambiental se deben tener en cuenta la prestación de servicios ecosistémicos y la planificación de un régimen alterado que conserve las características esenciales del régimen natural.

Para implementar el concepto de caudal ambiental según lo definido anteriormente en relación con el régimen natural de caudales durante el período de análisis (1990 a 2022) y garantizar la preservación de las características fundamentales del régimen natural, fue necesario calcularlo de forma actualizada para todas las unidades hidrológicas de análisis. Para ello se establecieron valores máximos aprovechables de caudal en cada unidad hidrológica de análisis a través de una evaluación del porcentaje de alteración del régimen natural en iteraciones sucesivas. El procedimiento iterativo se desarrolló hasta alcanzar un porcentaje de alteración máximo permisible en los índices de alteración hidrológica del régimen de caudal ambiental. Para mantener una coherencia metodológica con el Estudio Nacional del Agua, se definieron umbrales de

caudales máximos aprovechables hasta alcanzar como mínimo el caudal ambiental semilla (CA) establecido como el caudal característico Q85 de la curva de duración de caudales diarios, en las unidades de análisis con índice de regulación hídrica (IRH) mayor o igual a 0.70, y se definió como el caudal característico Q75 de la curva de duración de caudales diarios para las unidades hidrográficas de análisis con IRH menor a 0.70. Al aplicar estos criterios a las series de caudales diarias en régimen natural, se obtuvo las series en régimen alterado y los porcentajes de alteración para los índices hidrológicos evaluados, como se presenta a continuación:

Tabla 23. Porcentajes medios de alteración del régimen hidrológico natural para cada índice de alteración con el caudal ambiental definido

Índice Hidrológico	Parámetro característico de la curva de duración de caudales diarios	Importancia ecológica (Servicio ecosistémico)	Porcentaje de alteración promedio
Caudal base	Media de los caudales menores al Q50%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proporcionan hábitat para los organismos acuáticos ▪ Mantienen temperaturas del agua, oxígeno disuelto y química del agua apropiados ▪ Mantienen el nivel freático y humedad del suelo de la zona riparia ▪ Permiten el desplazamiento de los peces a áreas de alimentación y desove ▪ (Preservación de flora y fauna) 	20.8%
Caudales extremadamente bajos	Media de los caudales menores al Q90%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permiten el reclutamiento de especies de flora ▪ Regulan especies invasoras introducidas ▪ Regulan la cadena trófica en condiciones adversas ▪ (Preservación de flora y fauna) 	0%
Pulsos de caudal alto	Media de los caudales mayores al Q25%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelan las características físicas del cauce ▪ Determinan el tamaño de los sustratos del lecho ▪ Impiden la invasión de vegetación riparia en el cauce ▪ Restauran las condiciones de calidad del agua luego de caudales bajos prolongados ▪ (Preservación de flora y fauna) 	60.3%
Pequeñas inundaciones	Media de los caudales entre el Q25% y Q10%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transportan nutrientes en los ejes longitudinal y transversal de las corrientes ▪ Generan conectividad longitudinal y transversal de los ecosistemas acuáticos, riparios y terrestres asociados ▪ Recargan el nivel freático de las zonas riparias ▪ Favorecen la migración de especies ▪ (Preservación de flora y fauna) 	54.6%
Grandes inundaciones	Media de los caudales mayores al Q10%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelan hábitat físico de planicies y zonas riparias ▪ Renuevan mesohabitats y sustratos en las corrientes ▪ Mantienen el balance de especies en las comunidades acuáticas y riparias ▪ Forman nuevos macrohábitats ▪ Eliminan especies invasoras en las comunidades acuáticas y riparias ▪ (Preservación de flora y fauna) 	66.5%

El año hidrológico medio corresponde a los caudales medios mensuales del periodo 1990 a 2022, el año hidrológico seco corresponde al episodio histórico de la fase cálida del fenómeno ENSO más severo del que se tiene registro (Año hidrológico 2015/2016), y el año hidrológico húmedo fue definido como un episodio extremo de la fase fría del fenómeno ENSO (Año hidrológico 2010/2011).

A continuación, se presentan los valores de OHTS y OHTD para cada unidad hidrográfica de análisis en las unidades hidrológicas en jurisdicción del departamento del Quindío para el periodo histórico 1990 a 2022.

2.4.3. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada La Picota

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 41.5, 73.6 y 25.9 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 143.7 % de aumento, un 255.2 % de aumento, y un 89.7 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 13.3, 15.6 y 5.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 46.2, 54.2 y 19.4 % con relación al valor medio anual (Figura 50). La escorrentía anual es de 909.2 mm, con valores máximos mensuales de 111.1, 195.2, y 69.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 51).

Tabla 24. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Quebrada La Picota

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
1.21	0.54	0.67	1.97	0.54	1.44	0.63	0.34	0.29

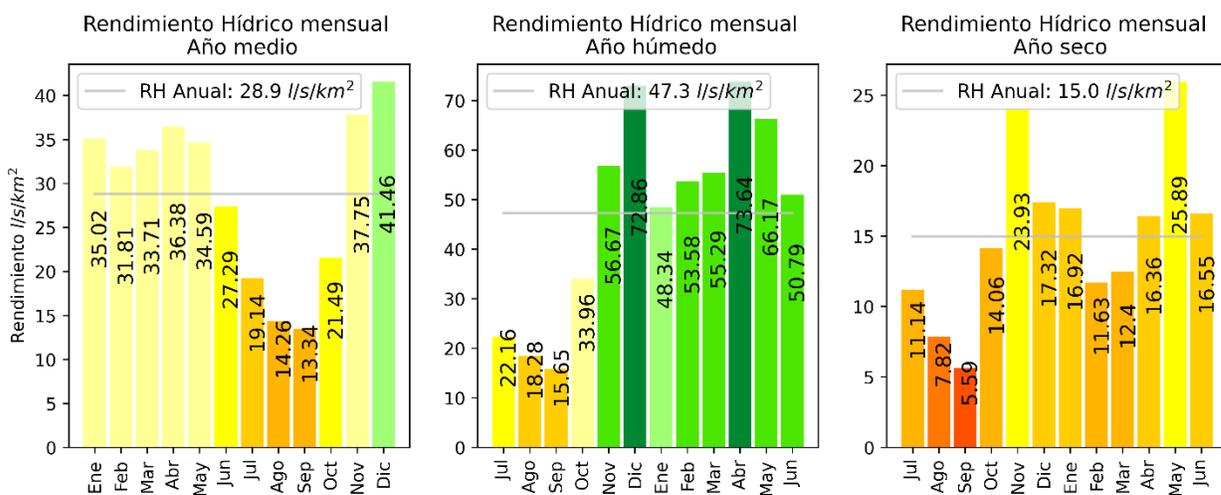
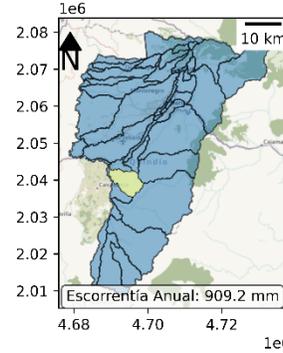


Figura 50. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada La Picota

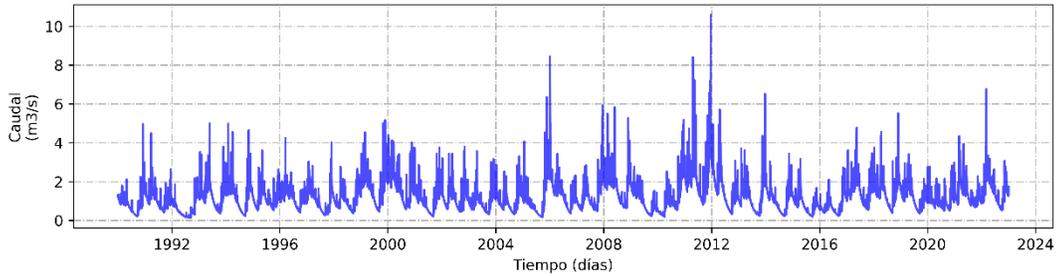
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Quebrada La Picota
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4690004 m Y: 2034909 m

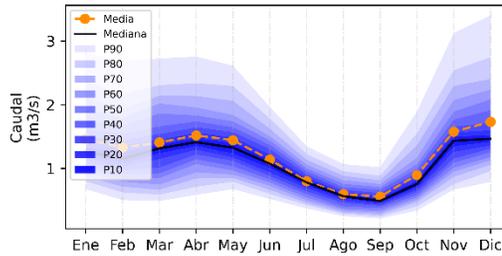
Descripción:
Desde su nacimiento hasta antes de su
confluencia con el río Barragán



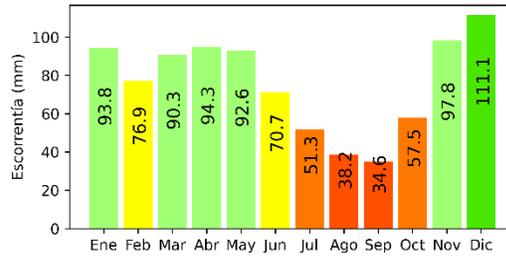
Caudal medio diario



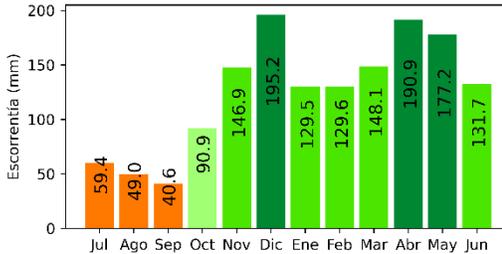
Percentiles mensuales de caudal



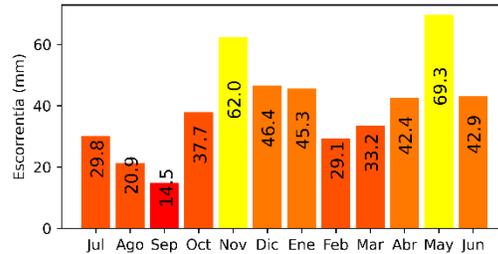
Escorrentía mensual en Año medio



Escorrentía mensual en Año Húmedo (2010 - 2011)



Escorrentía mensual en Año Seco (2015 - 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales:

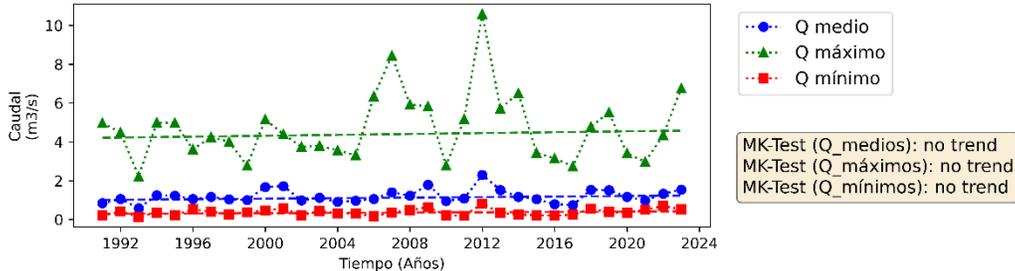


Figura 51. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada La Picota

2.4.4. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Río Lejos

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 49.4, 90.4 y 23.9 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 141.1 % de aumento, un 258.1 % de aumento, y un 68.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 17.4, 20.1 y 7.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 49.7, 57.4 y 21.6 % con relación al valor medio anual (Figura 52). La escorrentía anual es de 1,103.6 mm, con valores máximos mensuales de 132.4, 235.7, y 63.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 53).

Tabla 25. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Río Lejos

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
7.94	3.89	4.05	13.26	3.89	9.37	3.77	2.32	1.44

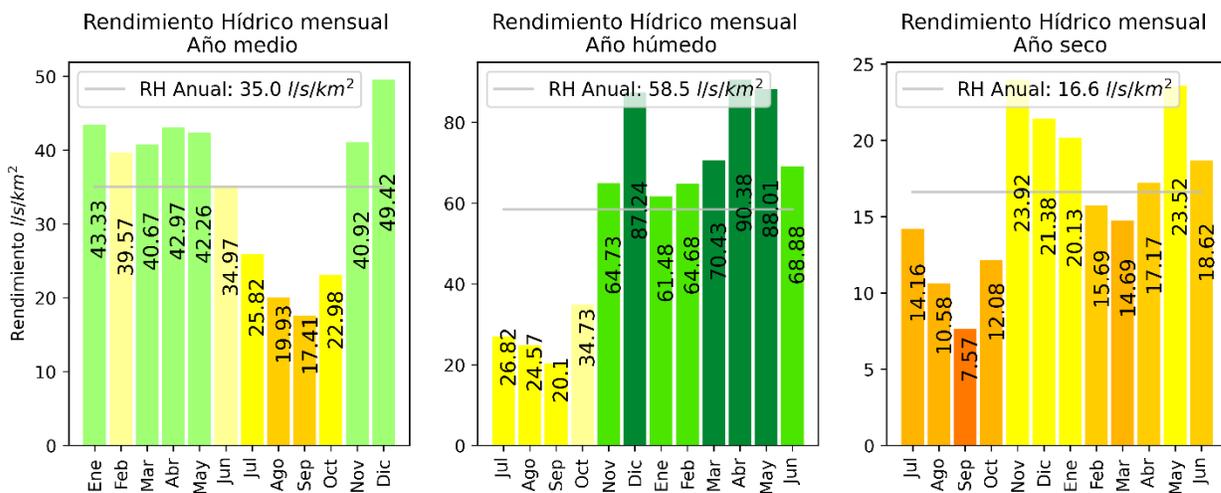


Figura 52. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Lejos

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Río Lejos
 Punto Cierre en Modelo (CTM12):
 X: 4711156 m Y: 2068757 m

Descripción:
 Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río Barragán

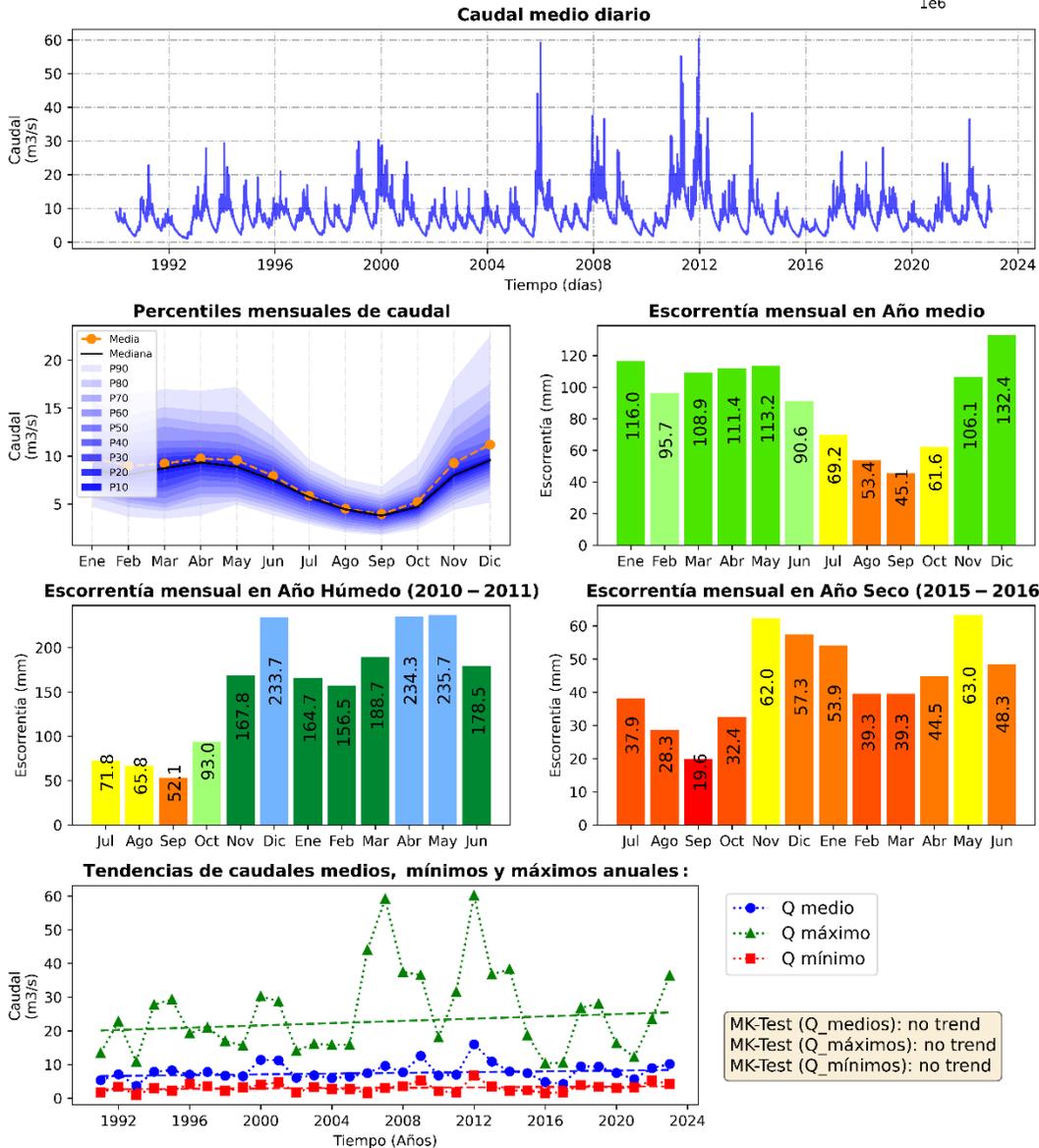
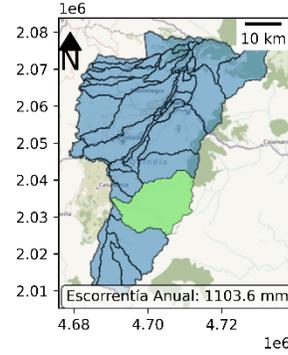


Figura 53. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Lejos

2.4.5. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Navarco

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 35.2, 54.5 y 24.7 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 126.6 % de aumento, un 195.9 % de aumento, y un 88.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.4, 26.7 y 17.3 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 73.3, 96.2 y 62.2 % con relación al valor medio anual (Figura 54). La escorrentía anual es de 876.8 mm, con valores máximos mensuales de 94.3, 145.9, y 64.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 55).

Tabla 26. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Navarco

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
3.07	2.12	0.95	4.46	2.12	2.35	2.23	1.96	0.27

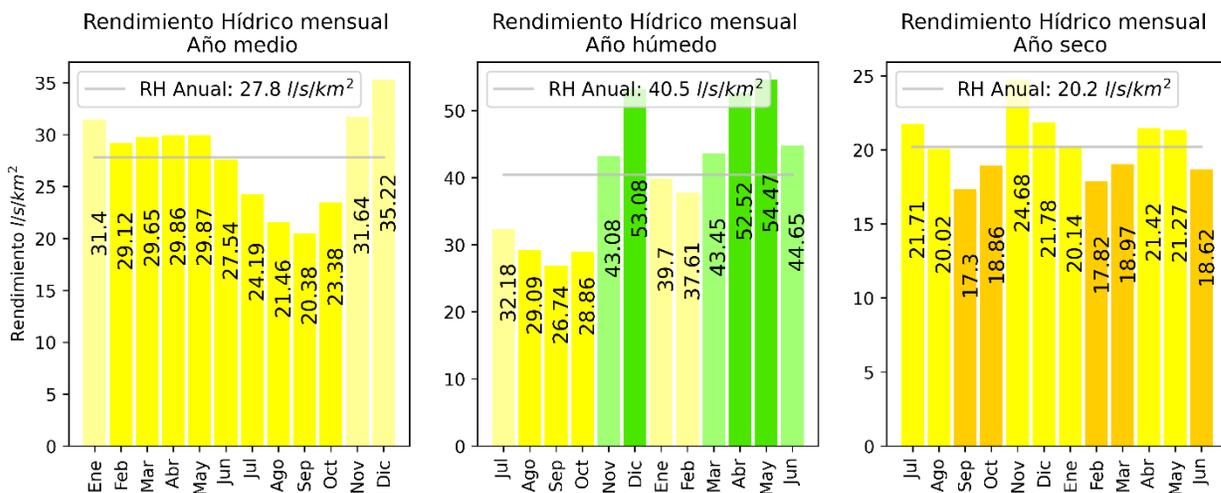


Figura 54. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Navarco

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Río Navarco
 Punto Cierre en Modelo (CTM12):
 X: 4719156 m Y: 2070950 m

Descripción:
 Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río Quindío

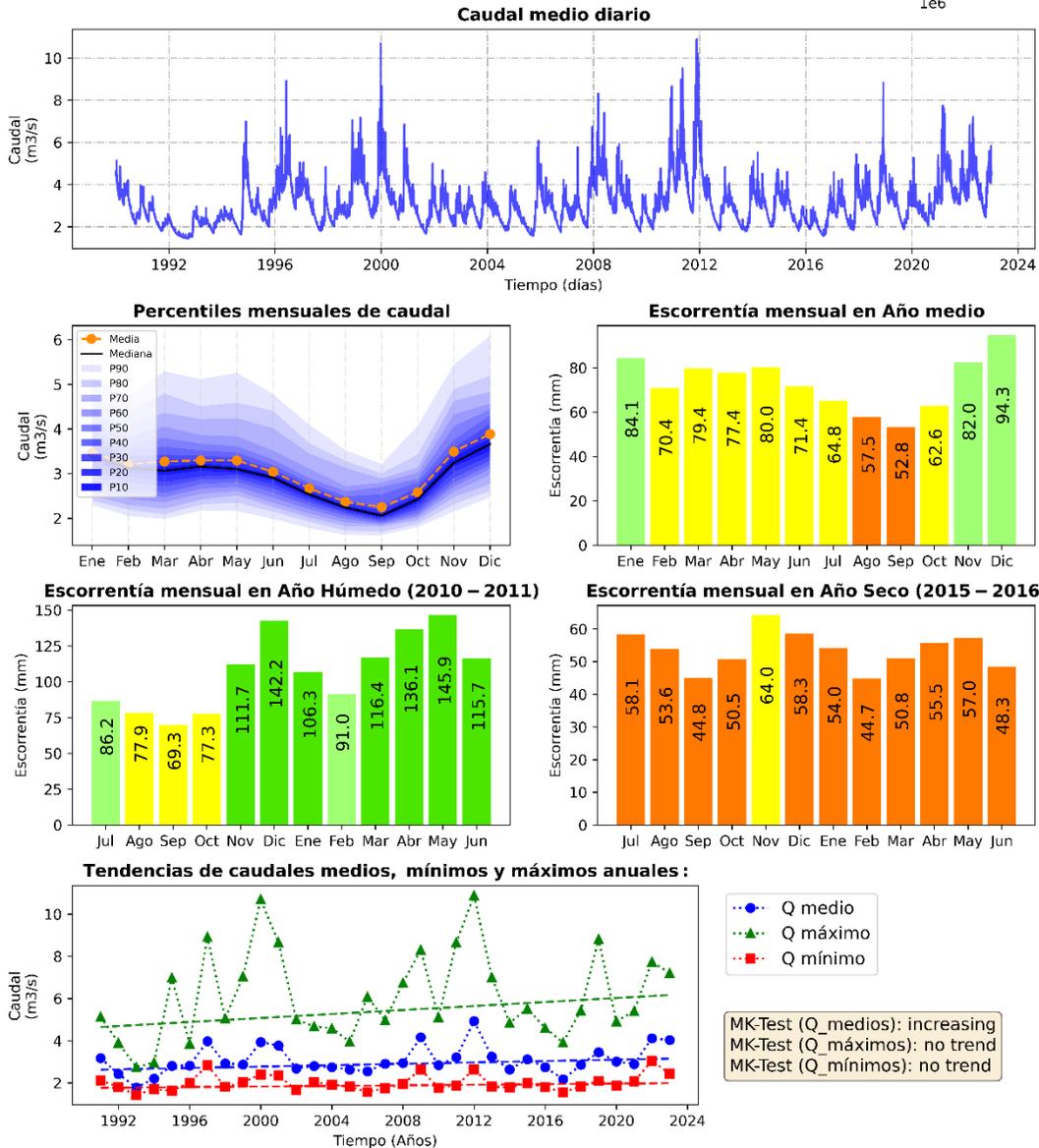
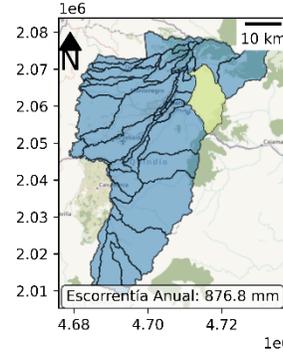


Figura 55. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Navarco

2.4.6. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Río Quindío Tramo 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 47.6, 77.7 y 35.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 135.9 % de aumento, un 221.6 % de aumento, y un 100.0 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 21.6, 36.1 y 13.0 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 61.7, 103.1 y 37.0 % con relación al valor medio anual (Figura 56). La esorrentía anual es de 1,104.9 mm, con valores máximos mensuales de 127.6, 208.0, y 90.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 57).

Tabla 27. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Río Quindío Tramo 1

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
4.35	2.38	1.97	6.77	2.38	4.39	2.95	1.85	1.09

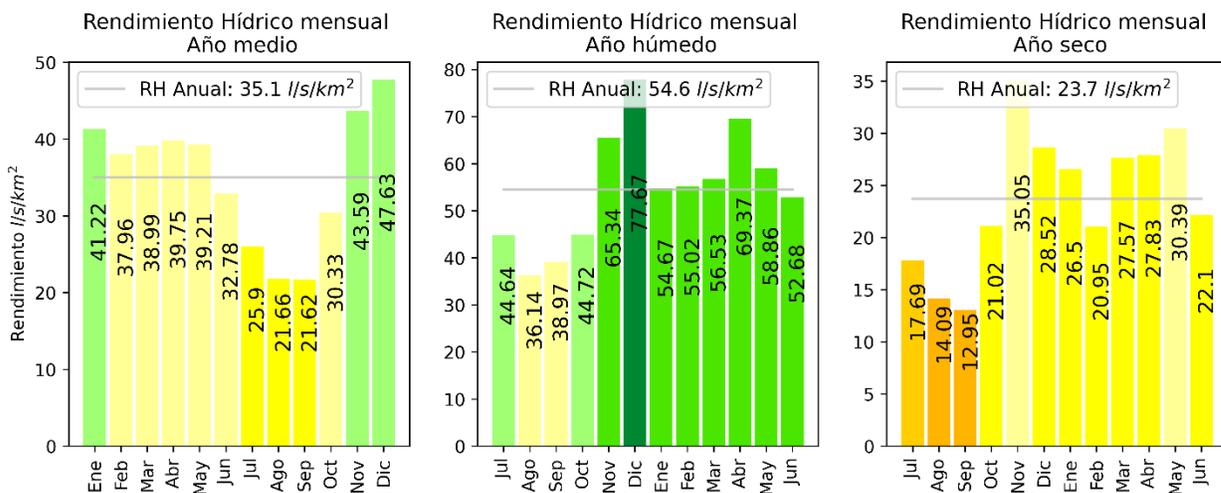


Figura 56. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 1

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 1
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4712237 m Y: 2069929 m

Descripción:
Desde el nacimiento del río Quindío hasta el punto "El Escobal"

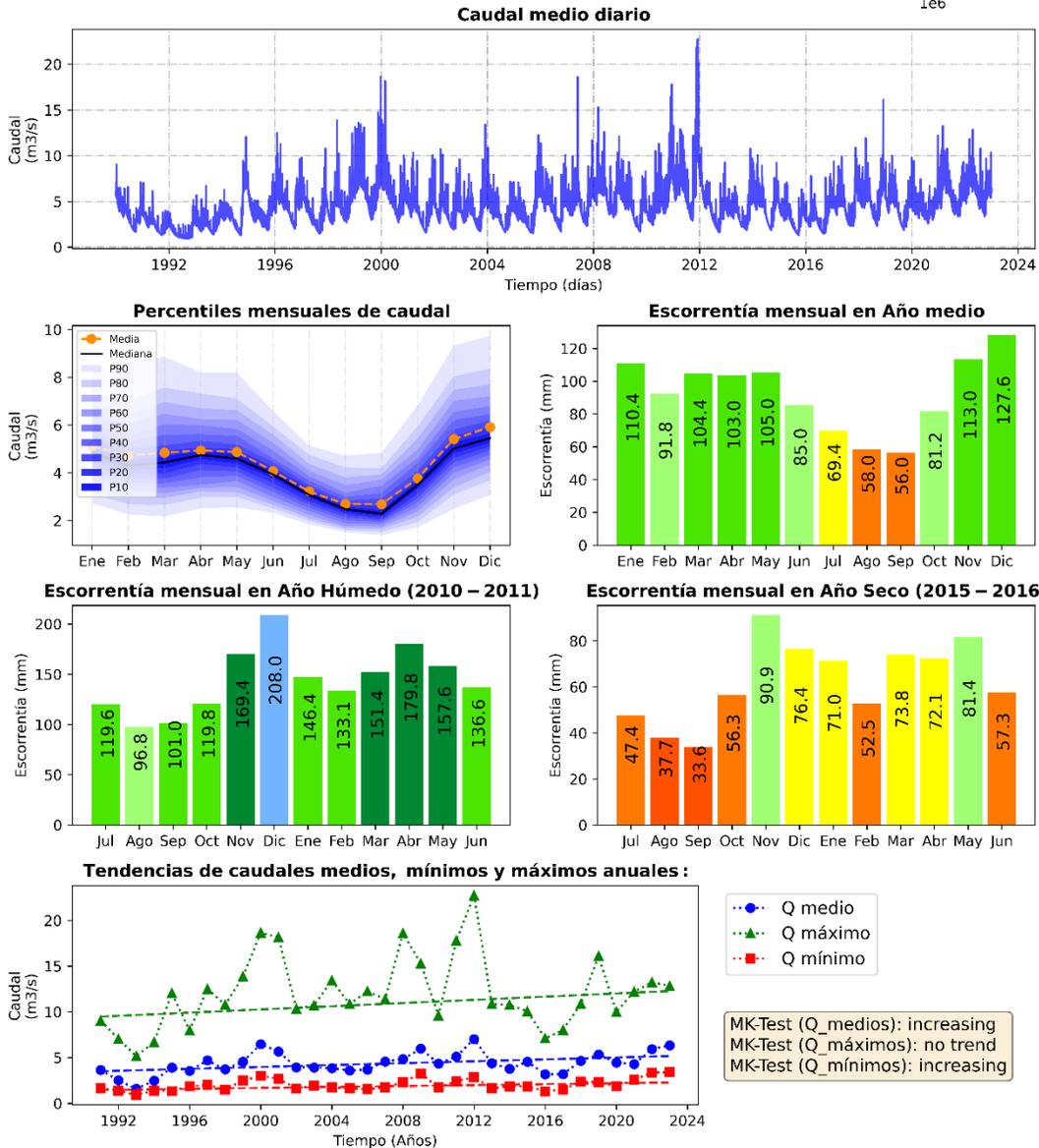
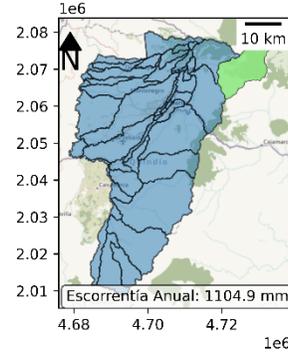


Figura 57. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 1

2.4.7. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 38.0, 61.0 y 25.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 134.8 % de aumento, un 216.3 % de aumento, y un 88.9 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 17.5, 28.8 y 9.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.1, 102.0 y 34.5 % con relación al valor medio anual (Figura 58). La escorrentía anual es de 888.5 mm, con valores máximos mensuales de 101.8, 163.3, y 65.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 59).

Tabla 28. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindío Tramo 2

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
6.41	3.59	2.82	9.82	3.59	6.23	4.31	2.76	1.55

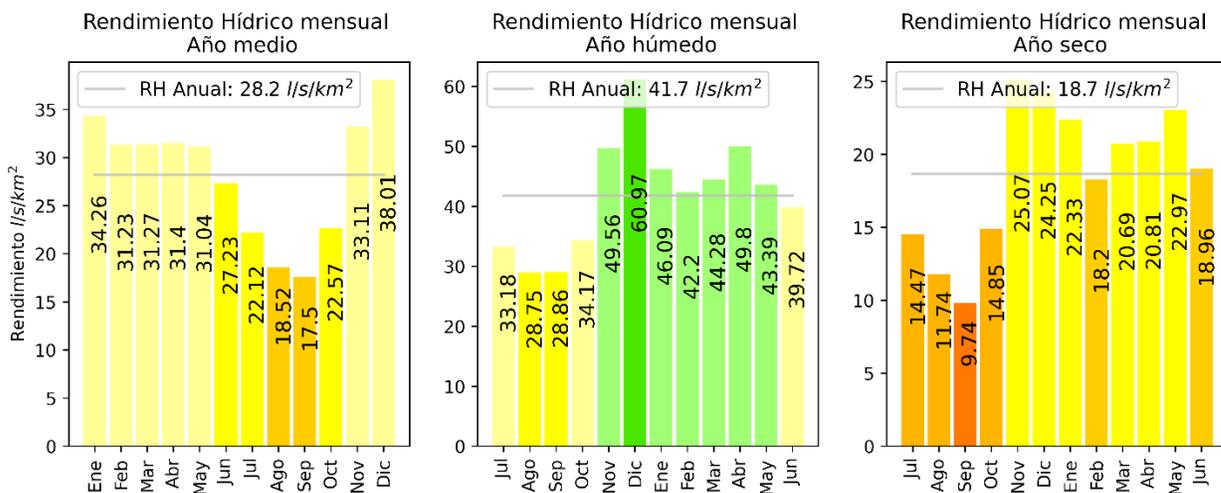


Figura 58. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindío Tramo 2

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 2
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4711064 m Y: 2068756 m

Descripción:
Desde el punto "El Escobal" hasta aguas arriba de la Bocatoma del Municipio de Armenia

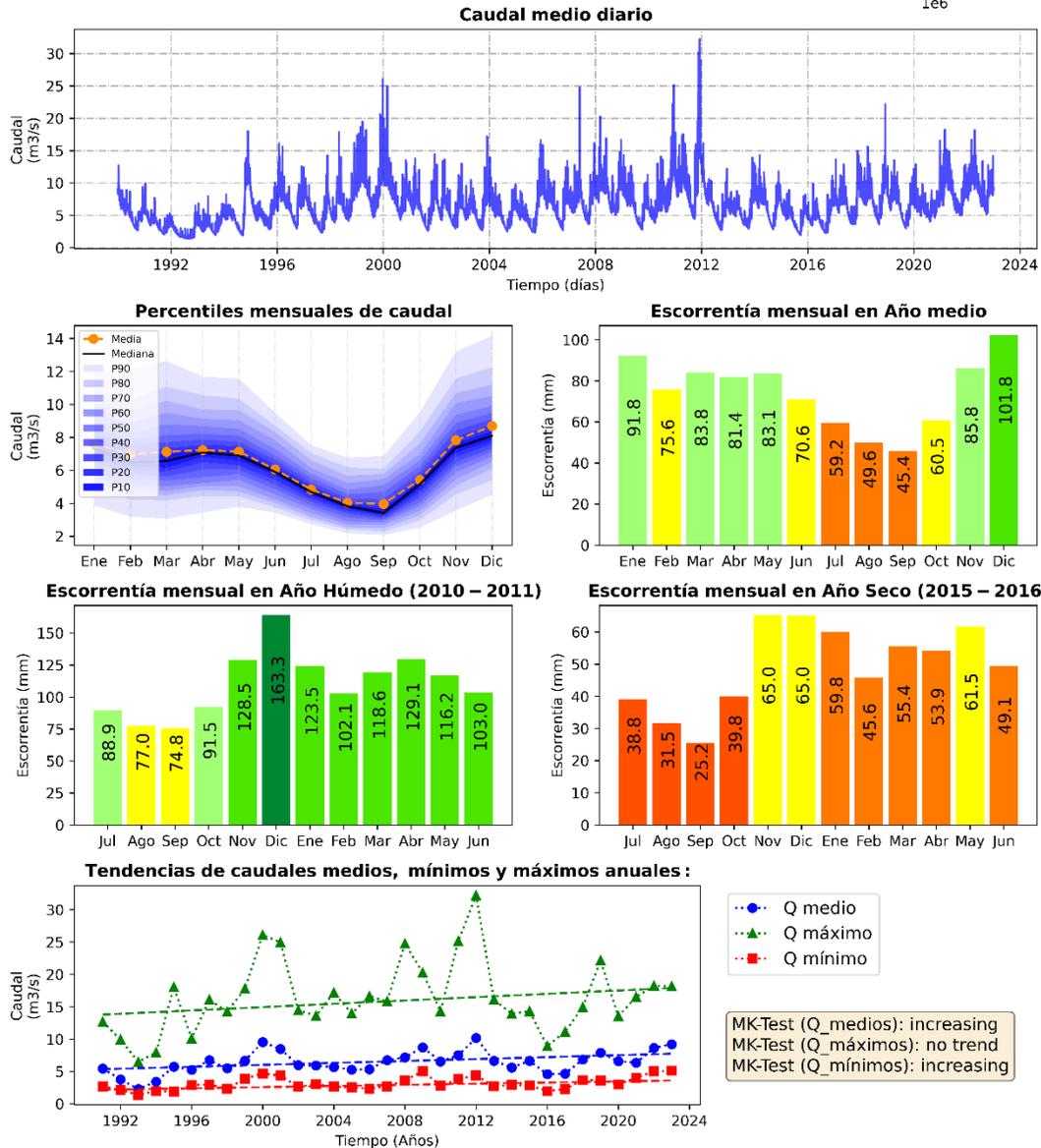
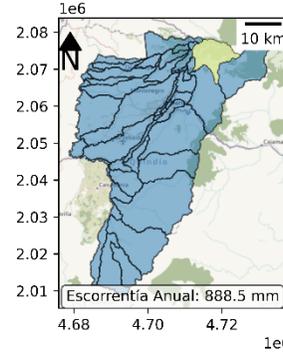


Figura 59. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 2

2.4.8. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindío Tramo 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 34.2, 48.6 y 29.7 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 144.5 % de aumento, un 205.2 % de aumento, y un 125.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 16.1, 19.9 y 11.0 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 68.0, 84.1 y 46.3 % con relación al valor medio anual (Figura 60). La escorrentía anual es de 746.6 mm, con valores máximos mensuales de 88.7, 130.1, y 77.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 61).

Tabla 29. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindío Tramo 3

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
6.58	3.69	2.89	10.06	3.69	6.36	4.43	2.85	1.58

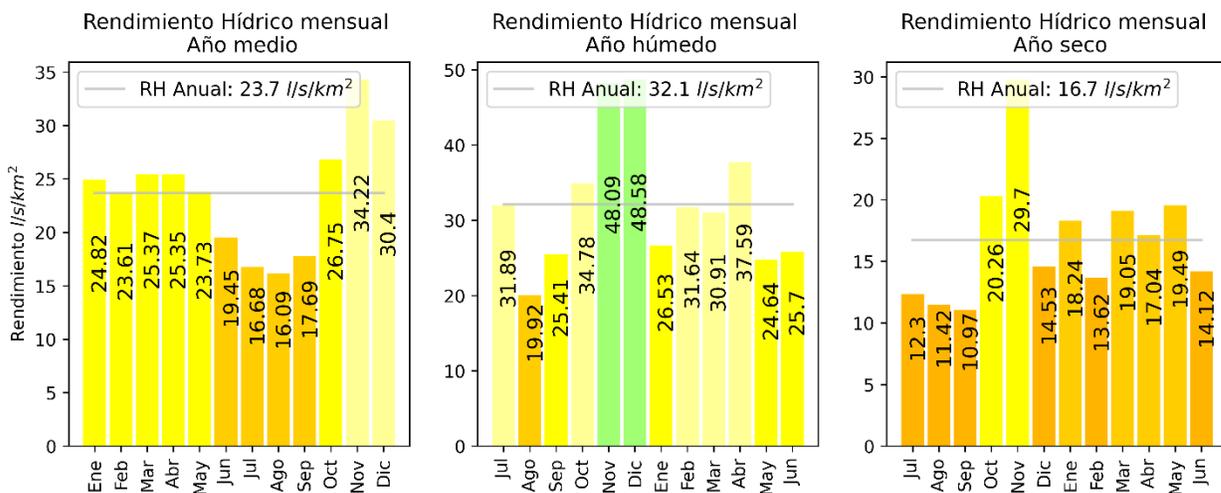


Figura 60. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindío Tramo 3

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Río Quindío Tramo 3
 Punto Cierre en Modelo (CTM12):
 X: 4709614 m Y: 2066711 m

Descripción:
 Desde aguas arriba de la Bocatomía del Municipio de Armenia hasta aguas arriba de la confluencia del río Navarco

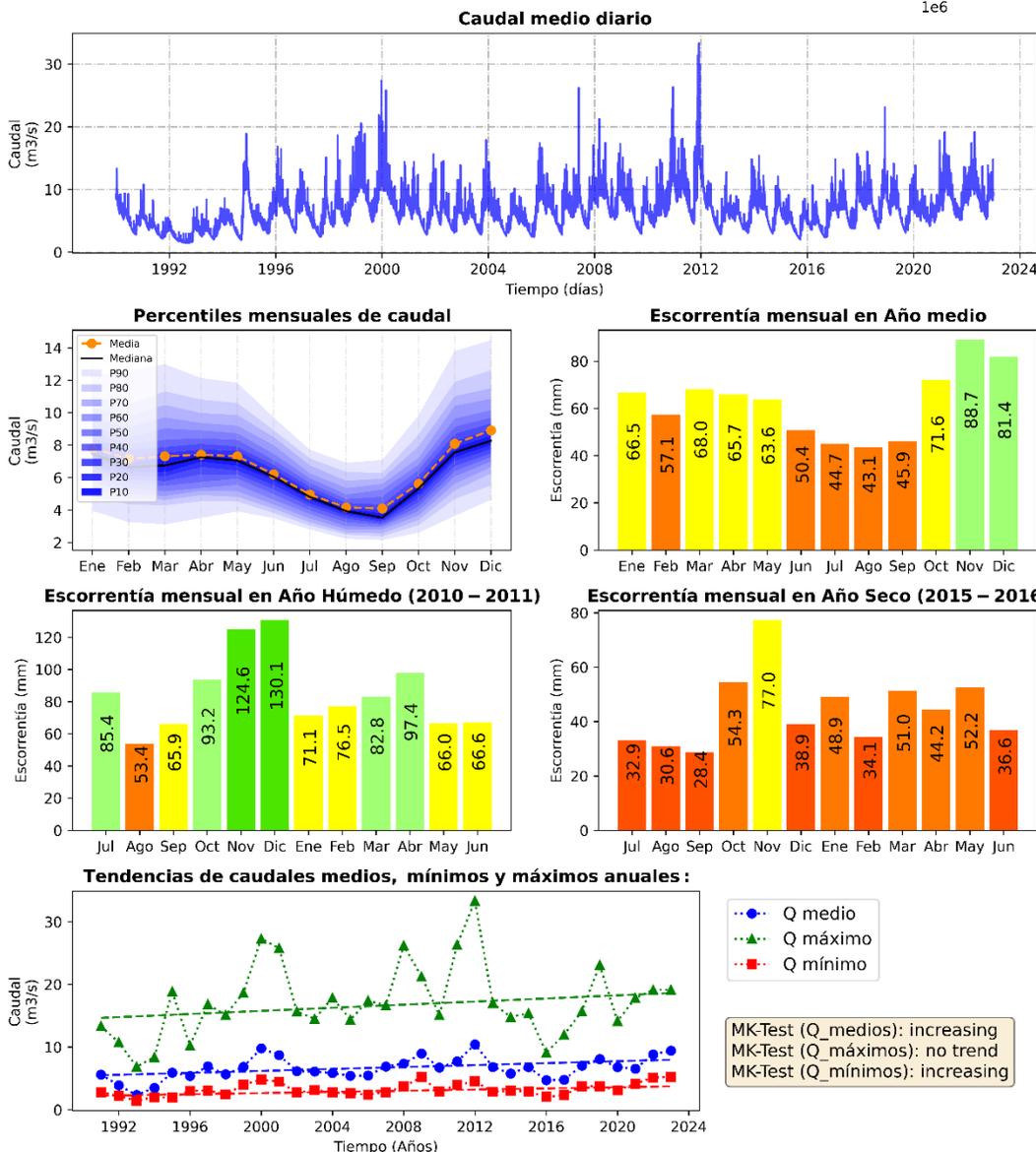
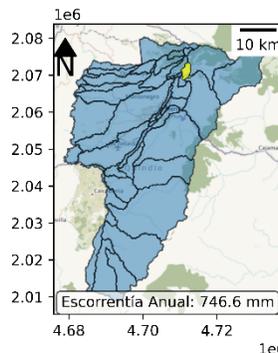


Figura 61. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 3

2.4.9. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 26.1, 34.4 y 19.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 110.7 % de aumento, un 146.0 % de aumento, y un 83.9 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.6, 23.8 y 16.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 87.3, 101.2 y 70.2 % con relación al valor medio anual (Figura 62). La escorrentía anual es de 742.9 mm, con valores máximos mensuales de 69.8, 92.1, y 51.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 63).

Tabla 30. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 4

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
9.76	5.98	3.78	14.65	5.98	8.67	6.75	5.17	1.58

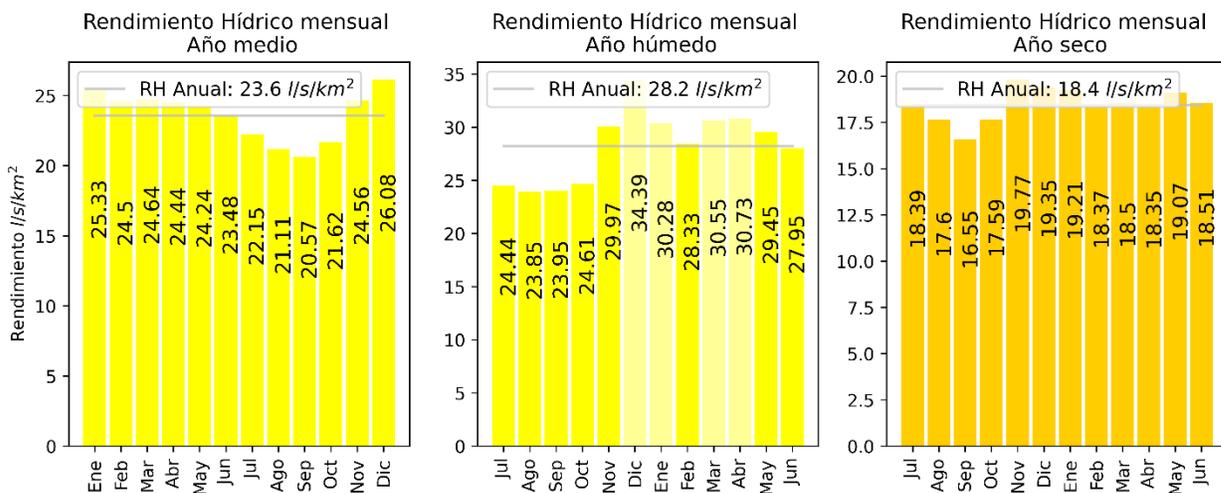


Figura 62. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 4

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 4
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4708070 m Y: 2063877 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la confluencia del río Navarco hasta aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Cusumbo

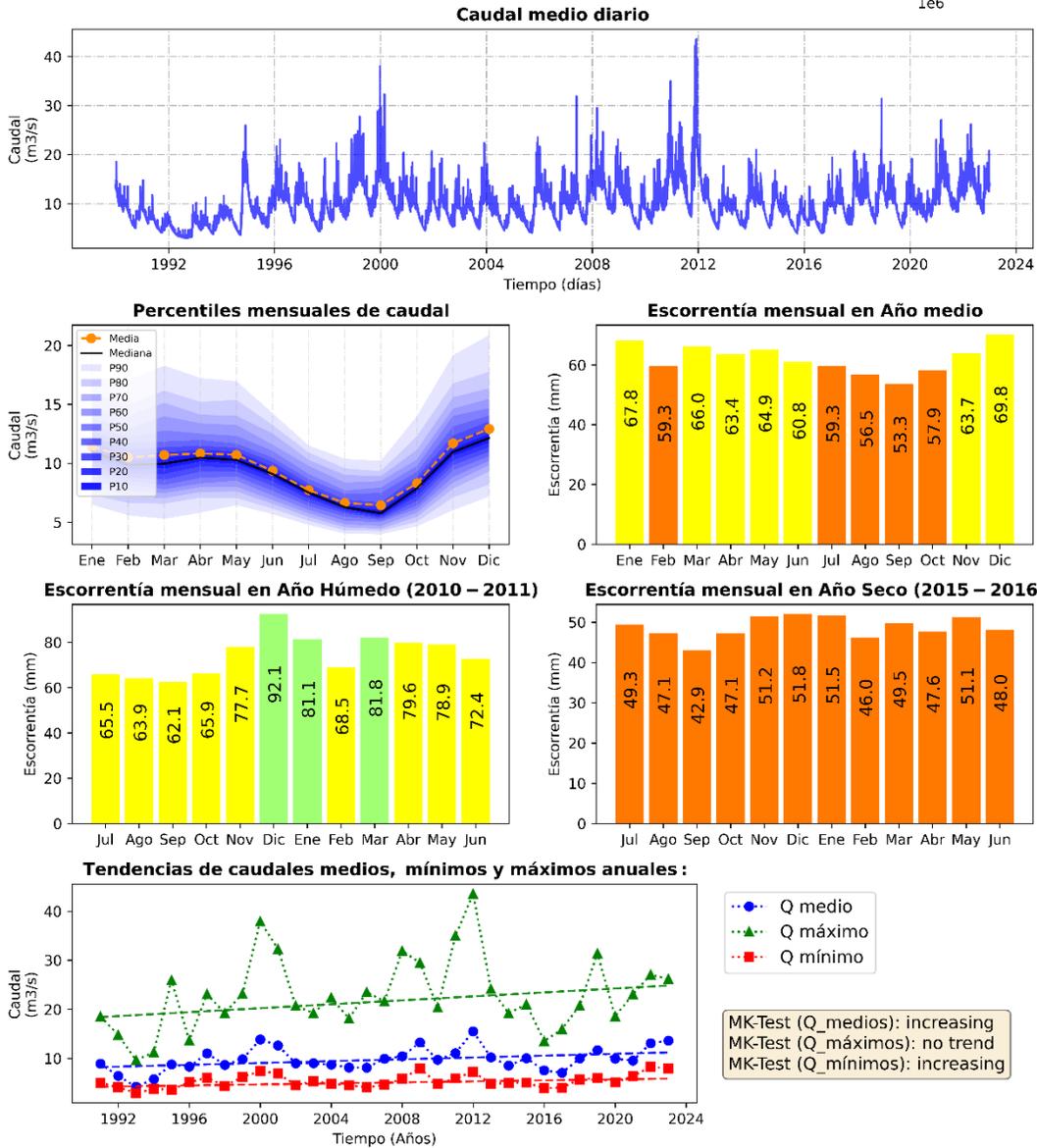
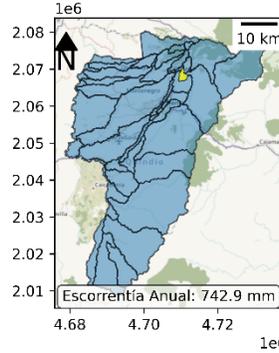


Figura 63. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 4

2.4.10. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Río Quindío Tramo 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 40.2, 55.9 y 30.9 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 117.3 % de aumento, un 163.2 % de aumento, y un 90.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.6, 34.2 y 23.0 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 80.5, 99.6 y 67.1 % con relación al valor medio anual (Figura 64). La escorrentía anual es de 1,080.9 mm, con valores máximos mensuales de 107.7, 149.8, y 82.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 65).

Tabla 31. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Río Quindío Tramo 5

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
10.49	6.55	3.95	15.58	6.55	9.04	7.34	5.70	1.64

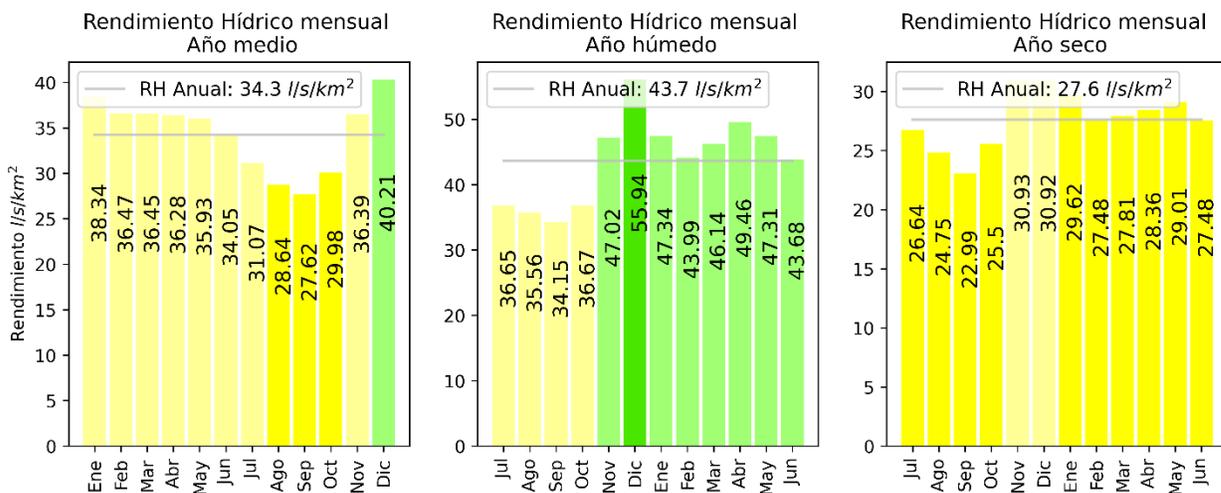


Figura 64. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 5

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 5
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4706338 m Y: 2061223 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Cusumbo hasta aguas arriba de la captación de la PCH Campestre

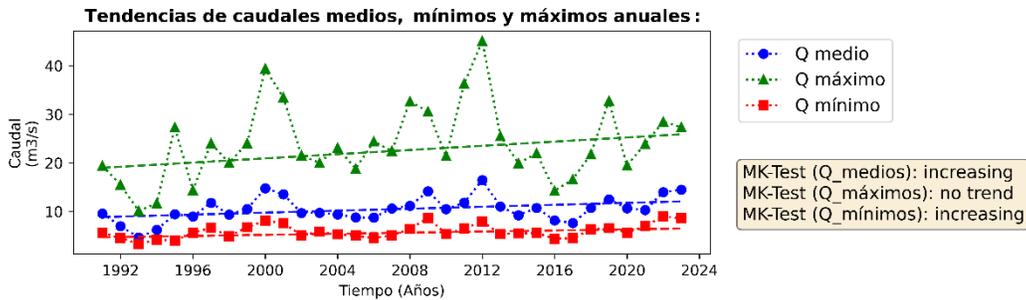
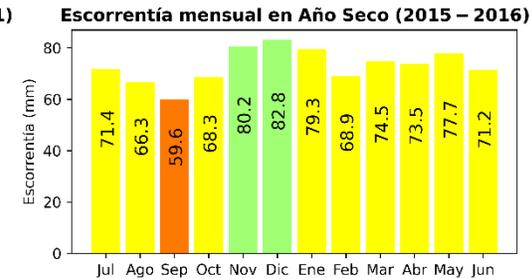
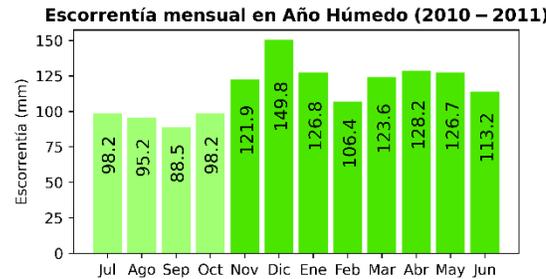
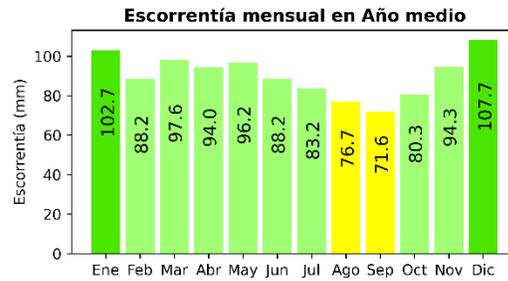
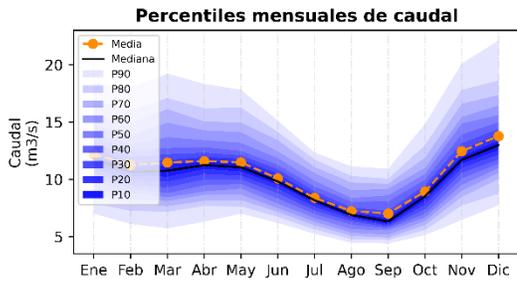
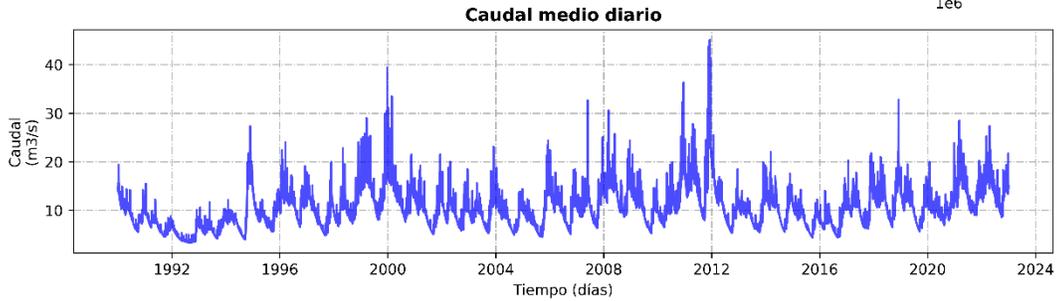
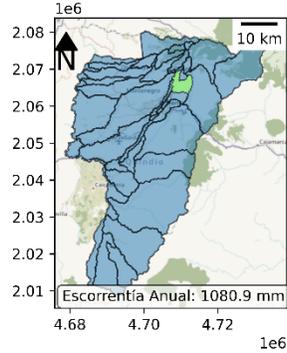


Figura 65. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 5

2.4.11. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 6

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 34.7, 43.3 y 28.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 107.5 % de aumento, un 134.2 % de aumento, y un 87.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 29.1, 31.4 y 25.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 90.1, 97.2 y 79.9 % con relación al valor medio anual (Figura 66). La escorrentía anual es de 1,018.2 mm, con valores máximos mensuales de 93.0, 116.1, y 75.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 67).

Tabla 32. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 6

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
10.90	6.91	3.99	16.06	6.91	9.15	7.68	6.03	1.64

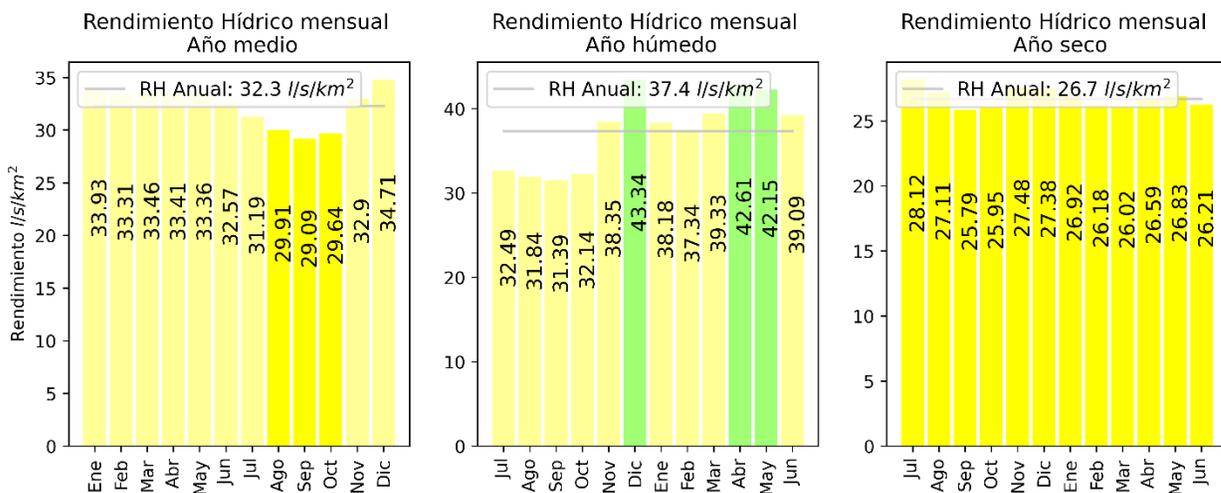


Figura 66. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 6

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 6
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4704785 m Y: 2059464 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la captación de la PCH Campestre hasta aguas arriba de la captación de la PCH Bayona

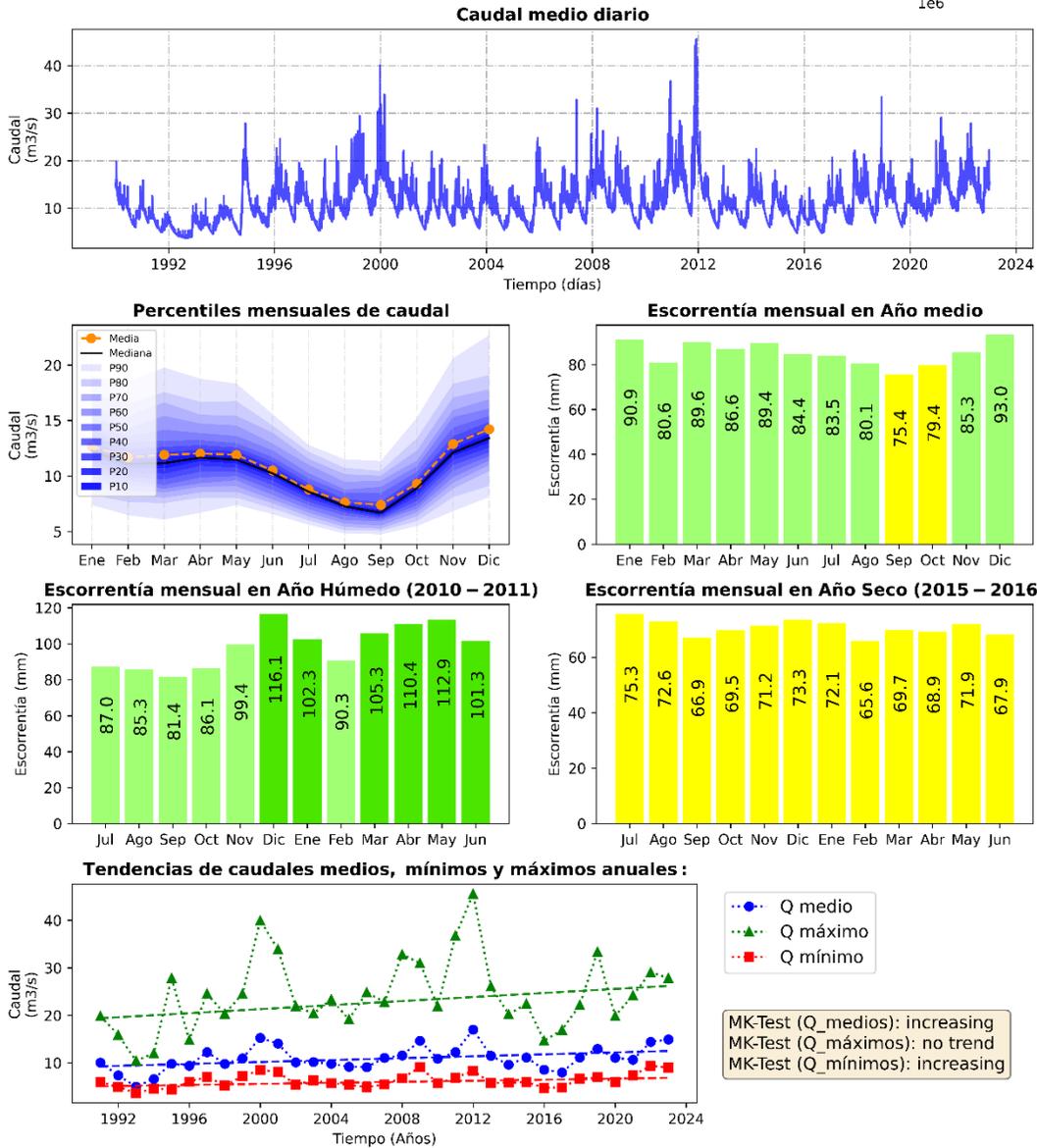
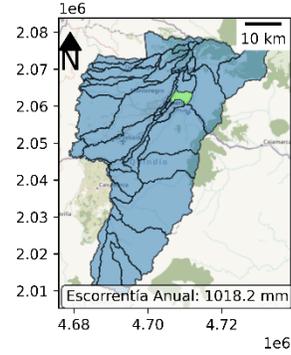


Figura 67. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 6

2.4.12. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 7

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 11.0, 18.9 y 9.3 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 113.8 % de aumento, un 194.8 % de aumento, y un 95.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 7.7, 6.8 y 4.9 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.0, 70.0 y 50.4 % con relación al valor medio anual (Figura 68). La escorrentía anual es de 305.4 mm, con valores máximos mensuales de 29.5, 50.5, y 24.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 69).

Tabla 33. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 7

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
10.93	6.93	4.00	16.09	6.93	9.16	7.69	6.05	1.64

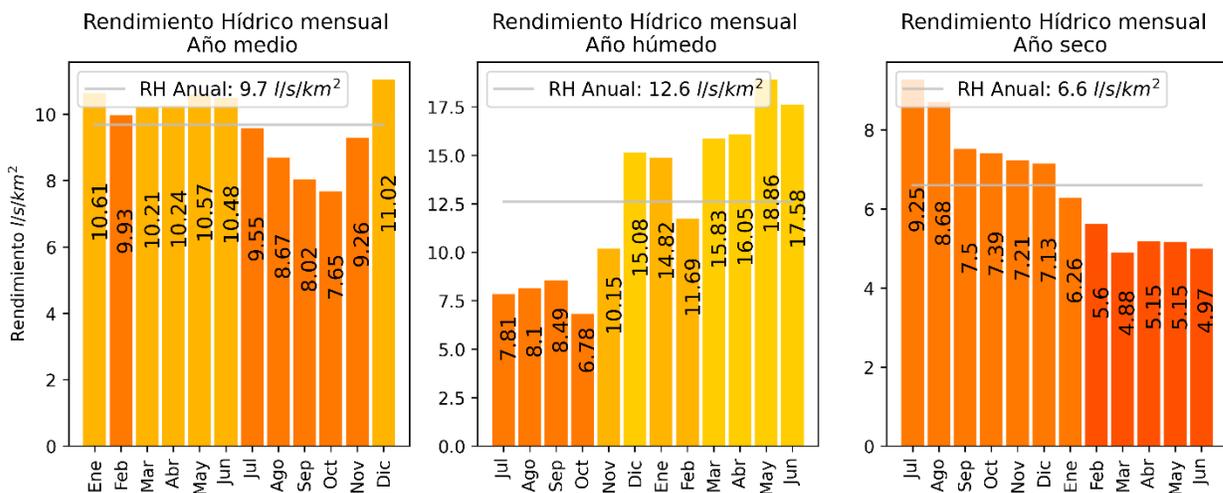


Figura 68. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 7

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 7
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4703252 m Y: 2058474 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la captación de la PCH Bayona hasta aguas arriba de la captación de la PCH La Unión

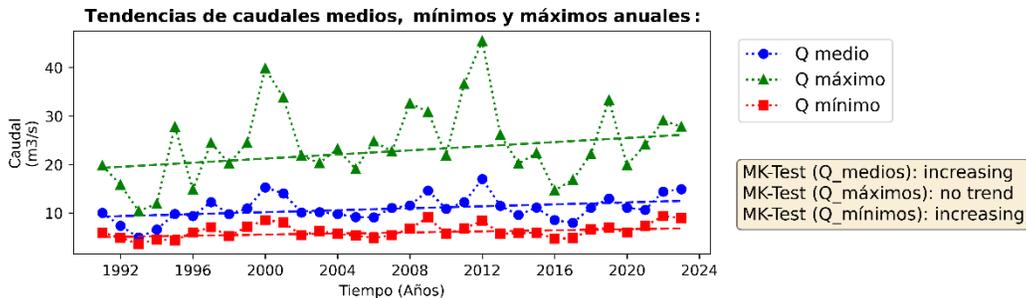
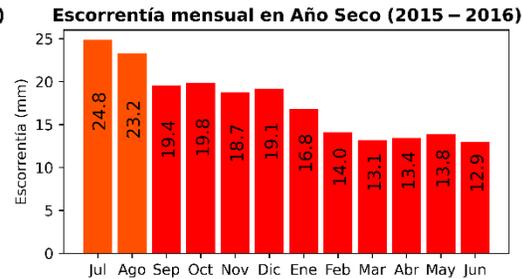
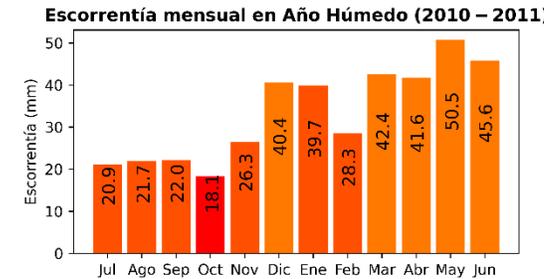
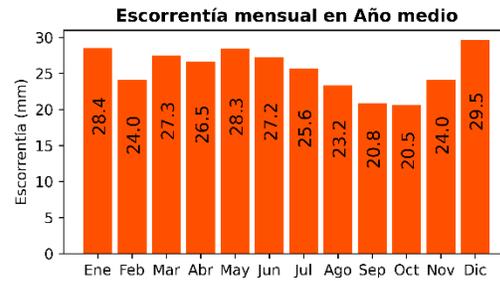
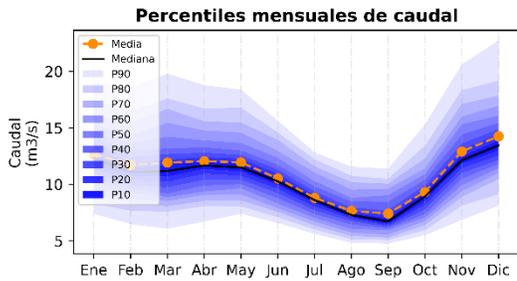
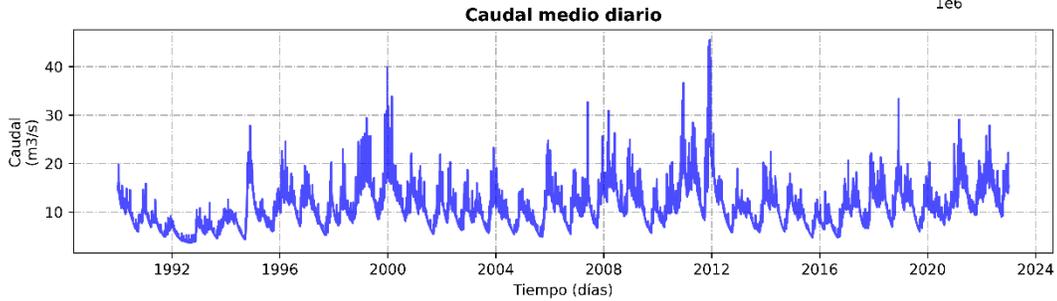
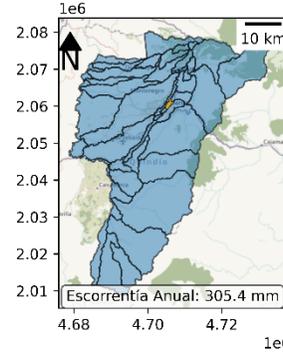


Figura 69. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 7

2.4.13. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 8

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 8.1, 16.5 y 8.3 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 119.6 % de aumento, un 243.5 % de aumento, y un 122.3 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 3.9, 4.6 y 2.2 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 57.6, 67.6 y 33.1 % con relación al valor medio anual (Figura 70). La escorrentía anual es de 214.0 mm, con valores máximos mensuales de 21.5, 44.3, y 22.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 71).

Tabla 34. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 8

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
10.94	6.94	4.00	16.11	6.94	9.17	7.70	6.06	1.64

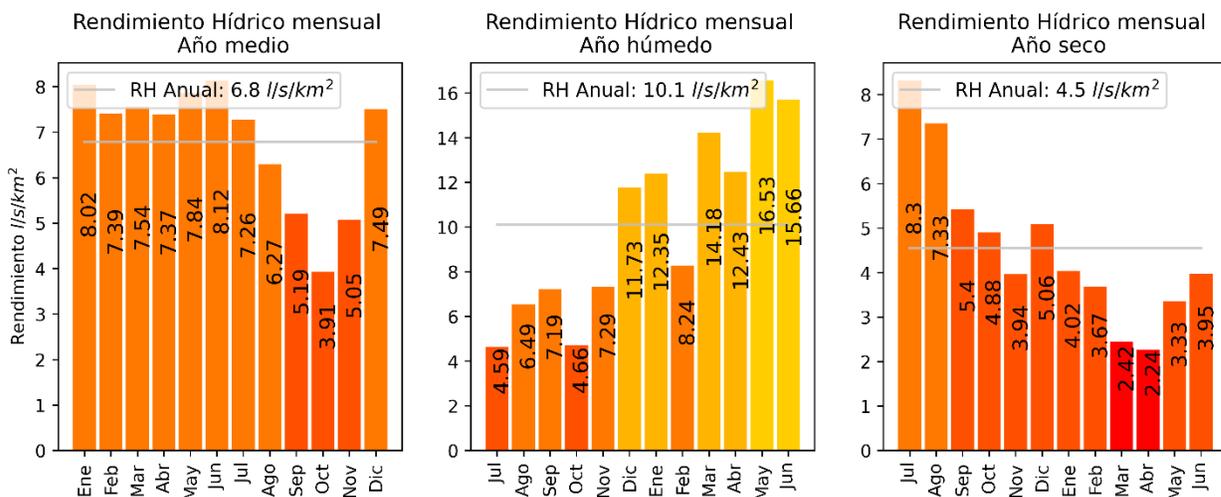


Figura 70. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 8

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 8
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4702077 m Y: 2057205 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la captación de la PCH La Unión hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada La Florida

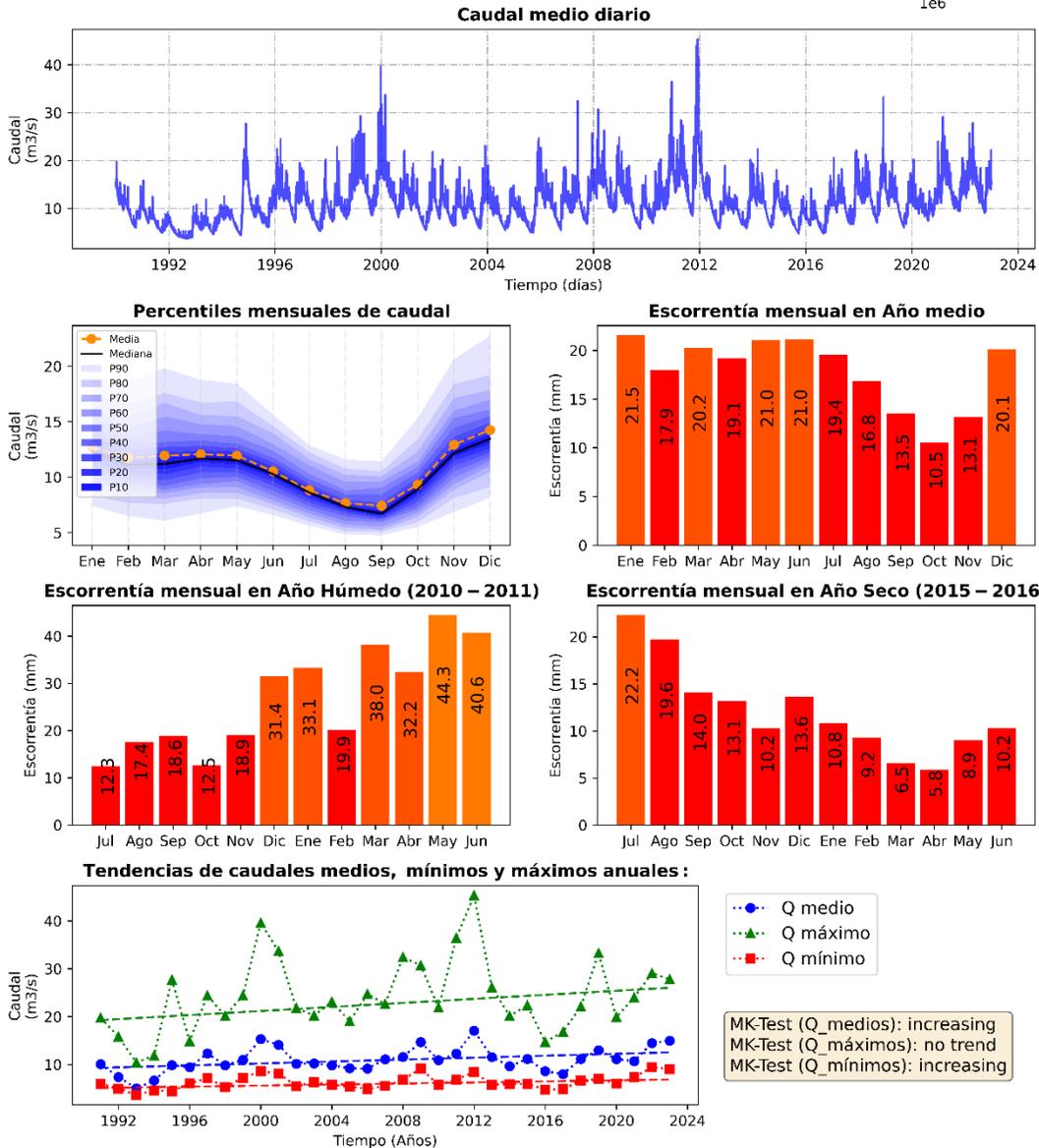
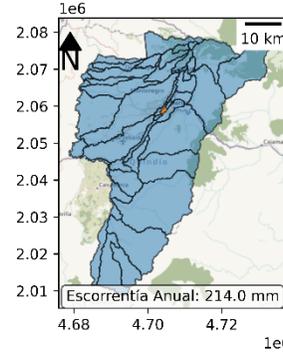


Figura 71. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 8

2.4.14. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 9

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 18.8, 29.1 y 13.4 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 114.1 % de aumento, un 177.2 % de aumento, y un 81.6 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 13.2, 17.1 y 9.9 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 80.5, 104.2 y 60.4 % con relación al valor medio anual (Figura 72). La escorrentía anual es de 518.1 mm, con valores máximos mensuales de 50.2, 78.0, y 35.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 73).

Tabla 35. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 9

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
11.08	7.04	4.04	16.30	7.04	9.26	7.80	6.16	1.63

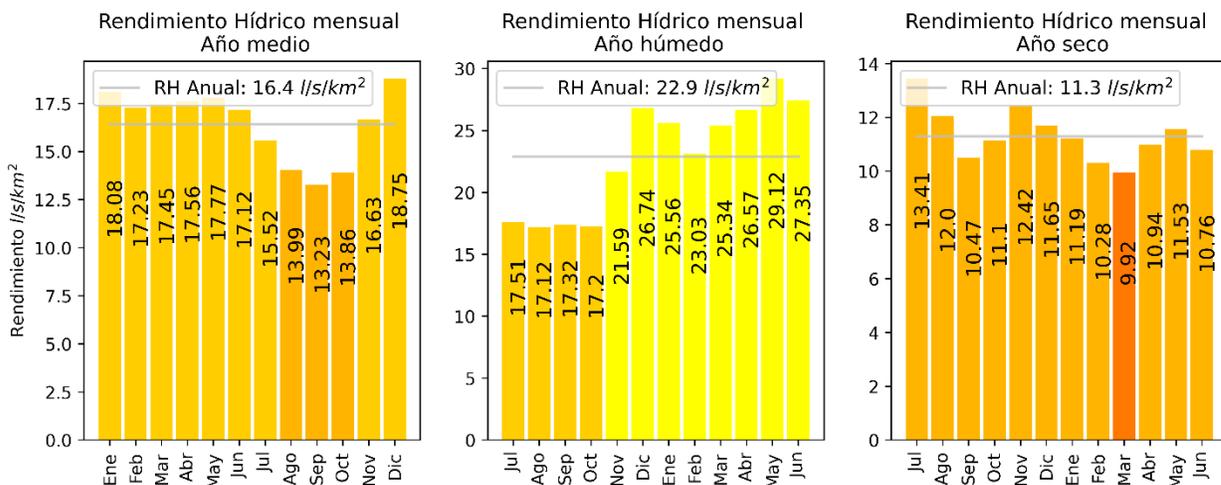


Figura 72. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 9

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 9
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4701861 m Y: 2056068 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la confluencia de la Quebrada La Florida hasta aguas arriba de la captación de la PCH El Bosque

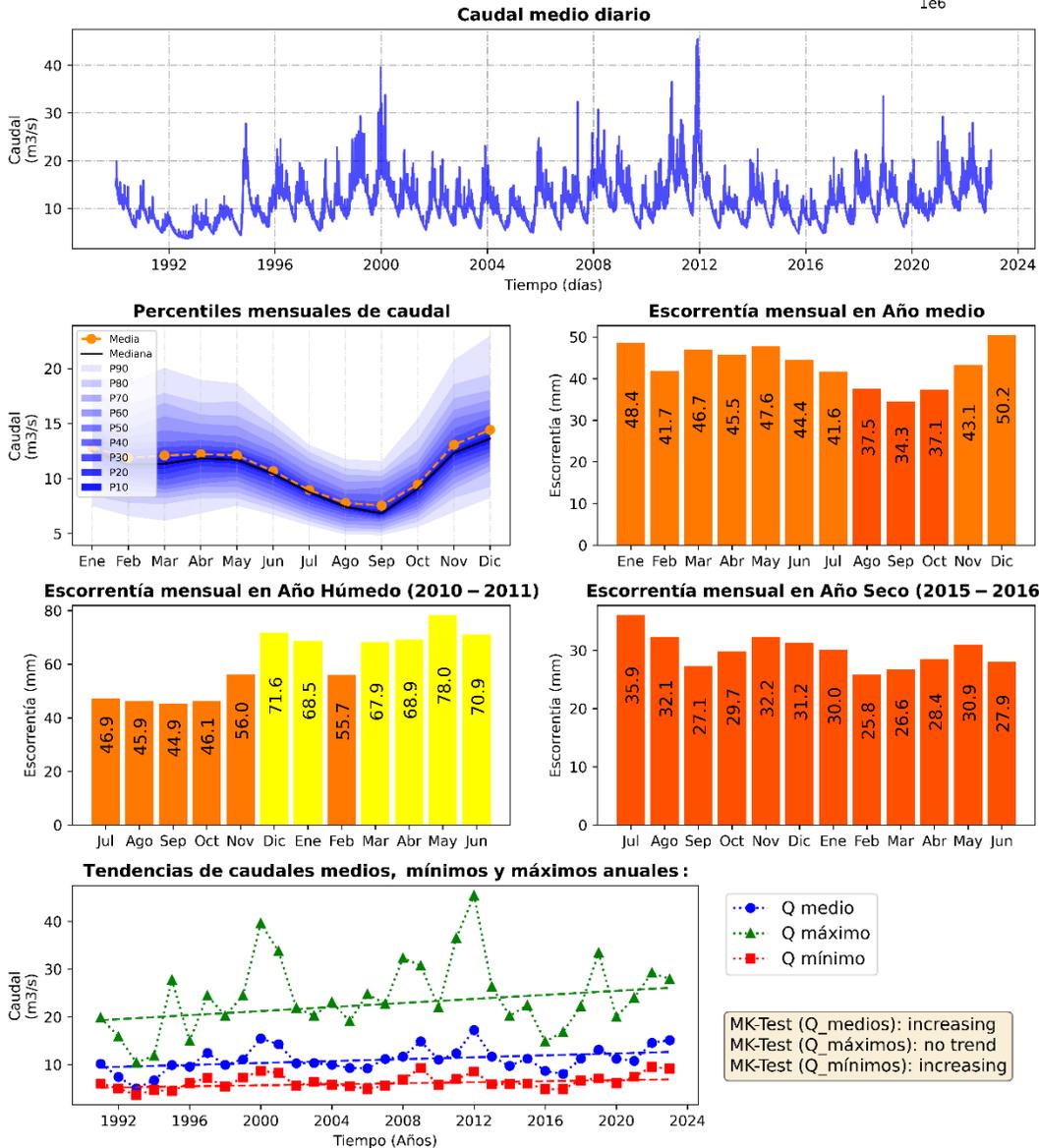
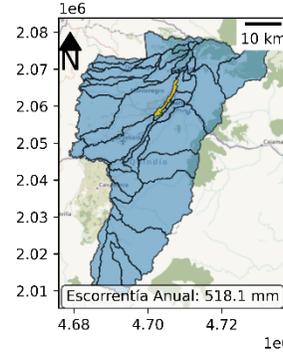


Figura 73. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 9

2.4.15. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 10

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 9.2, 13.8 y 7.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 106.6 % de aumento, un 159.0 % de aumento, y un 86.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 7.5, 7.2 y 5.2 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 86.9, 82.9 y 60.4 % con relación al valor medio anual (Figura 74). La esorrentía anual es de 273.4 mm, con valores máximos mensuales de 24.7, 36.9, y 20.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 75).

Tabla 36. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 10

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
11.10	7.05	4.04	16.32	7.05	9.27	7.81	6.18	1.63

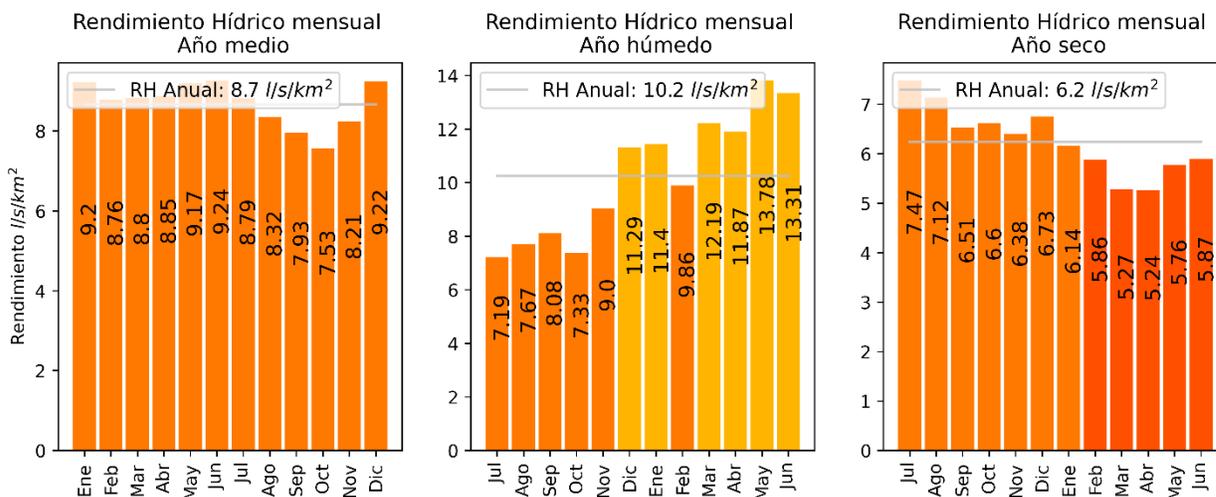


Figura 74. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 10

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 10
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4693400 m Y: 2044391 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la captación de la PCH El Bosque hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada El Pescador

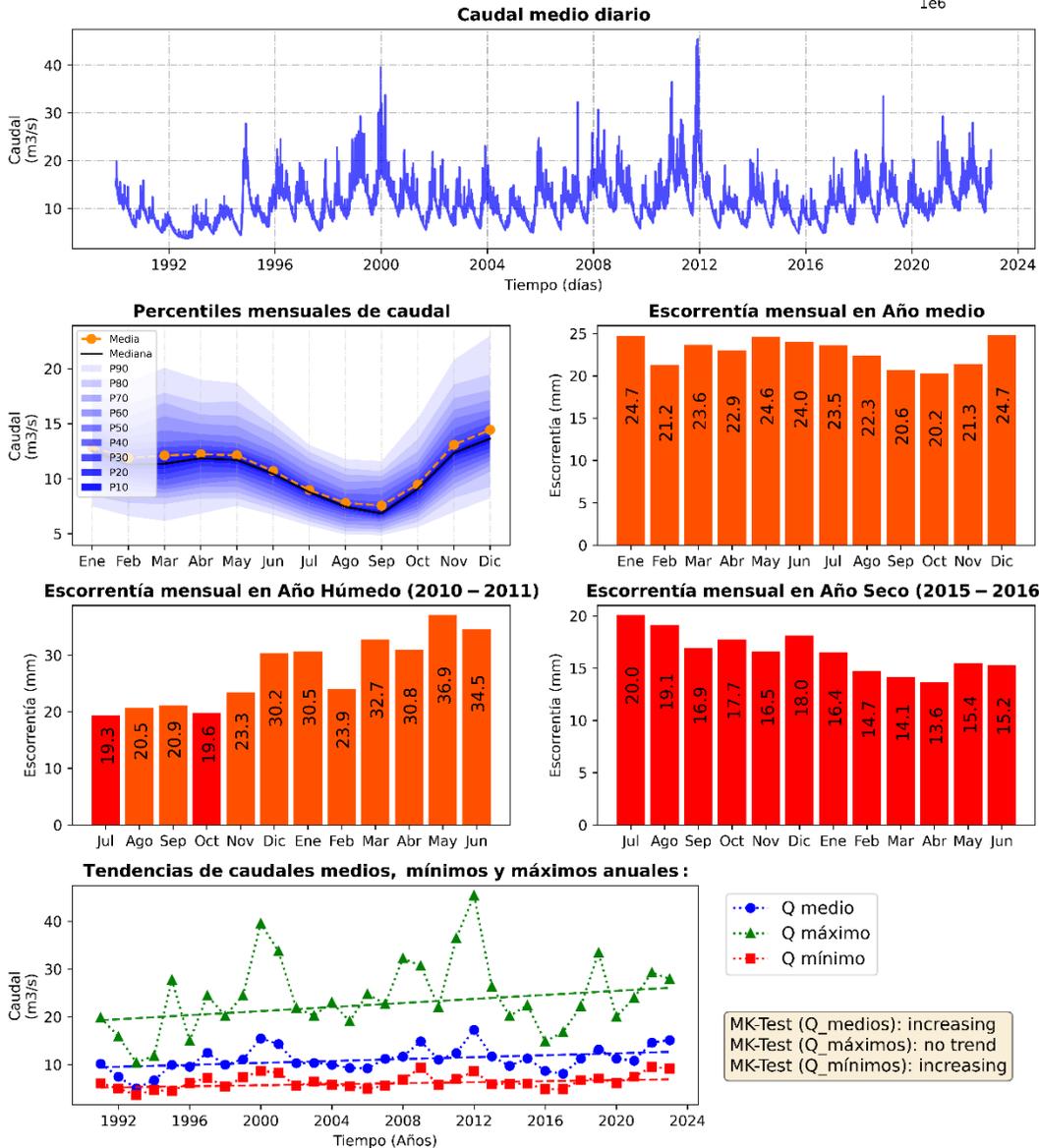
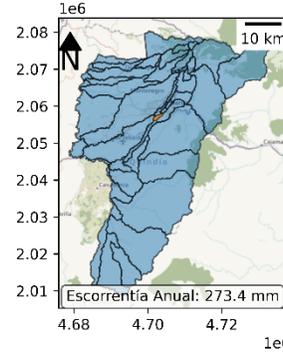


Figura 75. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 10

2.4.16. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 11

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 13.3, 21.5 y 9.3 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 120.1 % de aumento, un 193.8 % de aumento, y un 83.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 8.5, 9.9 y 6.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 76.3, 89.1 y 54.6 % con relación al valor medio anual (Figura 76). La esorrentía anual es de 349.6 mm, con valores máximos mensuales de 35.7, 57.6, y 24.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 77).

Tabla 37. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 11

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
11.40	7.29	4.11	16.74	7.29	9.46	8.02	6.42	1.60

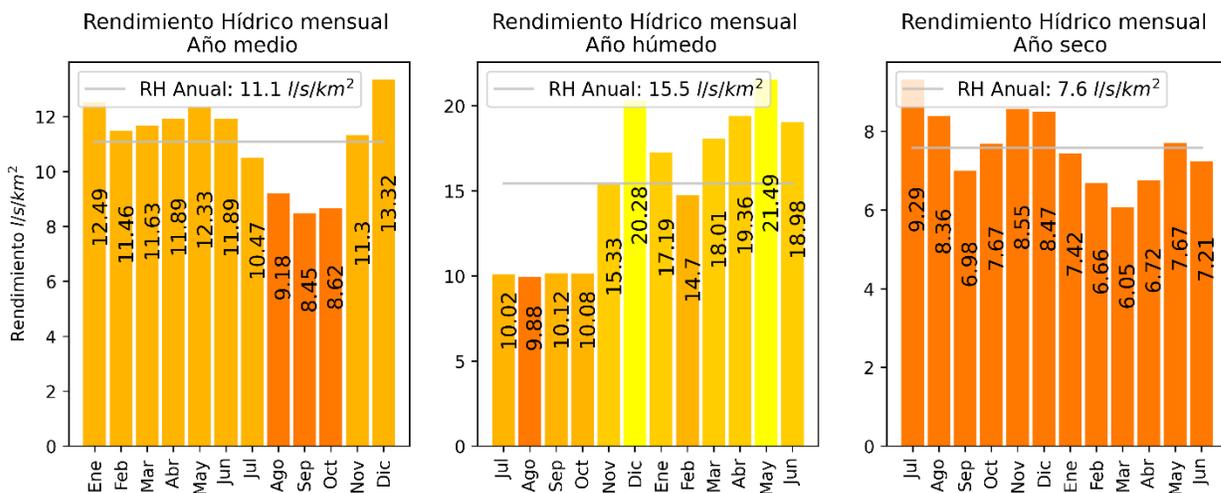


Figura 76. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 11

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 11
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4689385 m Y: 2044144 m

Descripción:
Desde aguas arriba de la confluencia de la Quebrada El Pescador hasta aguas arriba de la confluencia del río Verde

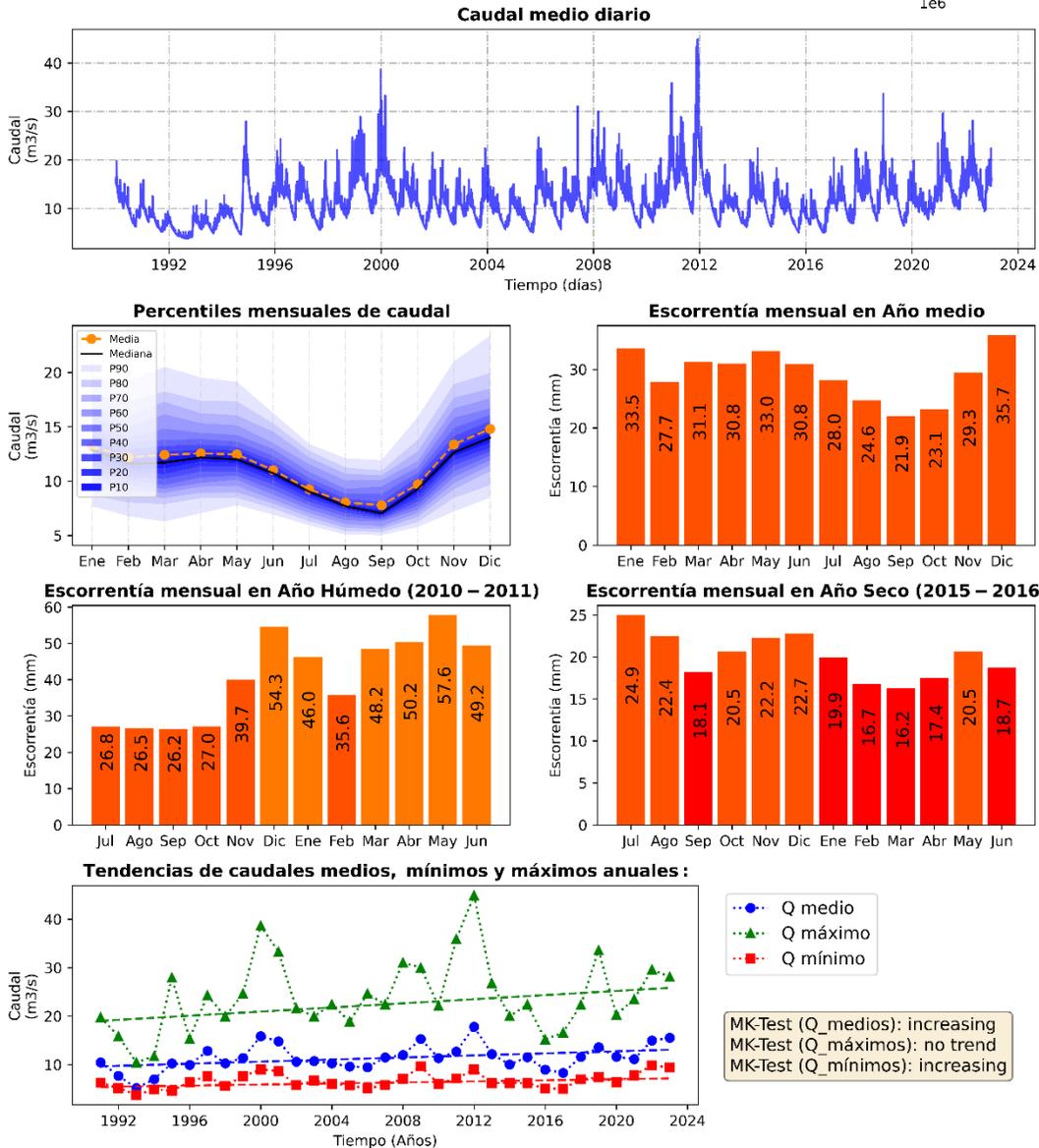
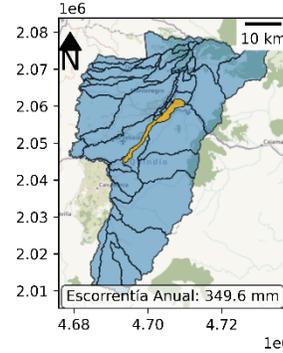


Figura 77. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 11

2.4.17. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Quindio Tramo 12

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 9.4, 14.1 y 6.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 117.5 % de aumento, un 175.4 % de aumento, y un 80.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 5.9, 5.2 y 4.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 73.7, 64.5 y 51.1 % con relación al valor medio anual (Figura 78). La esorrentía anual es de 253.2 mm, con valores máximos mensuales de 25.3, 37.7, y 17.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 79).

Tabla 38. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Quindio Tramo 12

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
18.98	11.53	7.45	29.00	11.53	17.47	12.52	9.97	2.55

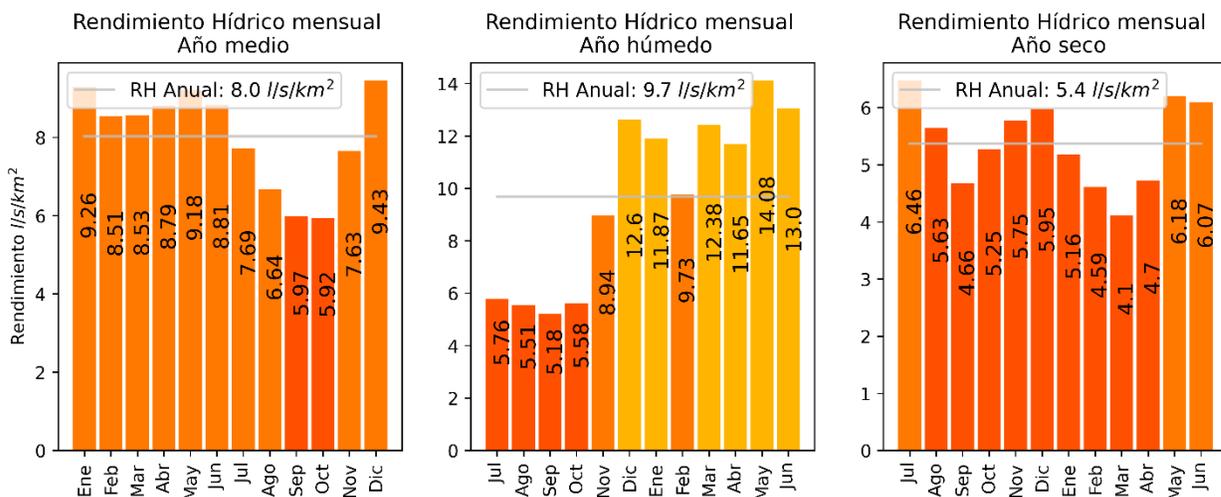


Figura 78. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Quindio Tramo 12

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tramo 12
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4697476 m Y: 2045349 m

Descripción:
Desde aguas abajo de la confluencia del
río Verde hasta aguas arriba de la
confluencia con el río Barragán

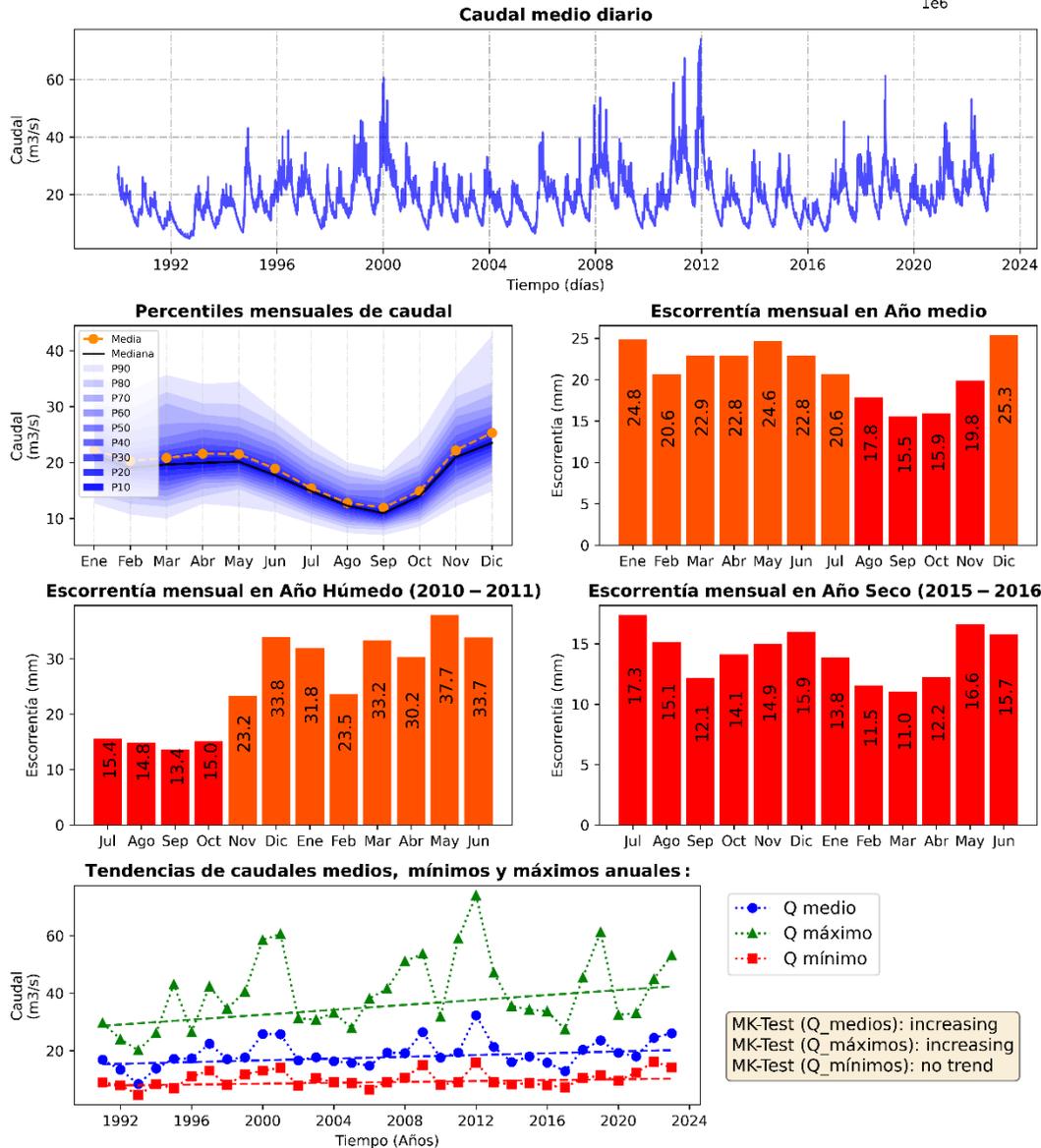
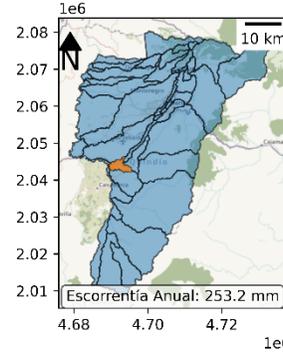


Figura 79. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Quindío Tramo 12

2.4.18. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Río Santo Domingo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 34.5, 68.3 y 19.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 137.9 % de aumento, un 273.2 % de aumento, y un 78.0 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.4, 18.1 y 9.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 57.5, 72.5 y 36.6 % con relación al valor medio anual (Figura 80). La escorrentía anual es de 787.9 mm, con valores máximos mensuales de 92.3, 182.8, y 51.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 81).

Tabla 39. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Río Santo Domingo

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
3.88	2.01	1.87	6.53	2.01	4.52	2.30	1.69	0.61

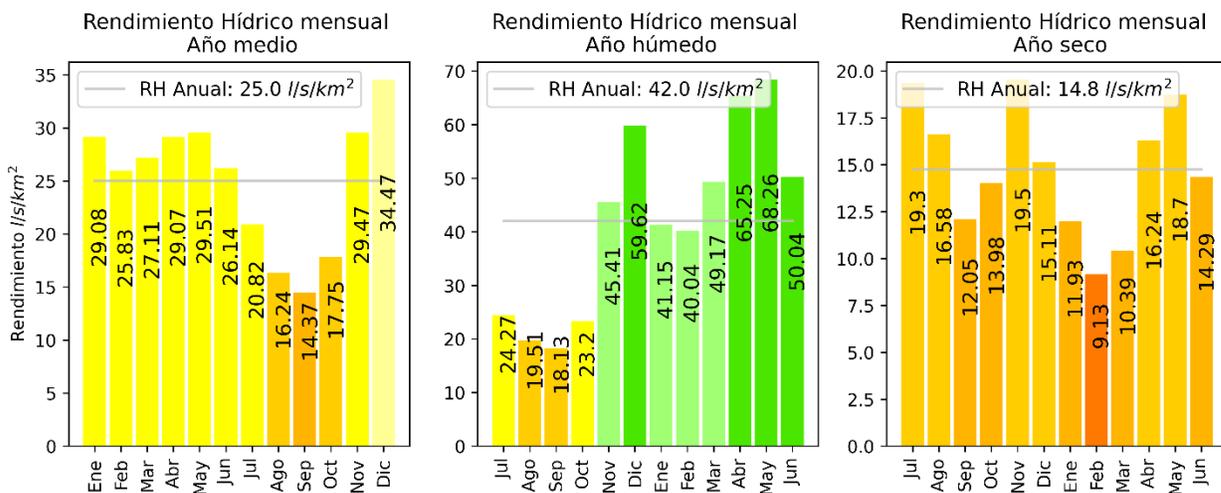


Figura 80. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Santo Domingo

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Río Santo Domingo
 Punto Cierre en Modelo (CTM12):
 X: 4697505 m Y: 2045287 m

Descripción:
 Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Verde

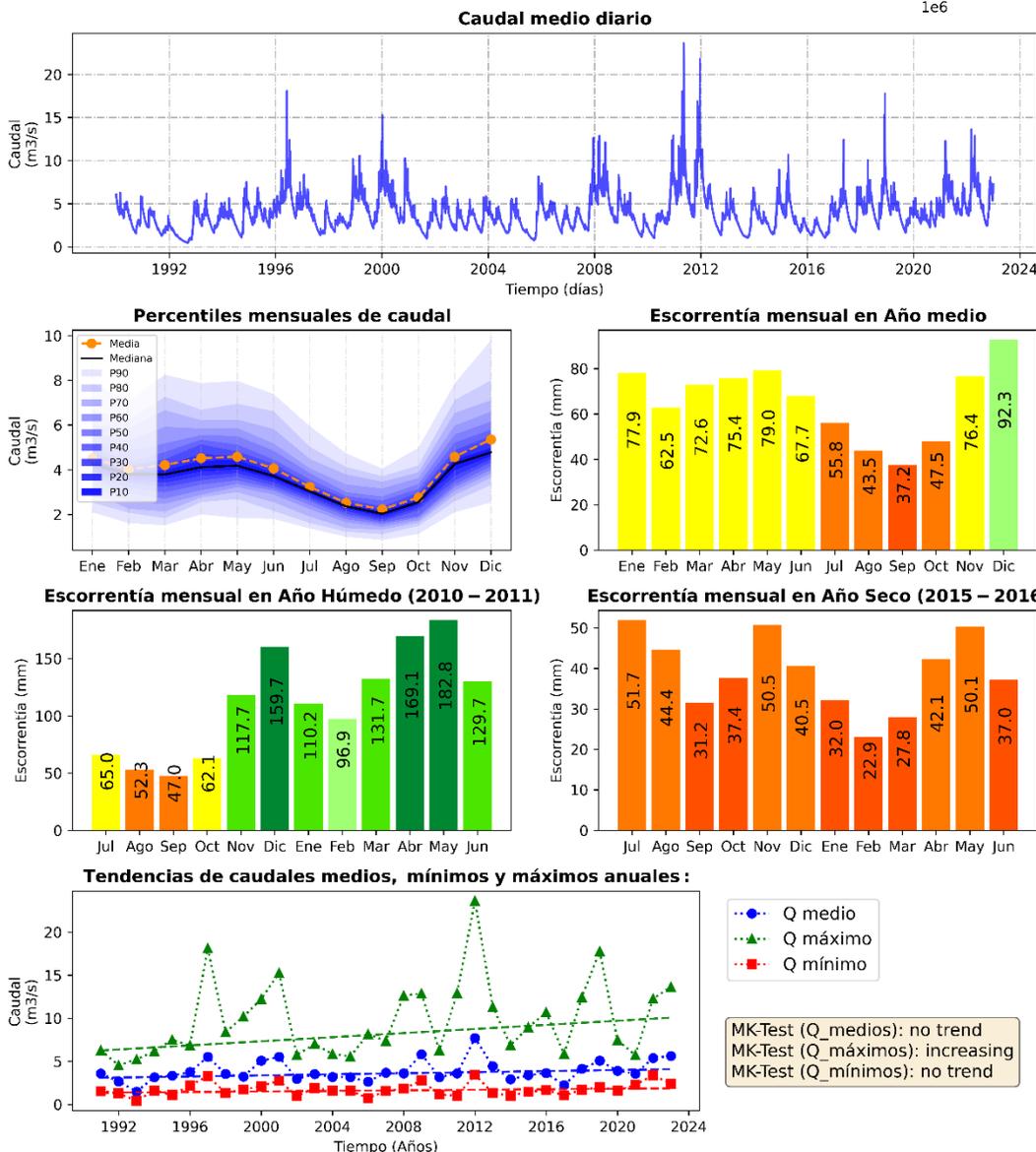
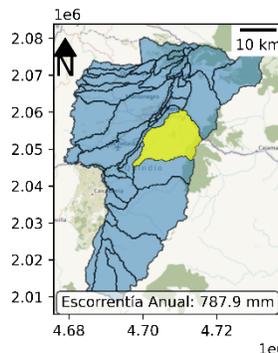


Figura 81. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Santo Domingo

2.4.19. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Verde Tramo 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 44.9, 78.1 y 26.6 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 140.8 % de aumento, un 244.9 % de aumento, y un 83.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 15.8, 16.8 y 11.0 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 49.6, 52.7 y 34.4 % con relación al valor medio anual (Figura 82). La escorrentía anual es de 1,004.9 mm, con valores máximos mensuales de 120.3, 209.1, y 71.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 83).

Tabla 40. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Verde Tramo 1

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
3.26	1.61	1.65	5.20	1.61	3.59	1.90	1.32	0.58

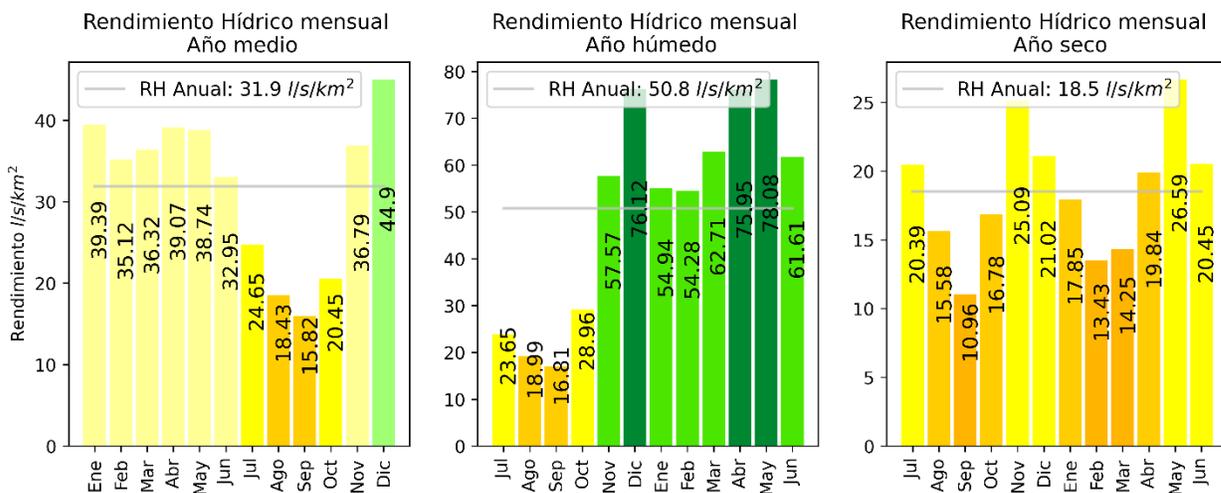


Figura 82. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Verde Tramo 1

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Verde Tramo 1
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4693401 m Y: 2044330 m

Descripción:
Desde su nacimiento hasta aguas arriba de
su confluencia con el río Santo Domingo

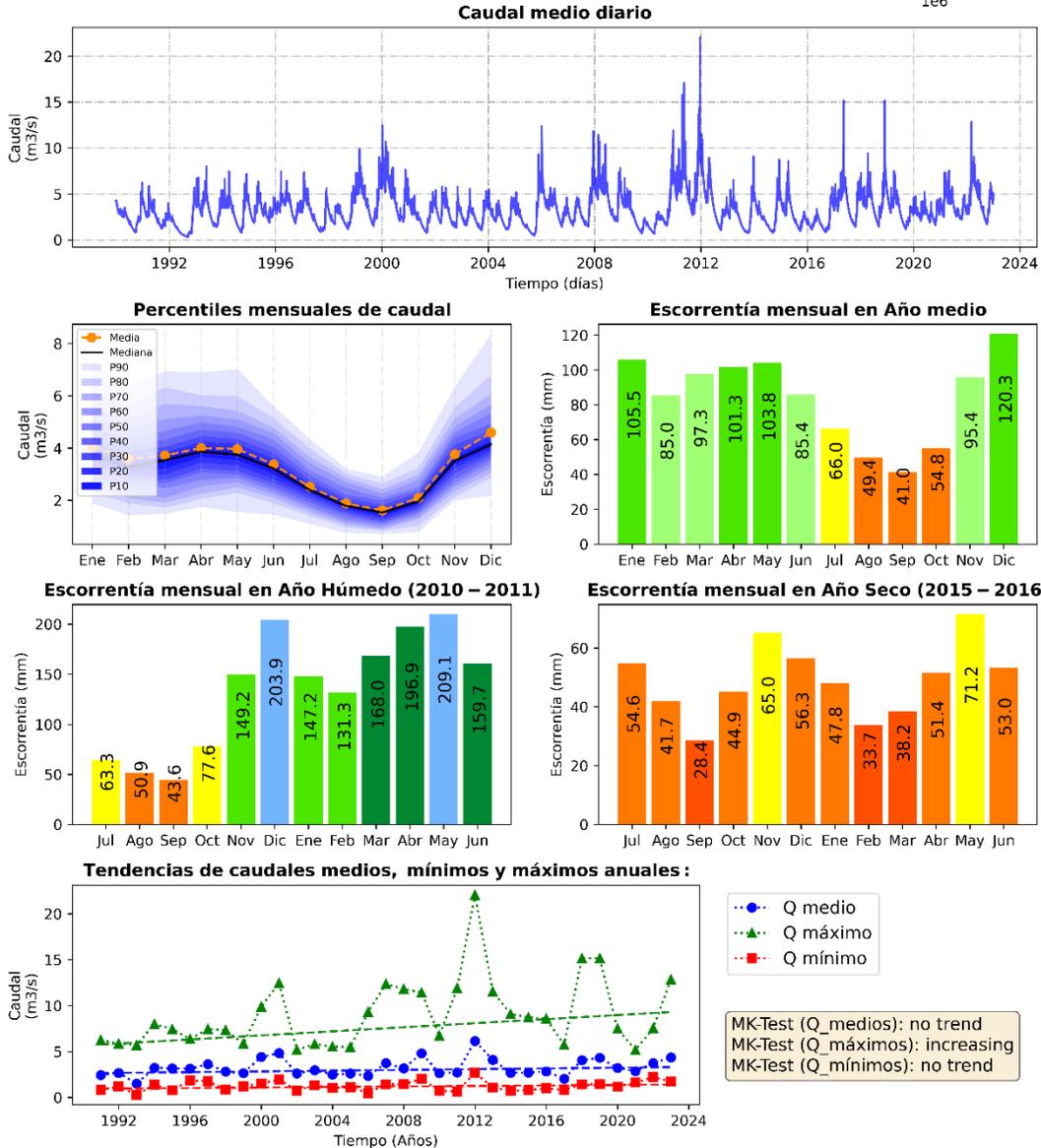
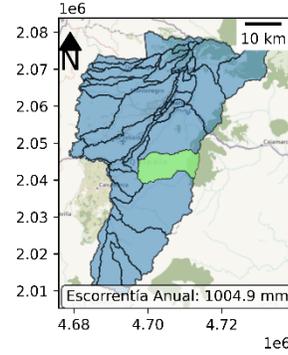


Figura 83. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Verde Tramo 1

2.4.20. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Verde Tramo 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 18.7, 27.4 y 13.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 122.4 % de aumento, un 179.7 % de aumento, y un 90.7 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 10.3, 8.4 y 8.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 67.8, 55.0 y 56.8 % con relación al valor medio anual (Figura 84). La escorrentía anual es de 480.6 mm, con valores máximos mensuales de 50.0, 73.4, y 37.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 85).

Tabla 41. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Verde Tramo 2

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
7.48	3.90	3.58	12.14	3.90	8.23	4.44	3.23	1.21

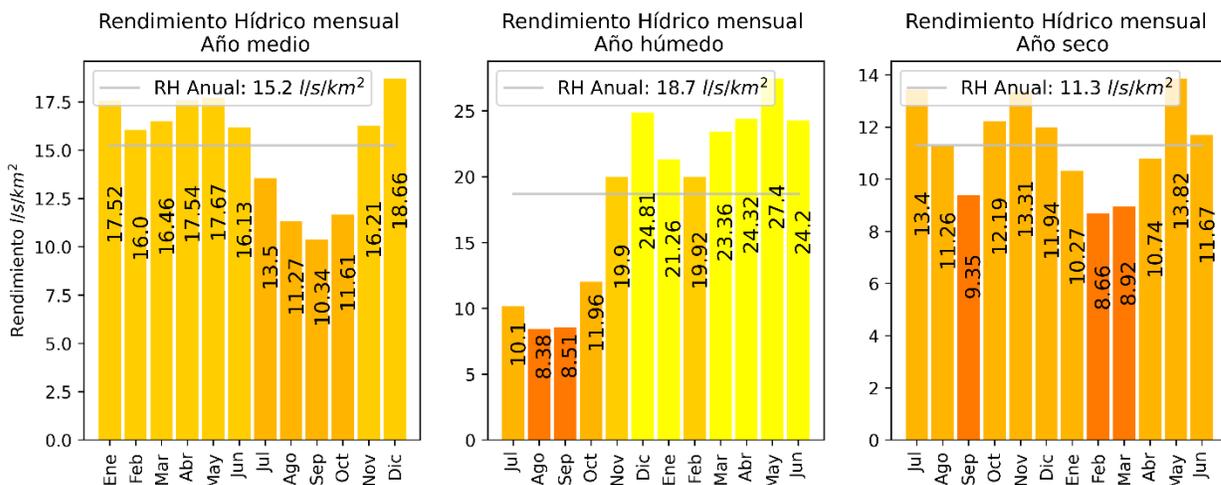


Figura 84. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Verde Tramo 2

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Verde Tramo 2
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4691269 m Y: 2025278 m

Descripción:
Desde aguas abajo de su confluencia con el río Santo Domingo hasta aguas arriba de su confluencia con el río Quindío

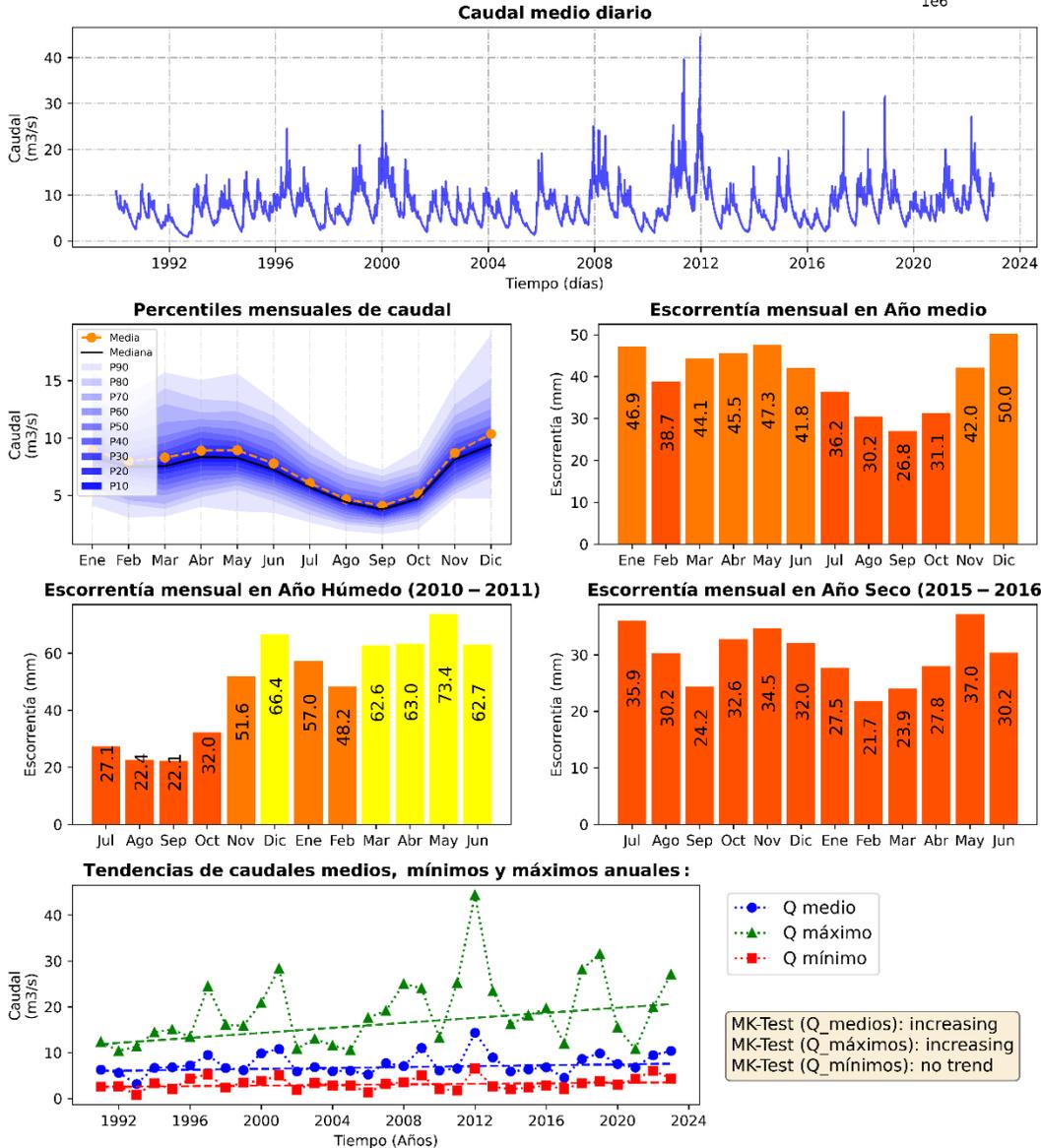
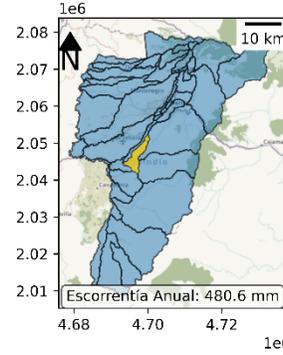


Figura 85. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Verde Tramo 2

2.4.21. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio San Juan

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 49.0, 103.8 y 41.0 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 125.3 % de aumento, un 265.3 % de aumento, y un 104.9 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 24.4, 33.3 y 9.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.4, 85.1 y 25.1 % con relación al valor medio anual (Figura 86). La escorrentía anual es de 1,233.6 mm, con valores máximos mensuales de 131.3, 274.3, y 109.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 87).

Tabla 42. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio San Juan

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
4.49	2.60	1.88	7.57	2.60	4.97	2.44	1.34	1.10

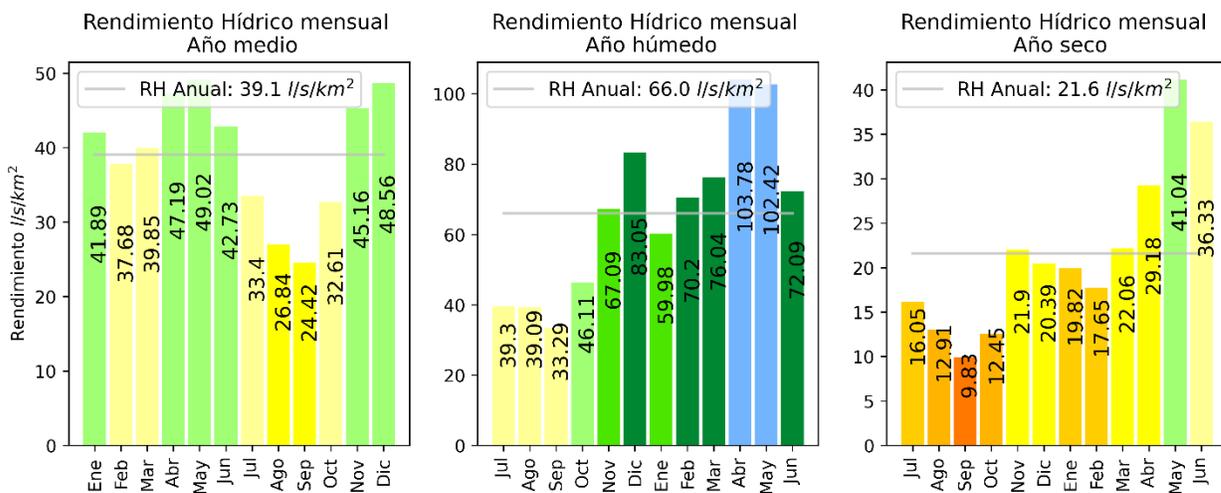


Figura 86. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio San Juan

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Río San Juan
 Punto Cierre en Modelo (CTM12):
 X: 4690063 m Y: 2023266 m

Descripción:
 Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Rojo

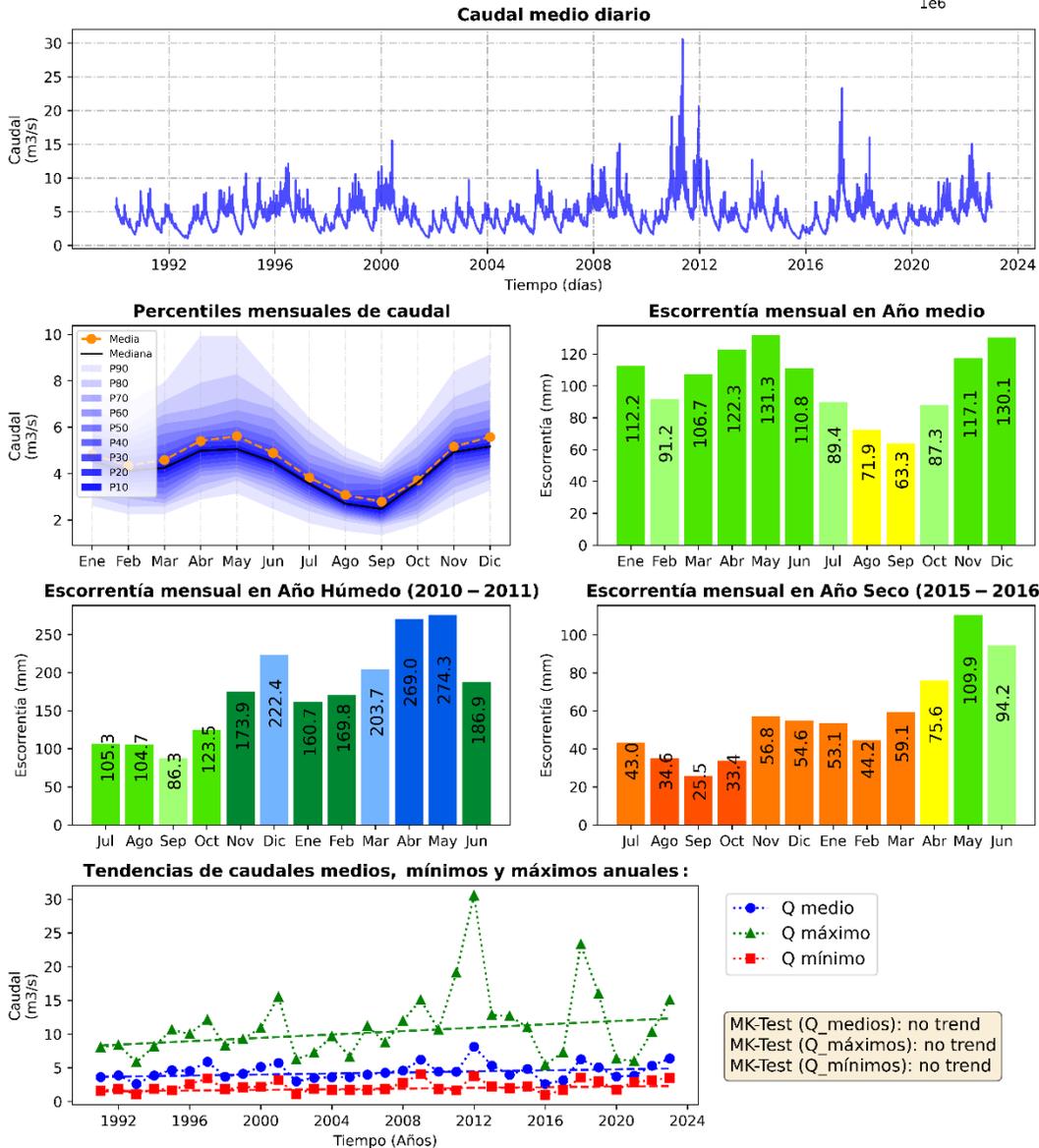
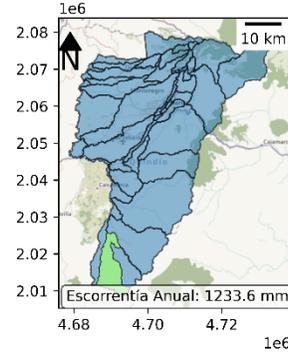


Figura 87. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río San Juan

2.4.22. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Gris

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 46.9, 99.1 y 37.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 124.8 % de aumento, un 263.5 % de aumento, y un 99.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.4, 31.2 y 9.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.2, 82.9 y 24.1 % con relación al valor medio anual (Figura 88). La escorrentía anual es de 1,186.1 mm, con valores máximos mensuales de 125.7, 260.4, y 100.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 89).

Tabla 43. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Gris

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
1.66	0.97	0.70	2.80	0.97	1.84	0.88	0.48	0.40

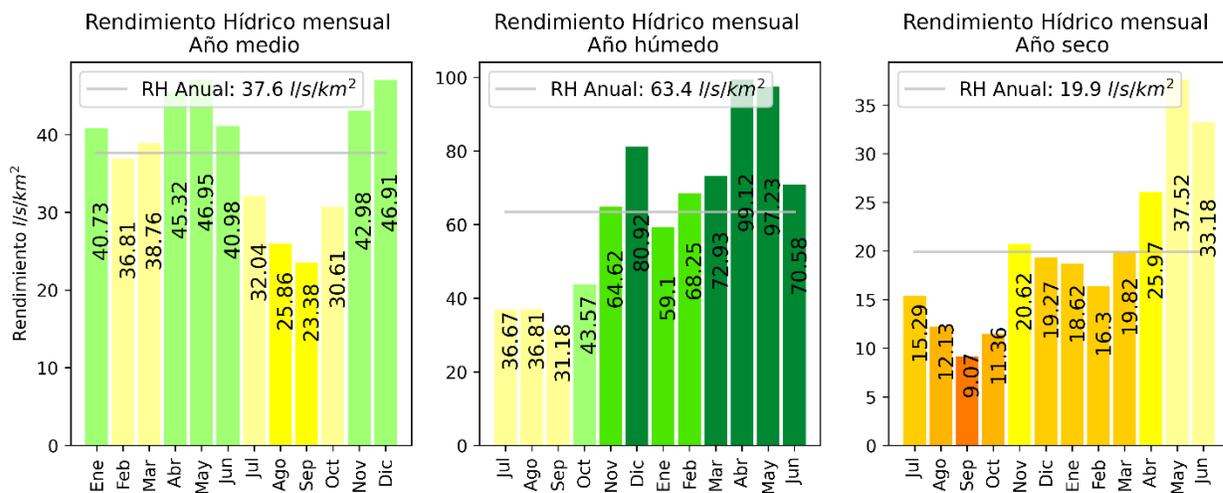
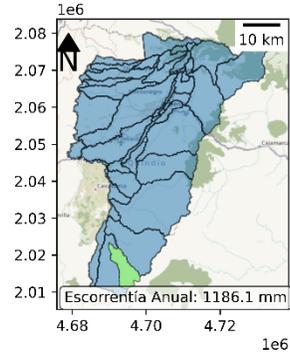


Figura 88. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Gris

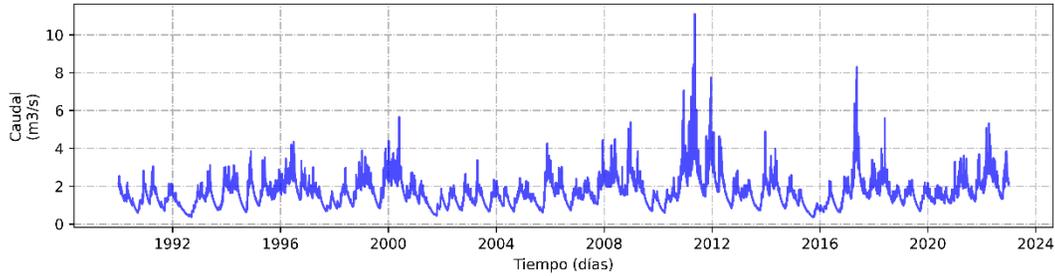
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Río Gris
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4689725 m Y: 2030314 m

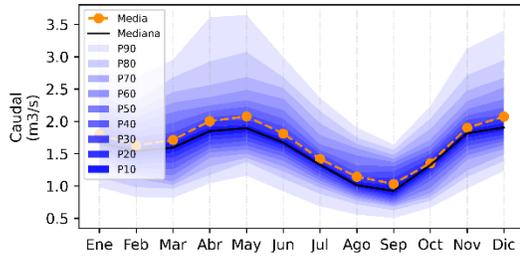
Descripción:
Desde su nacimiento hasta aguas arriba de
su confluencia con el río San Juan



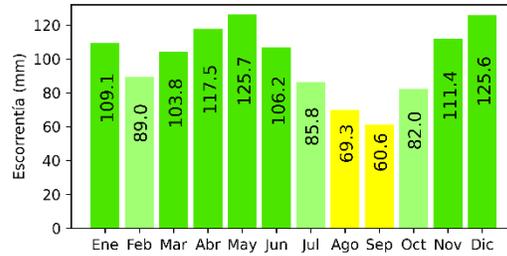
Caudal medio diario



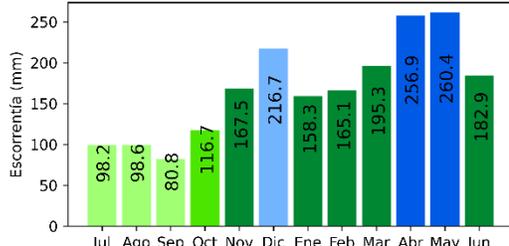
Percentiles mensuales de caudal



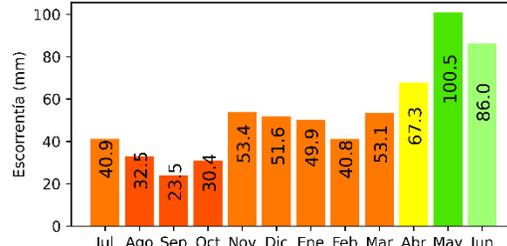
Escorrentía mensual en Año medio



Escorrentía mensual en Año Húmedo (2010 - 2011)



Escorrentía mensual en Año Seco (2015 - 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales:

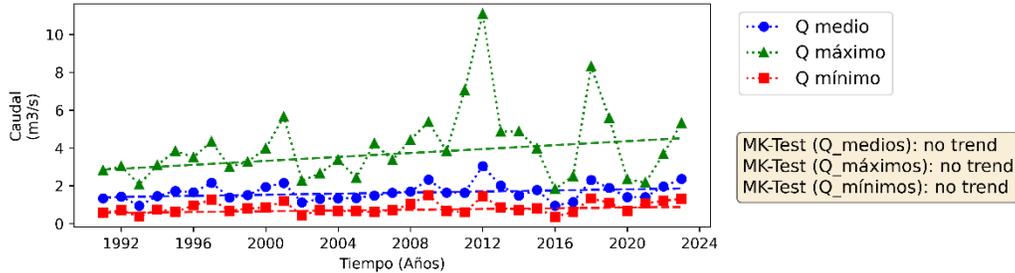


Figura 89. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Gris

2.4.23. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Río Rojo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 47.4, 96.0 y 32.3 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 132.1 % de aumento, un 267.6 % de aumento, y un 90.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.1, 26.7 y 6.9 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 55.9, 74.4 y 19.2 % con relación al valor medio anual (Figura 90). La escorrentía anual es de 1,131.1 mm, con valores máximos mensuales de 126.9, 250.5, y 86.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 91).

Tabla 44. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Río Rojo

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
9.07	5.08	3.99	15.47	5.08	10.39	4.66	2.49	2.17

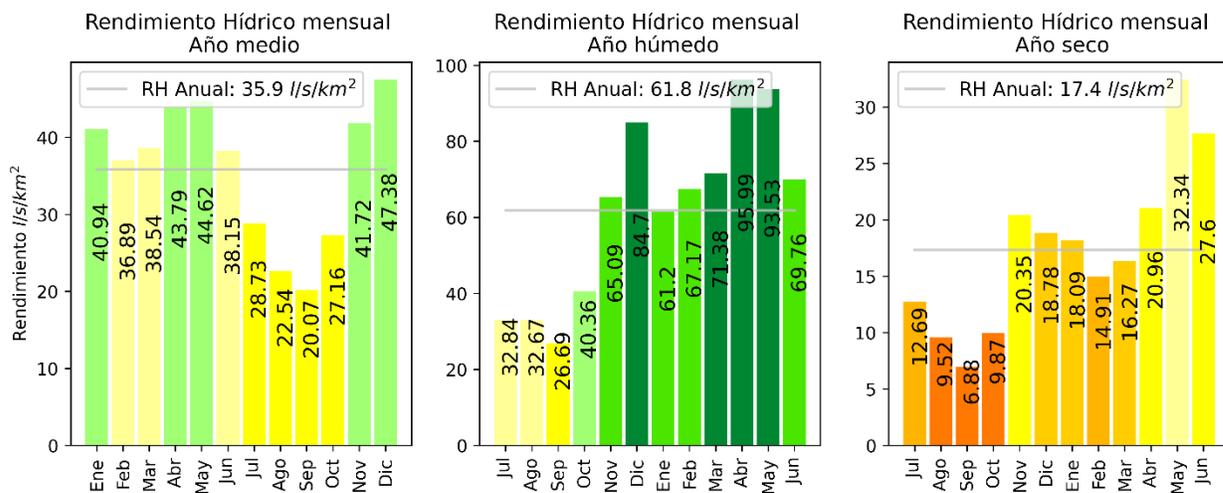


Figura 90. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Rojo

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Rojo
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4685662 m Y: 2021014 m

Descripción:
Desde su nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Barragán

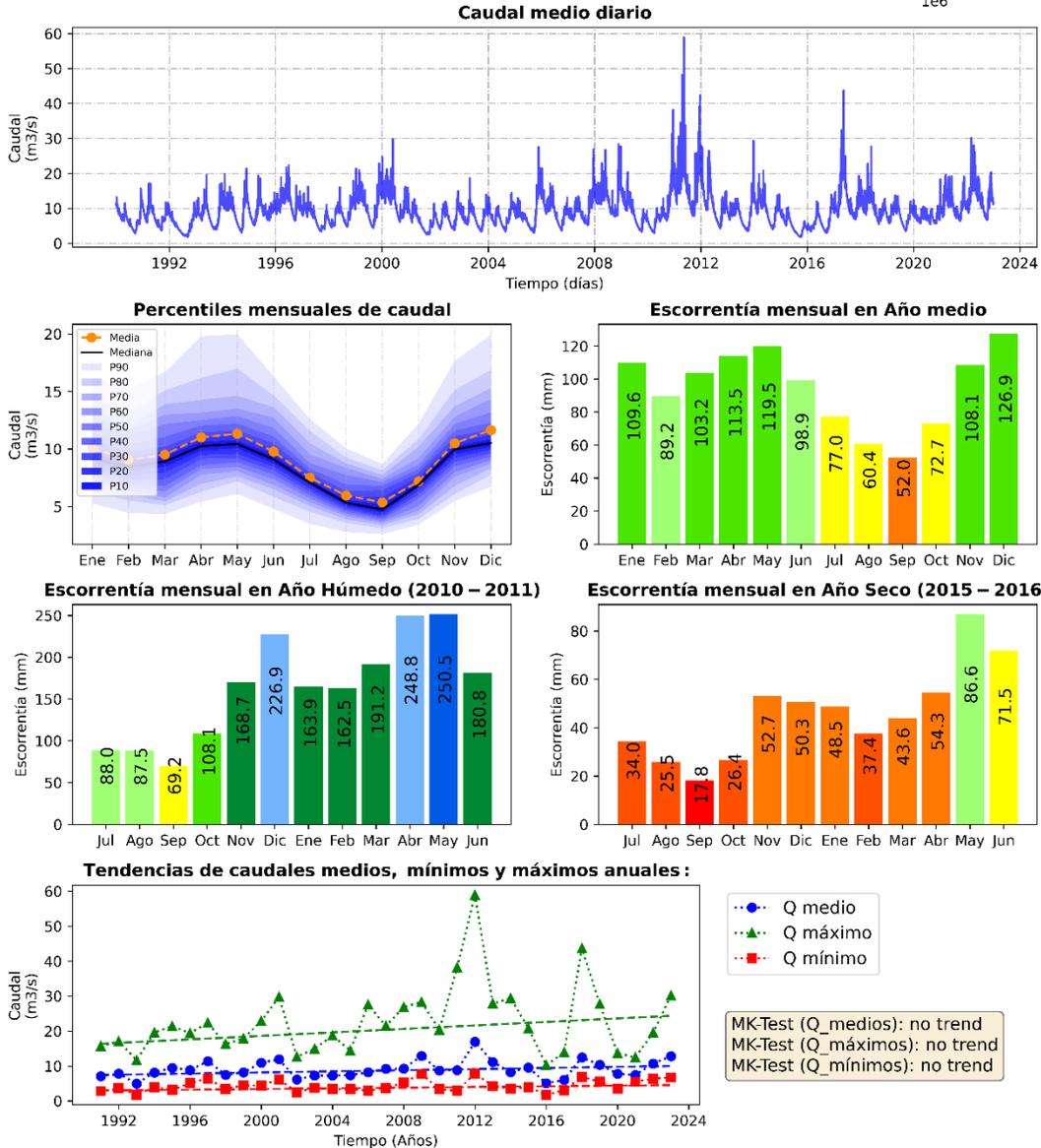
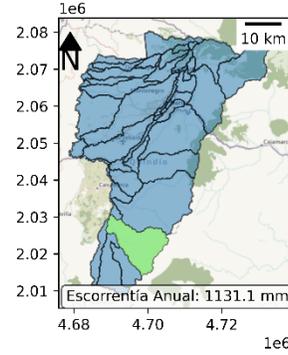


Figura 91. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Rojo

2.4.24. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Buenavista Tramo 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 47.5, 76.3 y 33.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 134.8 % de aumento, un 216.3 % de aumento, y un 95.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.3, 34.8 y 14.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 66.1, 98.7 y 41.9 % con relación al valor medio anual (Figura 92). La escorrentía anual es de 1,112.3 mm, con valores máximos mensuales de 127.3, 204.4, y 89.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 93).

Tabla 45. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Quebrada Buenavista Tramo 1

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.48	0.30	0.18	0.70	0.30	0.41	0.34	0.24	0.10

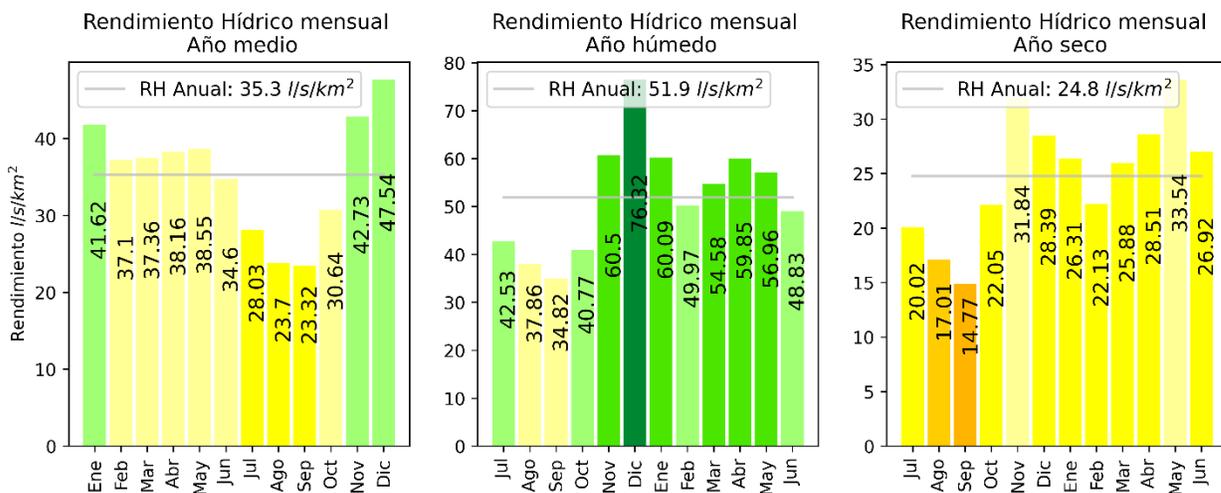


Figura 92. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Buenavista Tramo 1

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Quebrada Buenavista T 1
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4683671 m Y: 2069530 m

Descripción:
Desde su nacimiento hasta aguas arriba de
la Captación "Bocatoma Quimbaya, EPQ"

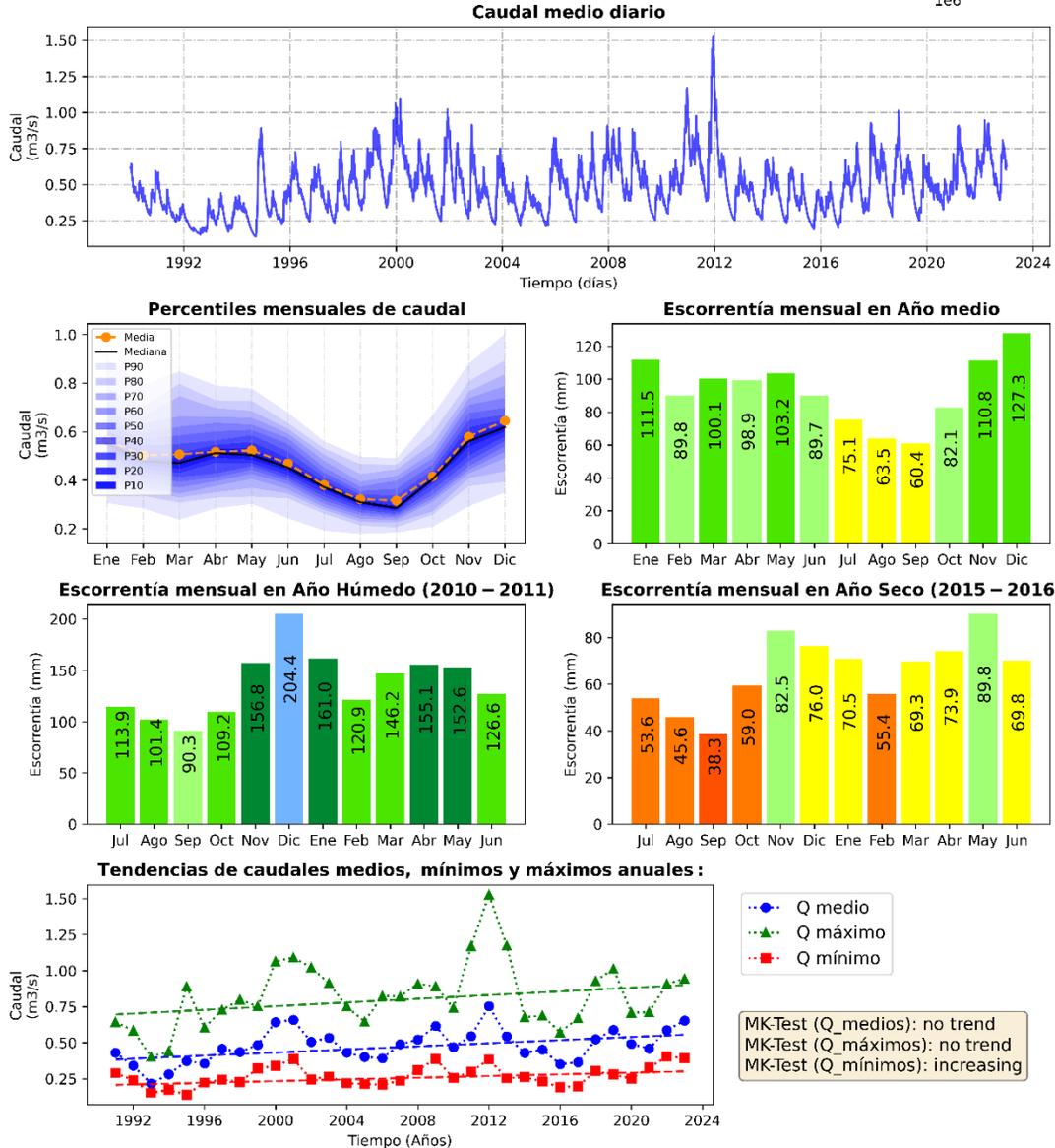
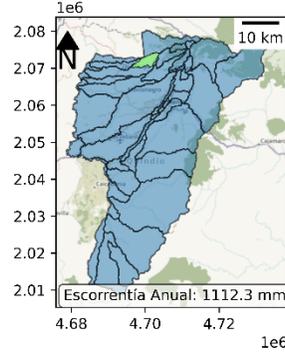


Figura 93. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Buenavista Tramo 1

2.4.25. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Buenavista Tramo 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 50.1, 78.0 y 37.9 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 125.5 % de aumento, un 195.1 % de aumento, y un 94.7 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 29.1, 38.8 y 18.9 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 72.8, 97.0 y 47.2 % con relación al valor medio anual (Figura 94). La escorrentía anual es de 1,260.3 mm, con valores máximos mensuales de 134.3, 208.9, y 101.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 95).

Tabla 46. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Quebrada Buenavista Tramo 2

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
1.70	1.14	0.56	2.38	1.14	1.24	1.18	0.92	0.25

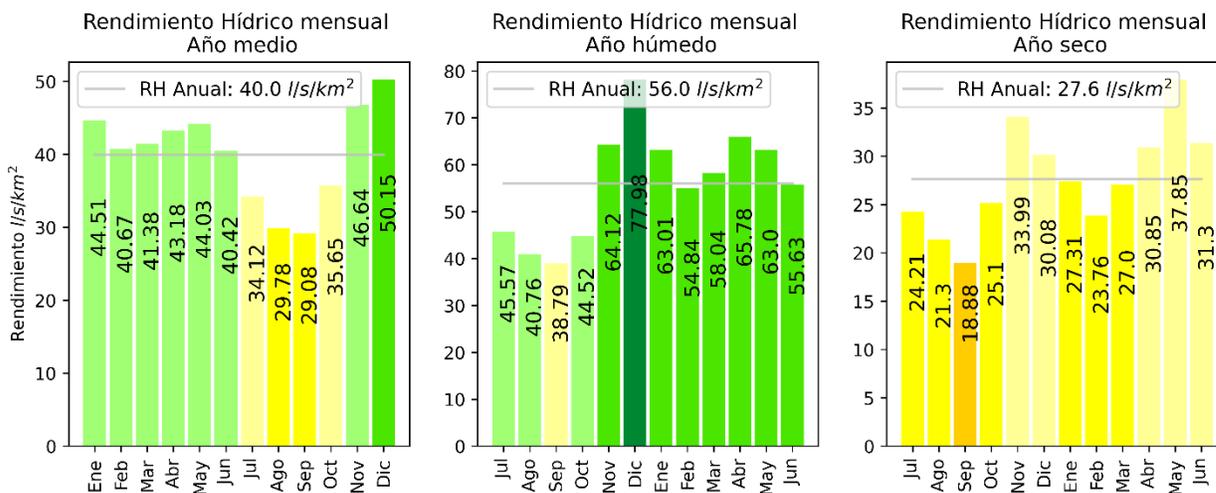


Figura 94. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Buenavista Tramo 2

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Quebrada Buenavista T 2
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4682715 m Y: 2066965 m

Descripción:
Desde aguas abajo de la captación "Bocatoma Quimbaya, EPO" hasta antes de su confluencia con el río La Vieja

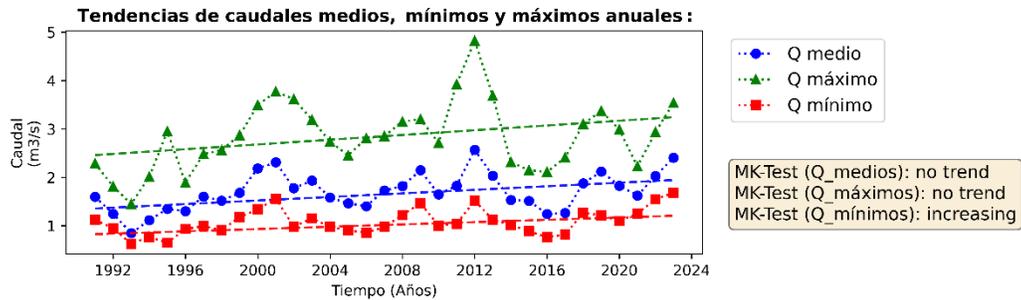
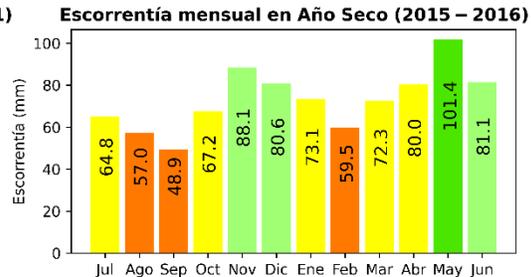
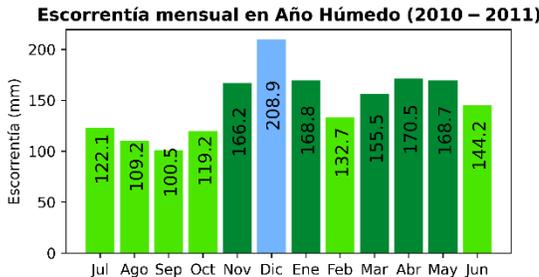
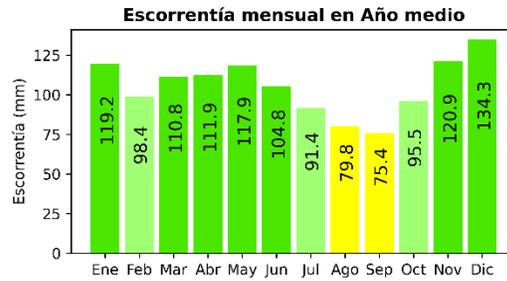
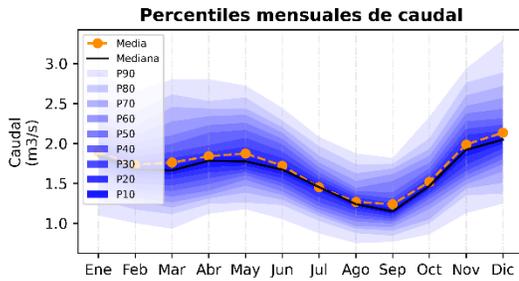
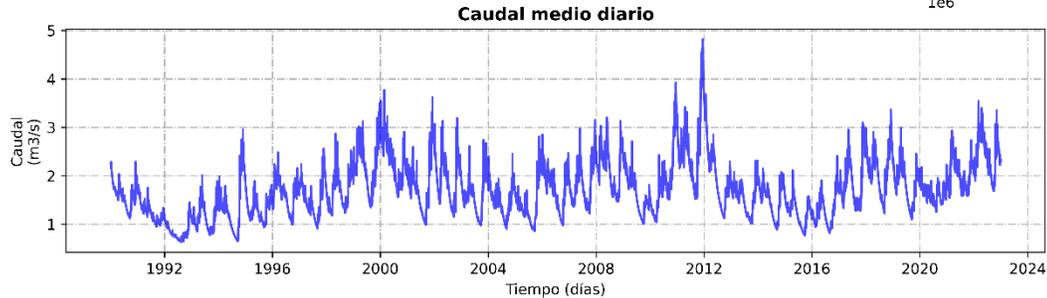
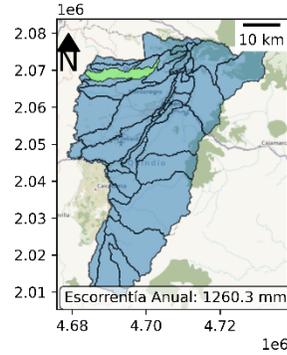


Figura 95. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Buenavista Tramo 2

2.4.26. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada La Tigra

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 27.6, 39.2 y 22.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 114.3 % de aumento, un 162.4 % de aumento, y un 93.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.0, 23.2 y 13.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 83.0, 96.0 y 56.8 % con relación al valor medio anual (Figura 96). La escorrentía anual es de 761.2 mm, con valores máximos mensuales de 73.9, 105.0, y 60.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 97).

Tabla 47. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Quebrada La Tigra

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.40	0.30	0.10	0.52	0.30	0.22	0.28	0.24	0.04

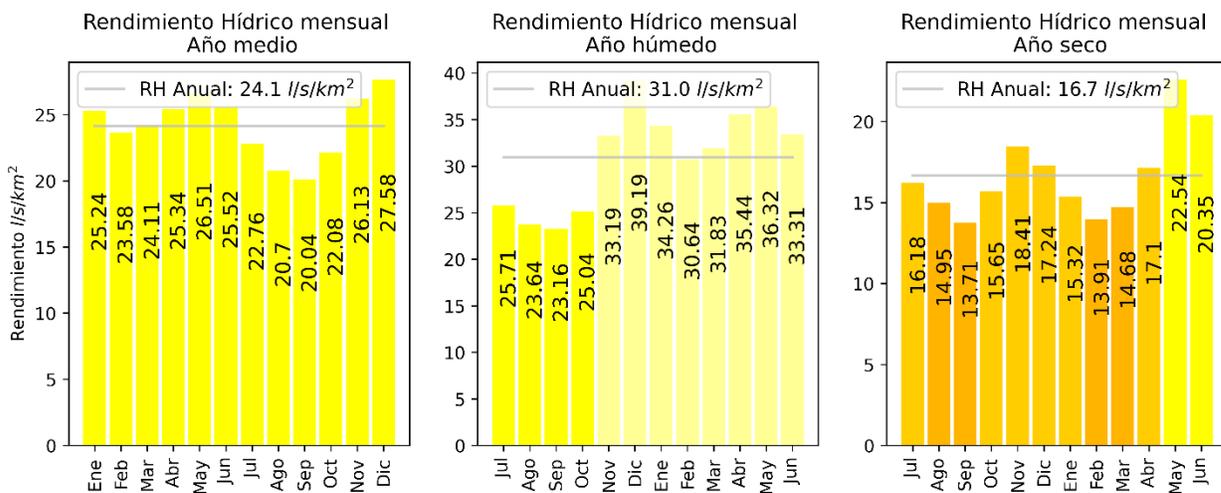


Figura 96. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada La Tigra

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis : Quebrada La Tigrera
 Punto Cierre en Modelo (CTM12): X: 4684876 m Y: 2071600 m

Descripción: Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río La Vieja

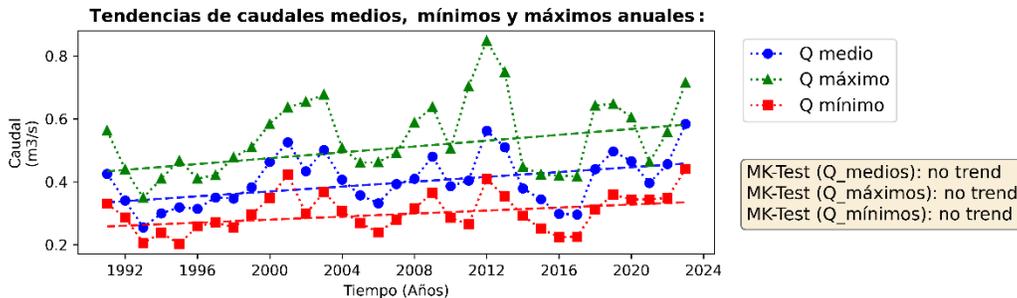
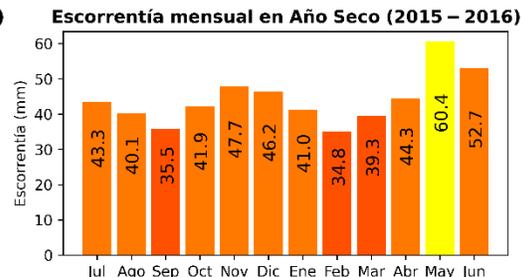
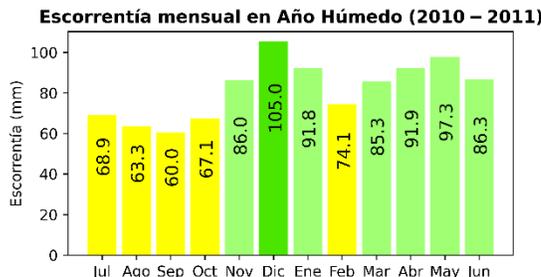
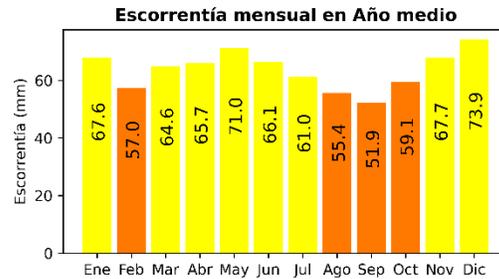
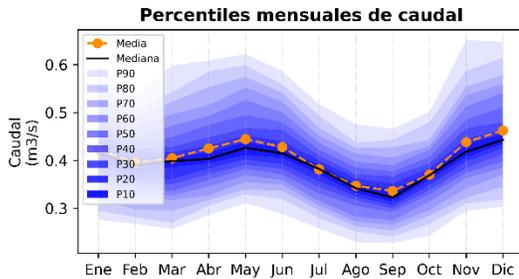
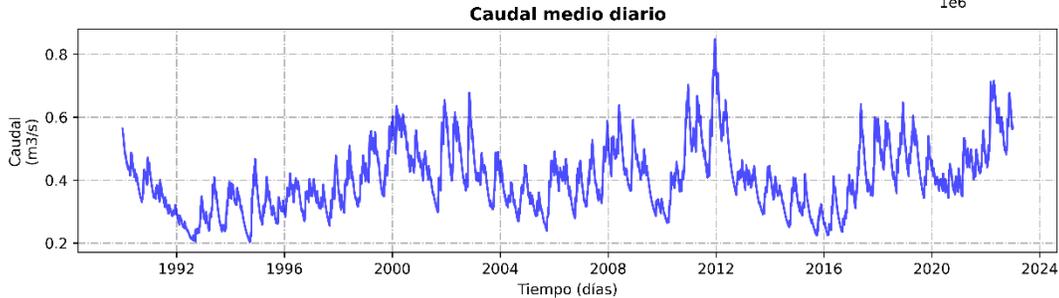
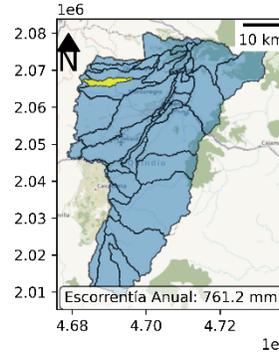


Figura 97. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada La Tigrera

2.4.27. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Campo Alegre

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 32.7, 48.7 y 26.4 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 118.3 % de aumento, un 175.9 % de aumento, y un 95.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 21.9, 27.2 y 14.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.0, 98.4 y 53.2 % con relación al valor medio anual (Figura 98). La escorrentía anual es de 872.3 mm, con valores máximos mensuales de 87.7, 130.3, y 70.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 99).

Tabla 48. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Quebrada Campo Alegre

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.54	0.38	0.15	0.72	0.38	0.34	0.38	0.31	0.07

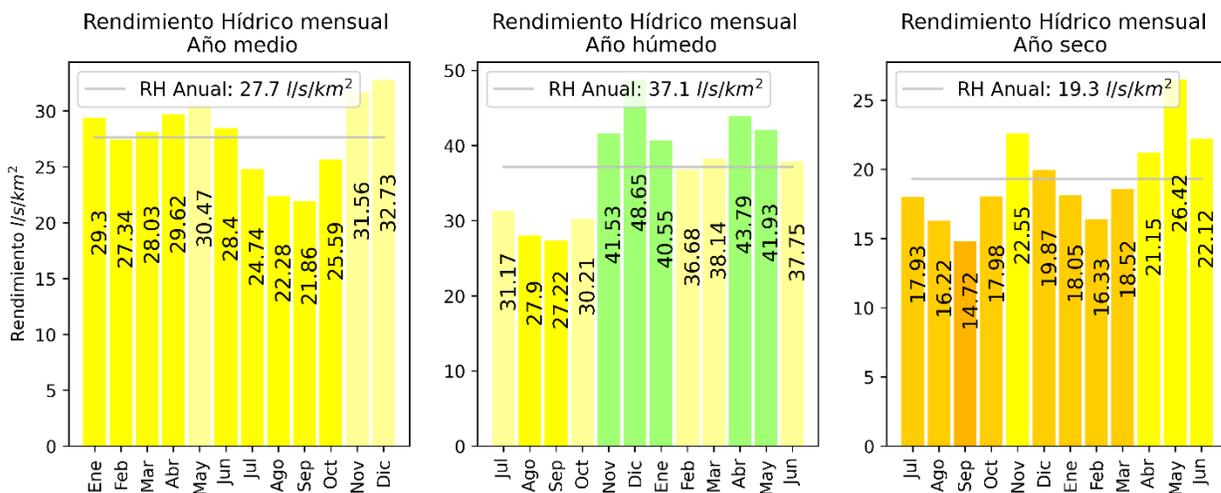


Figura 98. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Campo Alegre

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Quebrada Campo Alegre
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4706585 m Y: 2074317 m

Descripción:
Desde su nacimiento hasta antes de su
confluencia con el río La Vieja

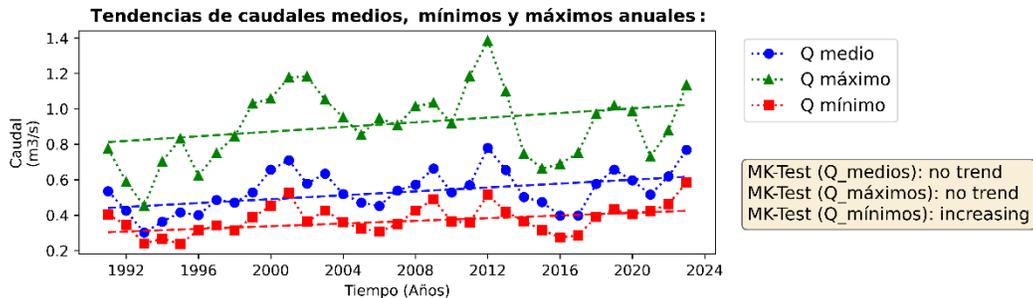
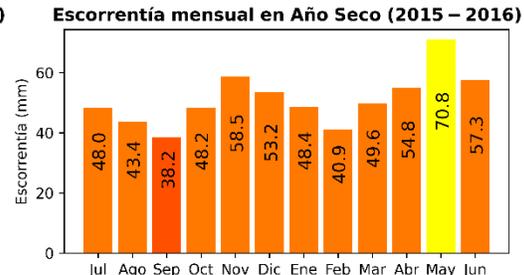
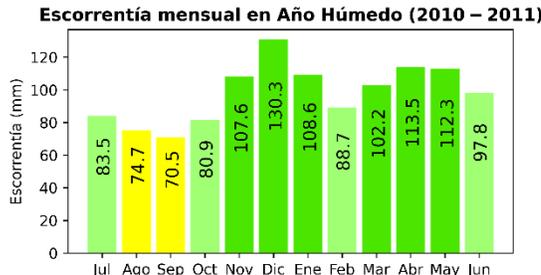
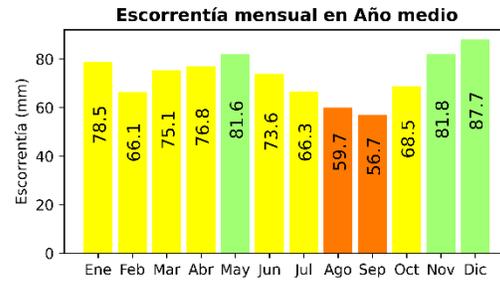
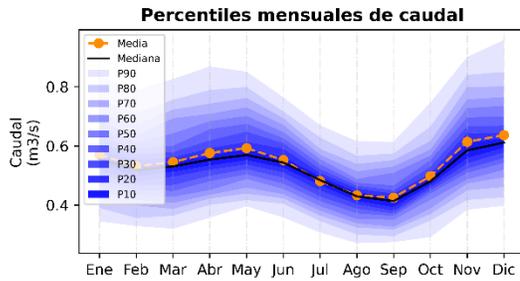
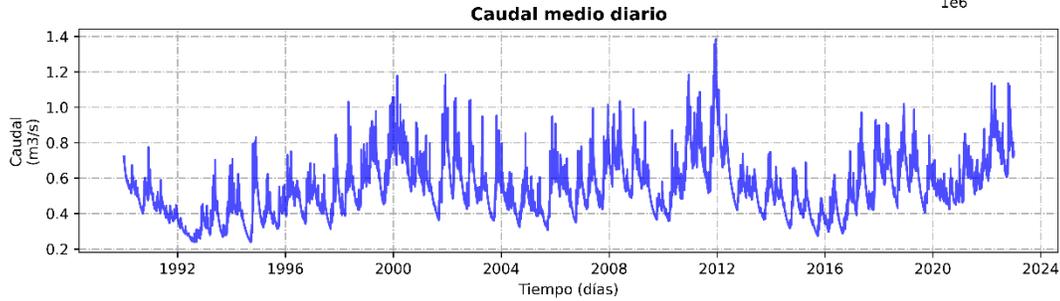
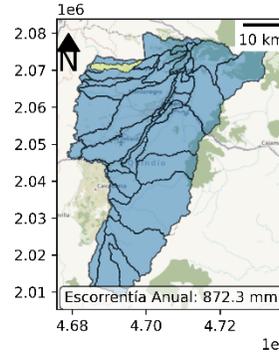


Figura 99. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Campo Alegre

2.4.28. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 65.0, 101.3 y 46.7 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 143.0 % de aumento, un 223.0 % de aumento, y un 102.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 28.1, 44.1 y 15.9 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.0, 97.0 y 35.0 % con relación al valor medio anual (Figura 100). La escorrentía anual es de 1,432.4 mm, con valores máximos mensuales de 174.0, 271.4, y 120.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 101).

Tabla 49. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Roble Tramo 1

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.31	0.17	0.13	0.44	0.17	0.27	0.21	0.13	0.08

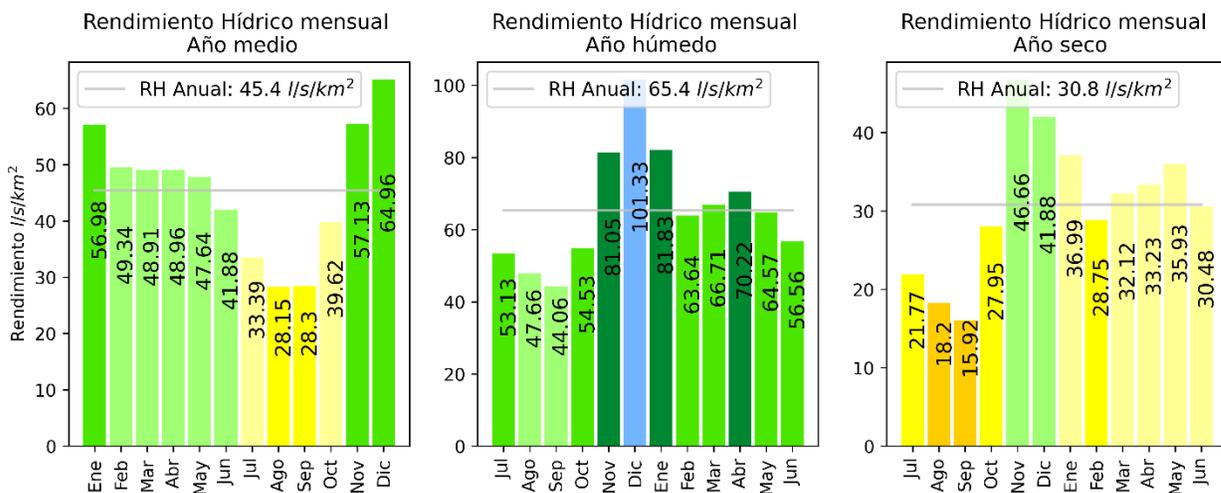


Figura 100. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Roble Tramo 1

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Río Roble Tramo 1
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4703346 m Y: 2069900 m

Descripción:
Desde el nacimiento de la quebrada Portachuelo
hasta antes del centro urbano de Filandia

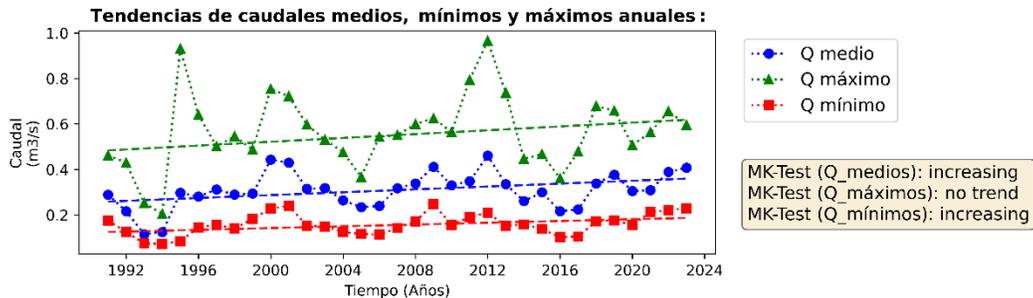
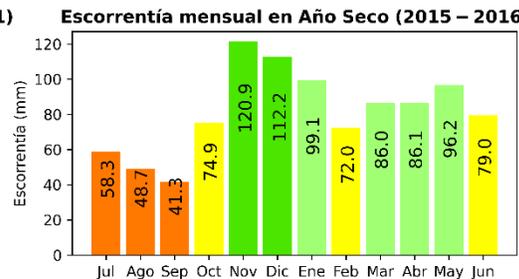
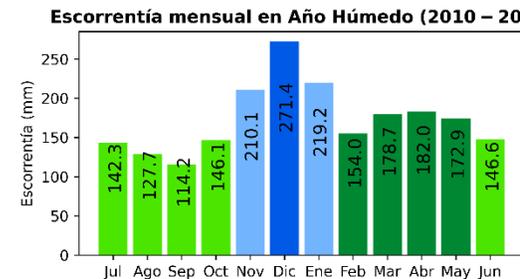
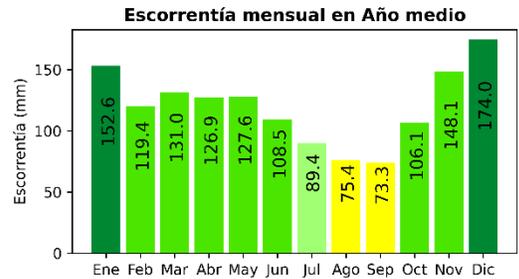
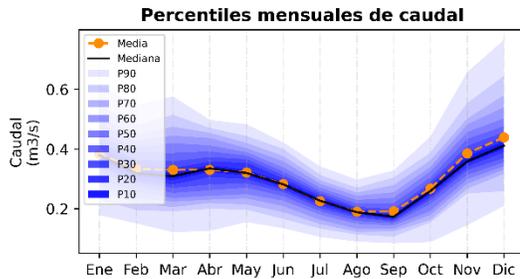
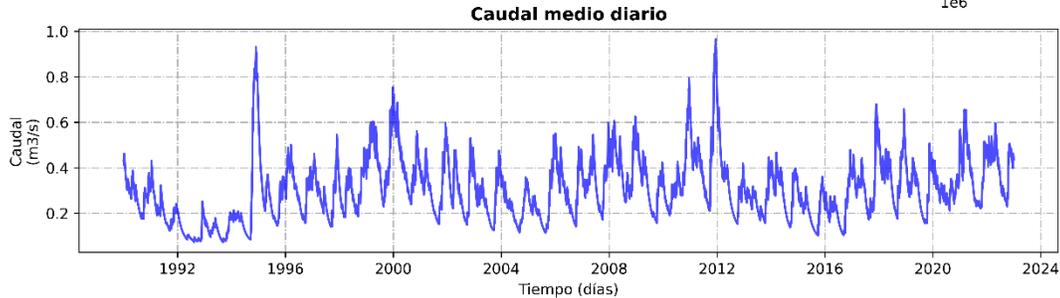
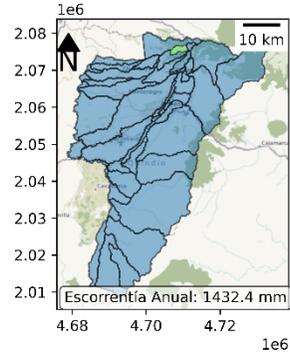


Figura 101. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Roble Tramo 1

2.4.29. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 59.7, 94.1 y 43.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 137.7 % de aumento, un 217.1 % de aumento, y un 99.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.7, 43.0 y 16.4 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 64.0, 99.2 y 37.8 % con relación al valor medio anual (Figura 102). La escorrentía anual es de 1,366.2 mm, con valores máximos mensuales de 159.9, 252.0, y 111.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 103).

Tabla 50. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Roble Tramo 2

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
1.09	0.64	0.45	1.57	0.64	0.94	0.75	0.48	0.27

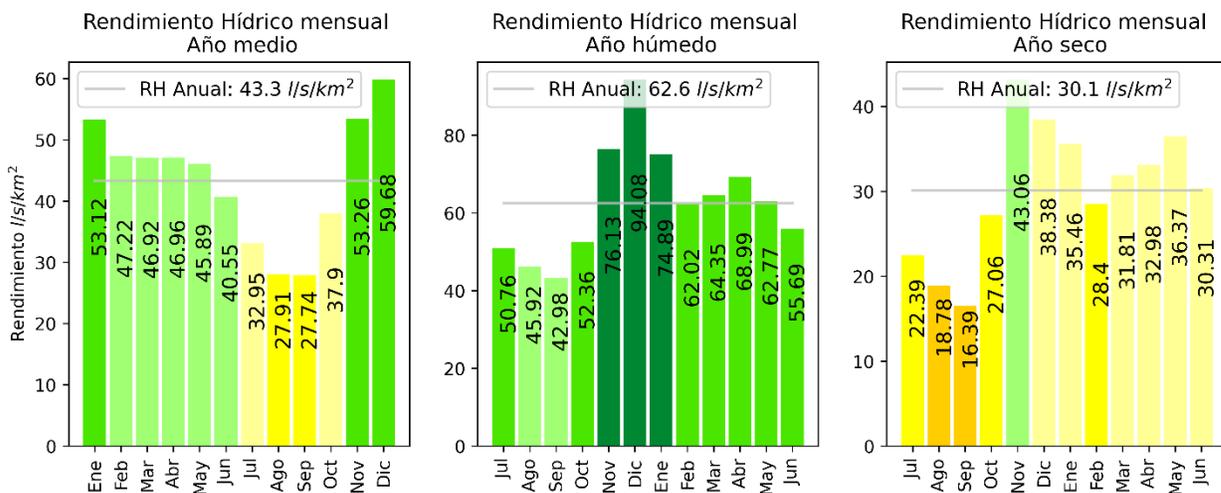
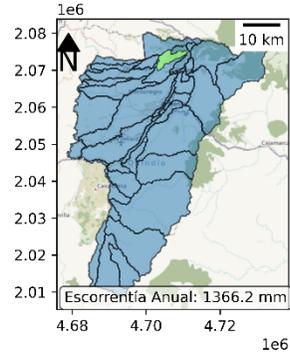


Figura 102. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Roble Tramo 2

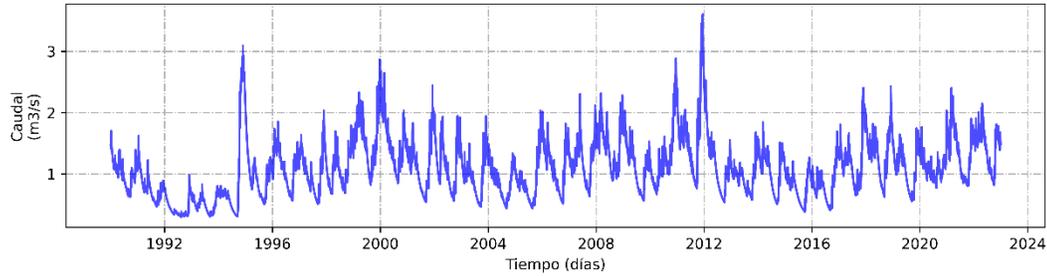
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Roble Tramo 2
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4708347 m Y: 2069499 m

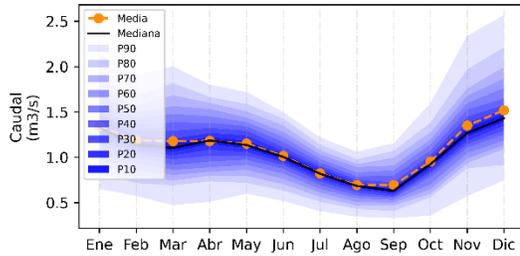
Descripción:
Desde el centro urbano de Filandia hasta
aguas arriba de la confluencia de la
quebrada Portachuelo con el río Roble



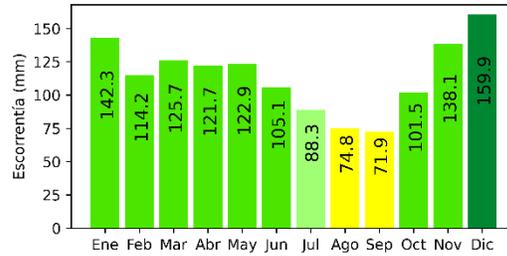
Caudal medio diario



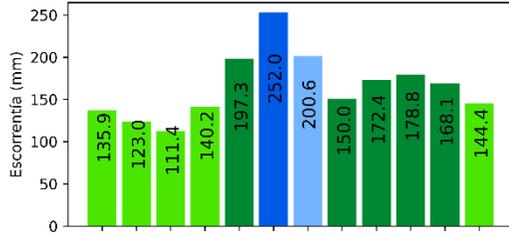
Percentiles mensuales de caudal



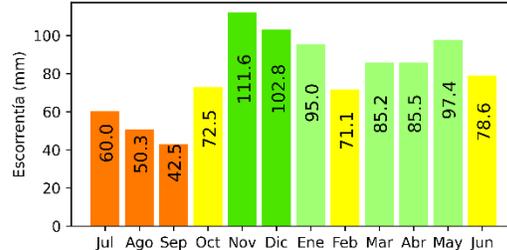
Escorrentía mensual en Año medio



Escorrentía mensual en Año Húmedo (2010 - 2011)



Escorrentía mensual en Año Seco (2015 - 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales:

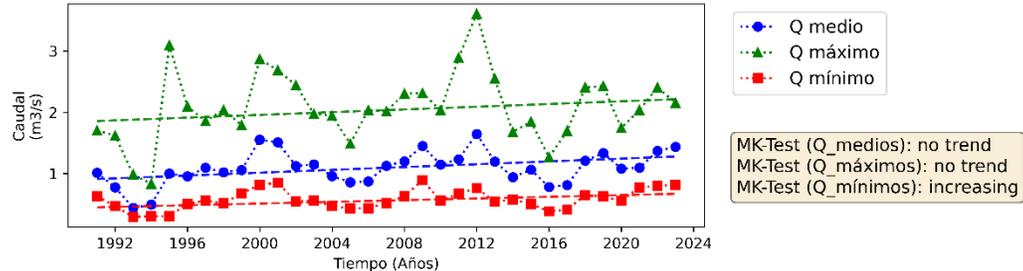


Figura 103. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Roble Tramo 2

2.4.30. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 70.9, 115.8 y 55.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 136.5 % de aumento, un 223.0 % de aumento, y un 106.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 33.2, 51.8 y 18.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 63.9, 99.8 y 36.0 % con relación al valor medio anual (Figura 104). La escorrentía anual es de 1,637.0 mm, con valores máximos mensuales de 189.9, 310.1, y 143.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 105).

Tabla 51. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Roble Tramo 3

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.10	0.06	0.04	0.14	0.06	0.08	0.07	0.04	0.02

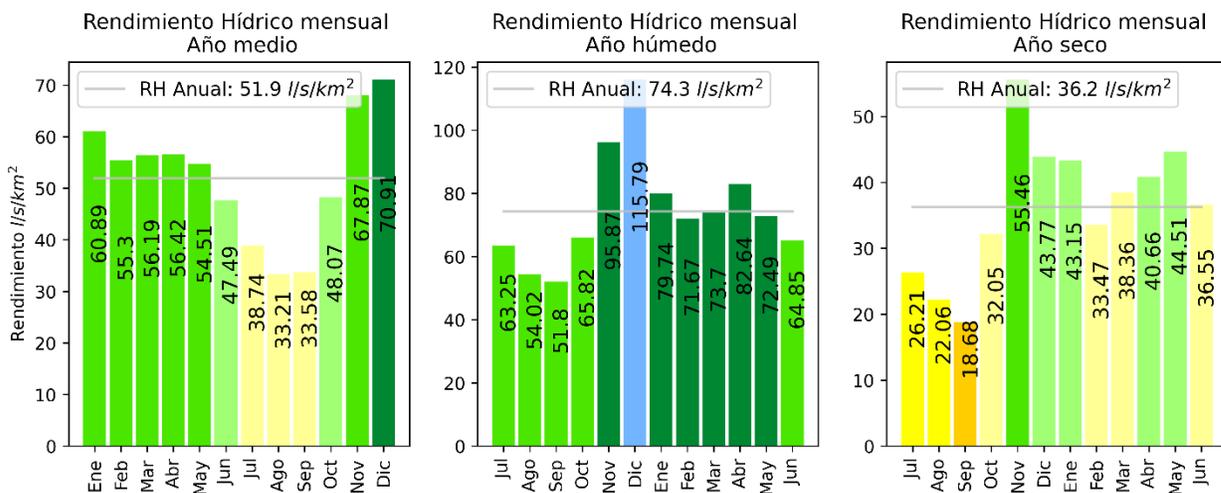


Figura 104. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Roble Tramo 3

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Río Roble Tramo 3
 Punto Cierre en Modelo (CTM12):
 X: 4706526 m Y: 2069502 m

Descripción:
 Desde el nacimiento de la quebrada Cajones hasta la bocatoma de EPQ en Circasia

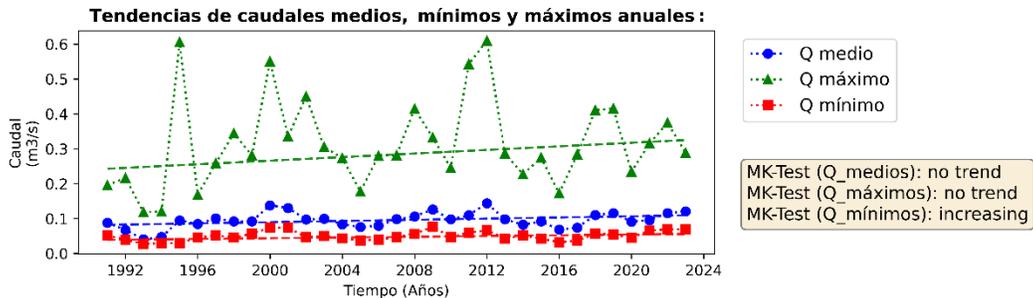
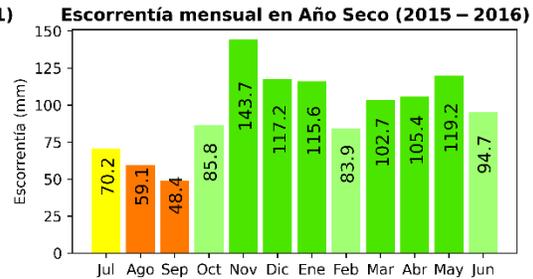
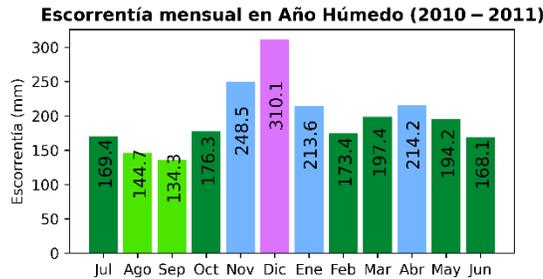
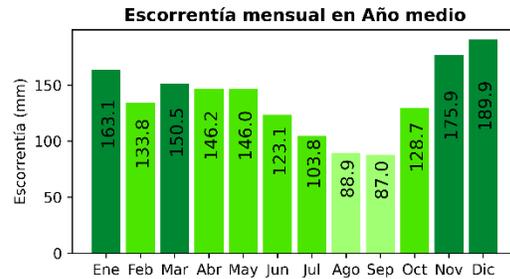
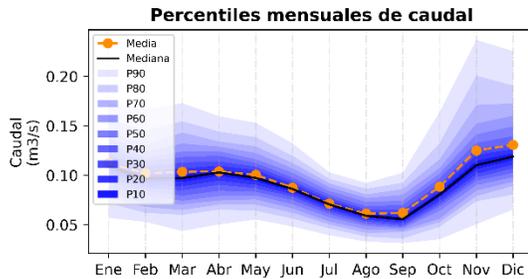
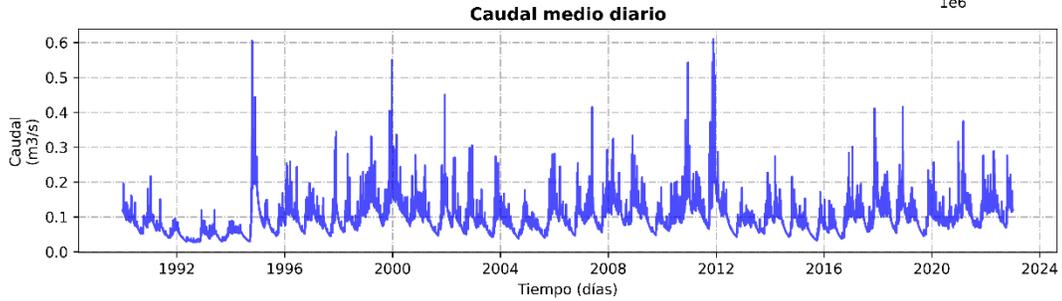
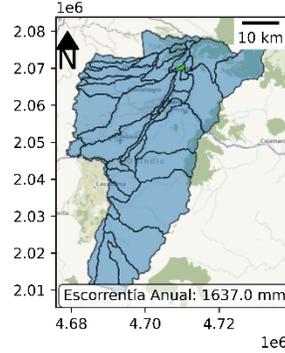


Figura 105. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Roble Tramo 3

2.4.31. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 80.5, 123.2 y 67.0 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 149.8 % de aumento, un 229.1 % de aumento, y un 124.6 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 31.8, 49.3 y 17.4 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 59.1, 91.7 y 32.4 % con relación al valor medio anual (Figura 106). La escorrentía anual es de 1,694.6 mm, con valores máximos mensuales de 208.6, 329.9, y 173.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 107).

Tabla 52. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Roble Tramo 4

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.16	0.09	0.07	0.23	0.09	0.14	0.11	0.07	0.04

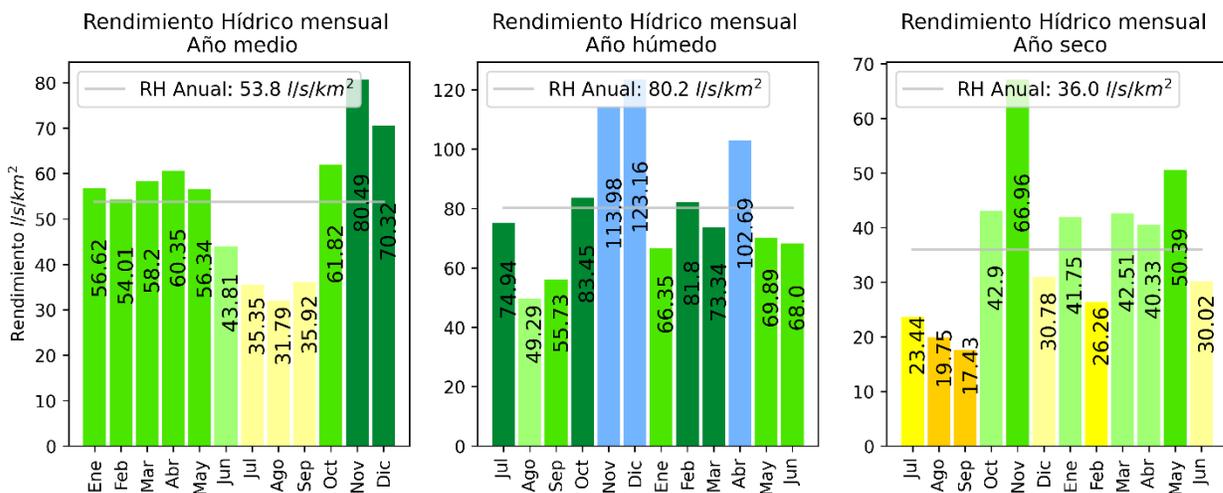


Figura 106. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Roble Tramo 4

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Río Roble Tramo 4
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4706494 m Y: 2069561 m

Descripción:
Desde la bocatoma de EPQ en Circasia
sobre la quebrada Cajones hasta aguas arriba
de la confluencia de la quebrada Cajones
con el río Roble

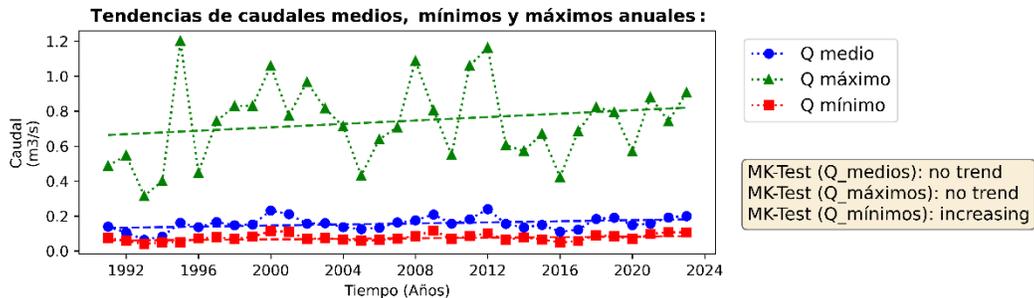
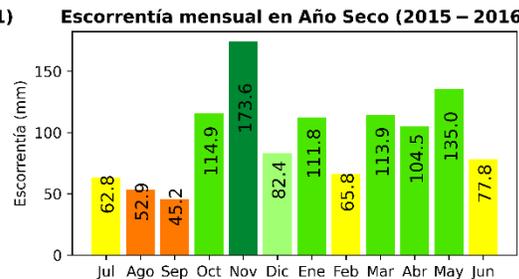
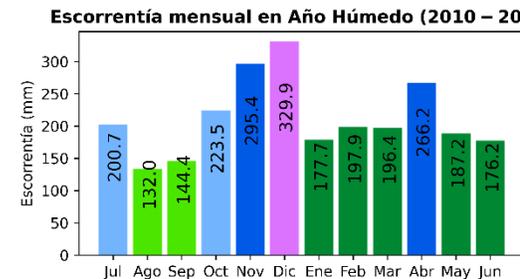
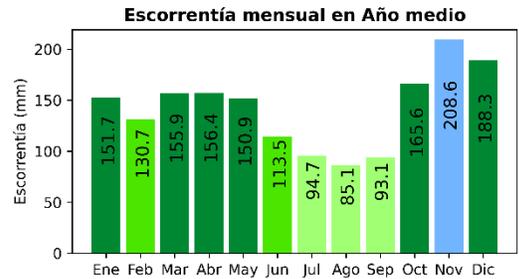
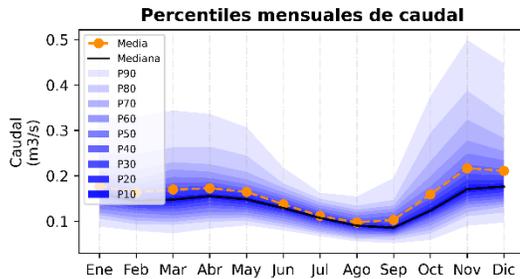
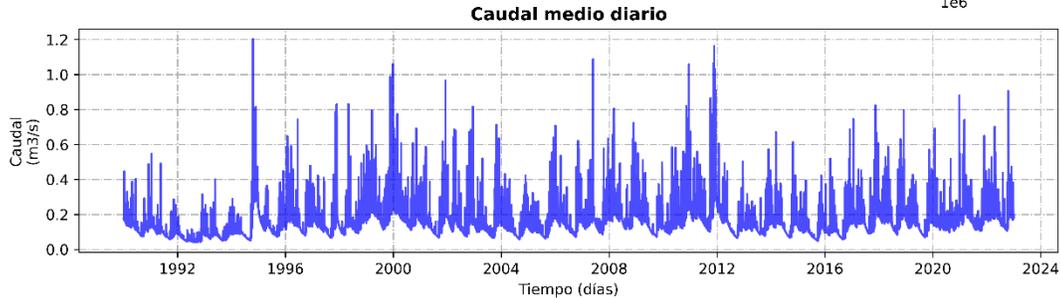
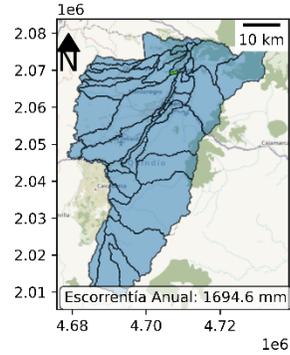


Figura 107. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Roble Tramo 4

2.4.32. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 88.2, 139.7 y 67.2 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 142.3 % de aumento, un 225.2 % de aumento, y un 108.3 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 37.2, 59.4 y 19.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 60.0, 95.8 y 30.8 % con relación al valor medio anual (Figura 108). La escorrentía anual es de 1,954.8 mm, con valores máximos mensuales de 236.4, 374.1, y 174.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 109).

Tabla 53. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Roble Tramo 5

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.74	0.40	0.33	1.06	0.40	0.66	0.51	0.28	0.23

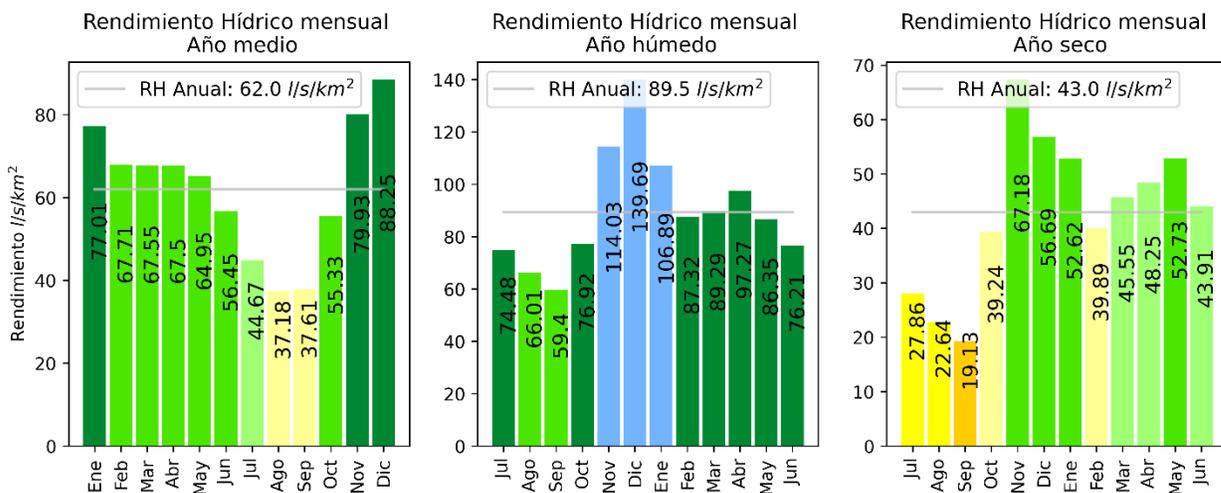


Figura 108. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Roble Tramo 5

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Río Roble Tramo 5
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4699053 m Y: 2066497 m

Descripción:
Desde el nacimiento del río Roble hasta
aguas arriba de su su confluencia con
quebrada Cajones

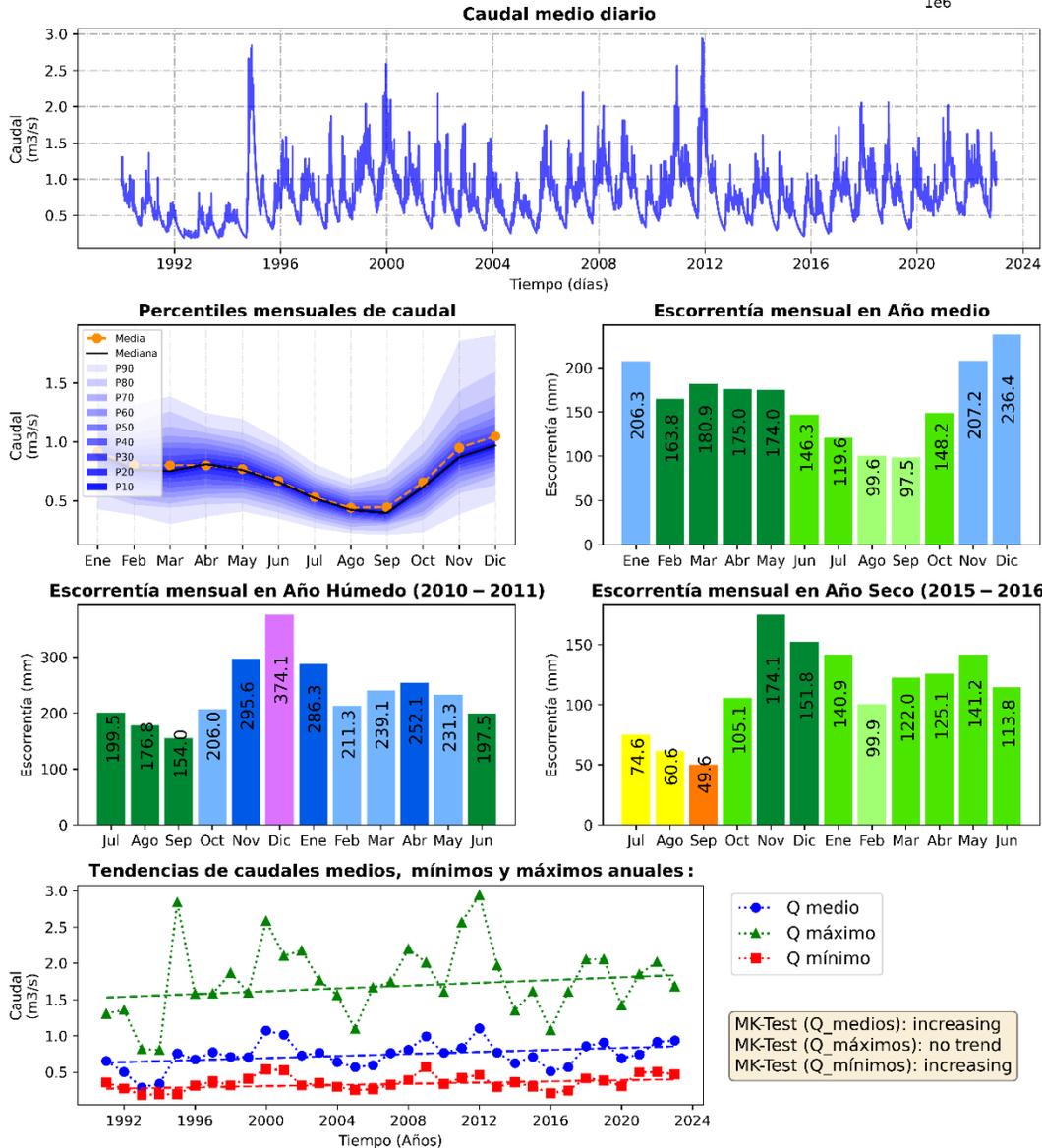
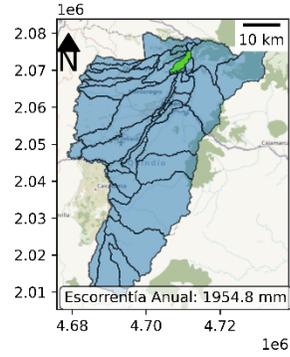


Figura 109. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Roble Tramo 5

2.4.33. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 6

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 44.4, 71.4 y 27.7 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 140.8 % de aumento, un 226.3 % de aumento, y un 87.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 19.3, 30.0 y 11.3 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 61.0, 95.1 y 35.8 % con relación al valor medio anual (Figura 110). La escorrentía anual es de 995.2 mm, con valores máximos mensuales de 119.0, 191.3, y 73.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 111).

Tabla 54. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Roble Tramo 6

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
2.86	1.65	1.21	4.17	1.65	2.52	1.95	1.22	0.74

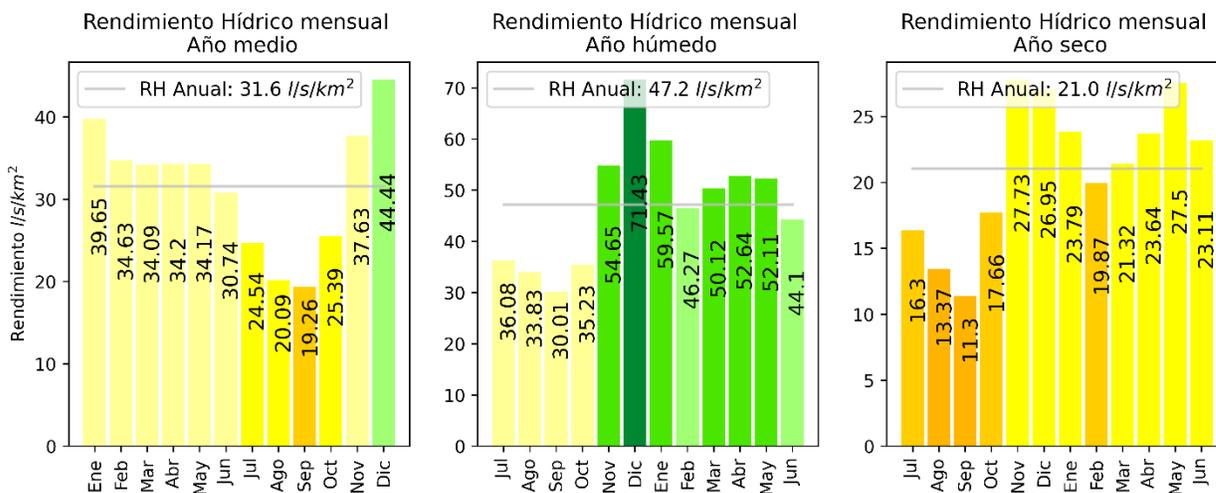


Figura 110. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Roble Tramo 6

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Roble Tramo 6
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4681634 m Y: 2064373 m

Descripción:
Desde el río Roble aguas abajo de su confluencia con la quebrada Cajones hasta aguas arriba de la bocatoma de Montenegro sobre el río Roble

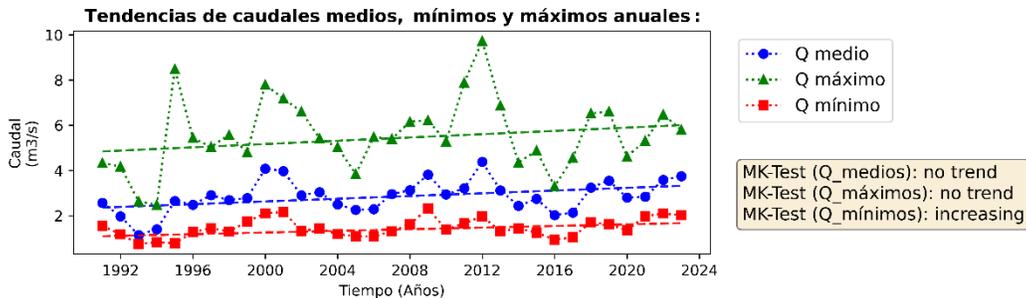
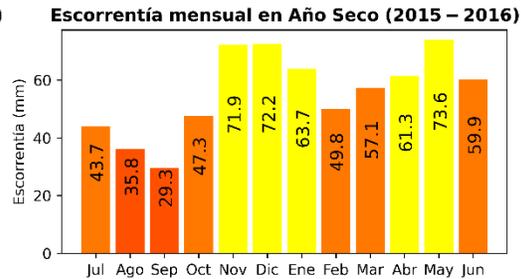
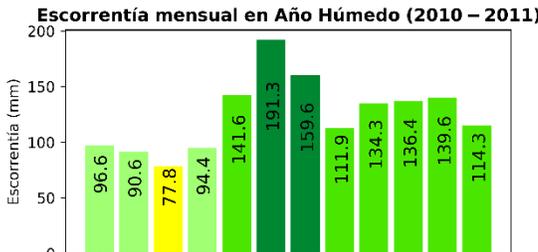
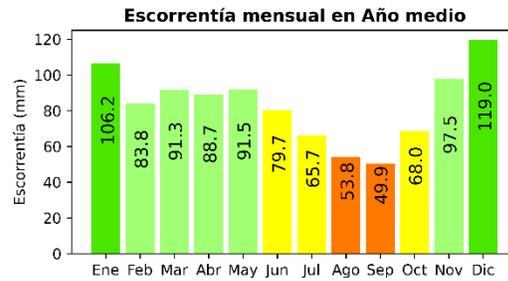
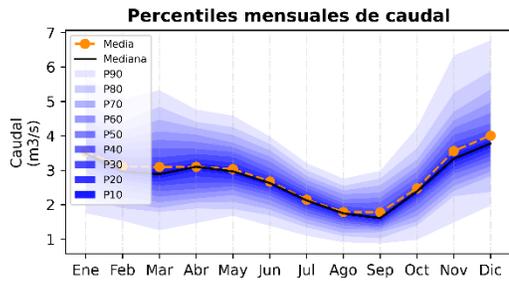
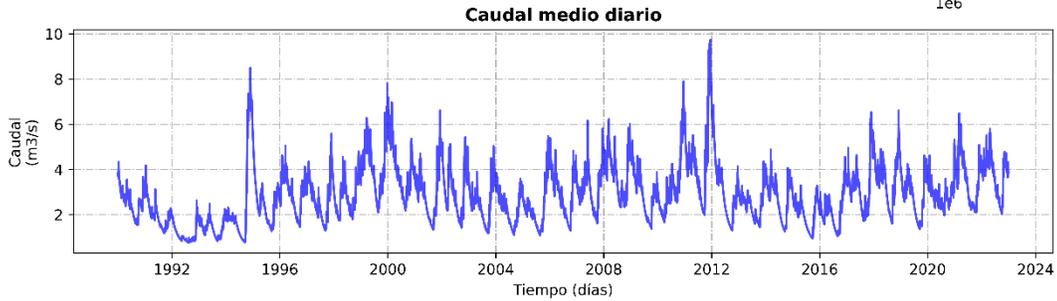
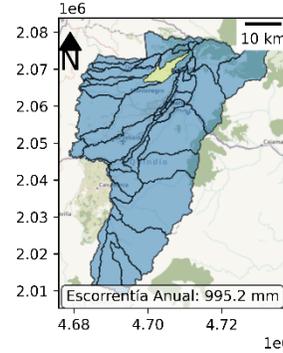


Figura 111. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Roble Tramo 6

2.4.34. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Rio Roble Tramo 7

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 32.1, 50.9 y 26.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 125.9 % de aumento, un 199.7 % de aumento, y un 102.3 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 18.6, 24.6 y 12.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 72.8, 96.5 y 49.2 % con relación al valor medio anual (Figura 112). La escorrentía anual es de 803.8 mm, con valores máximos mensuales de 85.9, 136.3, y 69.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 113).

Tabla 55. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Rio Roble Tramo 7

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
4.36	2.71	1.65	6.28	2.71	3.57	2.97	2.06	0.91

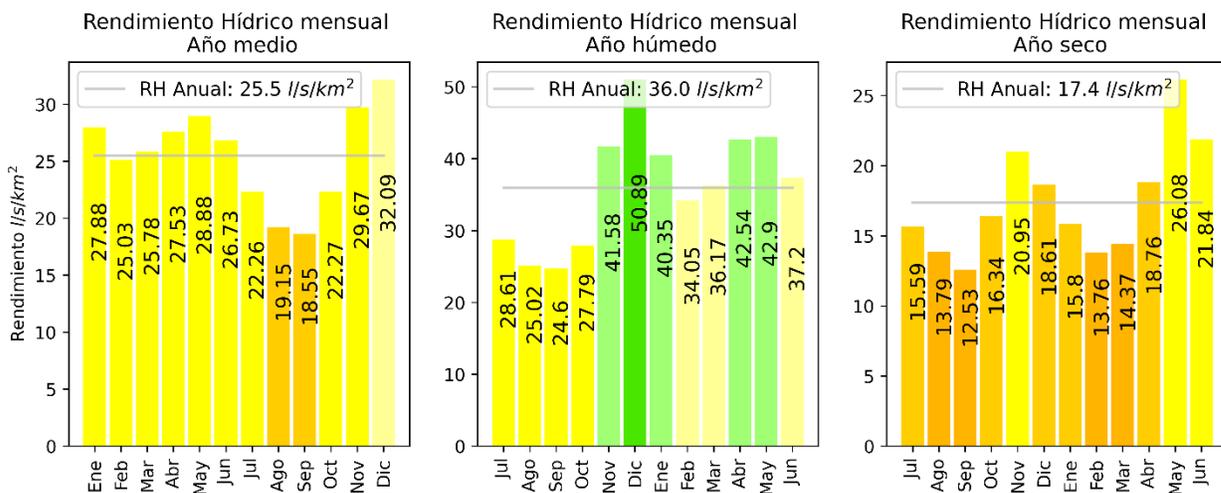


Figura 112. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Rio Roble Tramo 7

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Roble Tramo 7
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4711062 m Y: 2077159 m

Descripción:
Desde la bocatoma de Montenegro en el río Roble hasta la desembocadura del río Roble en el río La Vieja

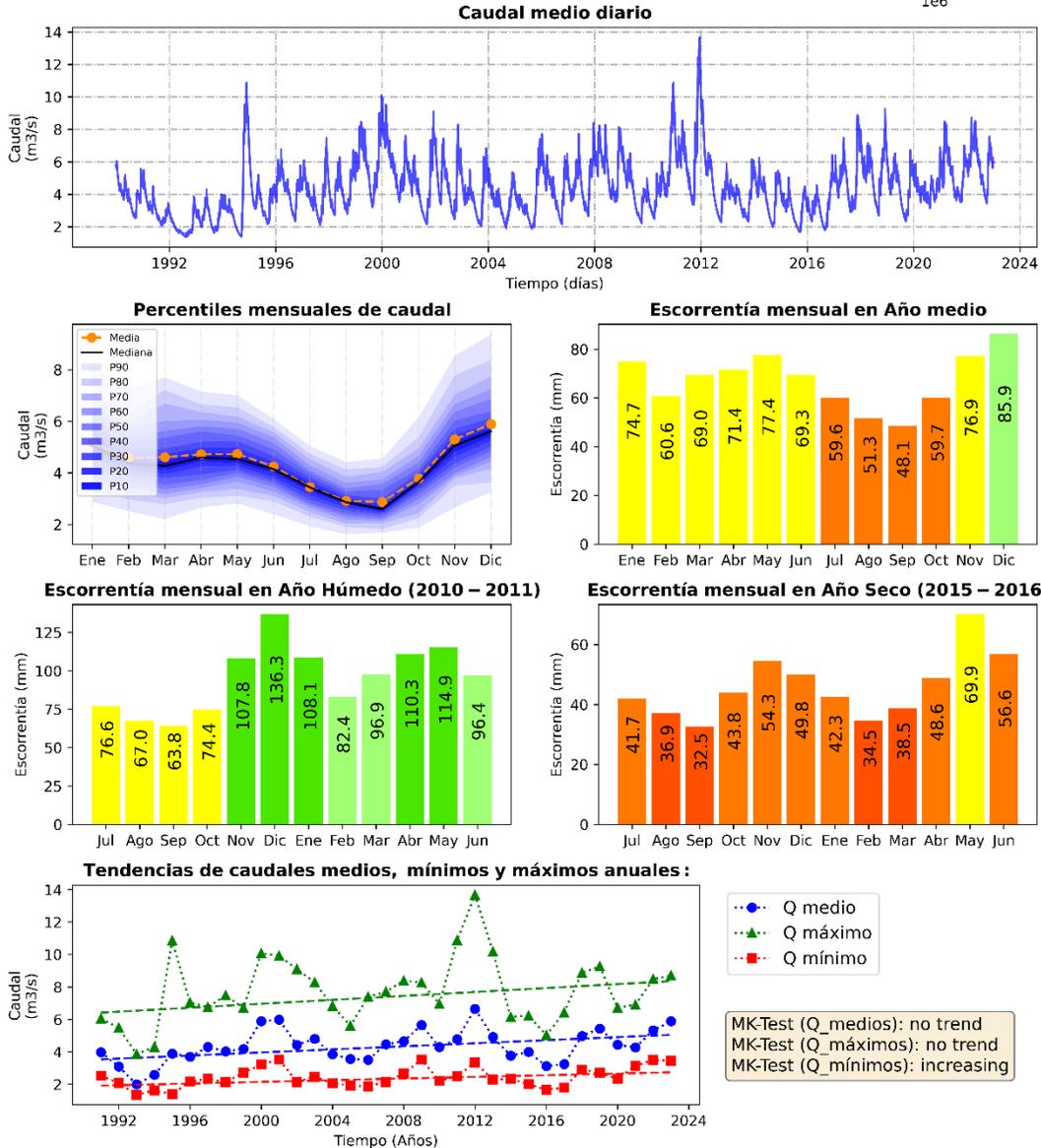
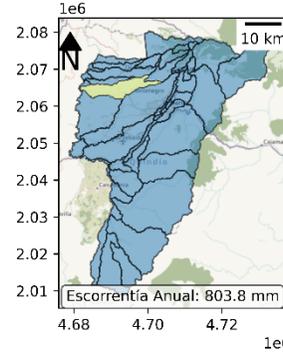


Figura 113. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Roble Tramo 7

2.4.35. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Lacha

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 76.1, 118.3 y 56.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 154.0 % de aumento, un 239.3 % de aumento, y un 114.9 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 26.4, 45.2 y 14.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 53.4, 91.4 y 28.5 % con relación al valor medio anual (Figura 114). La escorrentía anual es de 1,558.5 mm, con valores máximos mensuales de 203.9, 316.8, y 147.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 115).

Tabla 56. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Quebrada Lacha

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.18	0.09	0.09	0.26	0.09	0.17	0.12	0.06	0.06

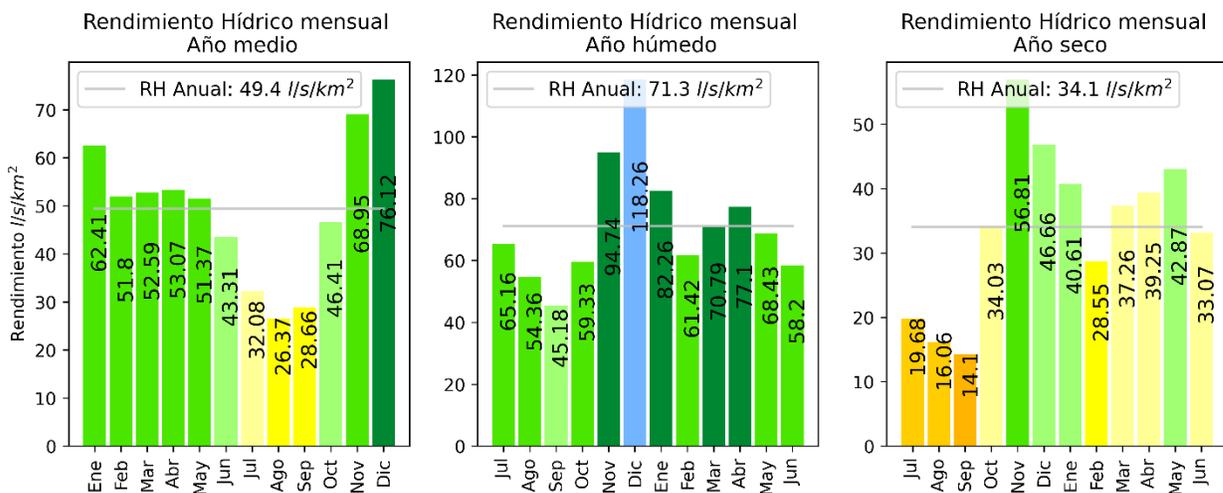
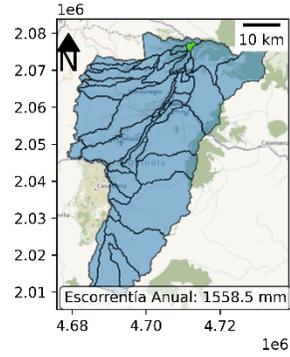


Figura 114. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Lacha

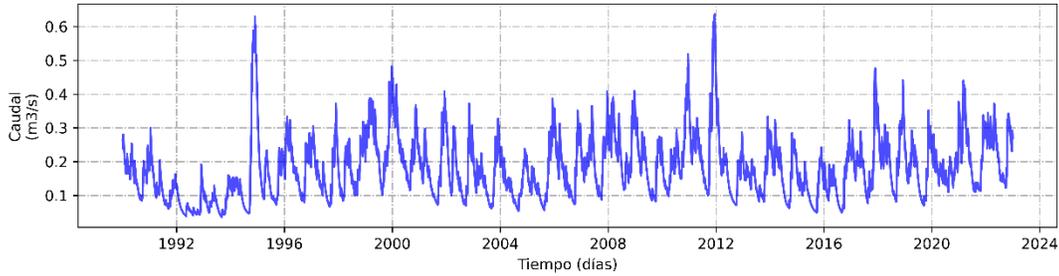
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Quebrada Lacha
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4685662 m Y: 2021014 m

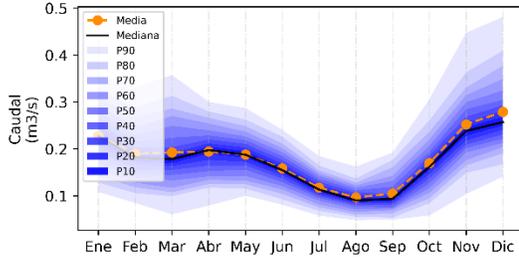
Descripción:
Desde su nacimiento hasta la bocatoma de Filandia



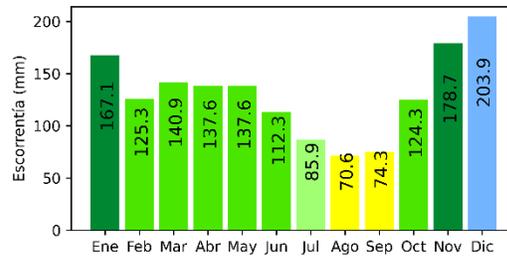
Caudal medio diario



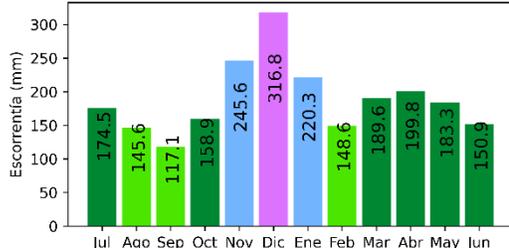
Percentiles mensuales de caudal



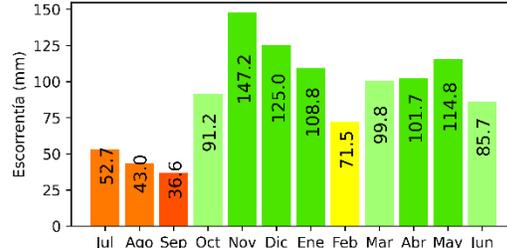
Escorrentía mensual en Año medio



Escorrentía mensual en Año Húmedo (2010 - 2011)



Escorrentía mensual en Año Seco (2015 - 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales:

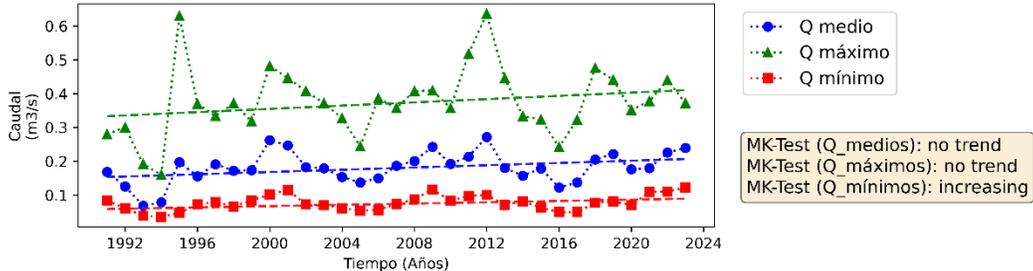


Figura 115. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Lacha

2.4.36. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Drenajes al río Barbas

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 54.0, 82.1 y 39.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 134.7 % de aumento, un 204.8 % de aumento, y un 99.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.1, 39.7 y 17.4 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 67.7, 99.0 y 43.5 % con relación al valor medio anual (Figura 116). La escorrentía anual es de 1,263.8 mm, con valores máximos mensuales de 144.6, 219.9, y 103.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 117).

Tabla 57. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Drenajes al río Barbas

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
2.16	1.34	0.83	3.04	1.34	1.71	1.54	1.04	0.49

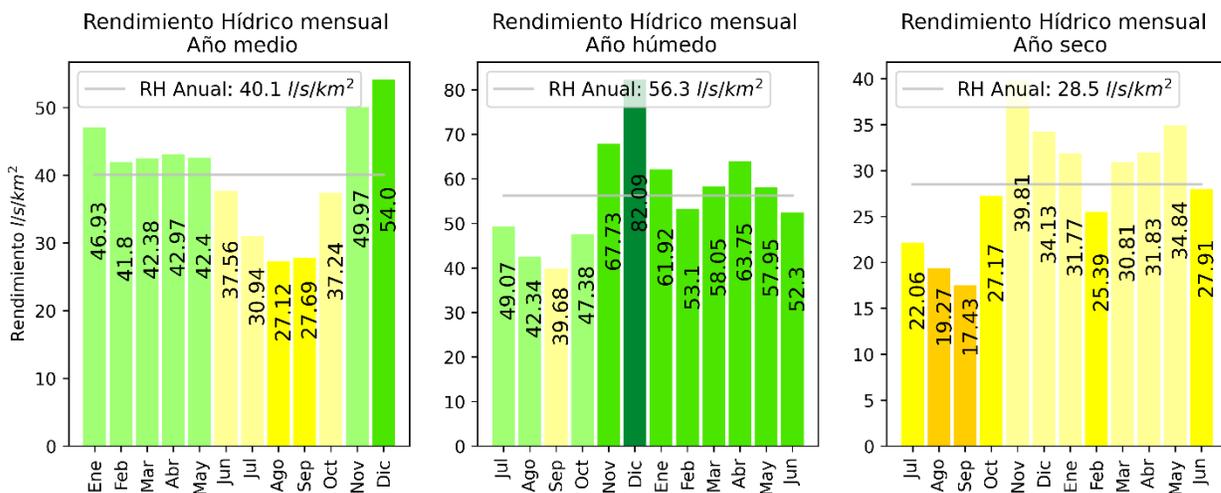


Figura 116. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Drenajes al río Barbas

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Drenajes al río Barbas
Calculado con simulación en
3 microcuencas

Descripción:
Interfluvios y drenajes directos al río Barbas
en el departamento del Quindío

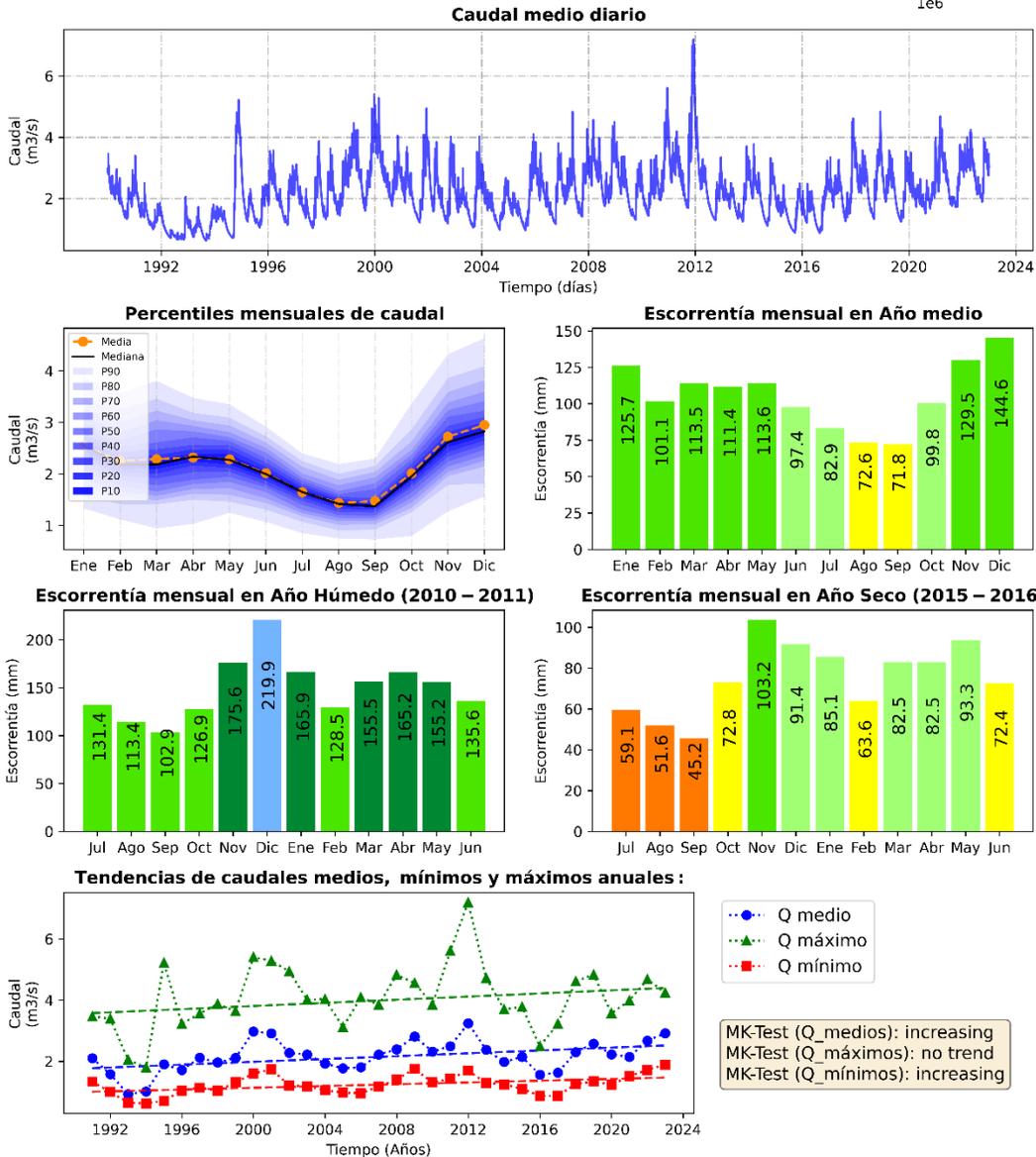
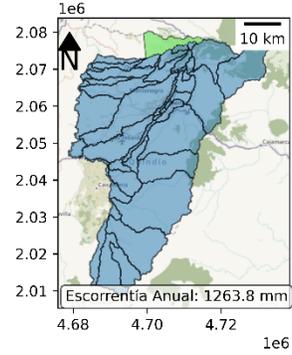


Figura 117. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Drenajes al río Barbas

2.4.37. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Drenajes al Río Barragan

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 44.6, 92.4 y 29.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 131.1 % de aumento, un 271.5 % de aumento, y un 86.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 19.5, 24.1 y 8.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 57.4, 71.0 y 24.9 % con relación al valor medio anual (Figura 118). La escorrentía anual es de 1,072.4 mm, con valores máximos mensuales de 119.5, 239.4, y 79.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 119).

Tabla 58. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Drenajes al Río Barragan

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
2.04	1.13	0.91	3.42	1.13	2.30	1.04	0.64	0.40

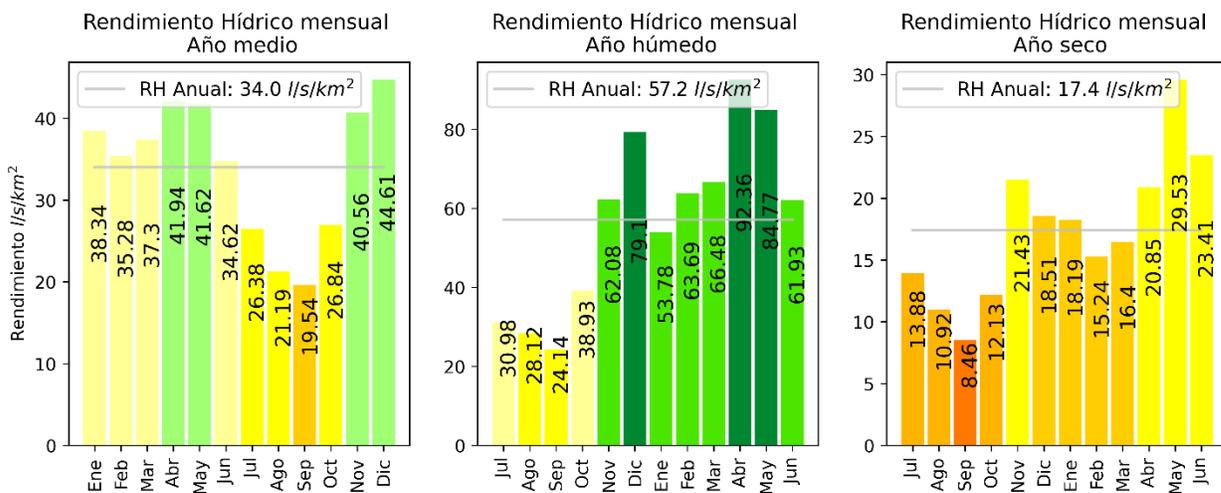


Figura 118. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Drenajes al Río Barragan

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Drenajes al Río Barragan
Calculado con simulación en
1 microcuencas

Descripción:
Desde su nacimiento hasta antes de su
confluencia con el río Quindío

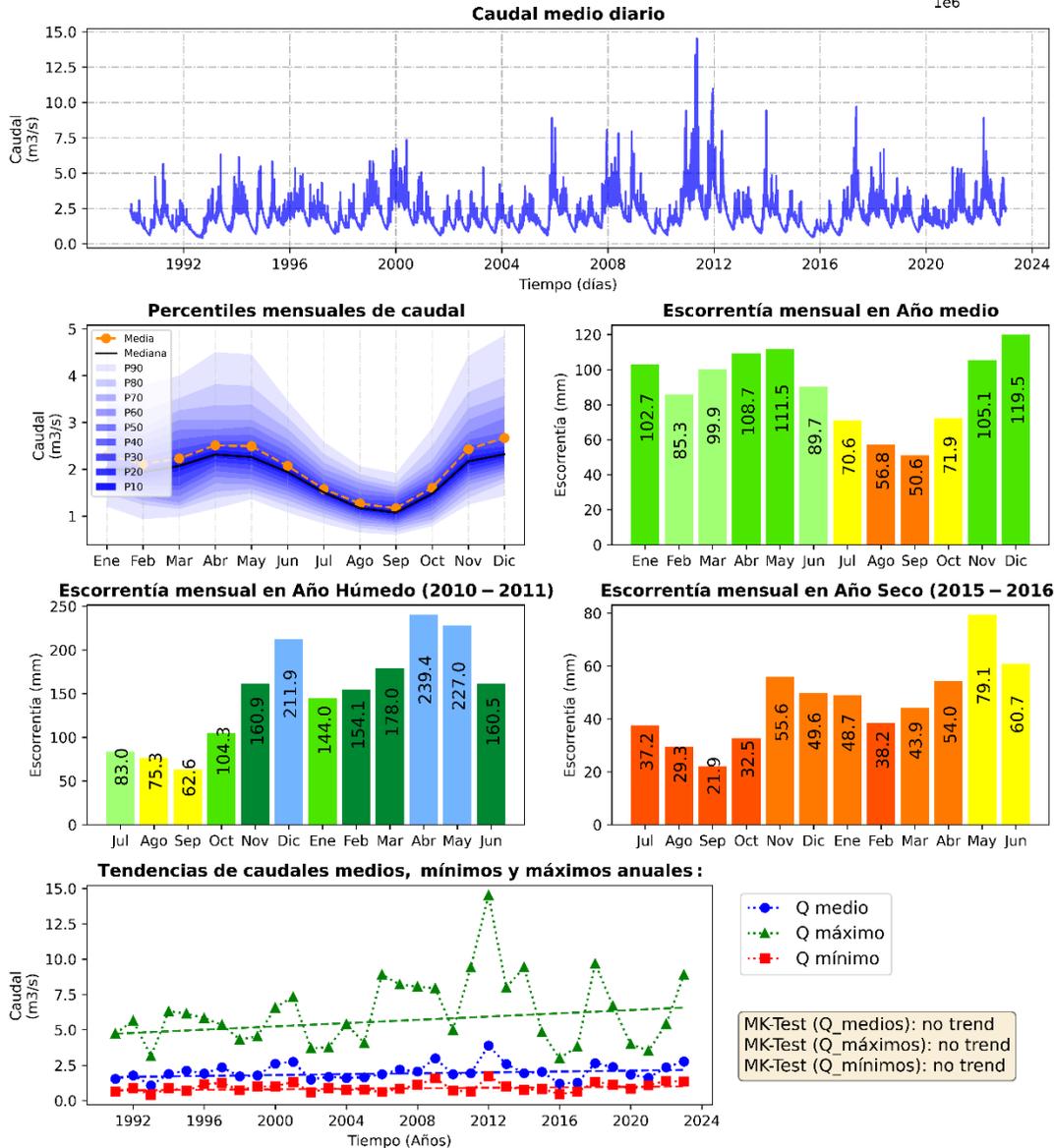
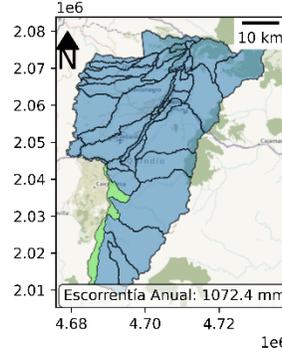


Figura 119. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Drenajes al Río Barragan

2.4.38. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Drenajes al Rio La Vieja

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 26.7, 34.2 y 20.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 106.9 % de aumento, un 136.9 % de aumento, y un 80.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 22.5, 21.8 y 14.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 90.2, 87.2 y 59.0 % con relación al valor medio anual (Figura 120). La escorrentía anual es de 787.6 mm, con valores máximos mensuales de 71.5, 91.5, y 53.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 121).

Tabla 59. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Drenajes al Rio La Vieja

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
3.68	2.89	0.78	4.20	2.89	1.30	2.53	2.21	0.31

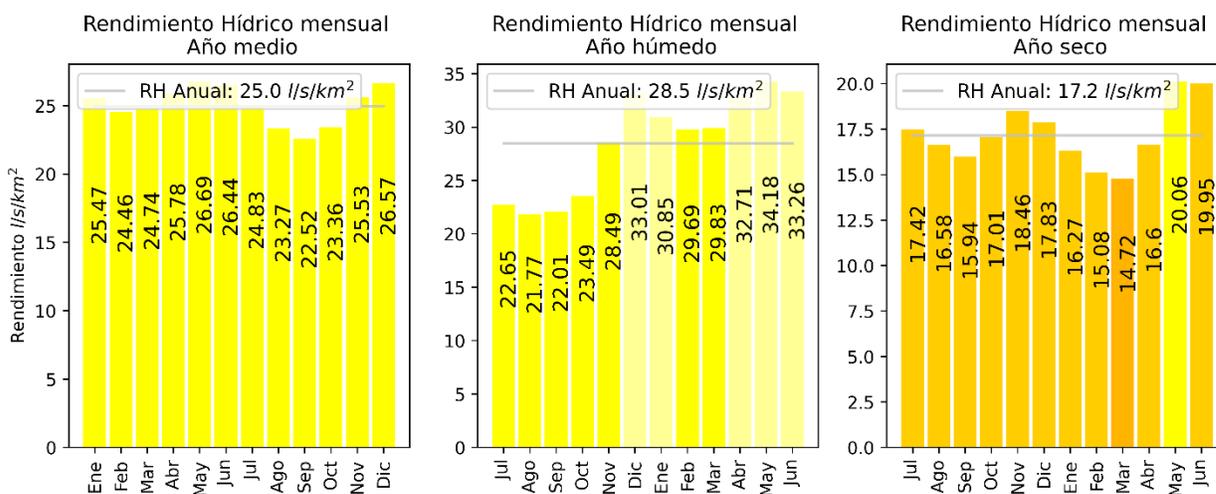


Figura 120. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Drenajes al Rio La Vieja

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Drenajes al Río La Vieja
Calculado con simulación en
4 microcuencas

Descripción:
Interfluvios y drenajes que confluyen directamente al río La Vieja en jurisdicción del departamento del Quindío

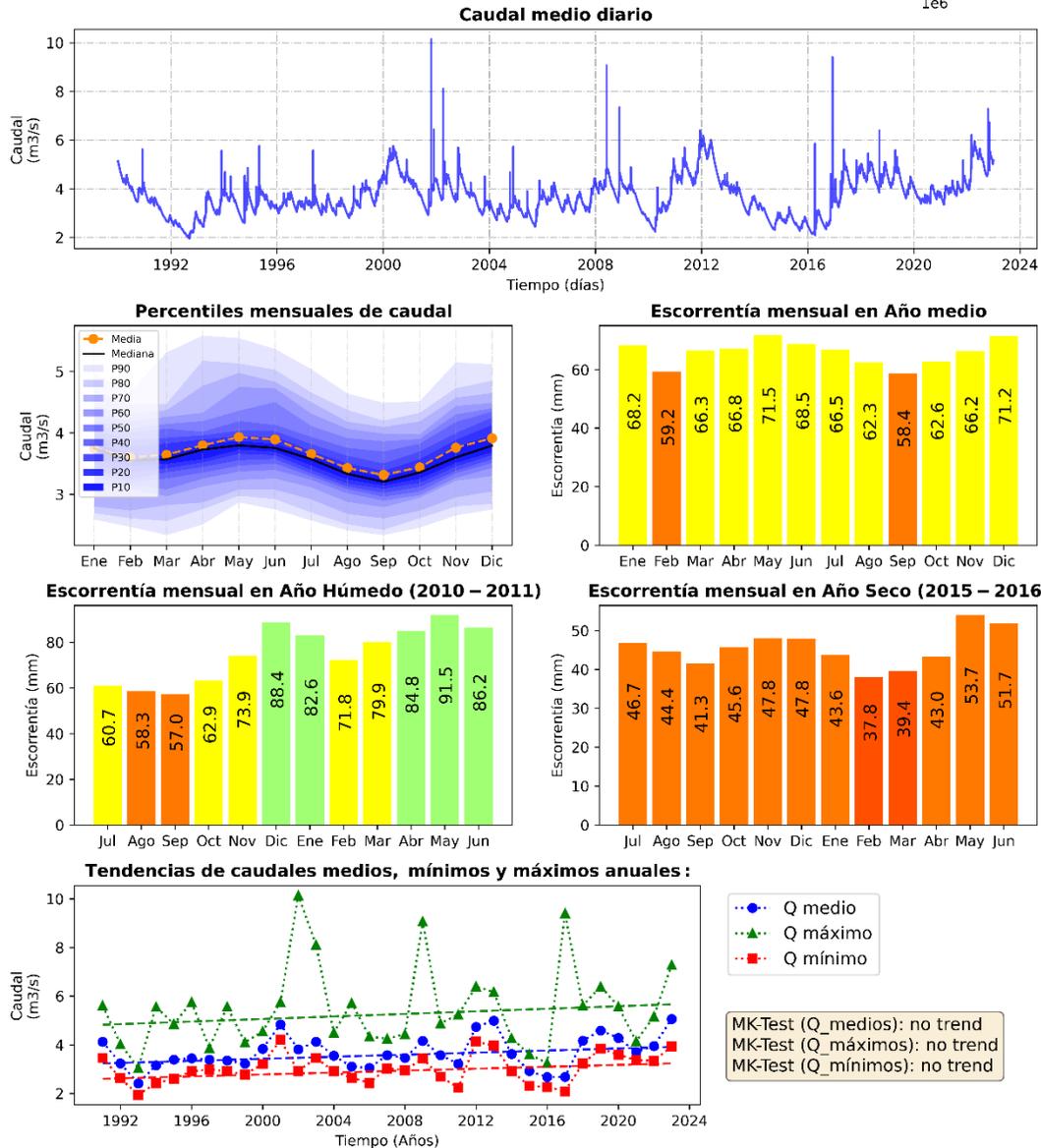
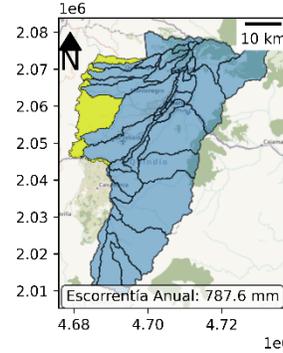


Figura 121. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Drenajes al Río La Vieja

2.4.39. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Quebrada Cristales

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 31.4, 41.8 y 22.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 107.7 % de aumento, un 143.1 % de aumento, y un 78.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 25.8, 26.4 y 17.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 88.3, 90.5 y 60.6 % con relación al valor medio anual (Figura 122). La escorrentía anual es de 920.6 mm, con valores máximos mensuales de 84.2, 111.9, y 61.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 123).

Tabla 60. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Quebrada Cristales

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
2.78	2.13	0.65	3.38	2.13	1.25	1.94	1.72	0.22

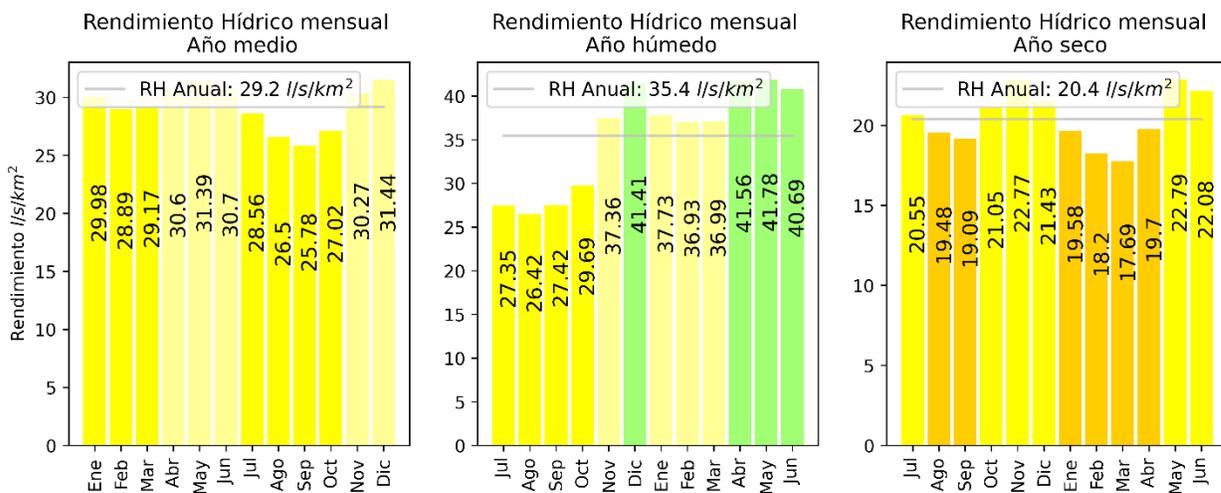


Figura 122. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Cristales

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Quebrada Cristales
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4681788 m Y: 2050935 m

Descripción:
Desde su nacimiento hasta antes de su
confluencia con el río La Vieja

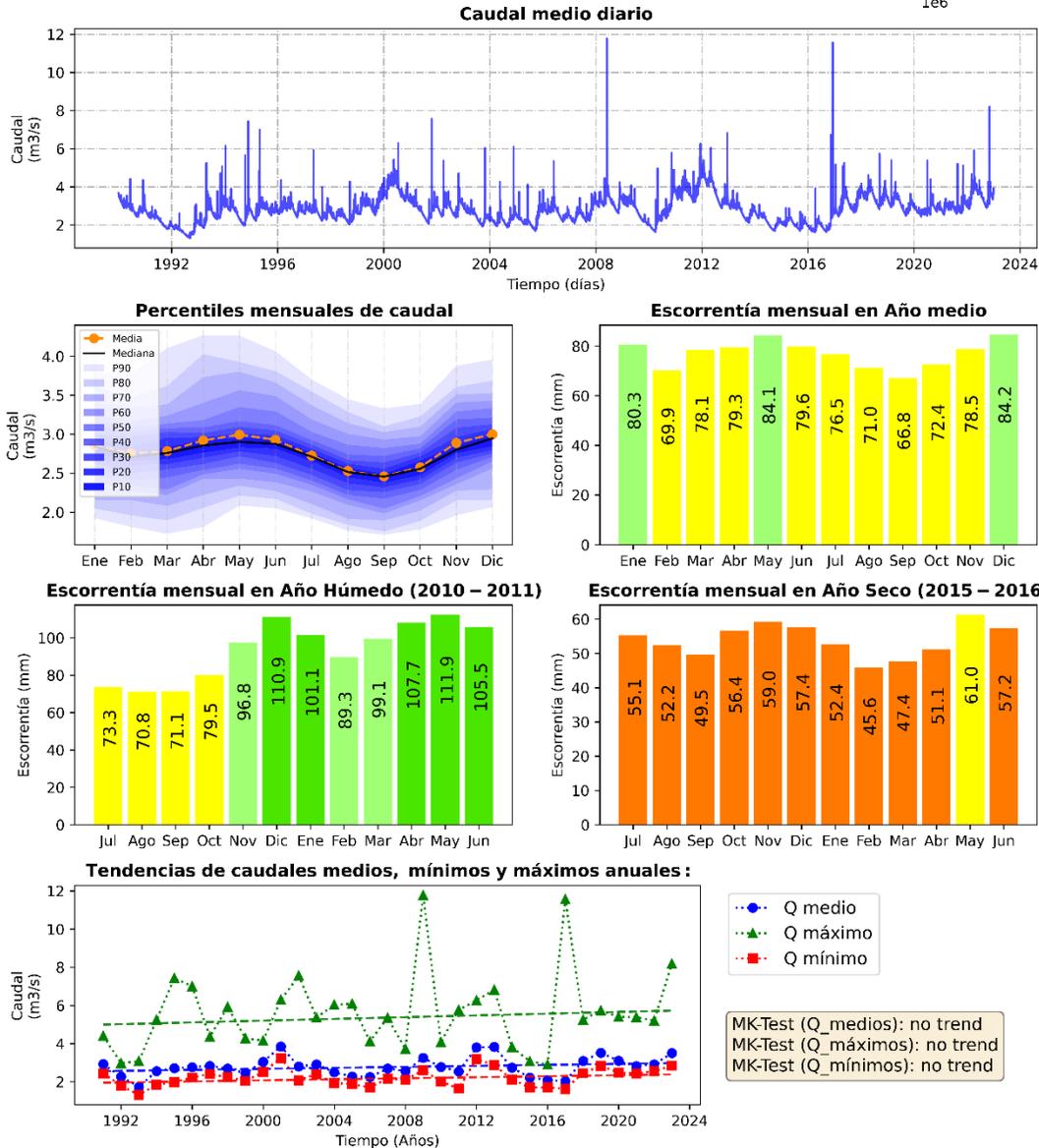
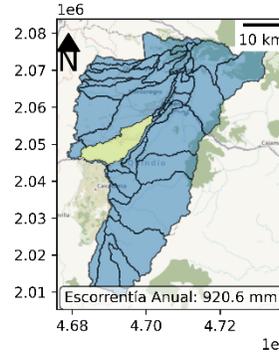


Figura 123. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Quebrada Cristales

2.4.40. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Río Espejo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 42.8, 63.4 y 30.6 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 121.0 % de aumento, un 179.3 % de aumento, y un 86.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.7, 33.6 y 20.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 78.4, 95.0 y 58.2 % con relación al valor medio anual (Figura 124). La escorrentía anual es de 1,114.3 mm, con valores máximos mensuales de 114.5, 169.7, y 81.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 125).

Tabla 61. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Río Espejo

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
5.60	4.09	1.51	7.52	4.09	3.43	3.97	3.39	0.58

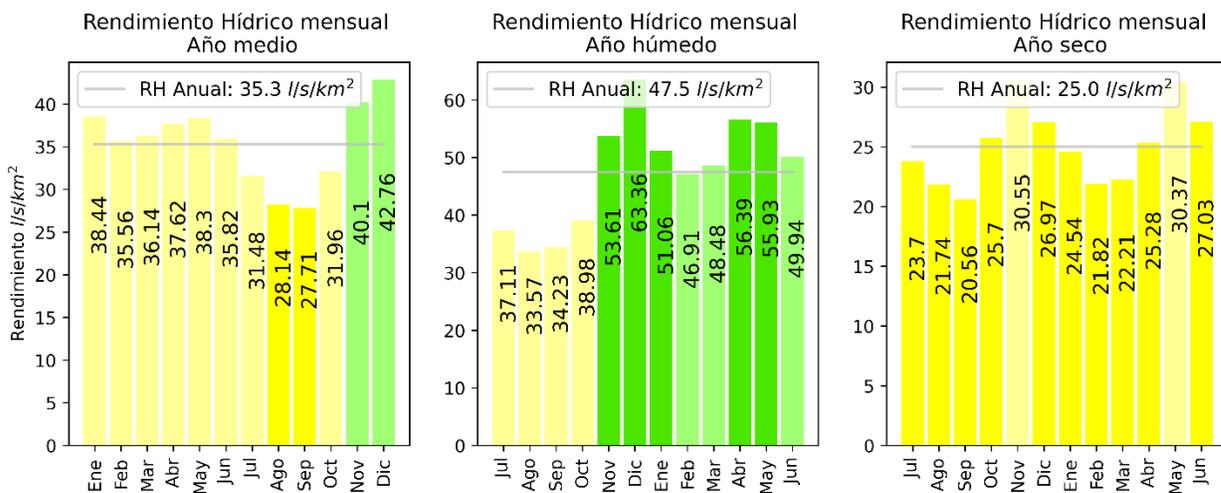


Figura 124. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Espejo

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Espejo
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4685662 m Y: 2021014 m

Descripción:
Desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con el río La Vieja

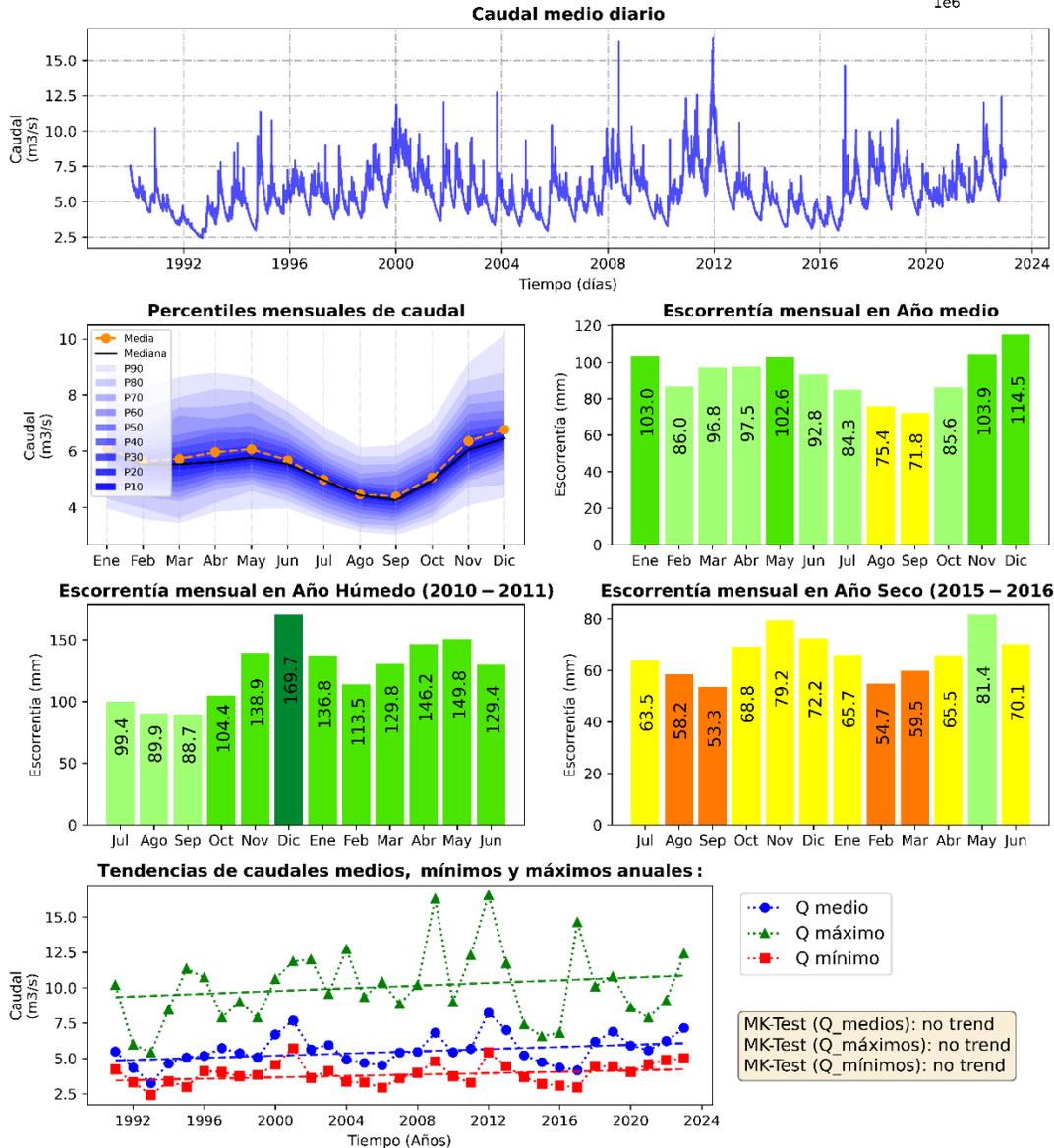
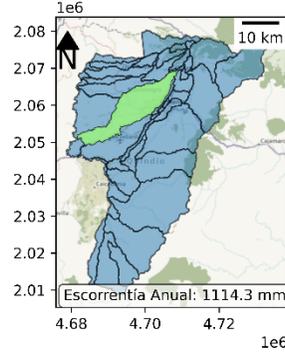


Figura 125. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Río Espejo

2.4.41. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Bolivia

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 18.3, 31.6 y 12.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 169.5 % de aumento, un 292.2 % de aumento, y un 118.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 4.3, 9.8 y 0.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 39.4, 90.7 y 6.9 % con relación al valor medio anual (Figura 126). La escorrentía anual es de 340.9 mm, con valores máximos mensuales de 49.1, 84.6, y 33.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 127).

Tabla 62. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Bolivia

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.004	0.002	0.003	0.007	0.002	0.006	0.003	0.001	0.002

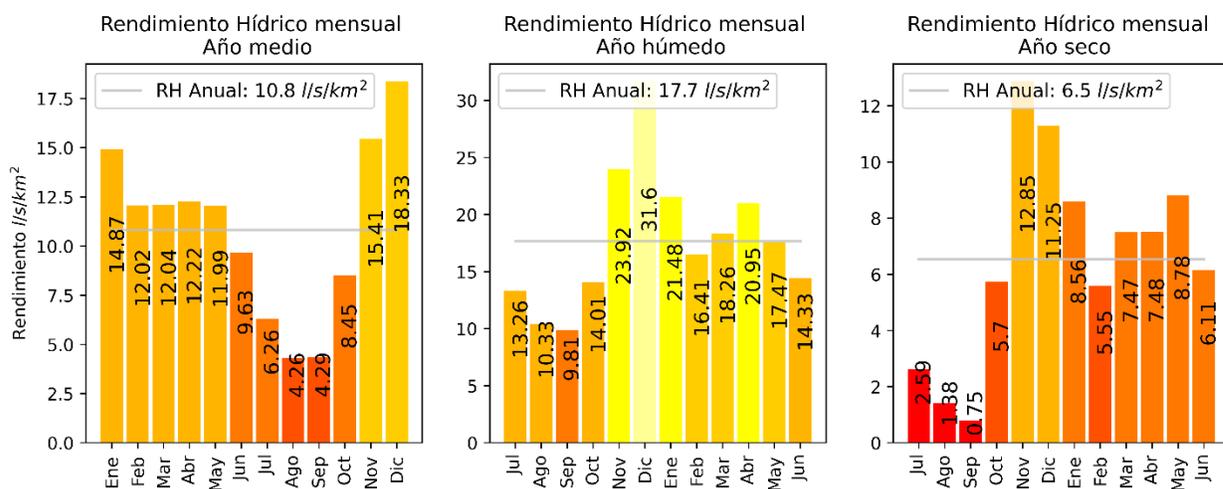
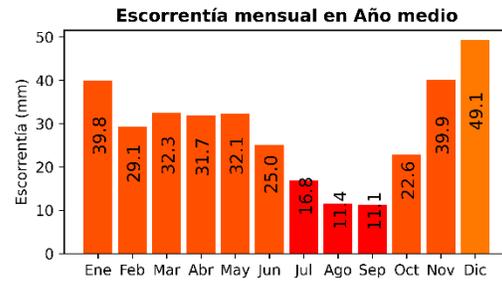
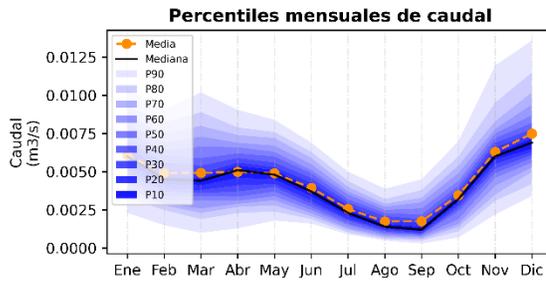
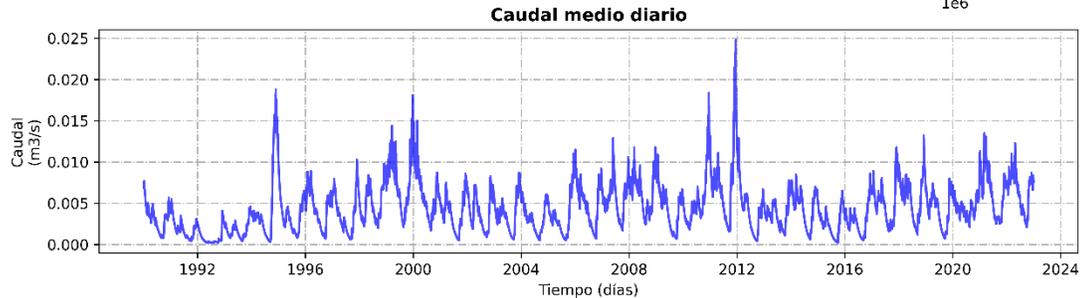
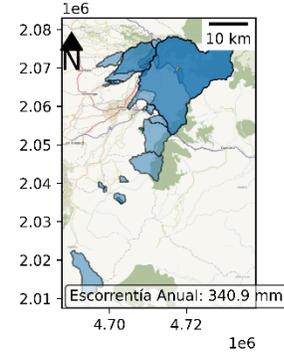


Figura 126. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Bolivia

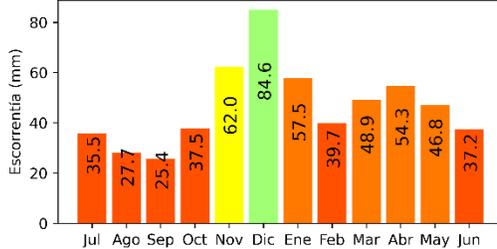
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q Bolivia
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4716748 m Y: 2068604 m

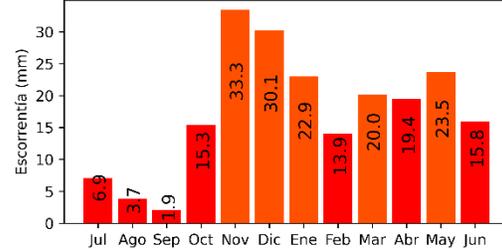
Descripción:
Bocatoma de Salento en quebrada Bolivia



Escurrentía mensual en Año Húmedo (2010 – 2011)



Escurrentía mensual en Año Seco (2015 – 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales:

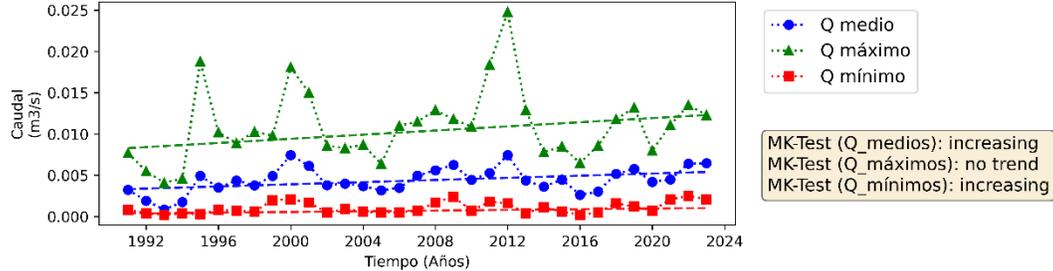


Figura 127. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Bolivia

2.4.42. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Corozal

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 33.6, 46.9 y 26.2 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 128.5 % de aumento, un 179.2 % de aumento, y un 100.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.8, 24.4 y 15.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.6, 93.4 y 59.9 % con relación al valor medio anual (Figura 128). La escorrentía anual es de 824.6 mm, con valores máximos mensuales de 87.1, 125.6, y 67.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 129).

Tabla 63. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Corozal

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.005	0.003	0.002	0.006	0.003	0.003	0.004	0.003	0.001

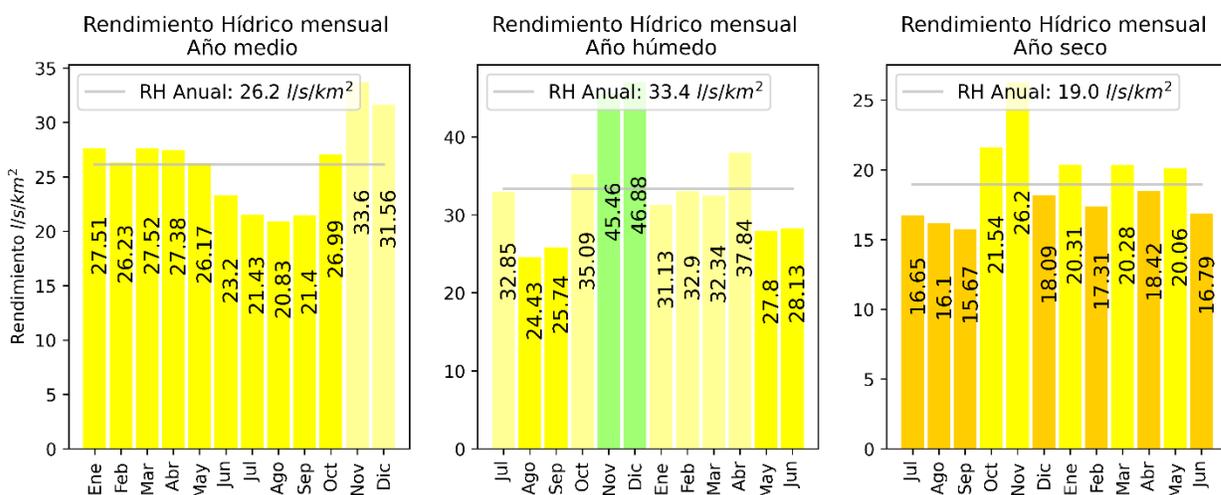


Figura 128. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Corozal

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q Corozal
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4718168 m Y: 2069931 m

Descripción:
Bocatoma de Salento en quebrada Corozal

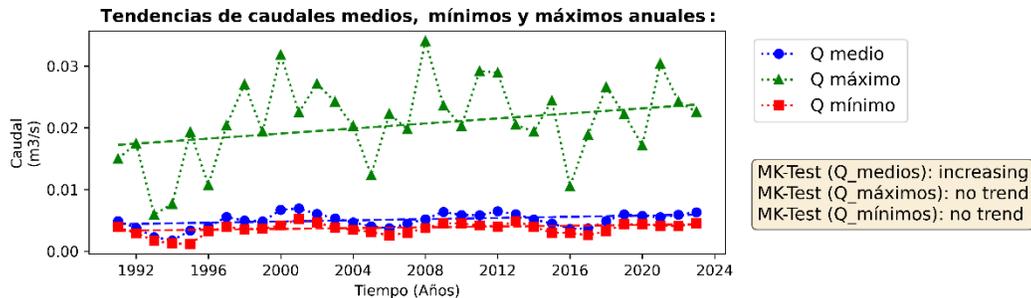
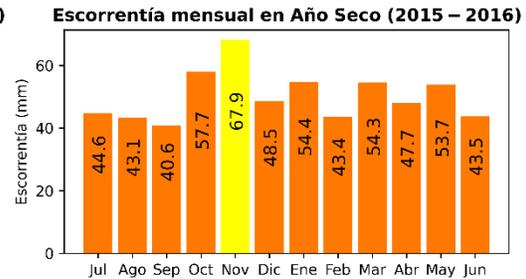
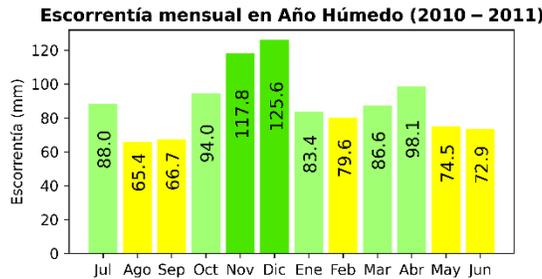
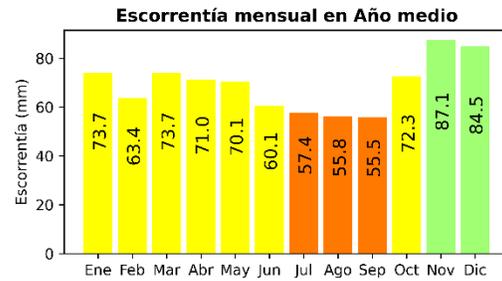
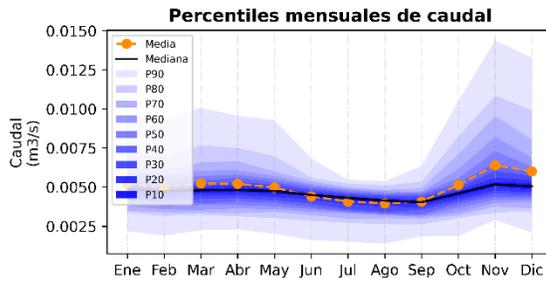
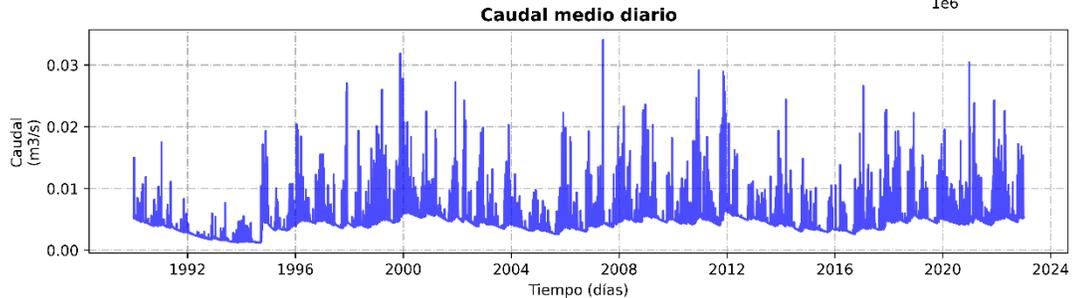
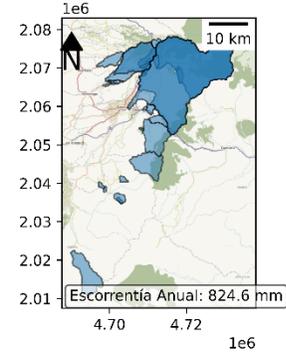


Figura 129. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Corozal

2.4.43. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Cristalina

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 36.4, 62.7 y 25.6 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 165.4 % de aumento, un 284.9 % de aumento, y un 116.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 9.0, 20.2 y 1.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 41.1, 92.0 y 8.2 % con relación al valor medio anual (Figura 130). La escorrentía anual es de 693.2 mm, con valores máximos mensuales de 97.4, 167.8, y 66.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 131).

Tabla 64. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Cristalina

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.004	0.001	0.002	0.006	0.001	0.005	0.002	0.001	0.002

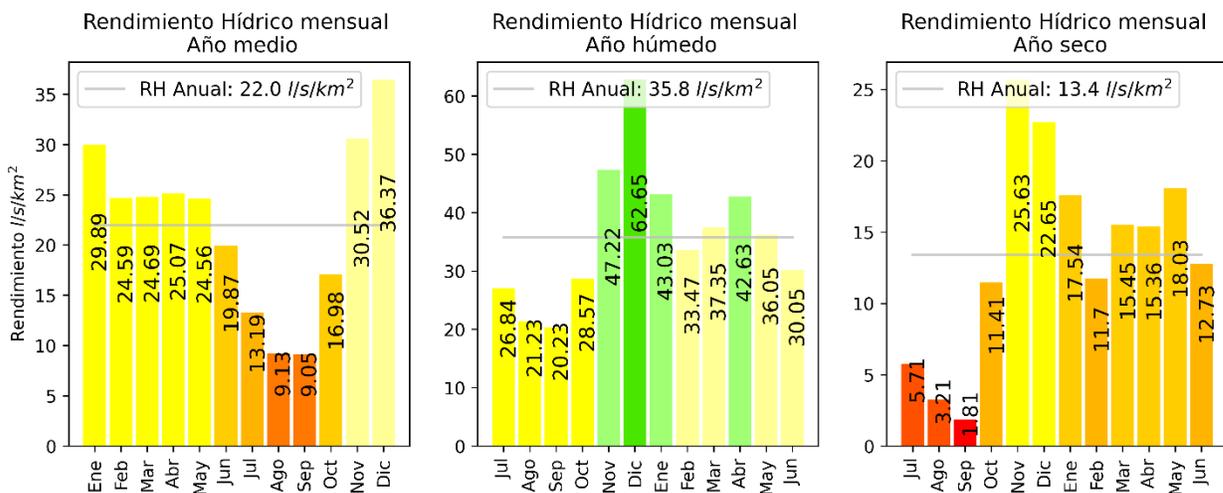


Figura 130. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Cristalina

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Cristalina
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4718258 m Y: 2069901 m

Descripción:
Bocatoma de Salento en quebrada La Cristalina

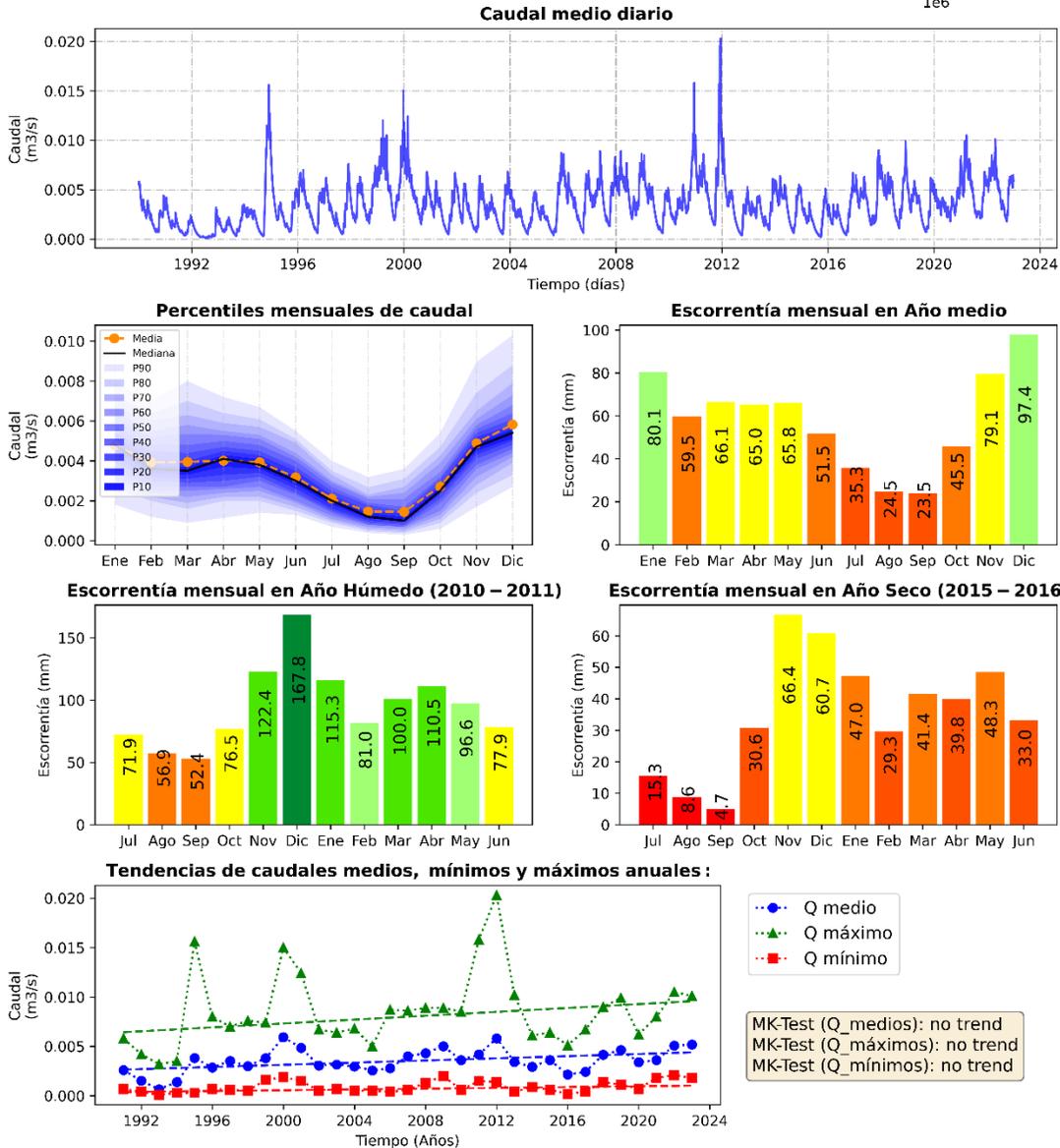
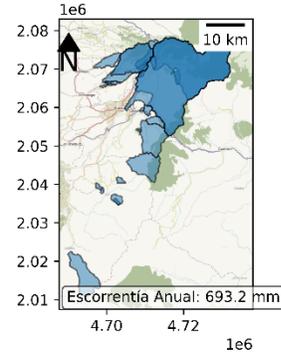


Figura 131. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Cristalina

2.4.44. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cruz Gorda

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 41.0, 70.9 y 25.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 156.1 % de aumento, un 269.9 % de aumento, y un 95.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 12.3, 25.2 y 4.4 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 46.7, 95.9 y 16.7 % con relación al valor medio anual (Figura 132). La escorrentía anual es de 828.0 mm, con valores máximos mensuales de 109.9, 189.9, y 65.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 133).

Tabla 65. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Cruz Gorda

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.110	0.047	0.063	0.184	0.047	0.137	0.063	0.032	0.031

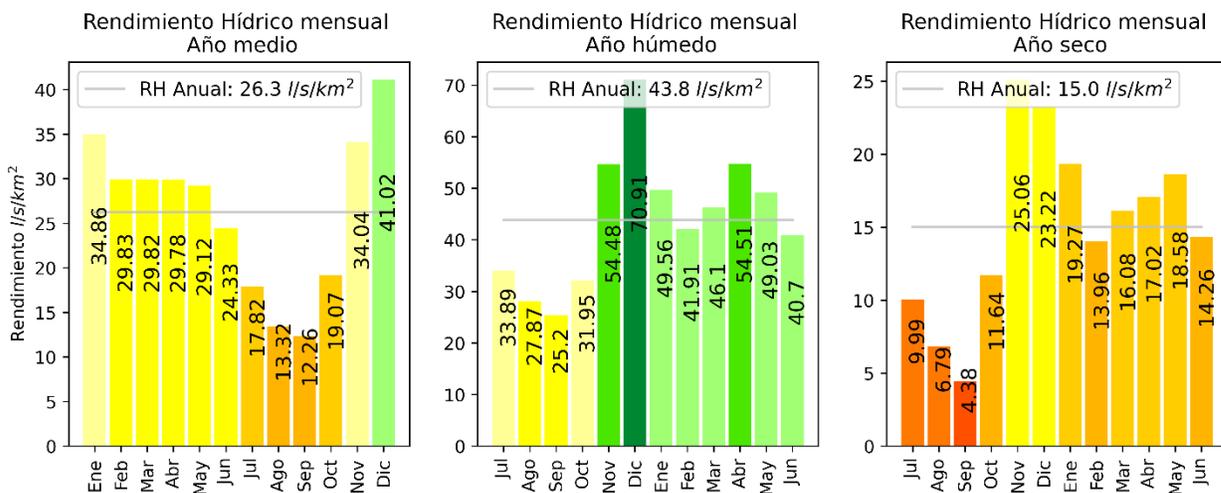


Figura 132. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cruz Gorda

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q Cruz Gorda
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4708718 m Y: 2067892 m

Descripción:
Bocatoma de Salento en quebrada Cruz Gorda

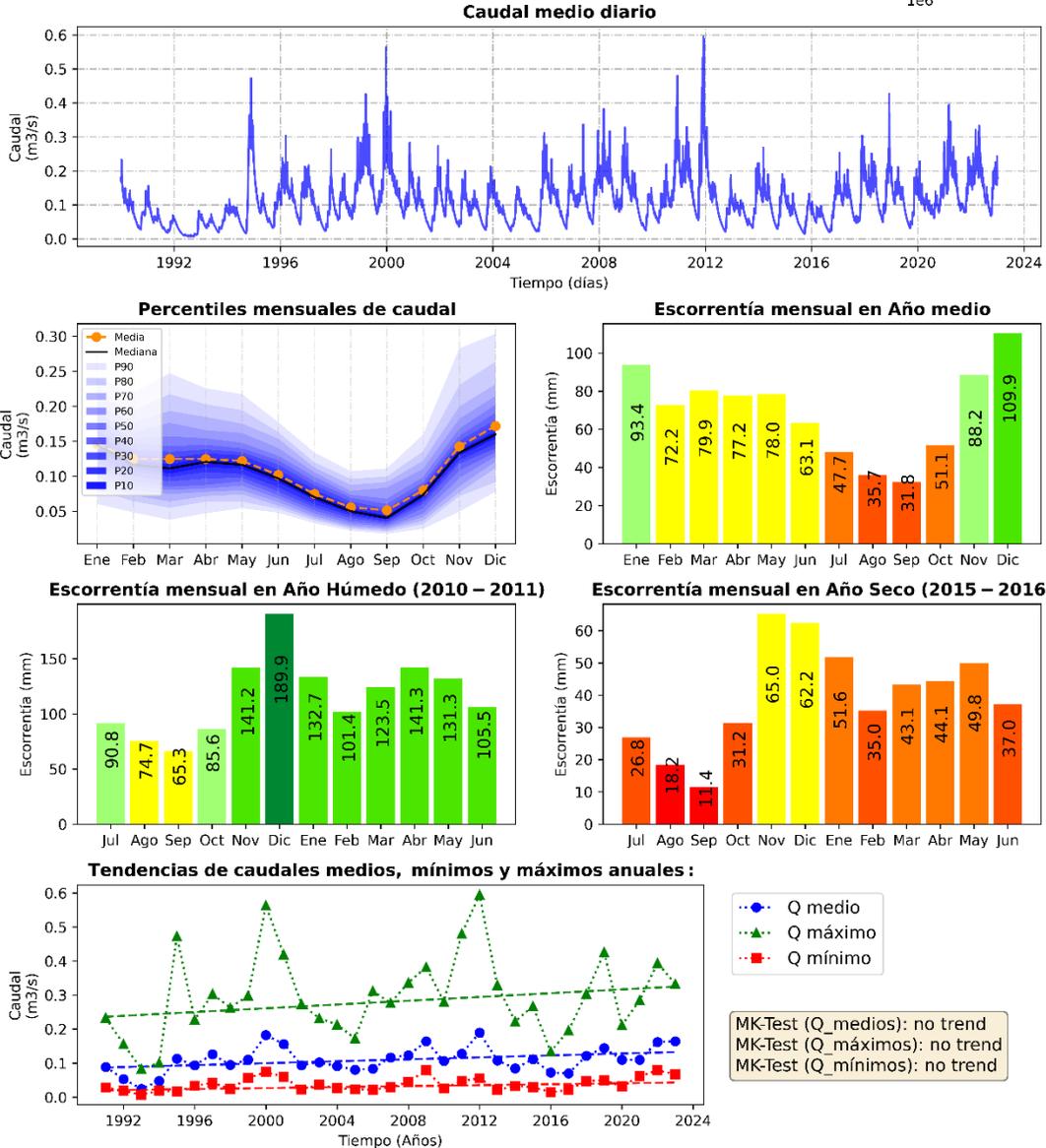
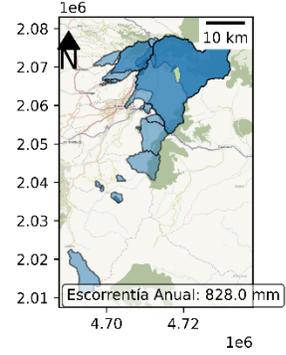


Figura 133. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cruz Gorda

2.4.45. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Aguila

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 33.2, 46.4 y 25.9 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 128.5 % de aumento, un 179.2 % de aumento, y un 100.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.6, 24.2 y 15.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.6, 93.4 y 59.9 % con relación al valor medio anual (Figura 134). La escorrentía anual es de 815.4 mm, con valores máximos mensuales de 86.1, 124.1, y 67.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 135).

Tabla 66. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada El Aguila

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.020	0.013	0.007	0.025	0.013	0.012	0.014	0.012	0.002

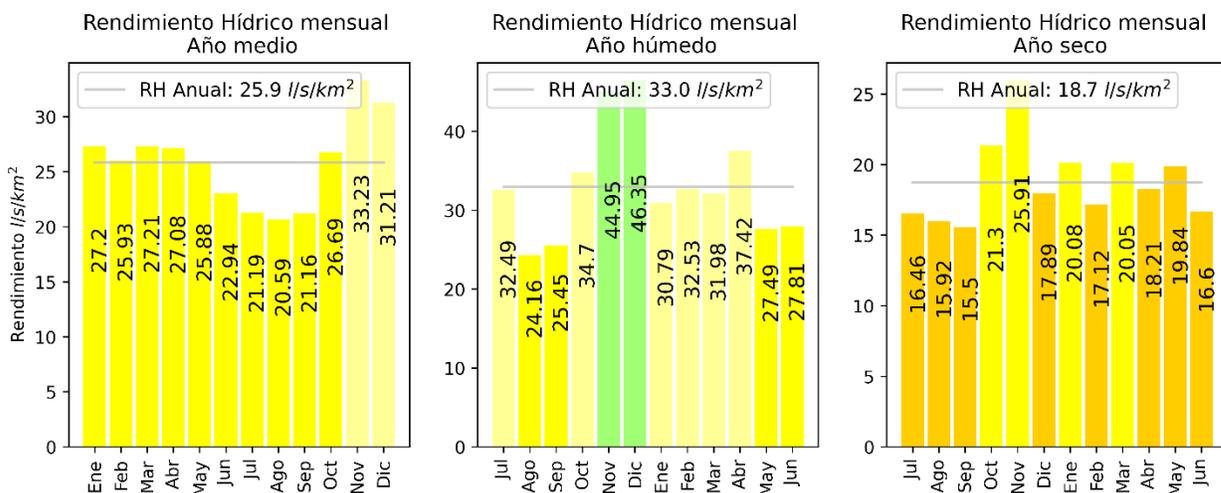


Figura 134. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Aguila

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis: Q El Aguila
 Punto Cierre en Modelo (CTM12):
 X: 4707603 m Y: 2054429 m

Descripción:
 Bocatoma de Circasia en quebrada El Aguila

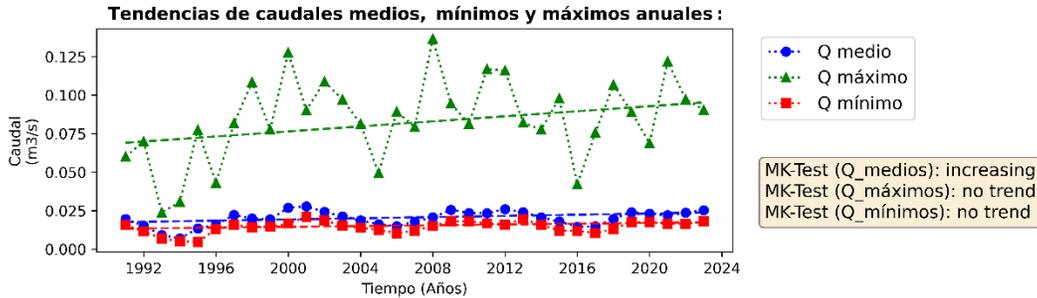
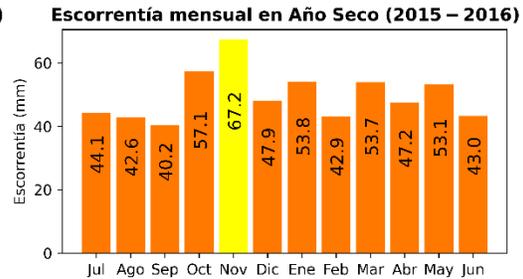
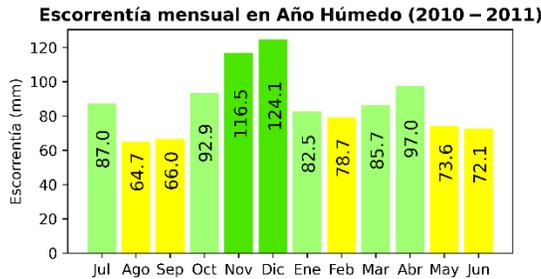
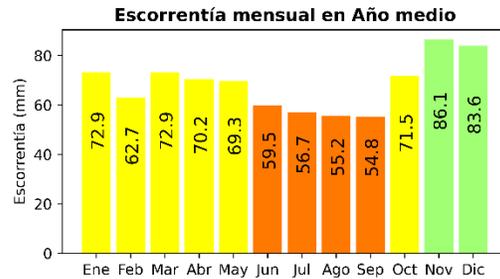
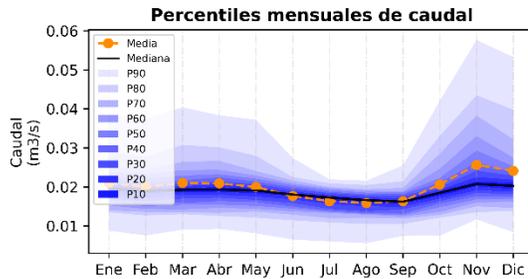
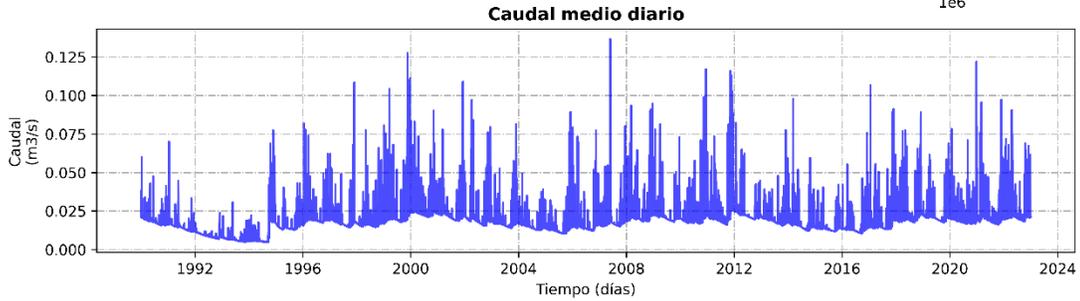
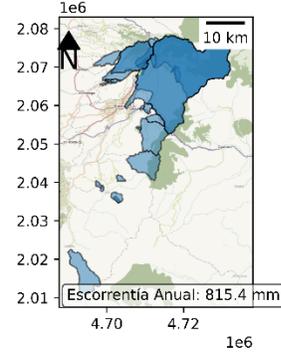


Figura 135. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Aguila

2.4.46. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 31.3, 68.8 y 19.7 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 137.3 % de aumento, un 302.1 % de aumento, y un 86.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 13.3, 14.9 y 6.0 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 58.5, 65.3 y 26.5 % con relación al valor medio anual (Figura 136). La escorrentía anual es de 718.0 mm, con valores máximos mensuales de 83.7, 184.2, y 52.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 137).

Tabla 67. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada El Salado 2

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.014	0.006	0.007	0.024	0.006	0.018	0.007	0.004	0.003

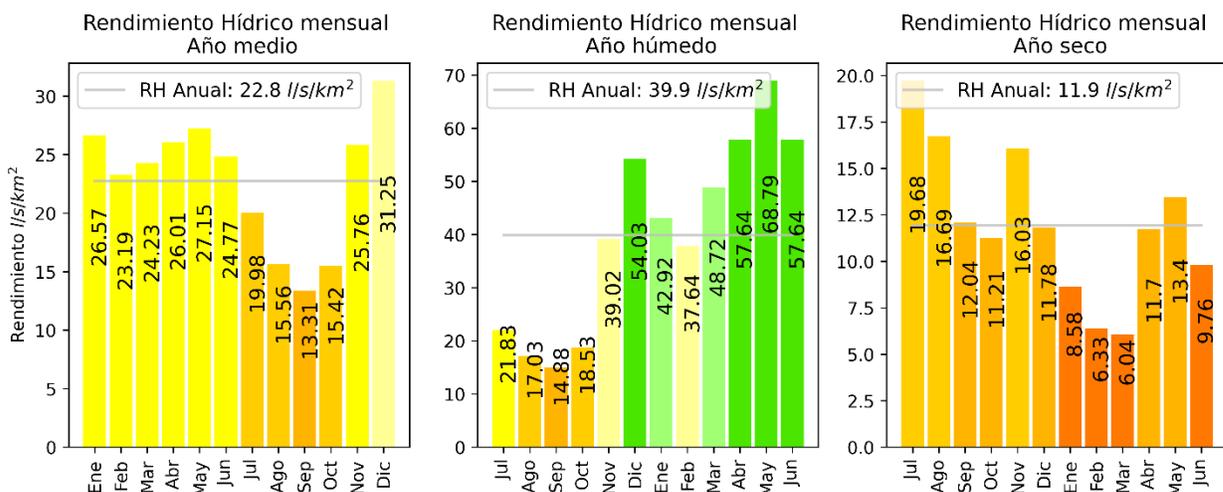


Figura 136. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado 2

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q El Salado 2
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4710168 m Y: 2056774 m

Descripción:
Bocatoma de La Virginia en quebrada Salado

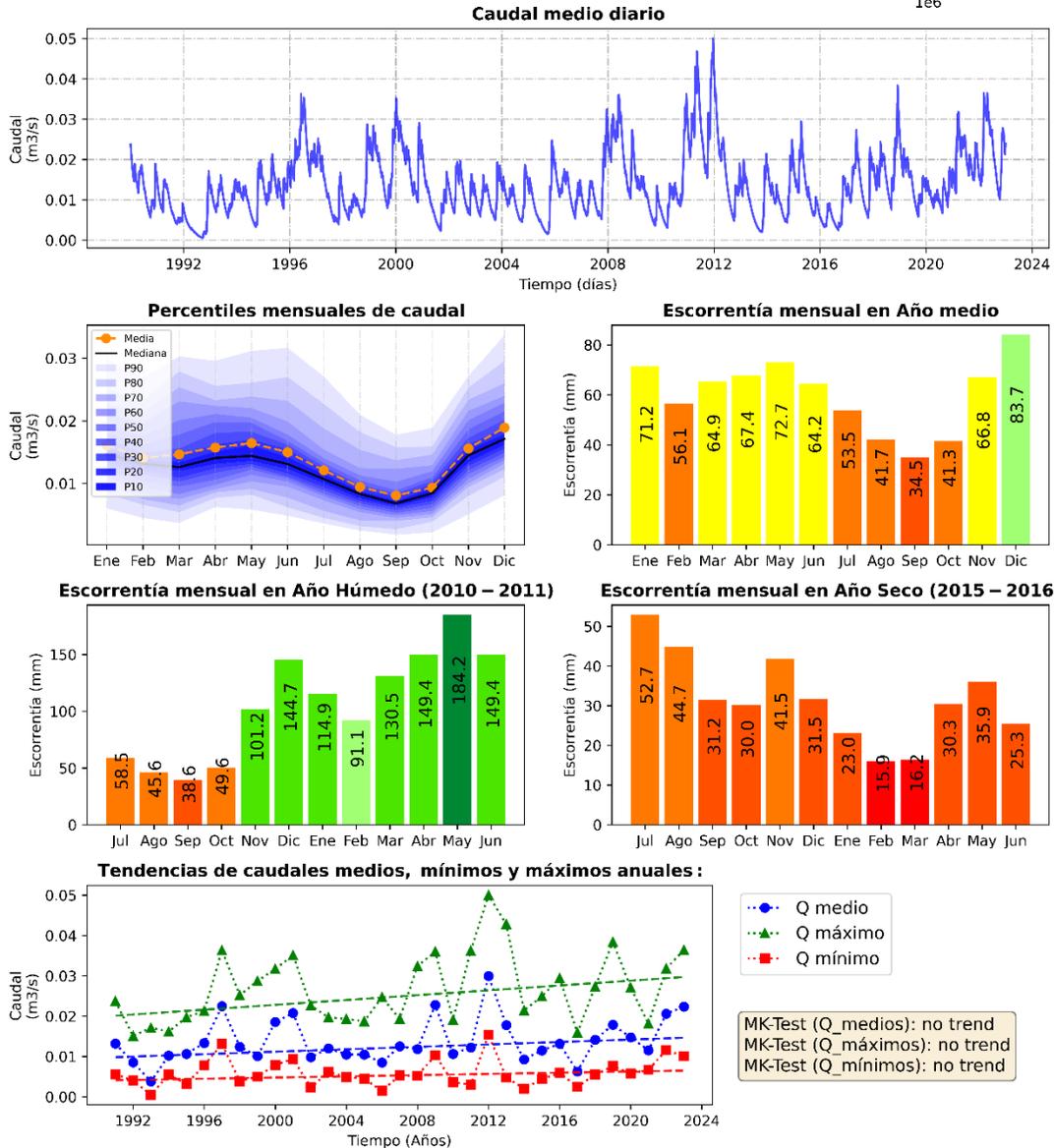
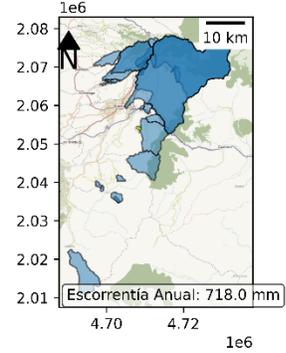


Figura 137. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado 2

2.4.47. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado La Gata

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 39.8, 94.1 y 23.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 142.8 % de aumento, un 338.0 % de aumento, y un 83.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 15.6, 23.2 y 8.0 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 56.2, 83.2 y 28.7 % con relación al valor medio anual (Figura 138). La escorrentía anual es de 878.0 mm, con valores máximos mensuales de 106.5, 252.0, y 62.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 139).

Tabla 68. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada El Salado La Gata

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.226	0.102	0.124	0.427	0.102	0.325	0.120	0.080	0.040

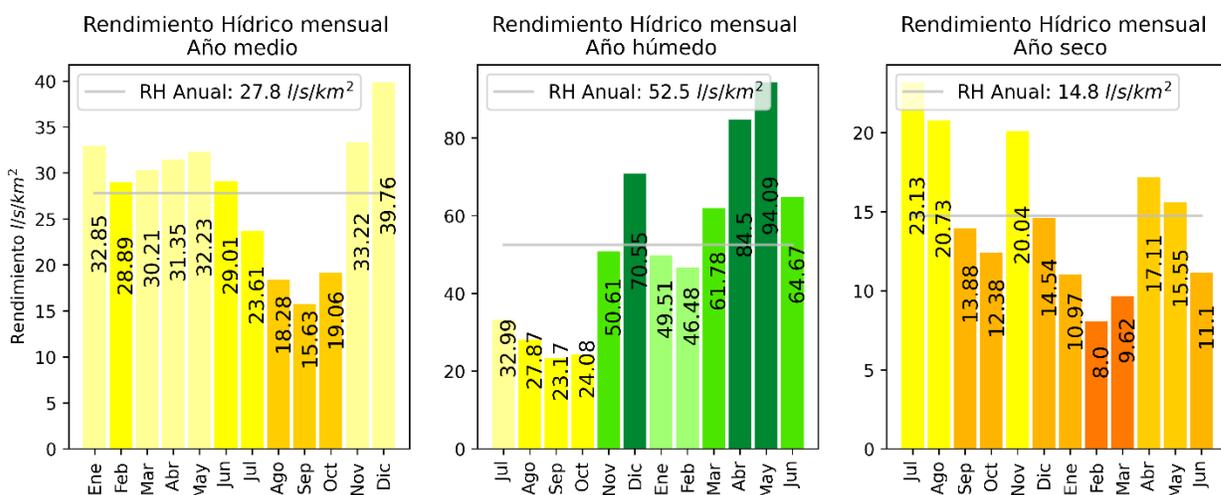


Figura 138. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado La Gata

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Q El Salado La Gata
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4702109 m Y: 2036392 m

Descripción:
Bocatoma de Calarcá en quebrada La Gata

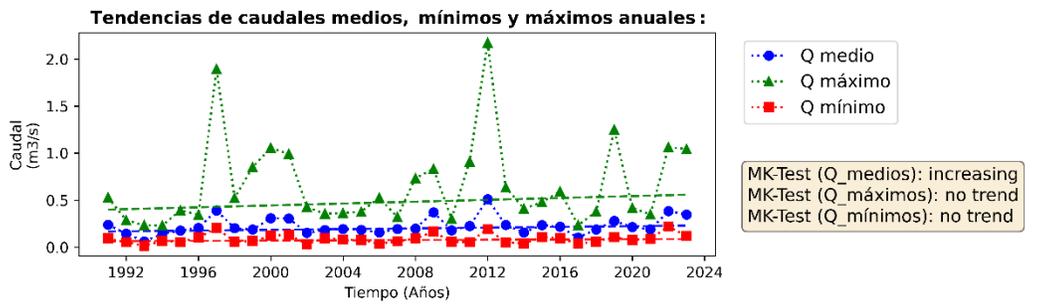
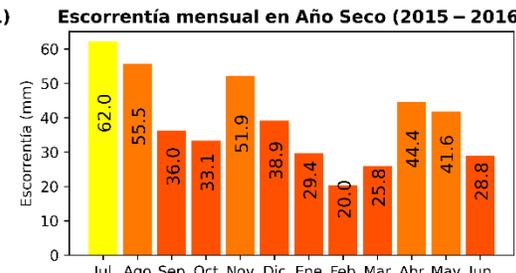
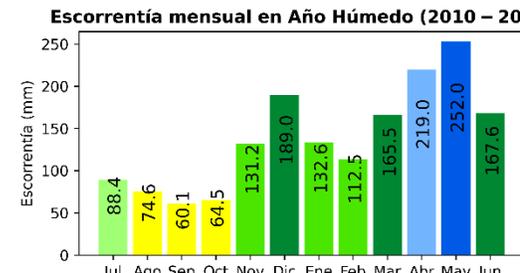
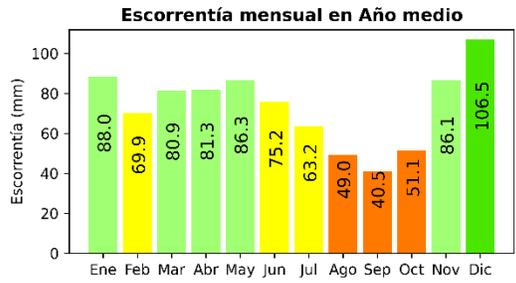
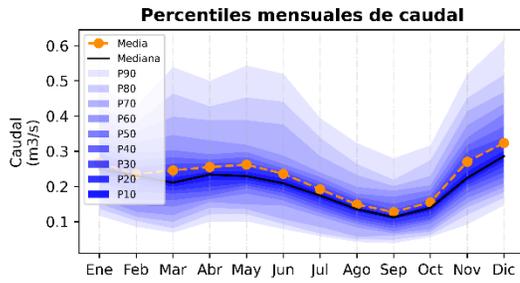
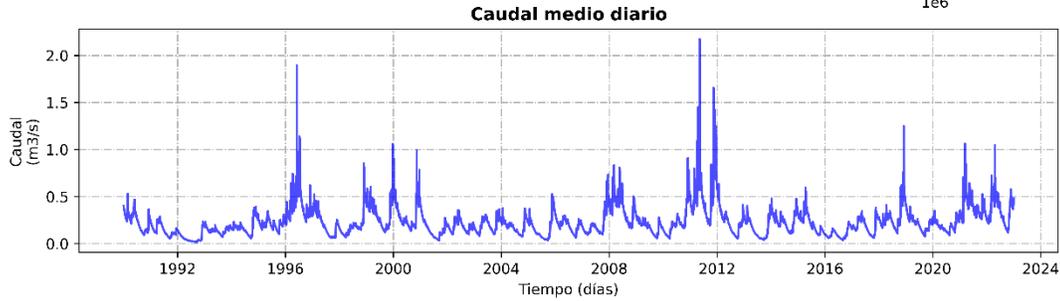
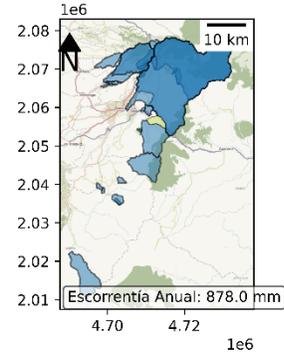


Figura 139. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Salado La Gata

2.4.48. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Diamantina

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 57.7, 104.1 y 28.0 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 154.2 % de aumento, un 278.0 % de aumento, y un 74.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 15.8, 19.6 y 5.2 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 42.2, 52.4 y 13.8 % con relación al valor medio anual (Figura 140). La escorrentía anual es de 1,179.7 mm, con valores máximos mensuales de 154.7, 278.8, y 72.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 141).

Tabla 69. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Diamantina

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.050	0.021	0.029	0.086	0.021	0.065	0.022	0.011	0.011

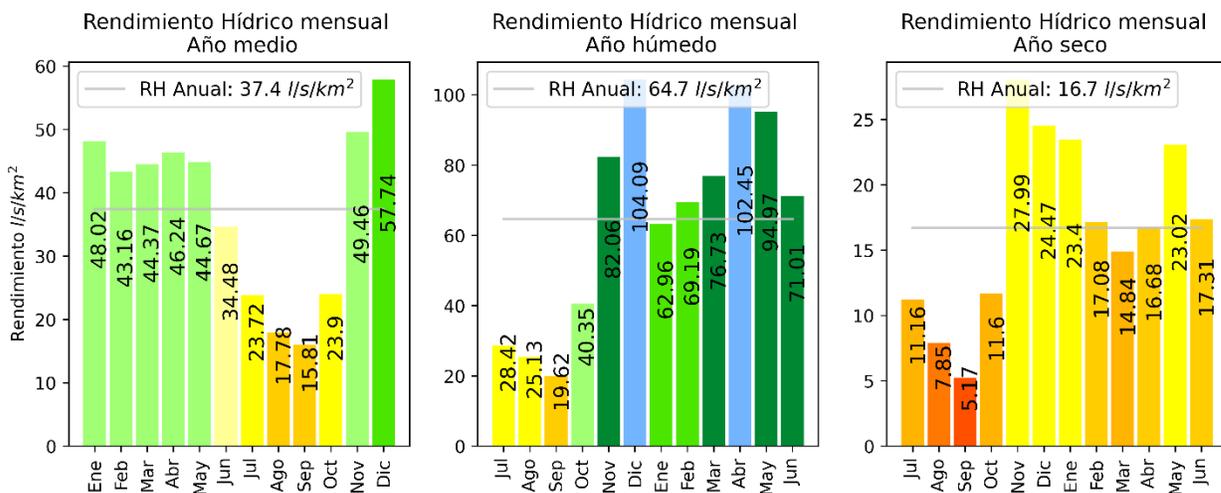


Figura 140. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Diamantina

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q Diamantina
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4709119 m Y: 2067984 m

Descripción:
Bocatoma de Pijao en quebrada Diamantina

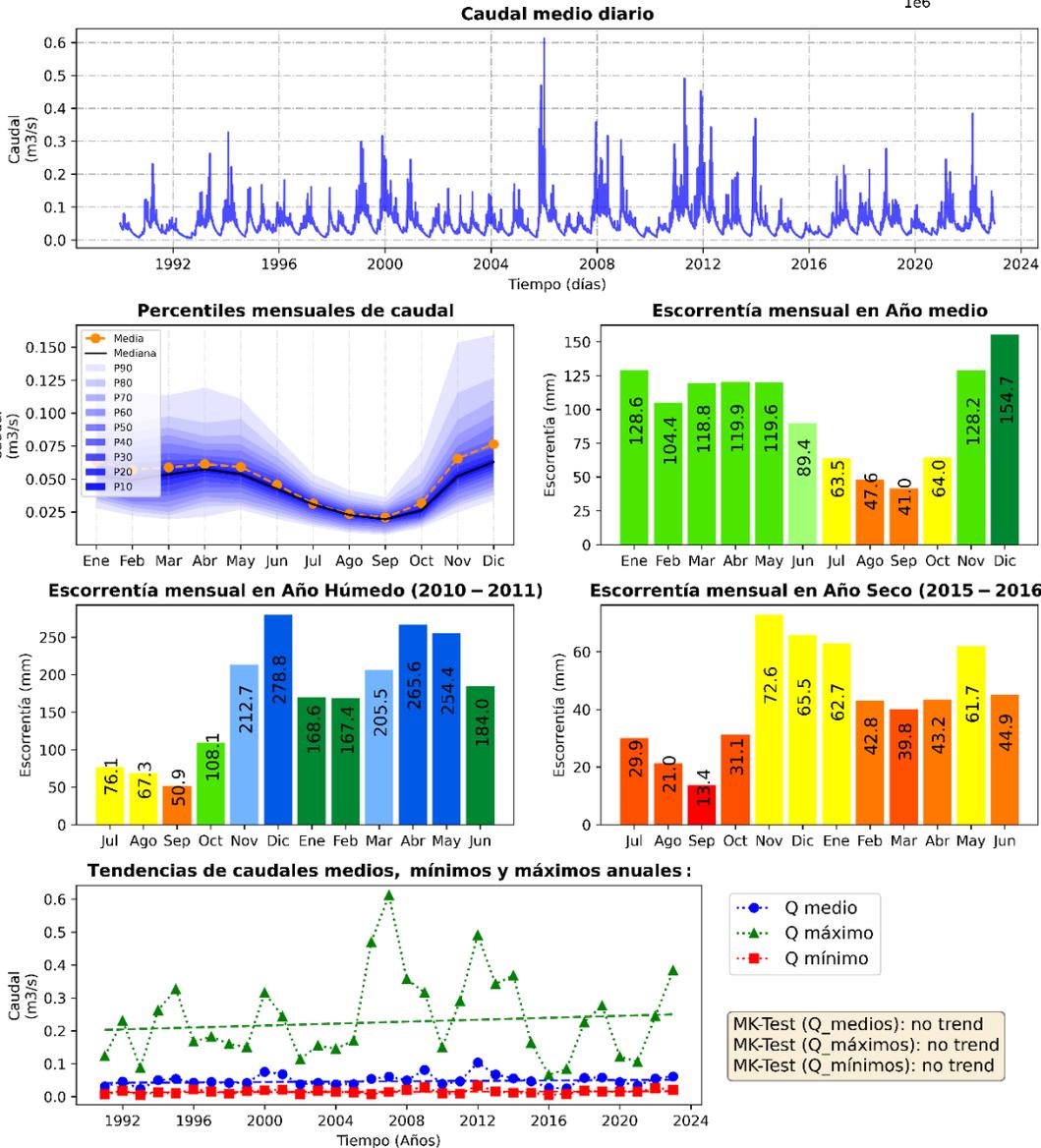
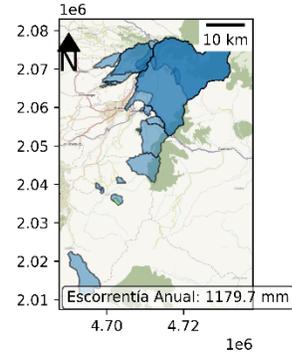


Figura 141. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Diamantina

2.4.49. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Llorona

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 33.4, 46.5 y 26.0 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 128.5 % de aumento, un 179.2 % de aumento, y un 100.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.7, 24.3 y 15.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.6, 93.4 y 59.9 % con relación al valor medio anual (Figura 142). La escorrentía anual es de 818.7 mm, con valores máximos mensuales de 86.5, 124.7, y 67.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 143).

Tabla 70. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Llorona

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.028	0.018	0.010	0.036	0.018	0.017	0.020	0.017	0.003

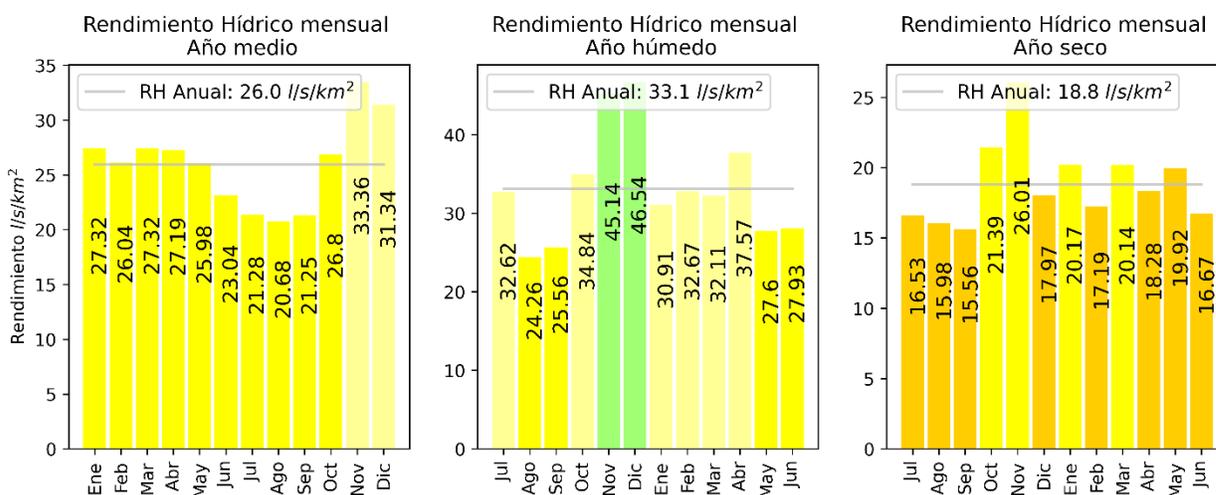


Figura 142. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Llorona

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Llorona
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4697196 m Y: 2040253 m

Descripción:
Bocatoma de Circasia en quebrada La Llorona

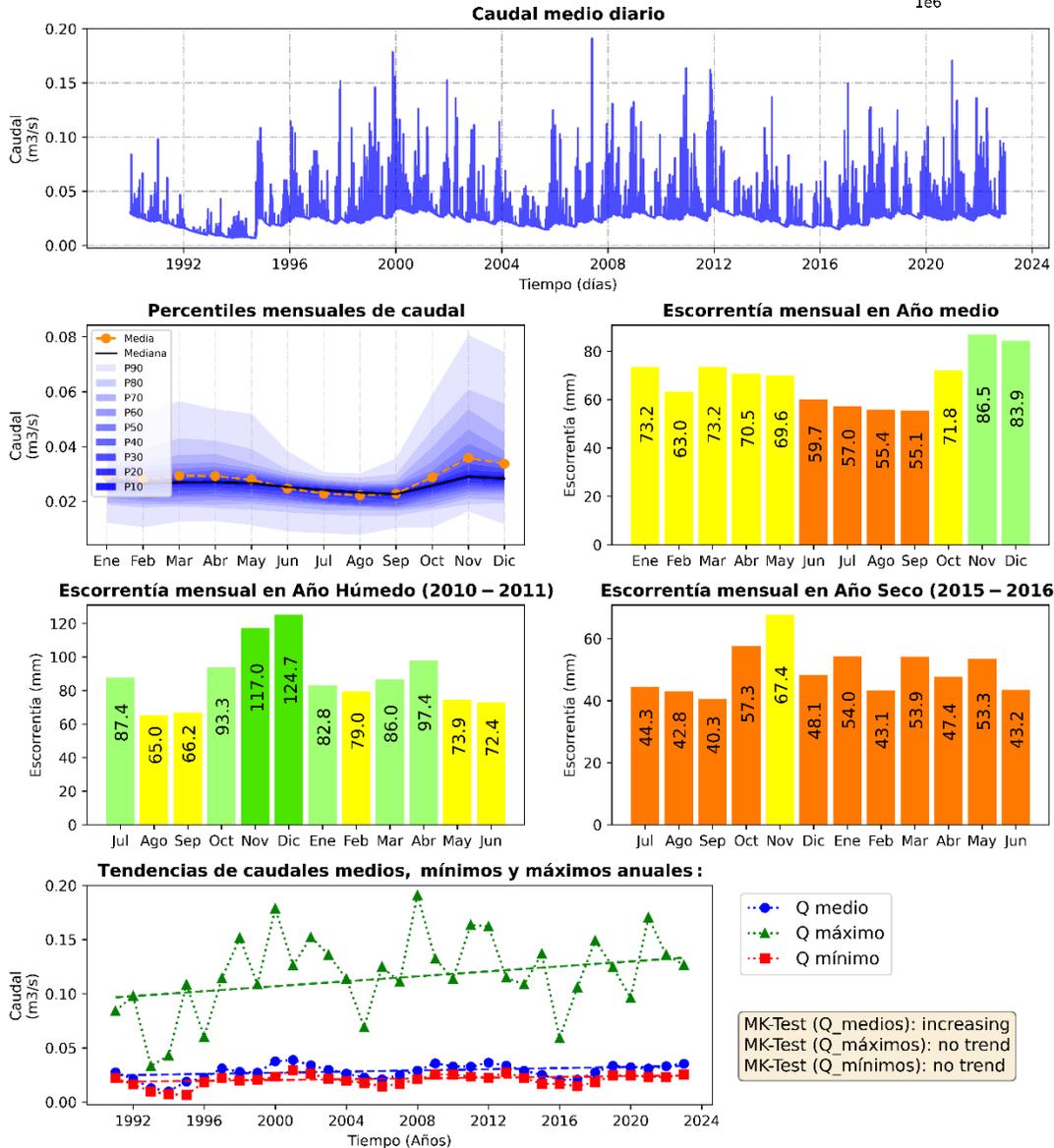
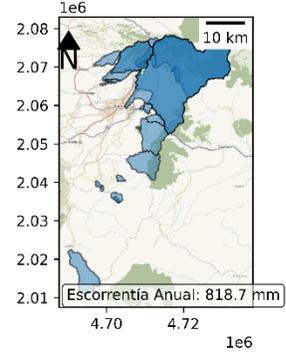


Figura 143. Oferta hídrica total superficial y escoorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Llorona

2.4.50. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Picota

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 62.0, 106.7 y 34.2 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 147.7 % de aumento, un 254.2 % de aumento, y un 81.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 19.0, 23.8 y 6.3 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 45.2, 56.8 y 15.0 % con relación al valor medio anual (Figura 144). La escorrentía anual es de 1,322.3 mm, con valores máximos mensuales de 165.9, 285.7, y 88.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 145).

Tabla 71. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Picota

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.067	0.031	0.036	0.109	0.031	0.078	0.033	0.017	0.017

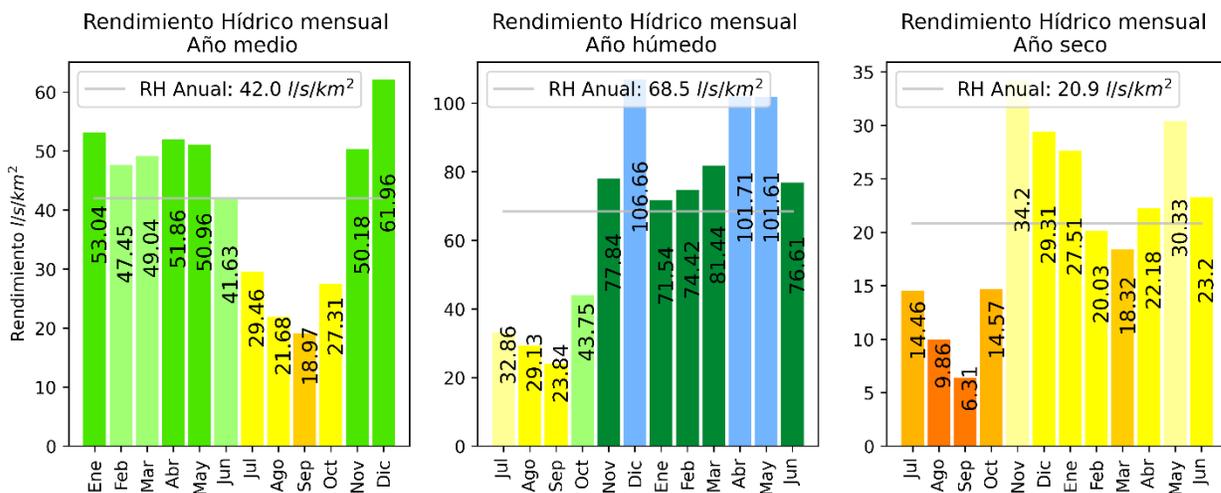


Figura 144. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Picota

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Picota
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4712207 m Y: 2069992 m

Descripción:
Bocatoma de Buenavista en quebrada La Picota

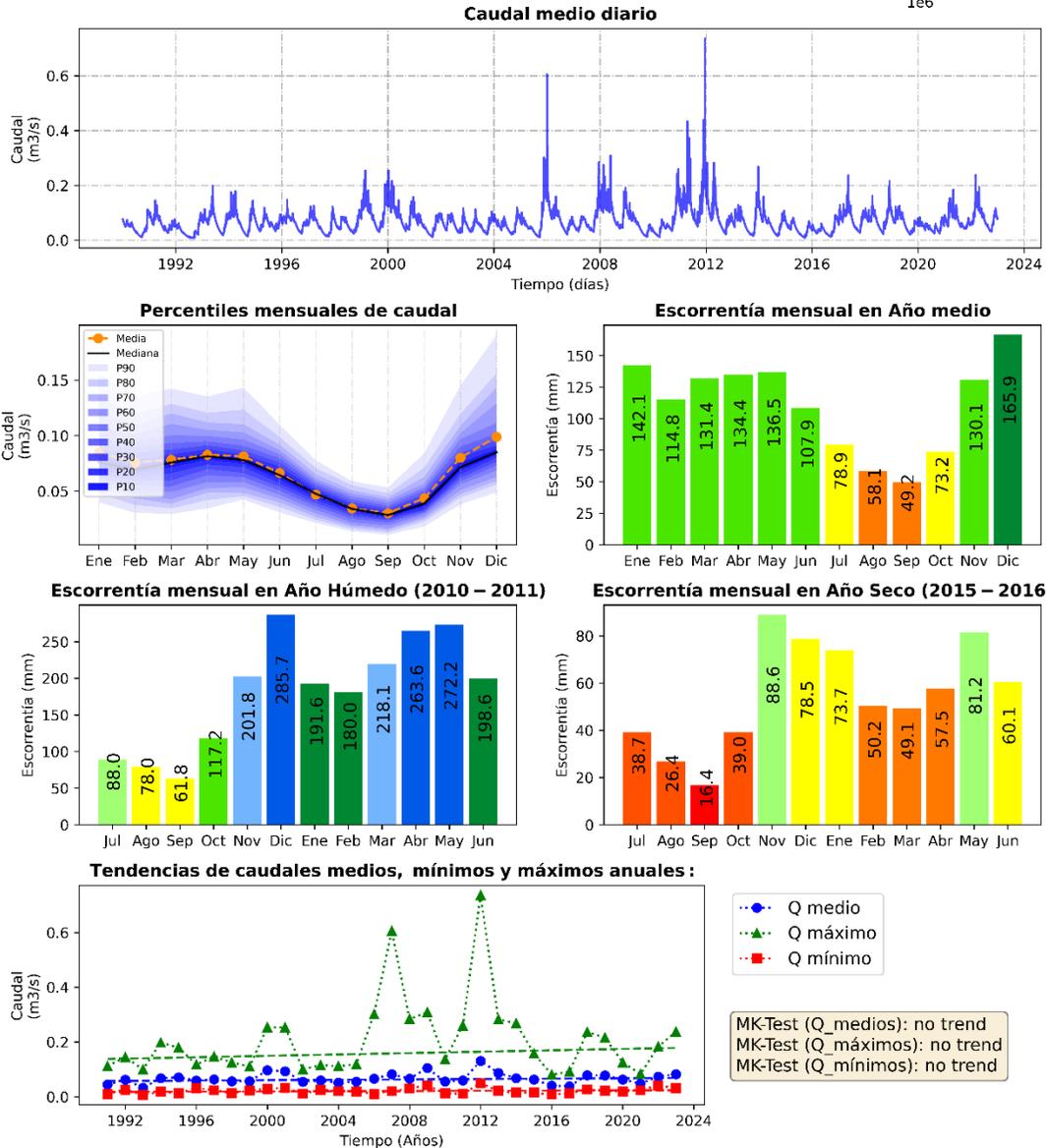
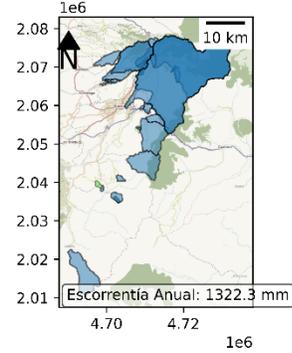


Figura 145. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Picota

2.4.51. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Vibora

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 33.4, 46.5 y 26.0 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 128.5 % de aumento, un 179.2 % de aumento, y un 100.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.7, 24.3 y 15.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.6, 93.4 y 59.9 % con relación al valor medio anual (Figura 146). La escorrentía anual es de 818.7 mm, con valores máximos mensuales de 86.5, 124.6, y 67.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 147).

Tabla 72. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Vibora

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.090	0.059	0.031	0.114	0.059	0.056	0.065	0.055	0.010

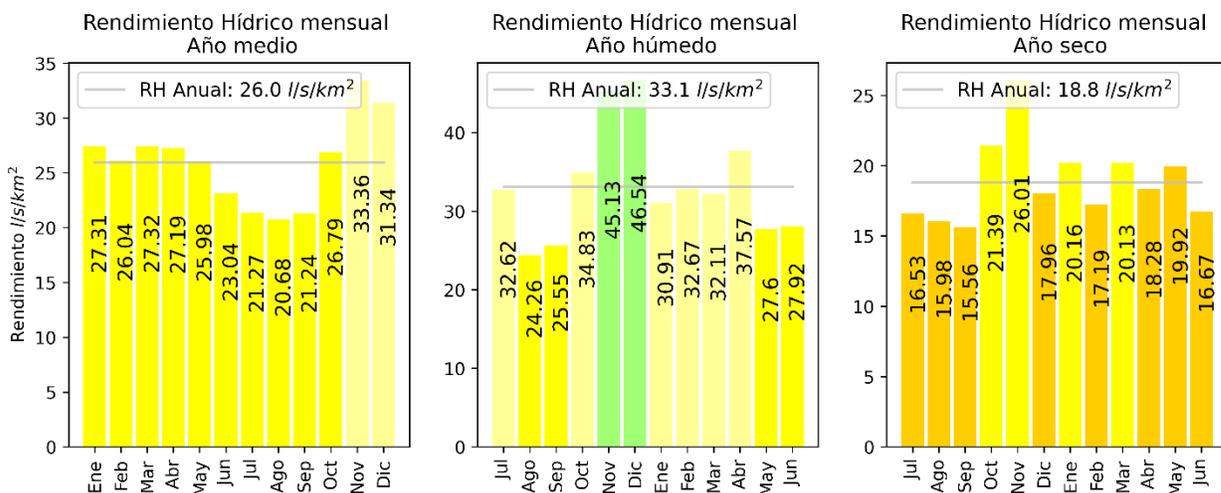


Figura 146. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Vibora

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Vibora
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4701677 m Y: 2037316 m

Descripción:
Bocatoma de Armenia en quebrada La Vibora

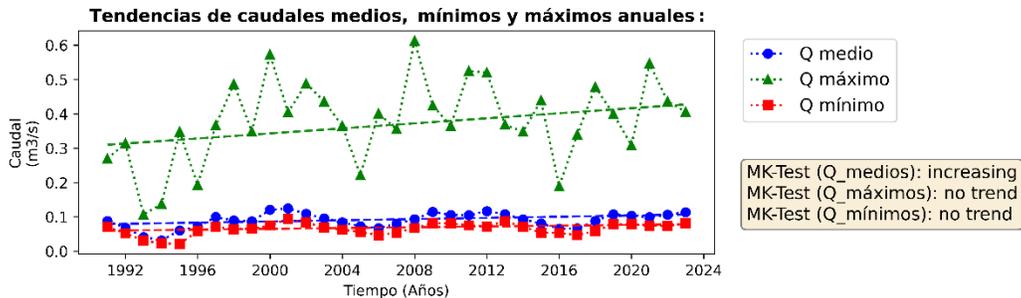
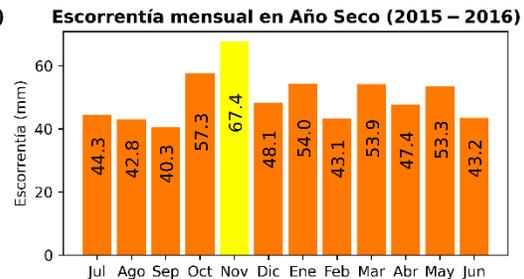
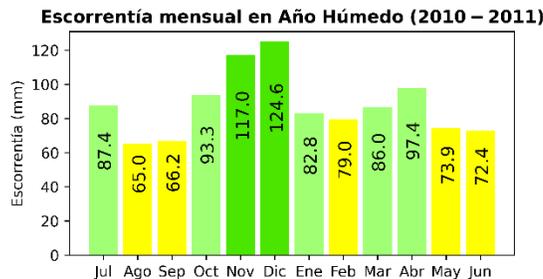
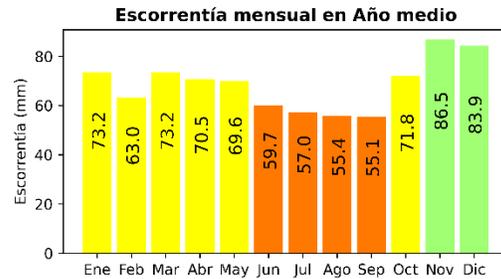
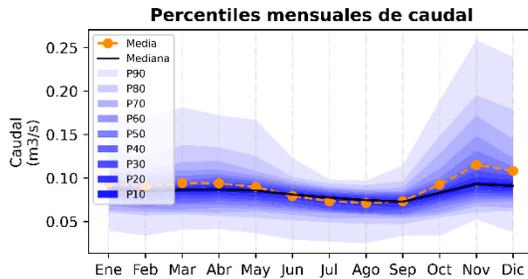
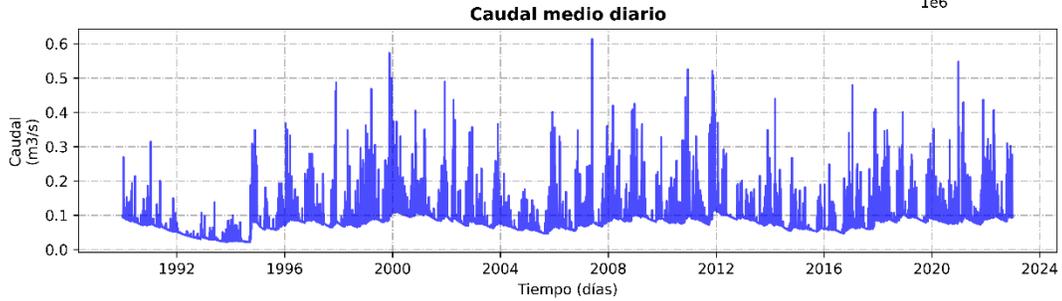
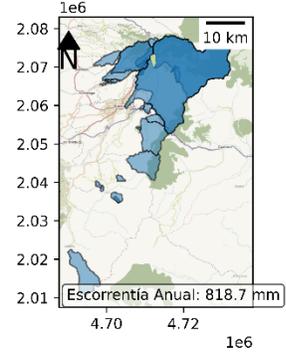


Figura 147. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Vibora

2.4.52. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Pizarras

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 58.1, 105.9 y 28.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 150.4 % de aumento, un 273.9 % de aumento, y un 74.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 17.0, 21.3 y 5.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 43.9, 55.0 y 15.0 % con relación al valor medio anual (Figura 148). La escorrentía anual es de 1,218.1 mm, con valores máximos mensuales de 155.7, 278.2, y 74.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 149).

Tabla 73. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Las Pizarras

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.216	0.093	0.123	0.369	0.093	0.276	0.098	0.050	0.048

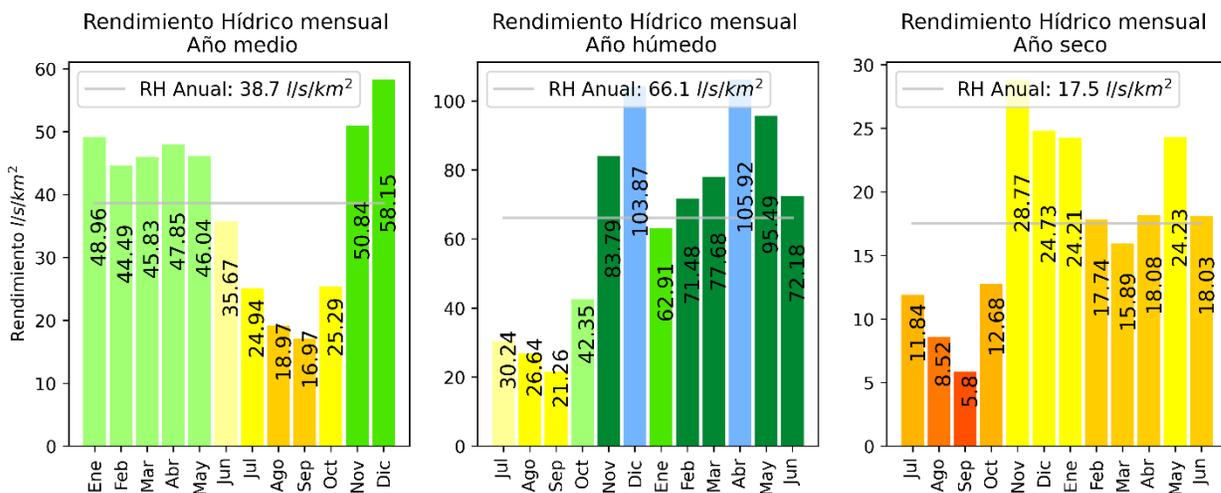


Figura 148. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Pizarras

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q Las Pizarras
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4708532 m Y: 2059185 m

Descripción:
Bocatoma de Pijao en quebrada Las Pizarras

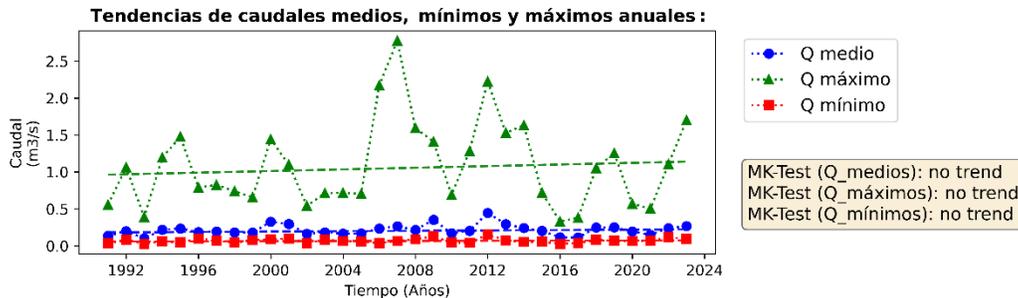
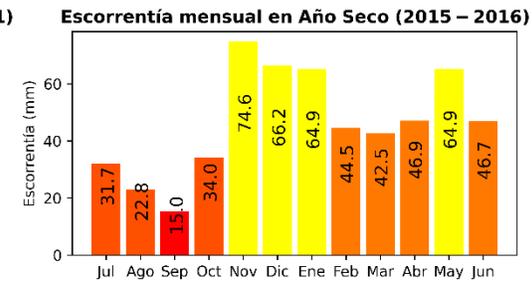
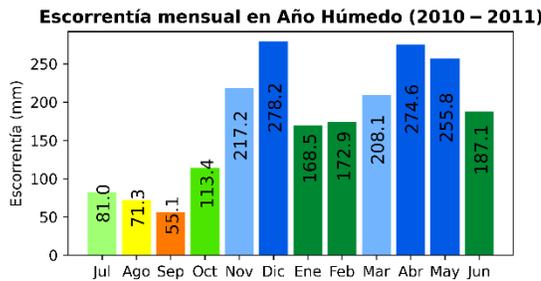
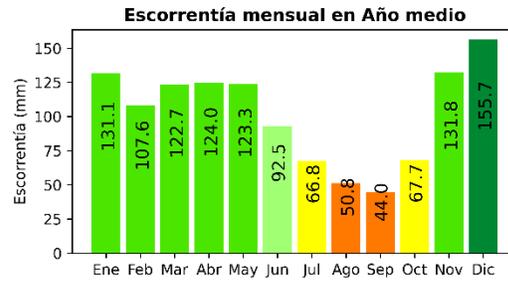
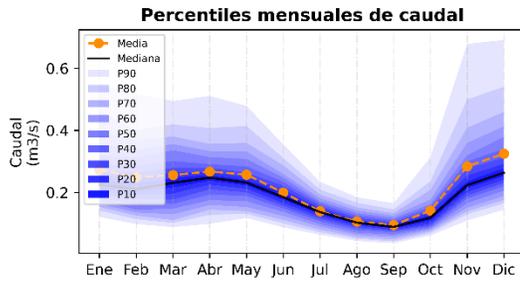
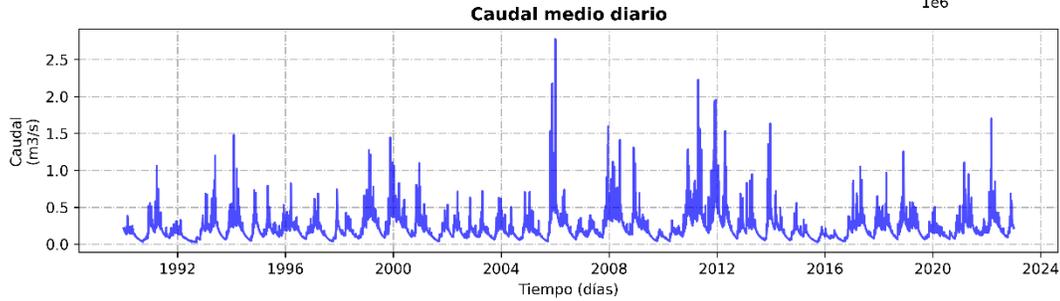
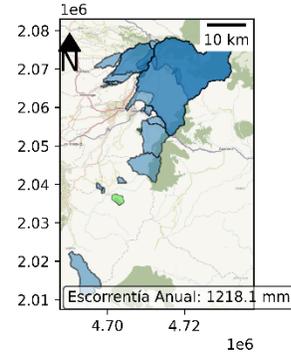


Figura 149. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Pizarras

2.4.53. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Naranjal

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 37.6, 69.9 y 21.9 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 137.9 % de aumento, un 256.3 % de aumento, y un 80.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 16.0, 25.3 y 11.9 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 58.6, 92.8 y 43.5 % con relación al valor medio anual (Figura 150). La escorrentía anual es de 860.1 mm, con valores máximos mensuales de 100.8, 187.3, y 56.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 151).

Tabla 74. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada El Naranjal

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.020	0.011	0.009	0.035	0.011	0.024	0.012	0.009	0.003

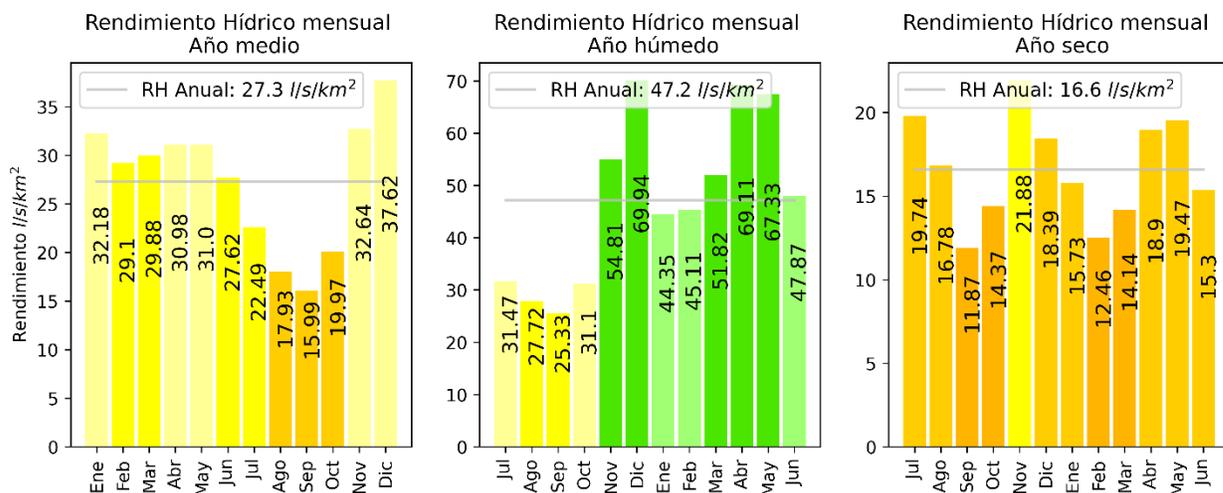


Figura 150. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Naranjal

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q El Naranjal
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4702972 m Y: 2041890 m

Descripción:
Bocatoma de Calarcá en quebrada El Naranjal

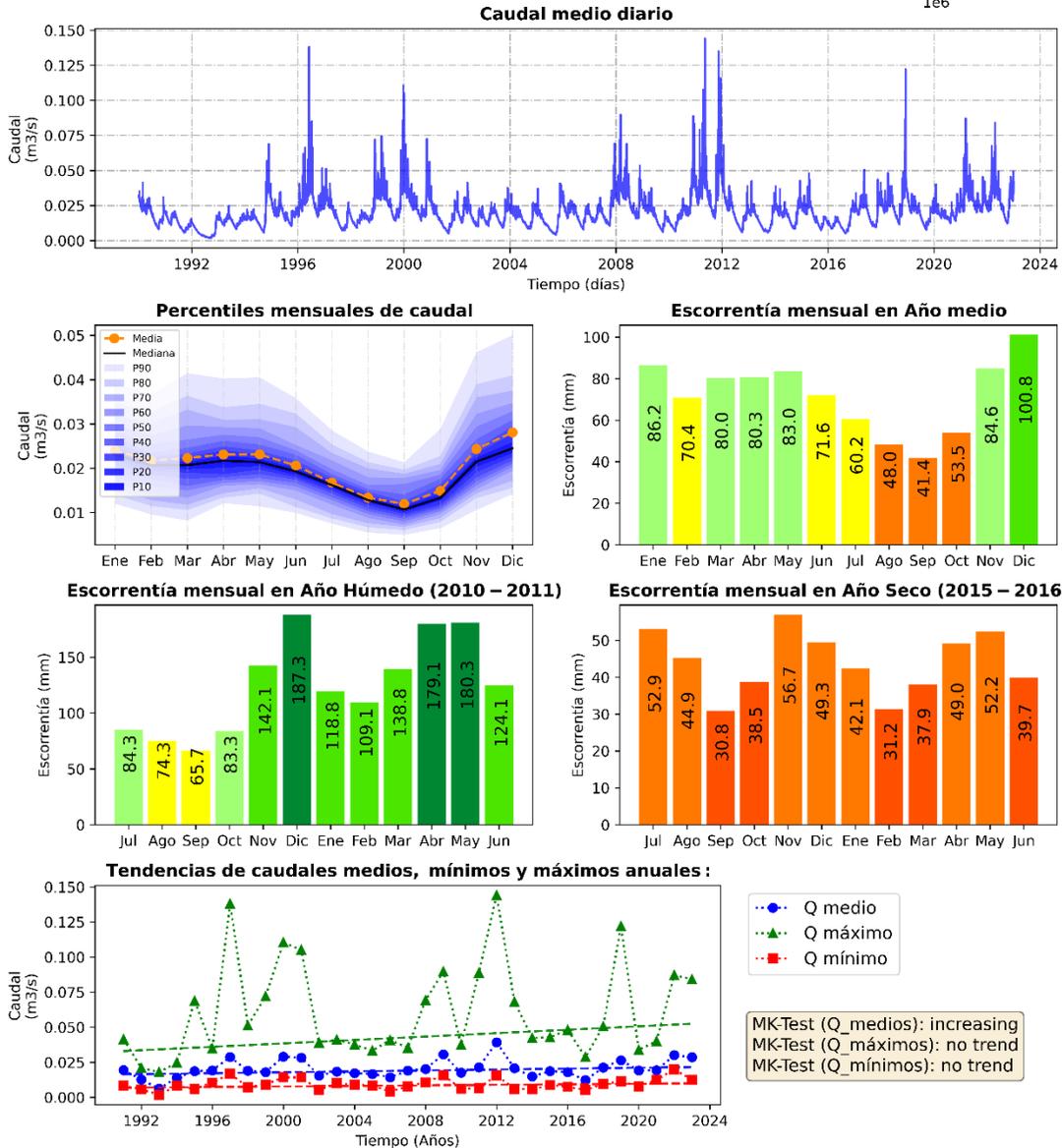
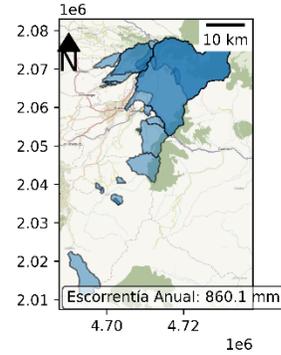


Figura 151. Oferta hídrica total superficial y esccorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Naranjal

2.4.54. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Roble Los Justos

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 44.7, 79.7 y 22.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 142.2 % de aumento, un 253.5 % de aumento, y un 72.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.2, 14.4 y 7.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 45.2, 45.8 y 22.7 % con relación al valor medio anual (Figura 152). La escorrentía anual es de 990.3 mm, con valores máximos mensuales de 119.7, 213.4, y 59.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 153).

Tabla 75. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada El Roble Los Justos

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.075	0.034	0.041	0.122	0.034	0.088	0.038	0.024	0.014

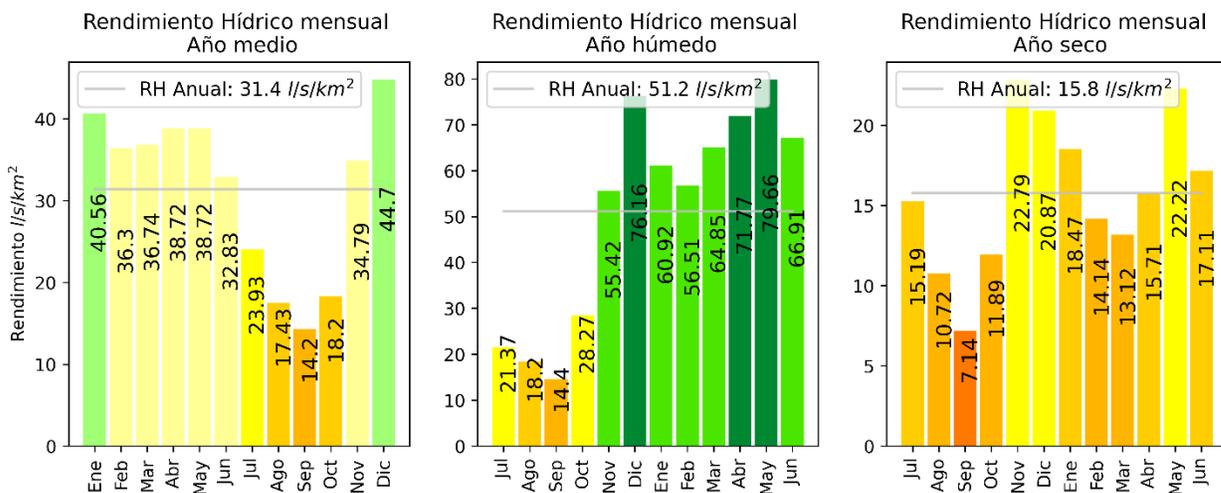


Figura 152. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Roble Los Justos

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q El Roble Los Justos
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4699175 m Y: 2037937 m

Descripción:
Bocatoma de Córdoba en quebrada El Roble

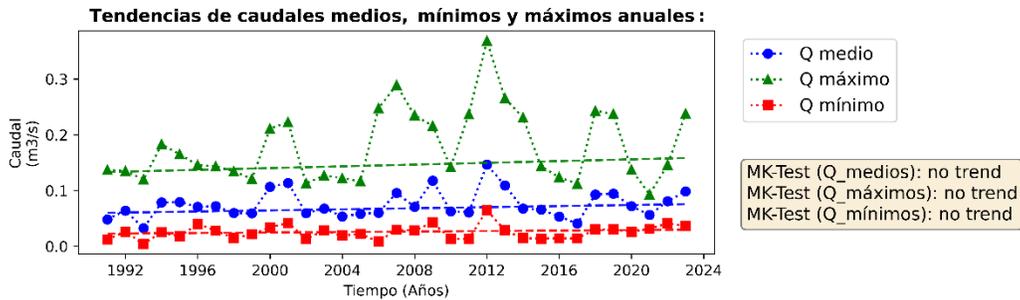
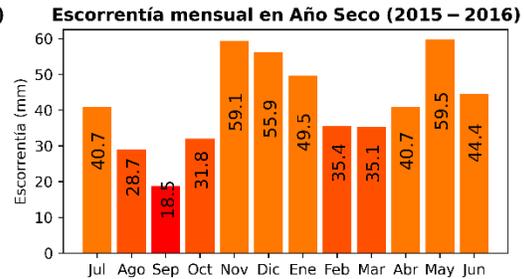
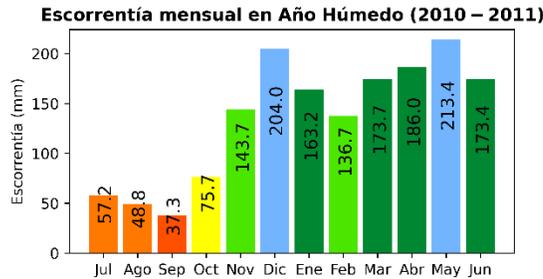
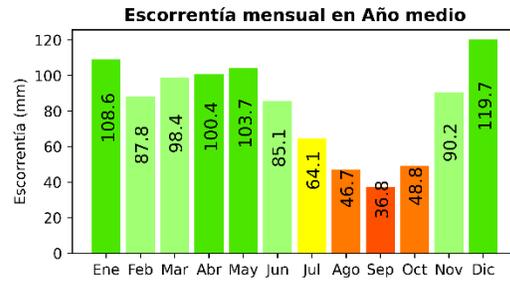
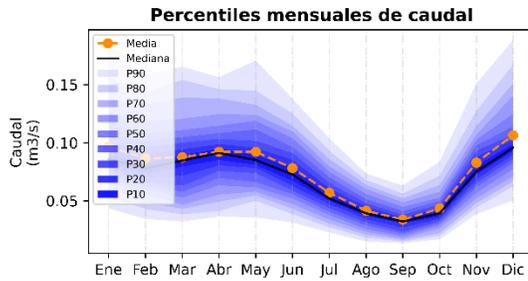
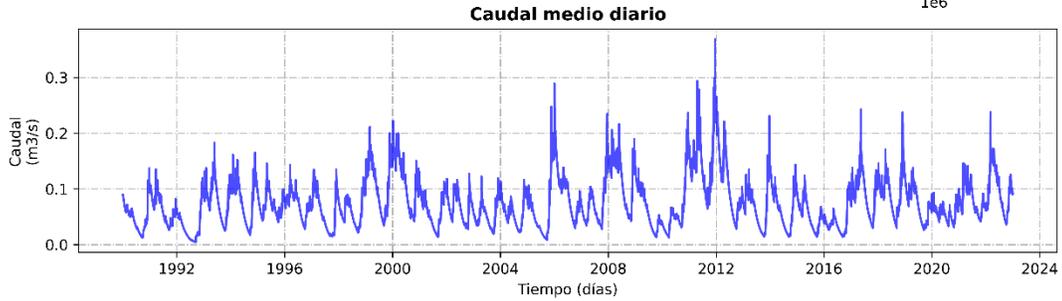
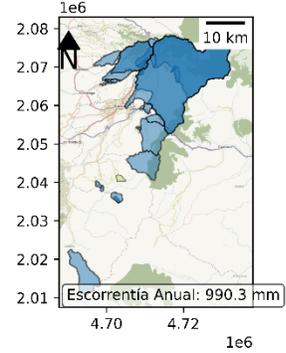


Figura 153. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Roble Los Justos

2.4.55. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Pijao

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 56.7, 98.1 y 27.6 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 146.4 % de aumento, un 253.4 % de aumento, y un 71.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 17.1, 20.7 y 4.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 44.2, 53.4 y 11.6 % con relación al valor medio anual (Figura 154). La escorrentía anual es de 1,220.1 mm, con valores máximos mensuales de 151.9, 262.8, y 71.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 155).

Tabla 76. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Pijao

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.036	0.016	0.020	0.060	0.016	0.044	0.016	0.007	0.009

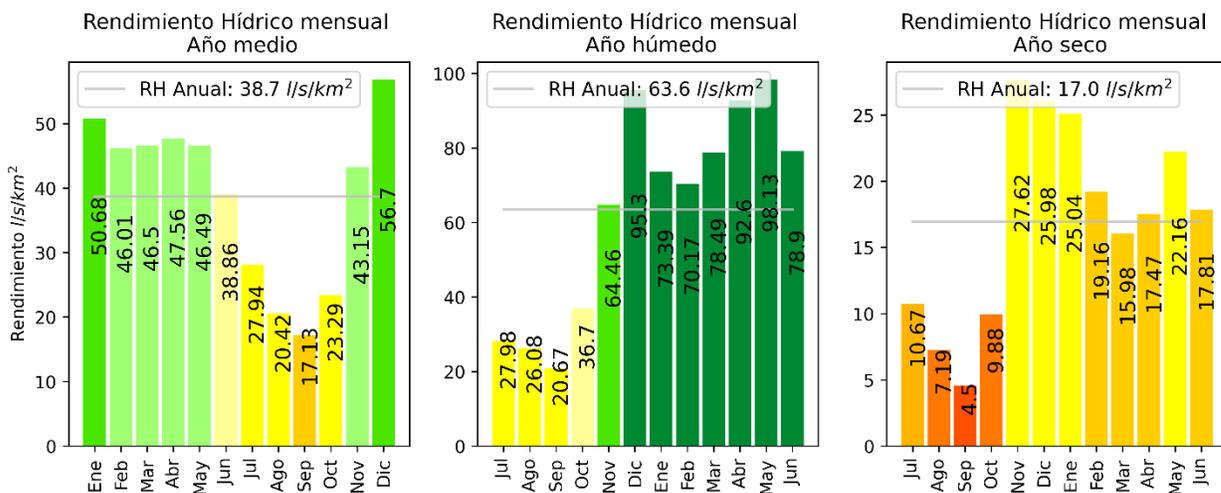


Figura 154. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Pijao

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q Pijao
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4690342 m Y: 2022311 m

Descripción:
Bocatoma de Pijao en quebrada Pijao

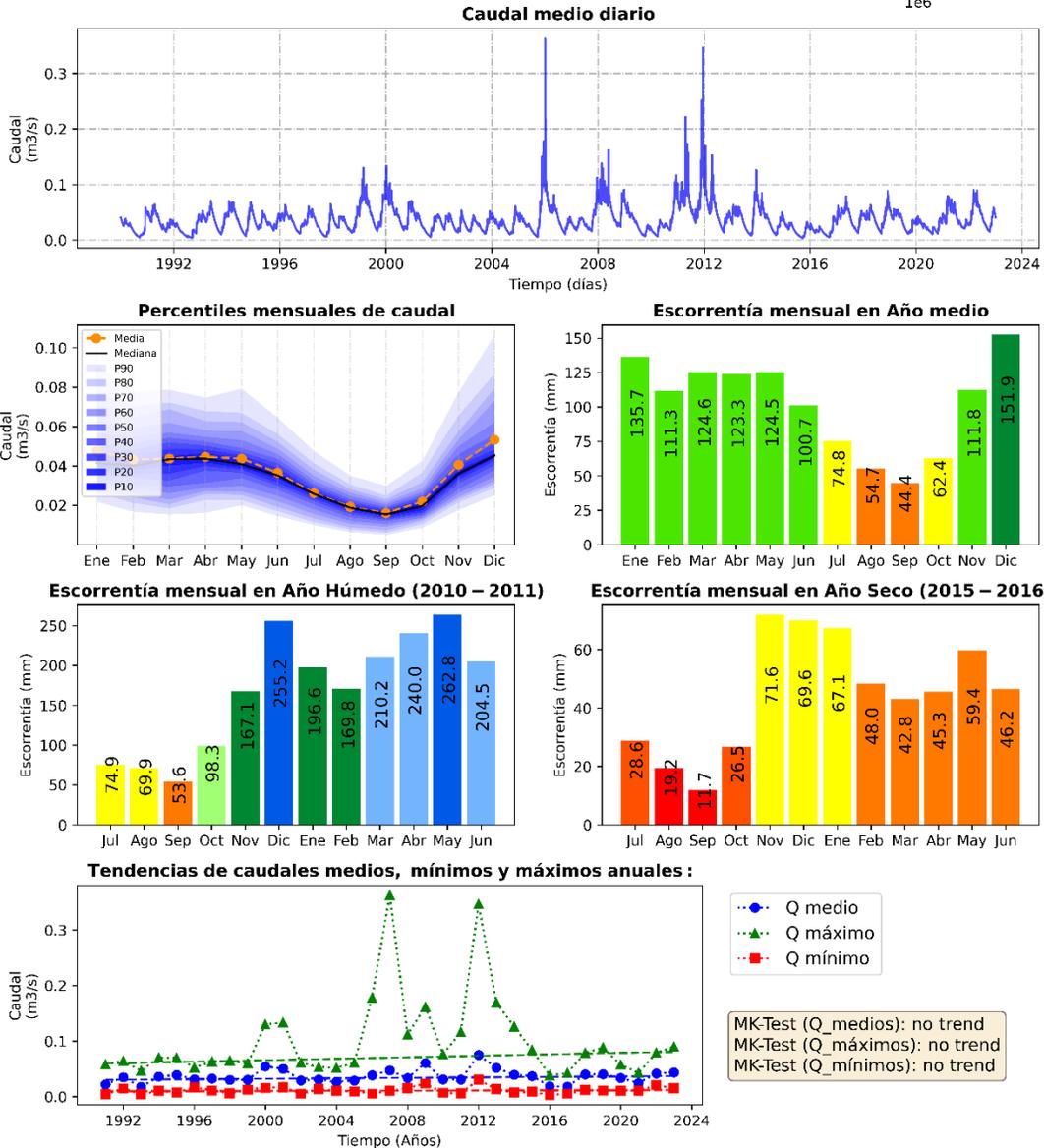
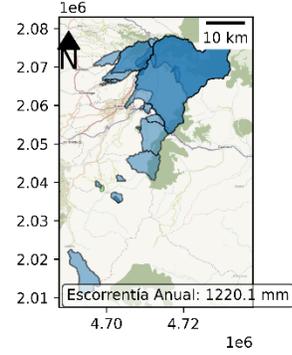


Figura 155. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Pijao

2.4.56. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Gris

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 47.0, 99.3 y 37.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 124.8 % de aumento, un 263.7 % de aumento, y un 99.6 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.4, 31.2 y 9.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.2, 82.8 y 24.2 % con relación al valor medio anual (Figura 156). La escorrentía anual es de 1,187.5 mm, con valores máximos mensuales de 125.9, 260.8, y 100.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 157).

Tabla 77. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Rio Gris

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
1.638	0.953	0.685	2.762	0.953	1.809	0.867	0.475	0.393

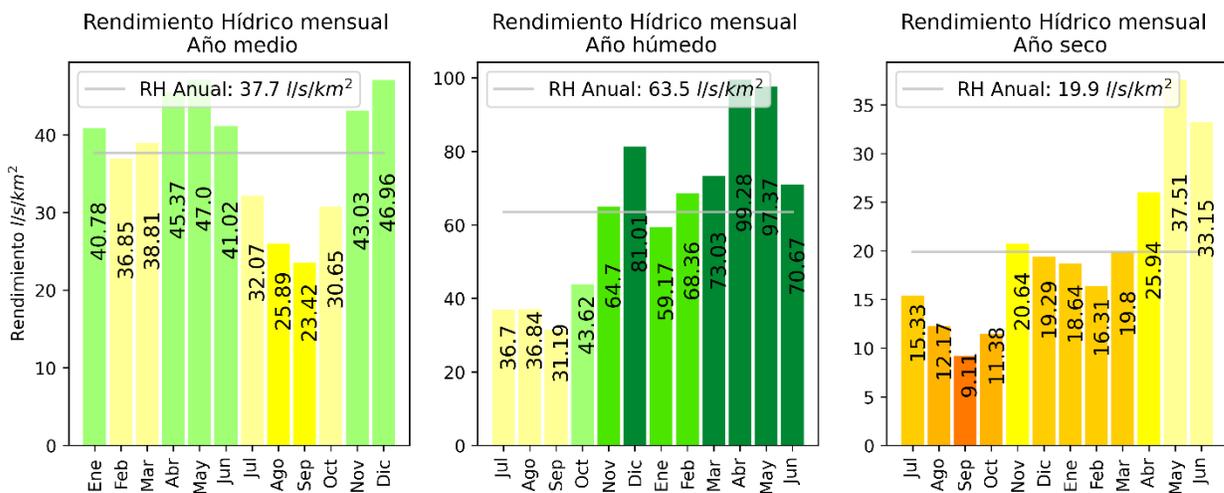


Figura 156. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Rio Gris

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja

Unidad de Análisis :

Río Gris

Punto Cierre en Modelo (CTM12):

X: 4712268 m Y: 2069962 m

Descripción:

Bocatoma de Génova en río Gris

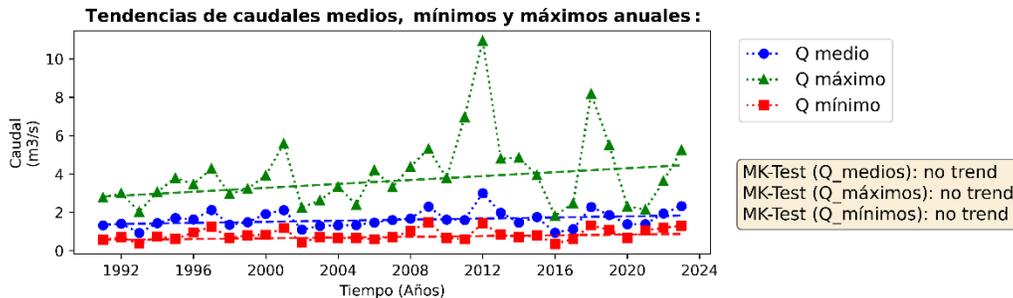
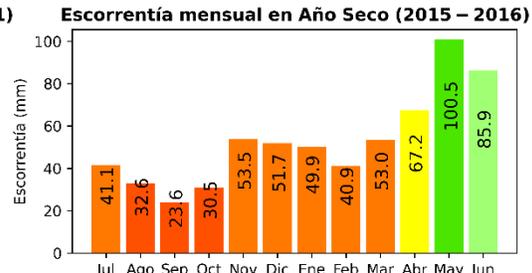
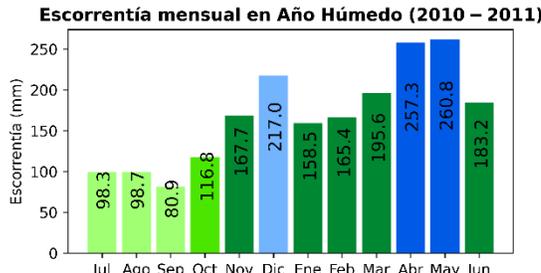
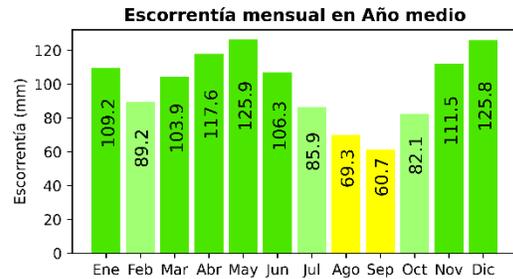
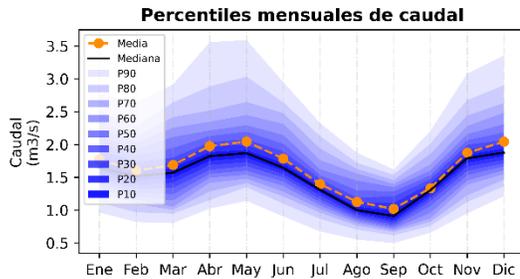
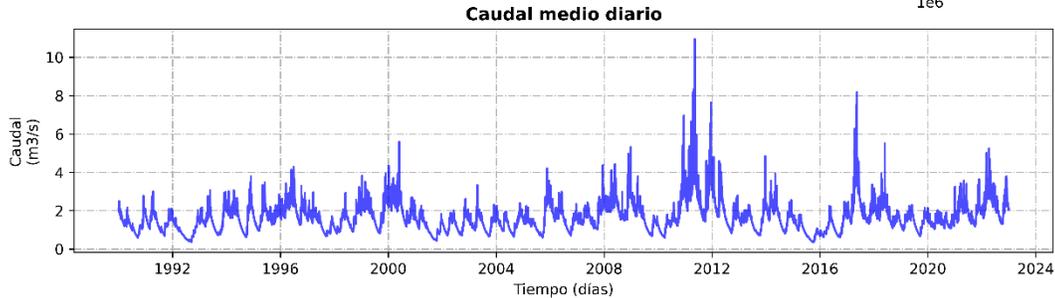
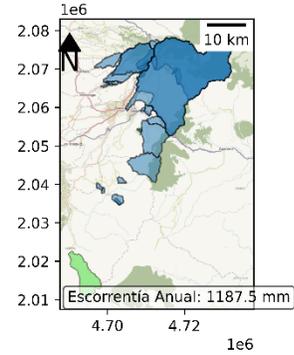


Figura 157. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Gris

2.4.57. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Río Quindío EPA

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 44.1, 71.5 y 31.4 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 135.5 % de aumento, un 219.9 % de aumento, y un 96.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.1, 33.4 y 11.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 61.8, 102.7 y 36.2 % con relación al valor medio anual (Figura 158). La escorrentía anual es de 1,024.8 mm, con valores máximos mensuales de 118.0, 191.5, y 81.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 159).

Tabla 78. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Río Quindío EPA

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
6.406	3.588	2.819	9.815	3.588	6.228	4.306	2.761	1.545

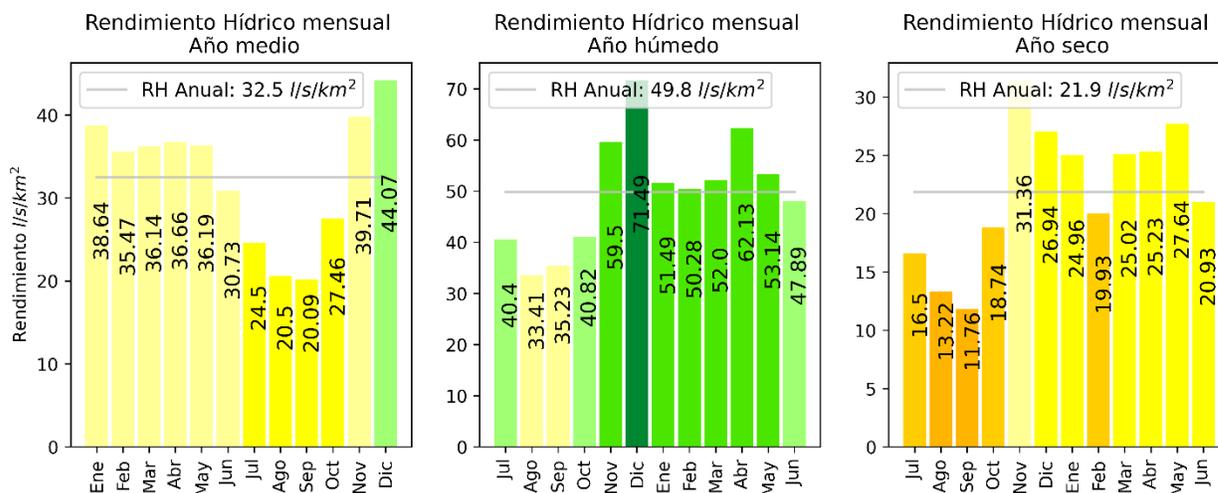


Figura 158. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Quindío EPA

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío EPA
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4704888 m Y: 2059524 m

Descripción:
Bocatoma de Armenia en río Quindío

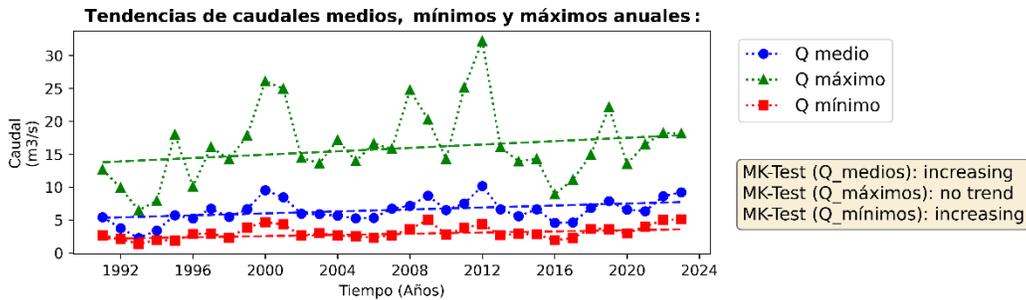
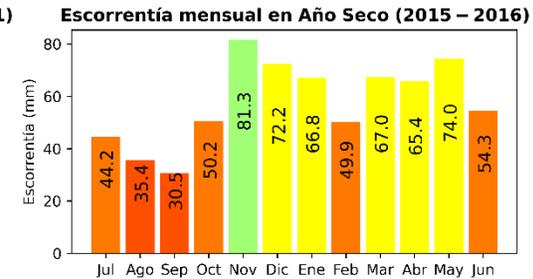
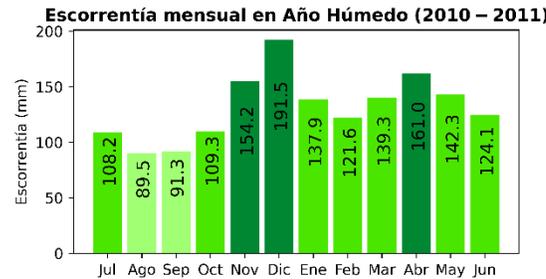
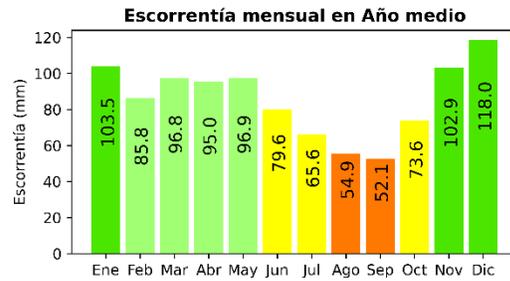
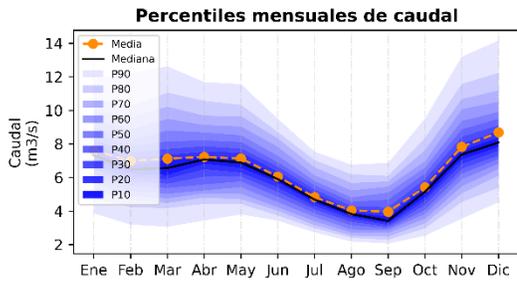
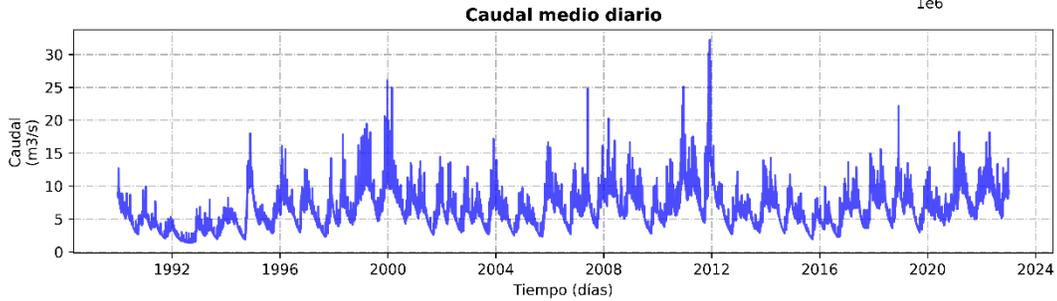
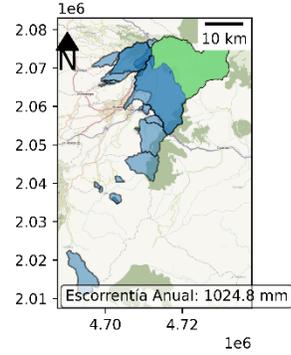


Figura 159. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Quindío EPA

2.4.58. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Río Quindío Tebaida

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 40.0, 62.5 y 28.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 130.4 % de aumento, un 203.6 % de aumento, y un 93.7 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.8, 31.6 y 14.7 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 67.9, 102.8 y 47.8 % con relación al valor medio anual (Figura 160). La escorrentía anual es de 967.7 mm, con valores máximos mensuales de 107.2, 167.4, y 74.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 161).

Tabla 79. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Río Quindío Tebaida

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
10.928	6.928	4.000	16.090	6.928	9.161	7.693	6.051	1.642

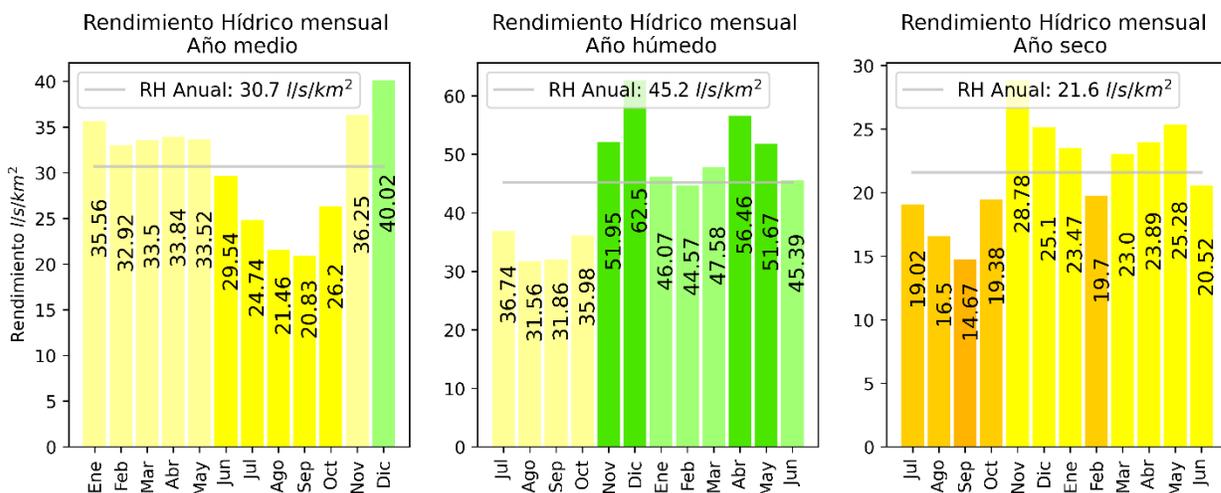


Figura 160. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Quindío Tebaida

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Tebaída
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4708130 m Y: 2064029 m

Descripción:
Bocatoma de La Tebaída en río Quindío

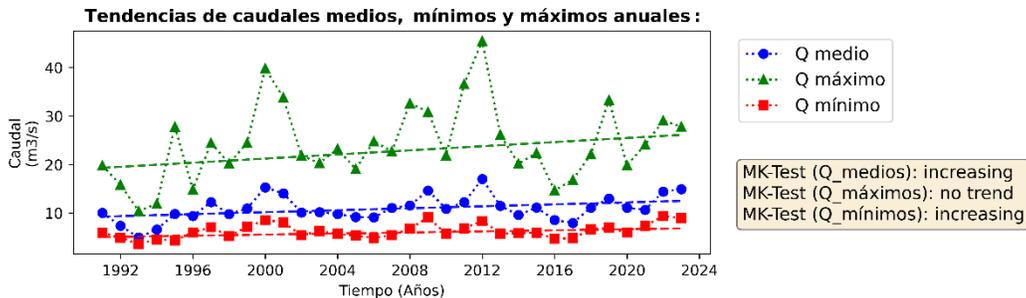
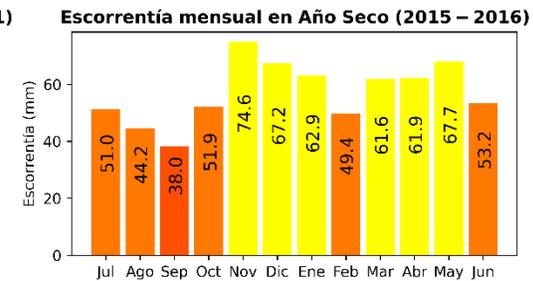
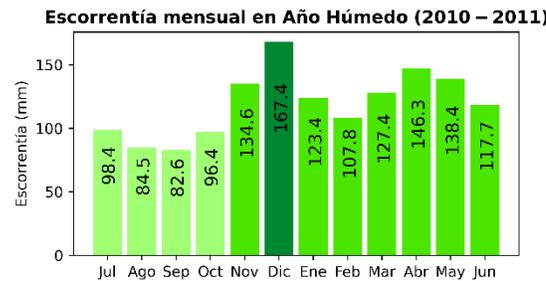
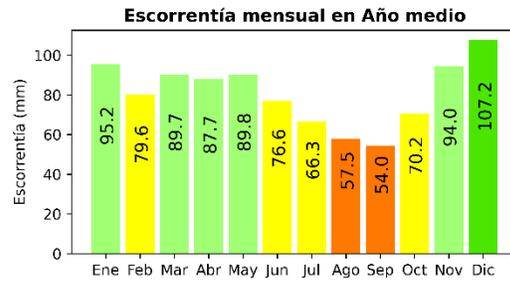
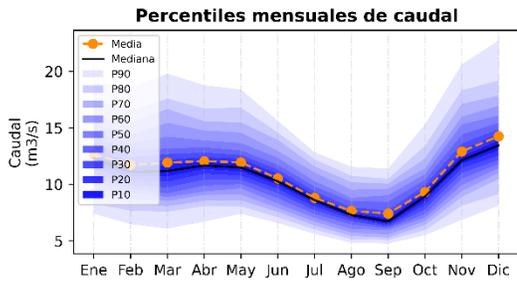
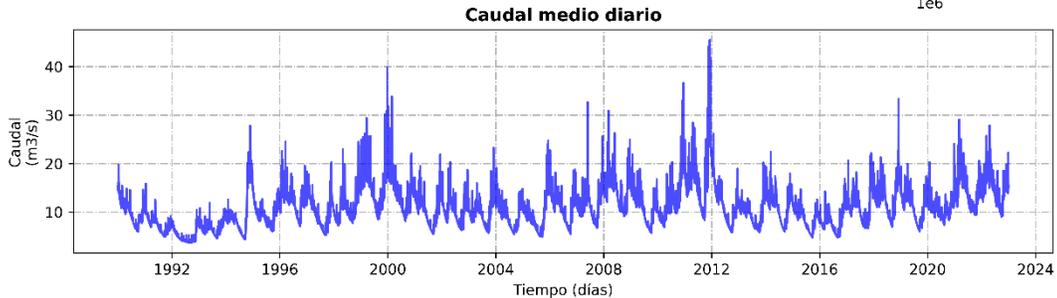
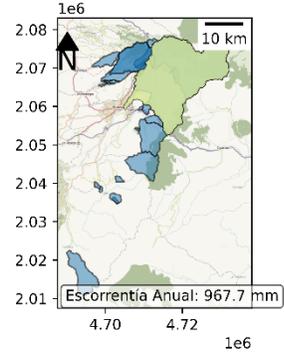


Figura 161. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Quindío Tebaída

2.4.59. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Río Quindío Estación de Bombeo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 40.4, 63.6 y 29.0 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 131.4 % de aumento, un 206.7 % de aumento, y un 94.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.6, 31.7 y 14.2 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 66.9, 103.0 y 46.3 % con relación al valor medio anual (Figura 162). La escorrentía anual es de 970.2 mm, con valores máximos mensuales de 108.3, 170.4, y 75.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 163).

Tabla 80. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Río Quindío Estación de Bombeo

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
10.465	6.517	3.948	15.552	6.517	9.035	7.307	5.665	1.642

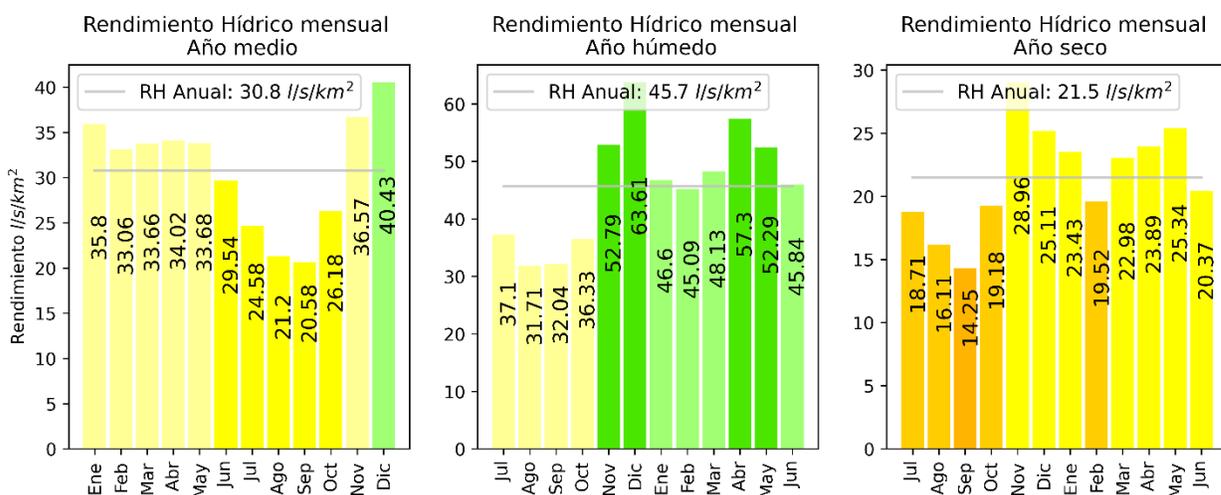


Figura 162. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Quindío Estación de Bombeo

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Río Quindío Est Bombeo
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4705164 m Y: 2045967 m

Descripción:
Bocatoma de Armenia en río Quindío

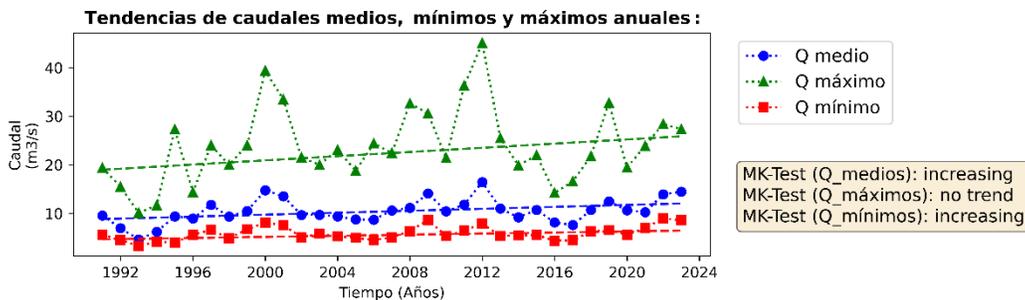
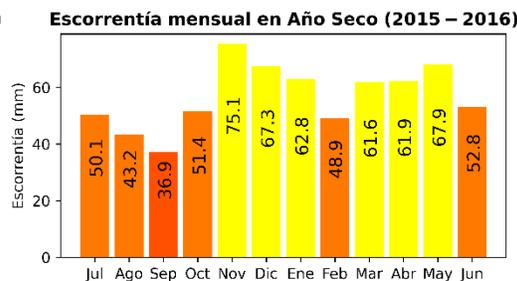
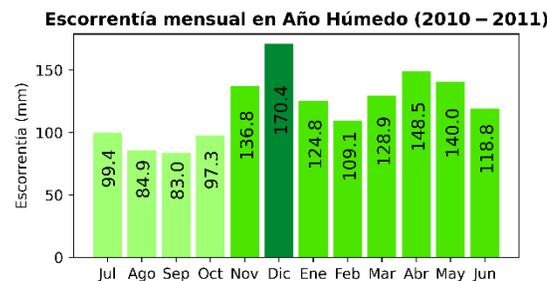
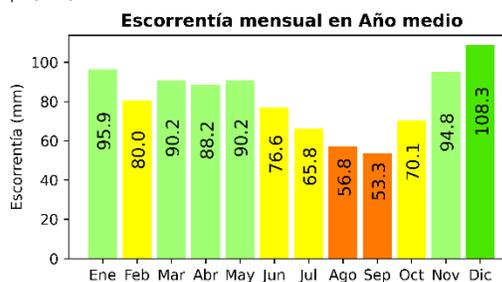
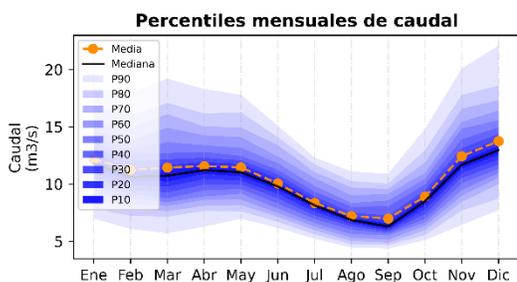
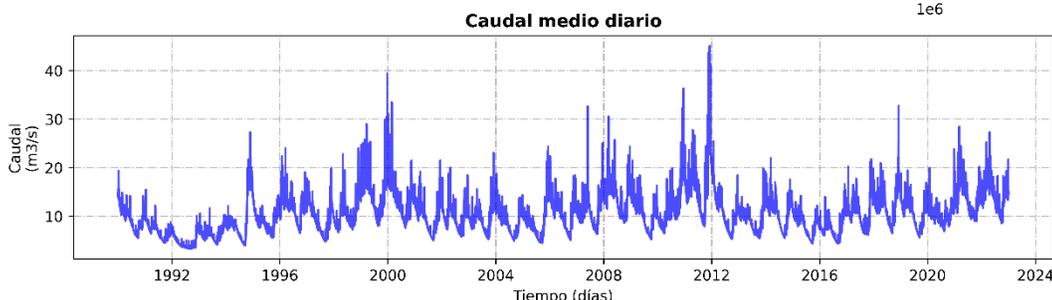
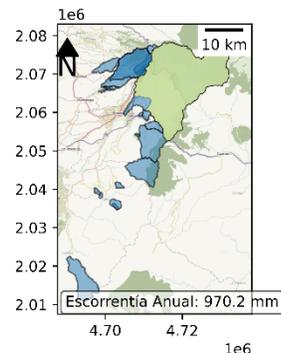


Figura 163. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Quindío Estación de Bombeo

2.4.60. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Verde

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 41.9, 84.9 y 20.2 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 143.9 % de aumento, un 291.5 % de aumento, y un 69.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.2, 16.2 y 9.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 48.9, 55.6 y 33.7 % con relación al valor medio anual (Figura 164). La escorrentía anual es de 917.9 mm, con valores máximos mensuales de 112.3, 227.4, y 52.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 165).

Tabla 81. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Rio Verde

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
1.165	0.536	0.629	2.027	0.536	1.491	0.586	0.413	0.173

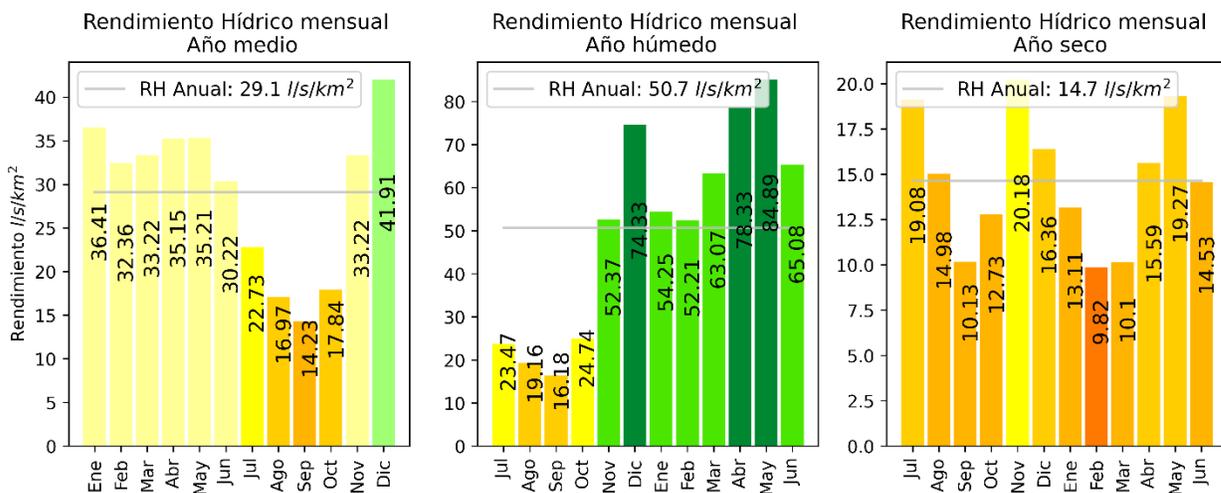


Figura 164. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Rio Verde

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Río Verde
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4709953 m Y: 2058320 m

Descripción:
Bocatoma de Barcelona en río Verde

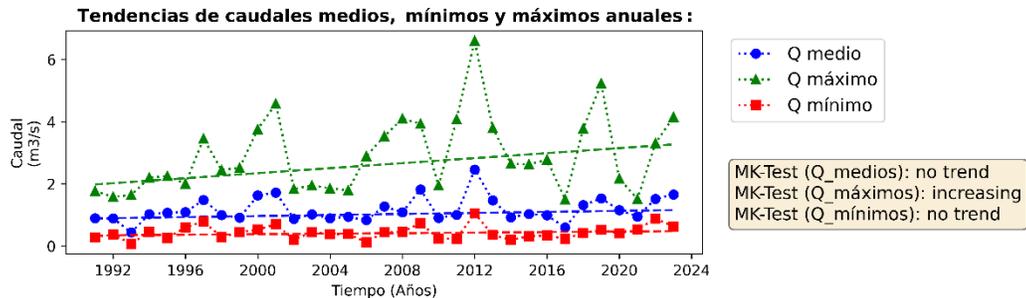
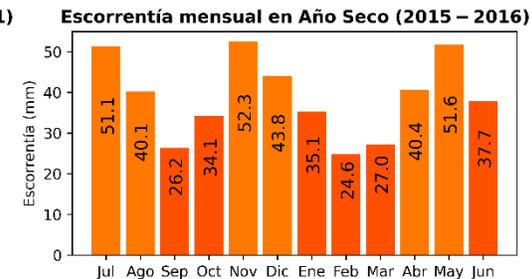
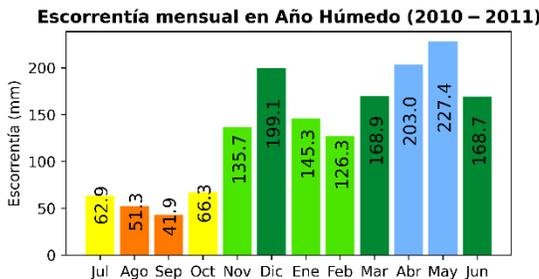
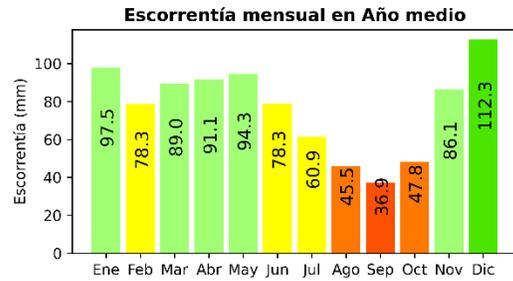
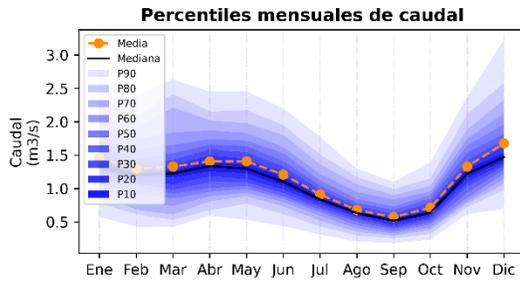
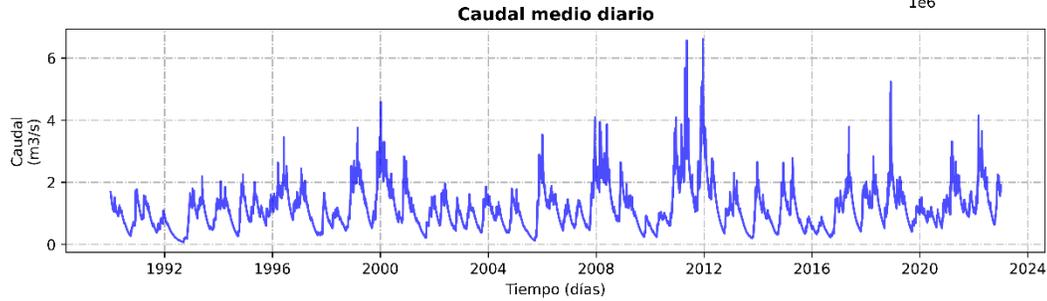
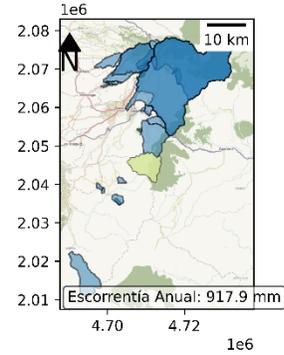


Figura 165. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Verde

2.4.61. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada San Rafael

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 51.4, 95.1 y 28.7 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 146.7 % de aumento, un 271.4 % de aumento, y un 81.9 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 19.0, 32.2 y 13.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 54.4, 91.9 y 38.9 % con relación al valor medio anual (Figura 166). La escorrentía anual es de 1,104.3 mm, con valores máximos mensuales de 137.6, 254.6, y 74.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 167).

Tabla 82. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada San Rafael

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.142	0.070	0.073	0.258	0.070	0.188	0.082	0.059	0.023

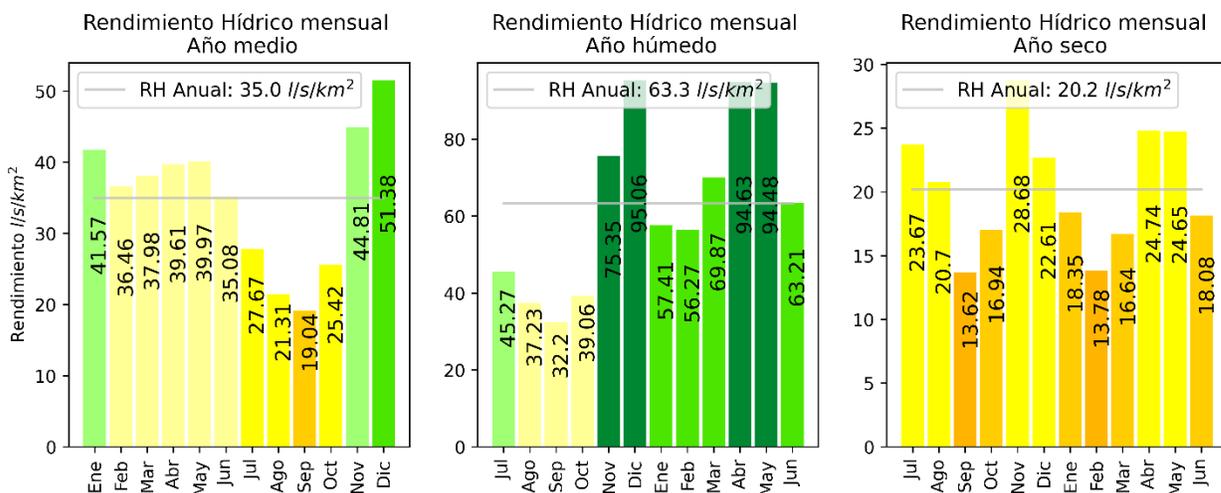


Figura 166. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada San Rafael

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Q San Rafael
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4710076 m Y: 2056682 m

Descripción:
Bocatoma de Calarcá en quebrada San Rafael

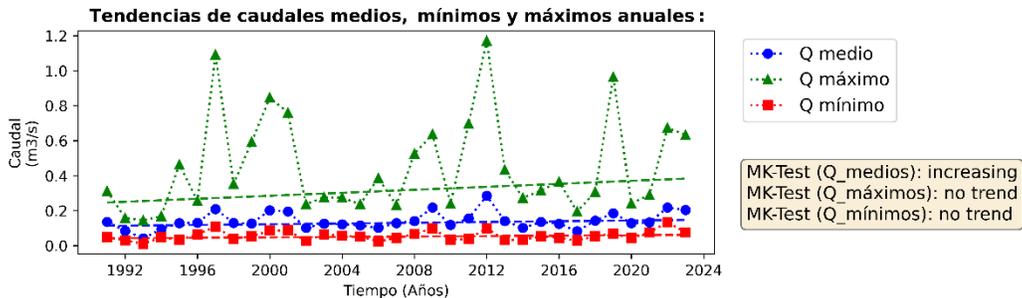
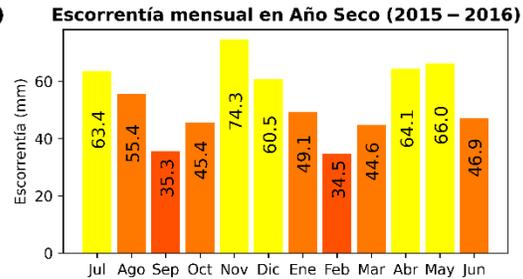
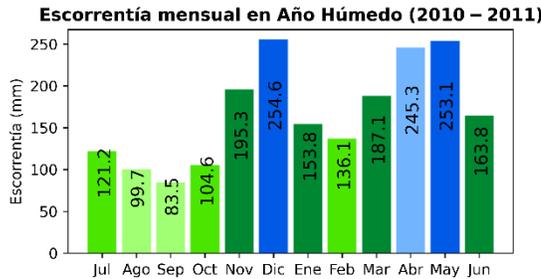
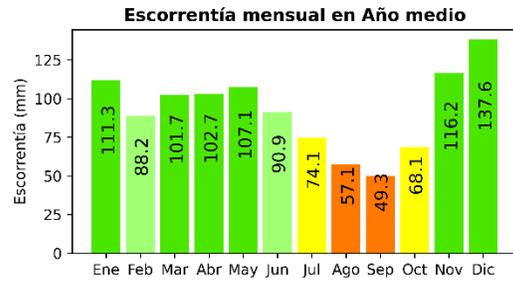
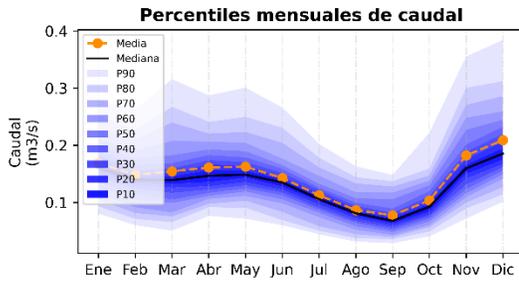
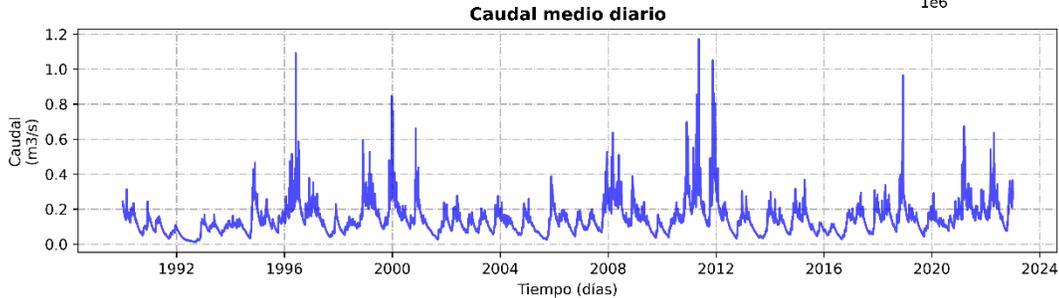
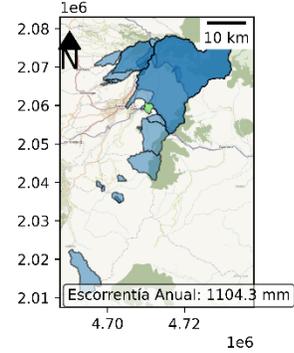


Figura 167. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada San Rafael

2.4.62. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Río Santo Domingo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 37.6, 89.1 y 21.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 142.2 % de aumento, un 337.1 % de aumento, y un 82.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.7, 18.8 y 7.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 55.5, 71.1 y 28.6 % con relación al valor medio anual (Figura 168). La escorrentía anual es de 833.9 mm, con valores máximos mensuales de 100.7, 238.8, y 58.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 169).

Tabla 83. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Río Santo Domingo

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
1.204	0.557	0.647	2.212	0.557	1.655	0.637	0.421	0.216

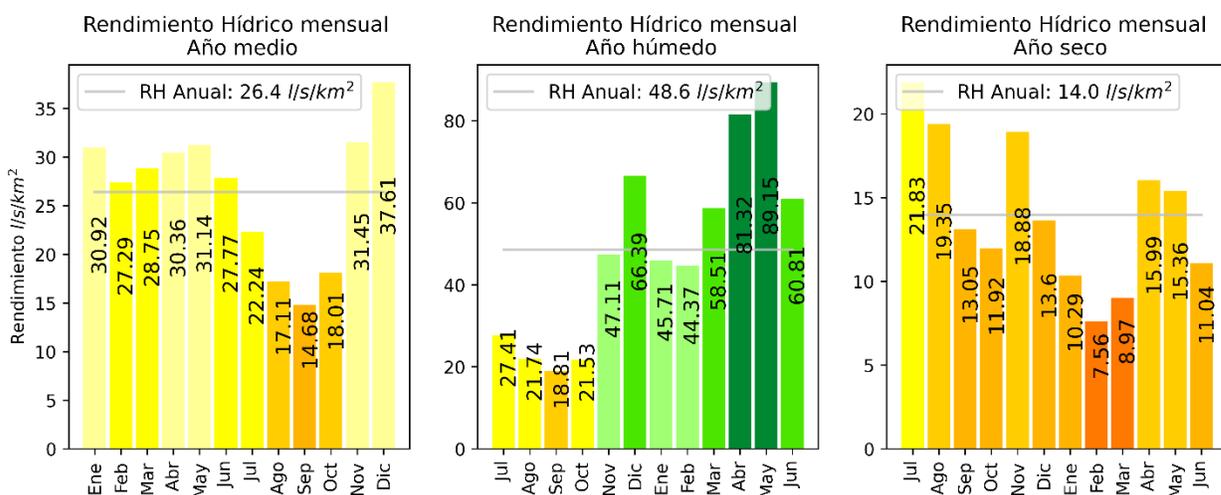


Figura 168. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Santo Domingo

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica : Río La Vieja
Unidad de Análisis :
Río Santo Domingo
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4685662 m Y: 2021014 m

Descripción:
Bocatoma de Calarcá en río Santo Domingo

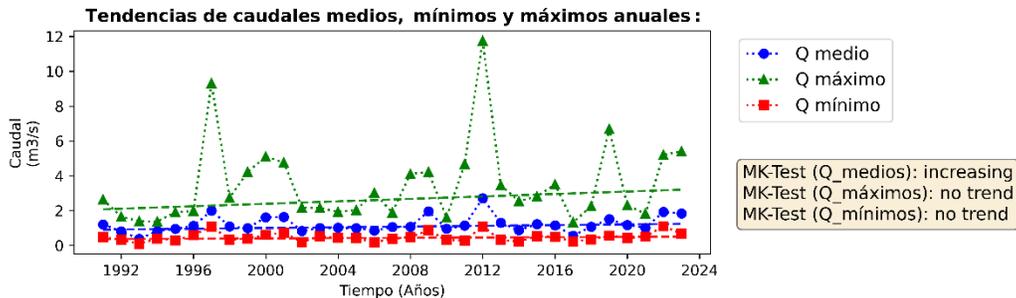
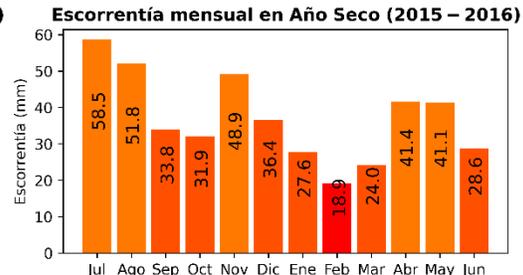
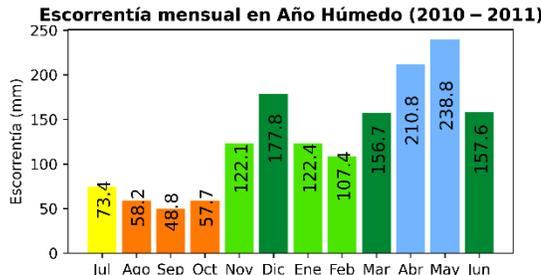
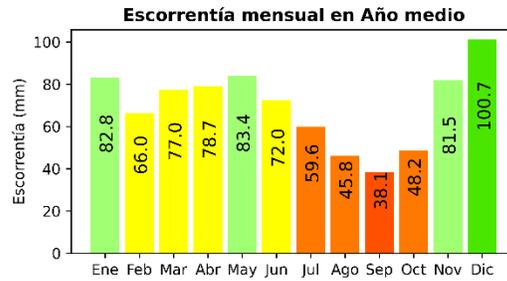
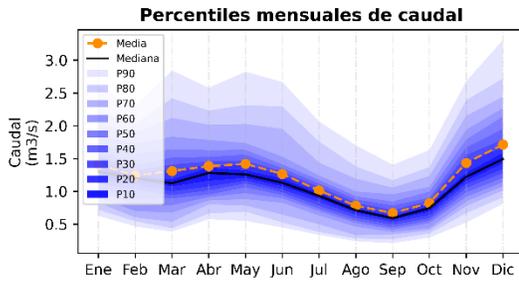
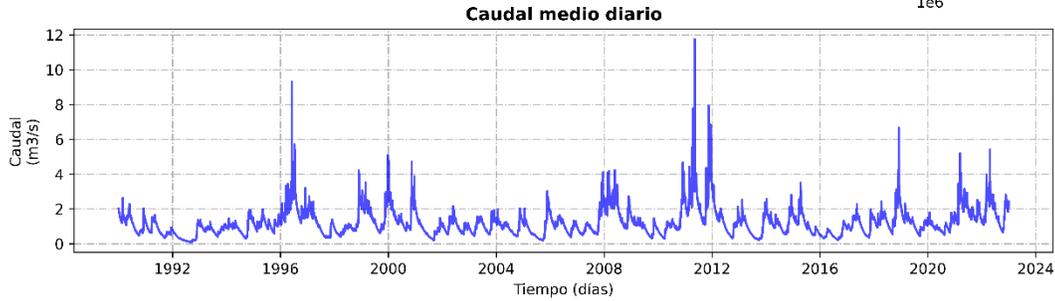
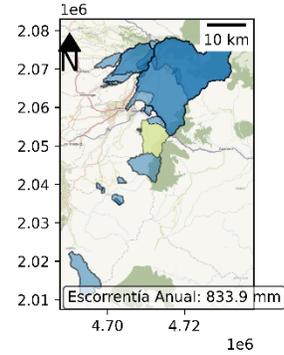


Figura 169. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Santo Domingo

2.4.63. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cajones

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 69.8, 110.2 y 53.0 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 136.6 % de aumento, un 215.6 % de aumento, y un 103.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 33.3, 50.4 y 19.2 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 65.2, 98.7 y 37.5 % con relación al valor medio anual (Figura 170). La escorrentía anual es de 1,610.3 mm, con valores máximos mensuales de 187.0, 295.0, y 137.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 171).

Tabla 84. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Cajones

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.074	0.044	0.030	0.104	0.044	0.060	0.052	0.034	0.018

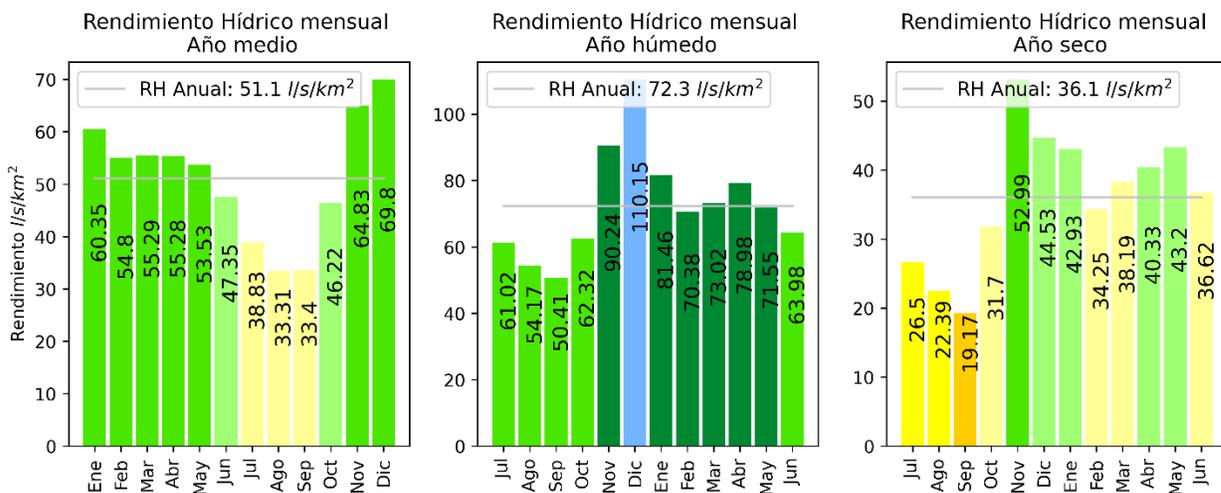
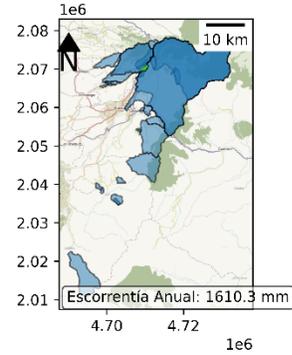


Figura 170. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cajones

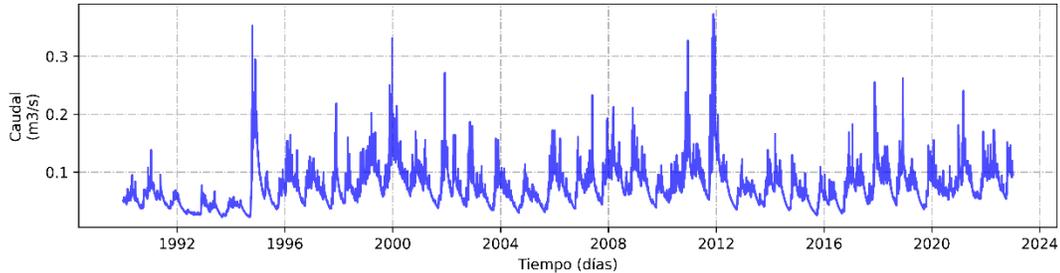
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Rio_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Q Cajones
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4709583 m Y: 2071692 m

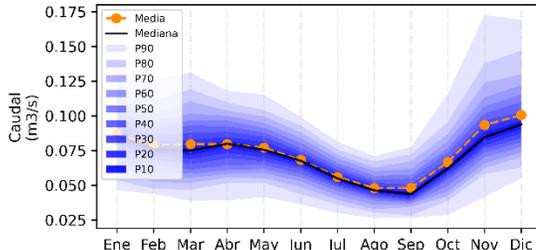
Descripción:
Bocatoma de Circasia en quebrada Cajones



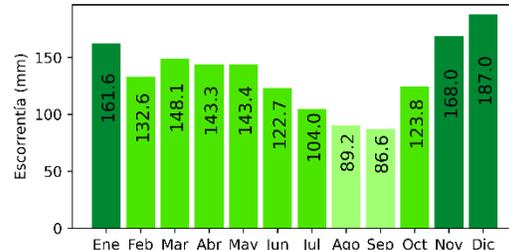
Caudal medio diario



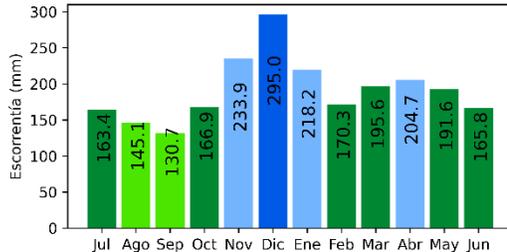
Percentiles mensuales de caudal



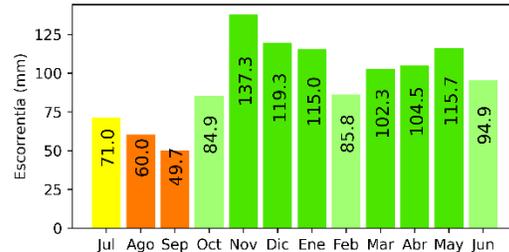
Escorrentía mensual en Año medio



Escorrentía mensual en Año Húmedo (2010 – 2011)



Escorrentía mensual en Año Seco (2015 – 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales :

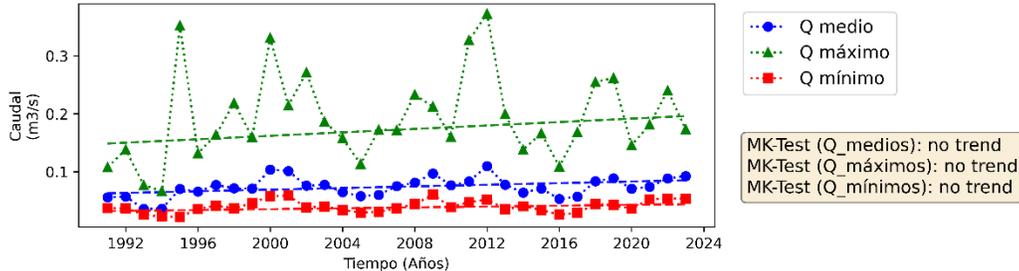


Figura 171. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Cajones

2.4.64. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Bosque

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 54.3, 88.6 y 38.2 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 160.3 % de aumento, un 261.6 % de aumento, y un 112.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 15.1, 28.8 y 2.9 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 44.6, 85.0 y 8.5 % con relación al valor medio anual (Figura 172). La escorrentía anual es de 1,067.0 mm, con valores máximos mensuales de 145.4, 237.2, y 99.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 173).

Tabla 85. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada El Bosque

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.029	0.012	0.017	0.045	0.012	0.033	0.020	0.005	0.015

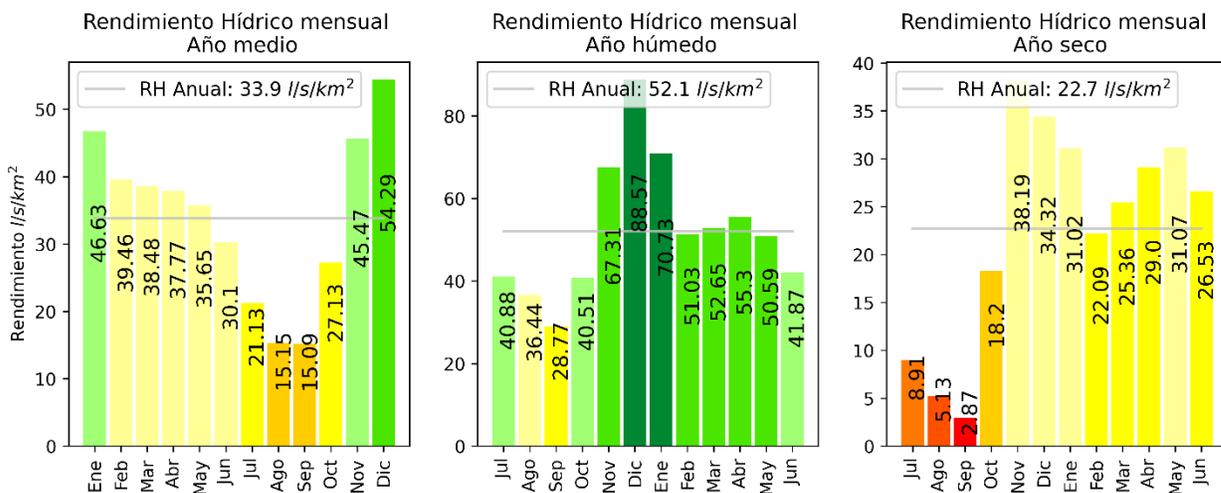


Figura 172. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Bosque

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Rio_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Q El Bosque
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4707851 m Y: 2070240 m

Descripción:
Bocatoma de Circasia en quebrada El Bosque

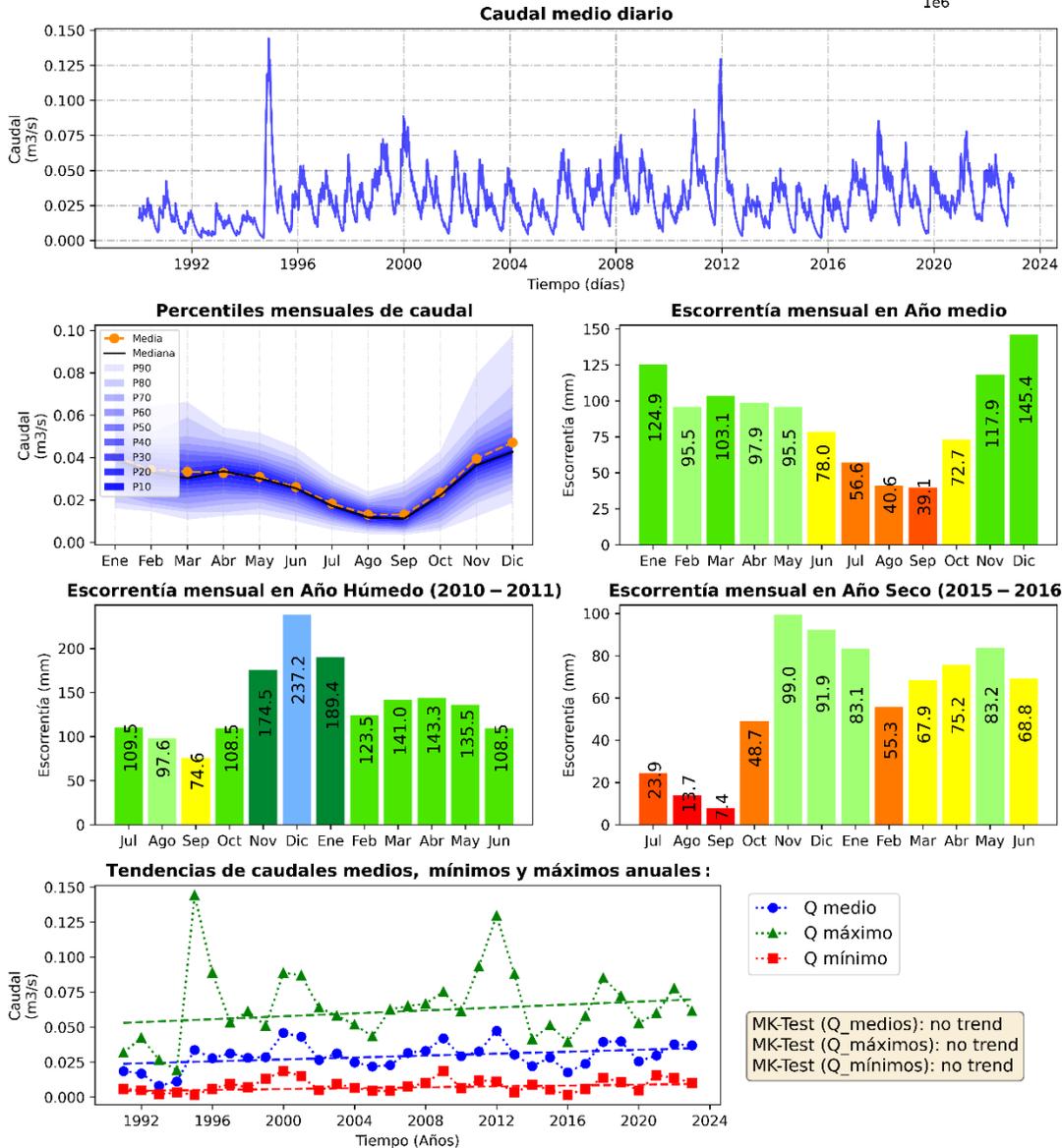
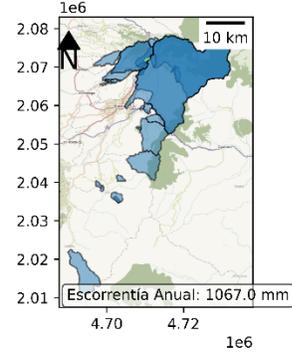


Figura 173. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada El Bosque

2.4.65. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Arenosa

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 65.5, 101.1 y 47.4 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 135.4 % de aumento, un 209.2 % de aumento, y un 98.0 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 31.2, 47.9 y 18.4 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 64.6, 99.0 y 38.1 % con relación al valor medio anual (Figura 174). La escorrentía anual es de 1,523.8 mm, con valores máximos mensuales de 175.3, 270.9, y 122.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 175).

Tabla 86. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Arenosa

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.068	0.041	0.027	0.097	0.041	0.057	0.048	0.031	0.017

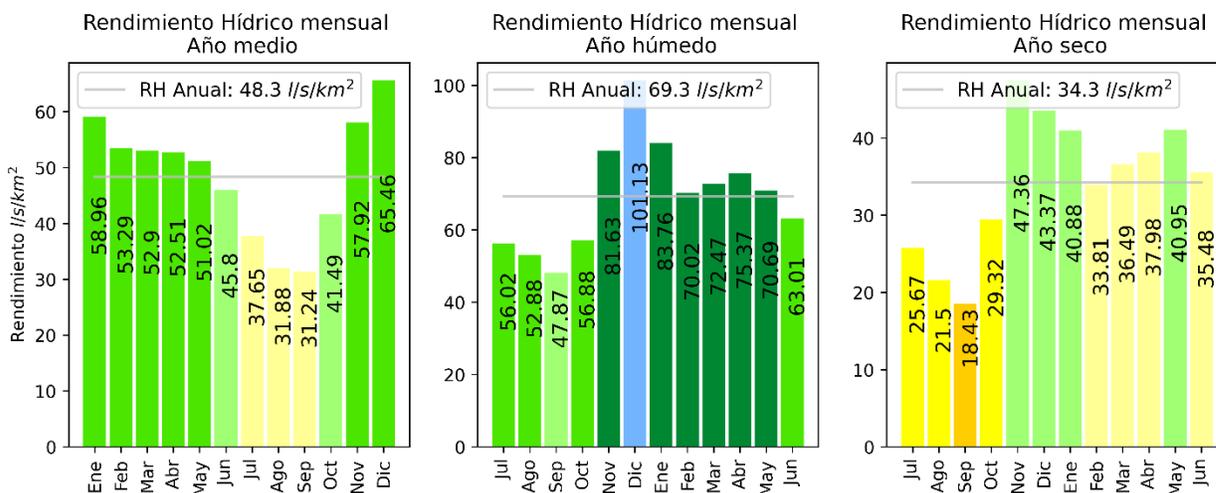
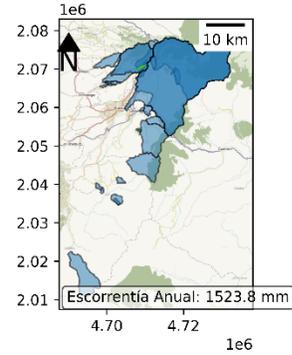


Figura 174. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Arenosa

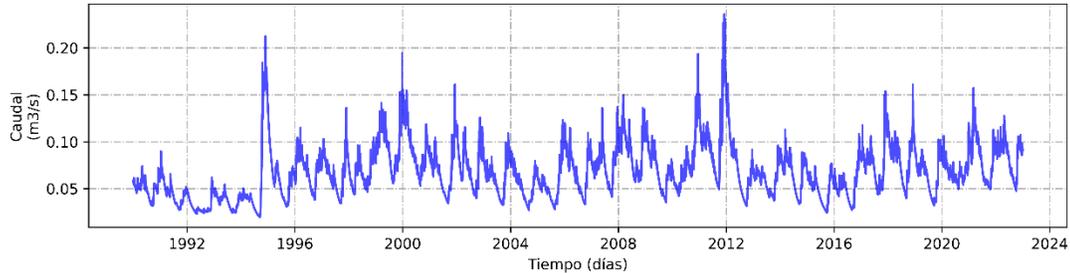
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Rio_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Arenosa
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4709580 m Y: 2071504 m

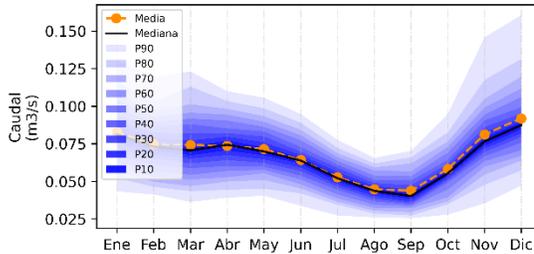
Descripción:
Bocatoma de Circasia en quebrada La Arenosa



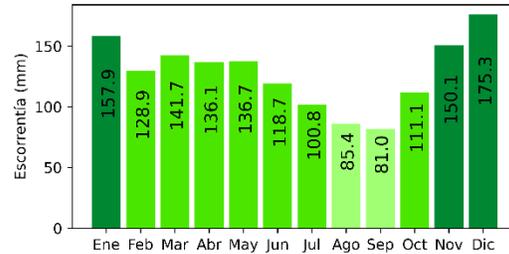
Caudal medio diario



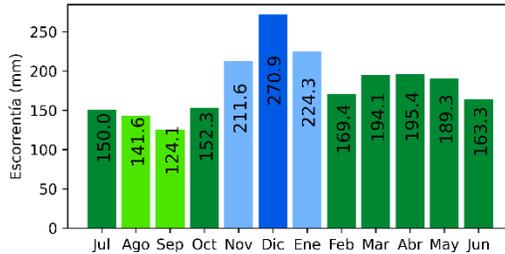
Percentiles mensuales de caudal



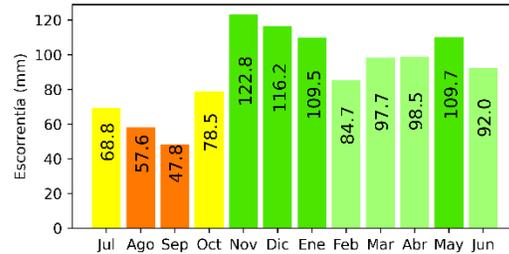
Escorrentía mensual en Año medio



Escorrentía mensual en Año Húmedo (2010 – 2011)



Escorrentía mensual en Año Seco (2015 – 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales :

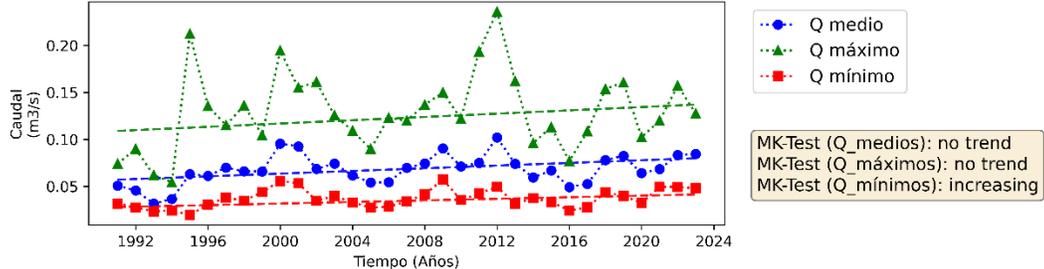


Figura 175. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Arenosa

2.4.66. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Marina

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 52.4, 85.8 y 35.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 165.3 % de aumento, un 270.8 % de aumento, y un 113.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 13.1, 24.8 y 2.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 41.5, 78.3 y 8.0 % con relación al valor medio anual (Figura 176). La escorrentía anual es de 998.0 mm, con valores máximos mensuales de 140.2, 229.7, y 92.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 177).

Tabla 87. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Marina

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.009	0.004	0.006	0.014	0.004	0.011	0.006	0.002	0.004

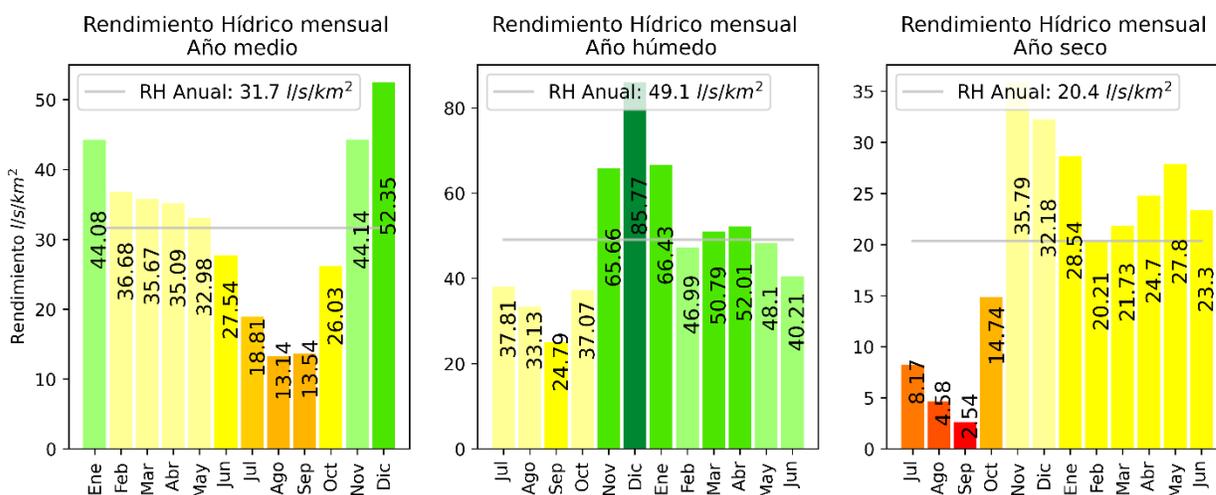
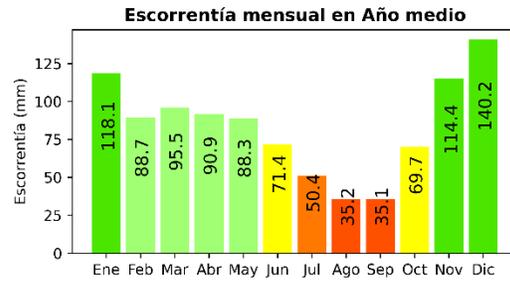
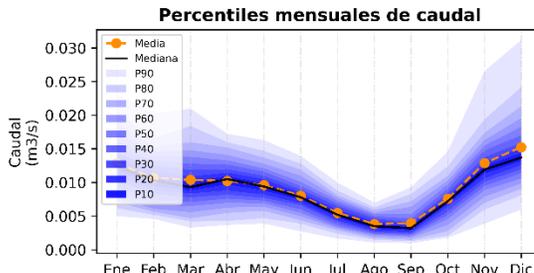
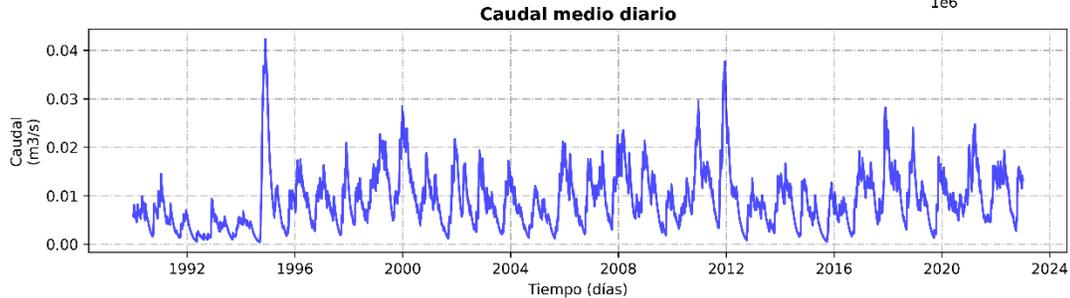
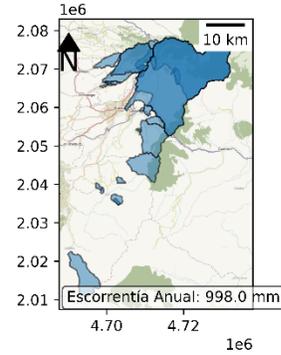


Figura 176. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Marina

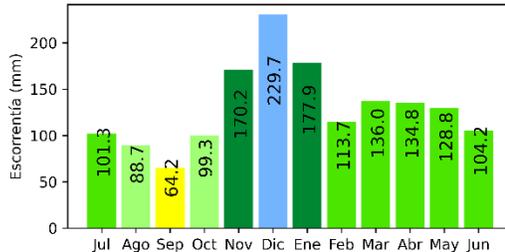
Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Rio_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Marina
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4699545 m Y: 2066380 m

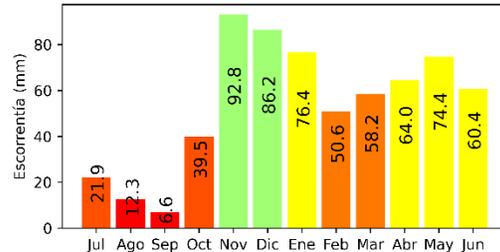
Descripción:
Bocatoma de Circasia en quebrada La Marina



Escorrentía mensual en Año Húmedo (2010 – 2011)



Escorrentía mensual en Año Seco (2015 – 2016)



Tendencias de caudales medios, mínimos y máximos anuales :

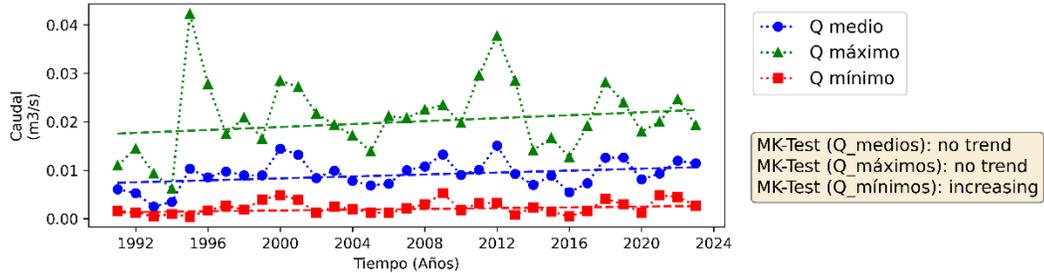


Figura 177. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Marina

2.4.67. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Paloma

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 25.7, 51.1 y 15.4 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 181.1 % de aumento, un 360.6 % de aumento, y un 108.6 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 4.6, 13.2 y 0.6 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 32.7, 93.0 y 4.1 % con relación al valor medio anual (Figura 178). La escorrentía anual es de 446.9 mm, con valores máximos mensuales de 68.7, 136.9, y 41.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 179).

Tabla 88. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Paloma

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.003	0.001	0.002	0.006	0.001	0.005	0.002	0.000	0.001

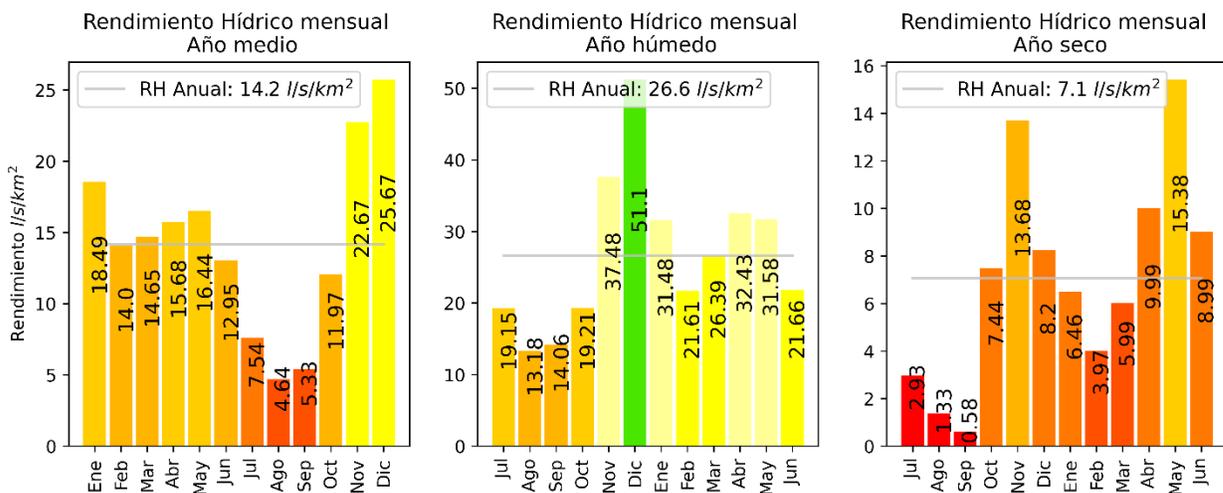


Figura 178. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Paloma

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río La Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Paloma
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4699545 m Y: 2066534 m

Descripción:
Bocatoma de Montenegro, quebrada La Paloma

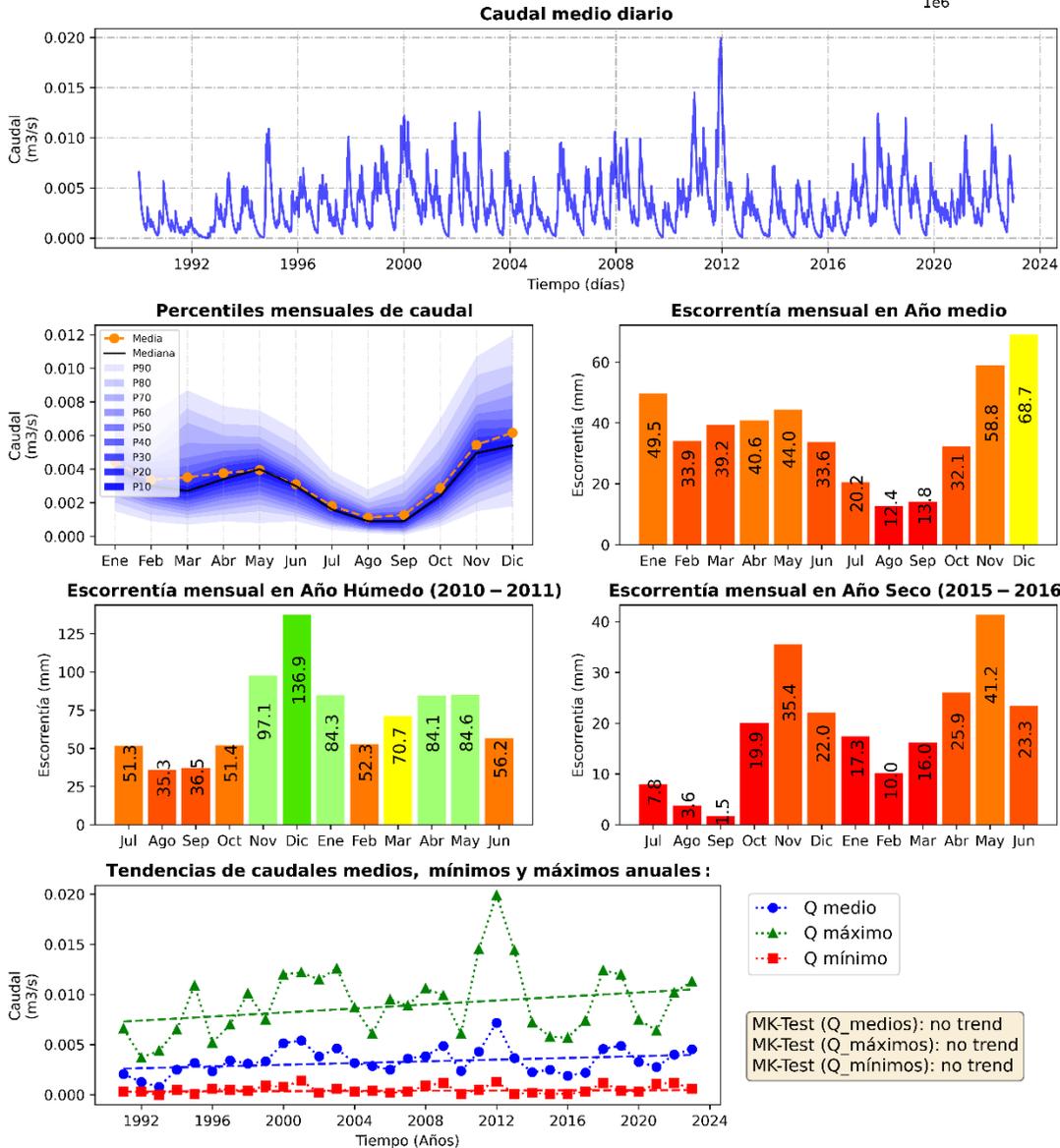
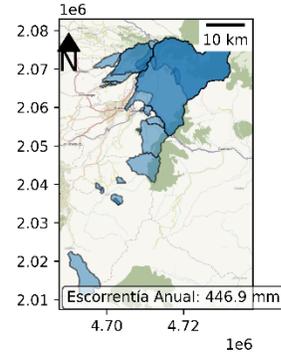


Figura 179. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Paloma

2.4.68. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Soledad

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 43.7, 72.9 y 29.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 140.6 % de aumento, un 234.7 % de aumento, y un 95.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.1, 30.0 y 13.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 64.6, 96.5 y 43.6 % con relación al valor medio anual (Figura 180). La escorrentía anual es de 979.1 mm, con valores máximos mensuales de 116.9, 195.2, y 79.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 181).

Tabla 89. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada La Soledad

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.066	0.039	0.027	0.100	0.039	0.061	0.045	0.034	0.012

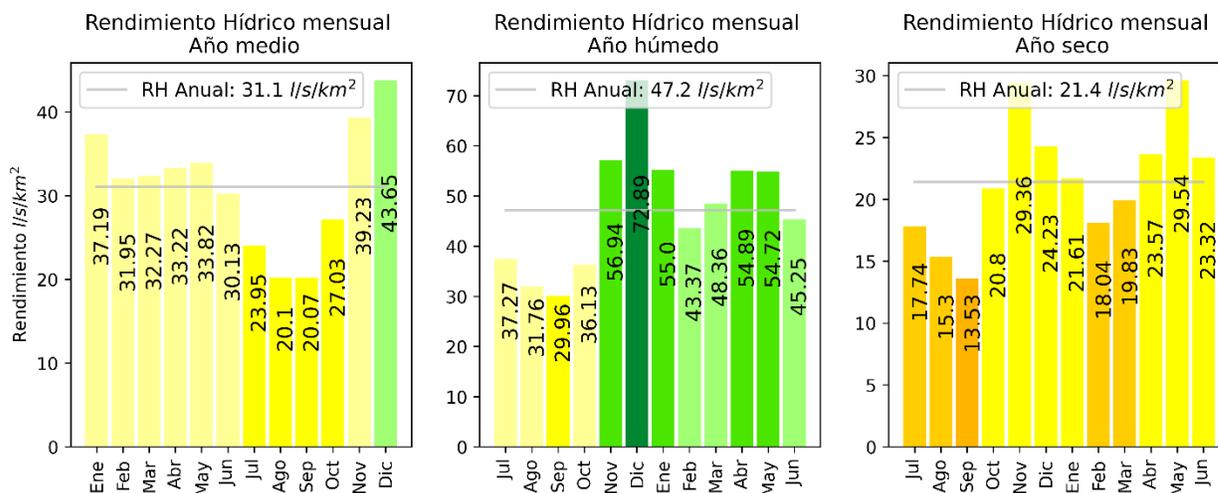


Figura 180. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Soledad

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Q La Soledad
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4711064 m Y: 2077158 m

Descripción:
Bocatoma de Montenegro, quebrada La Soledad

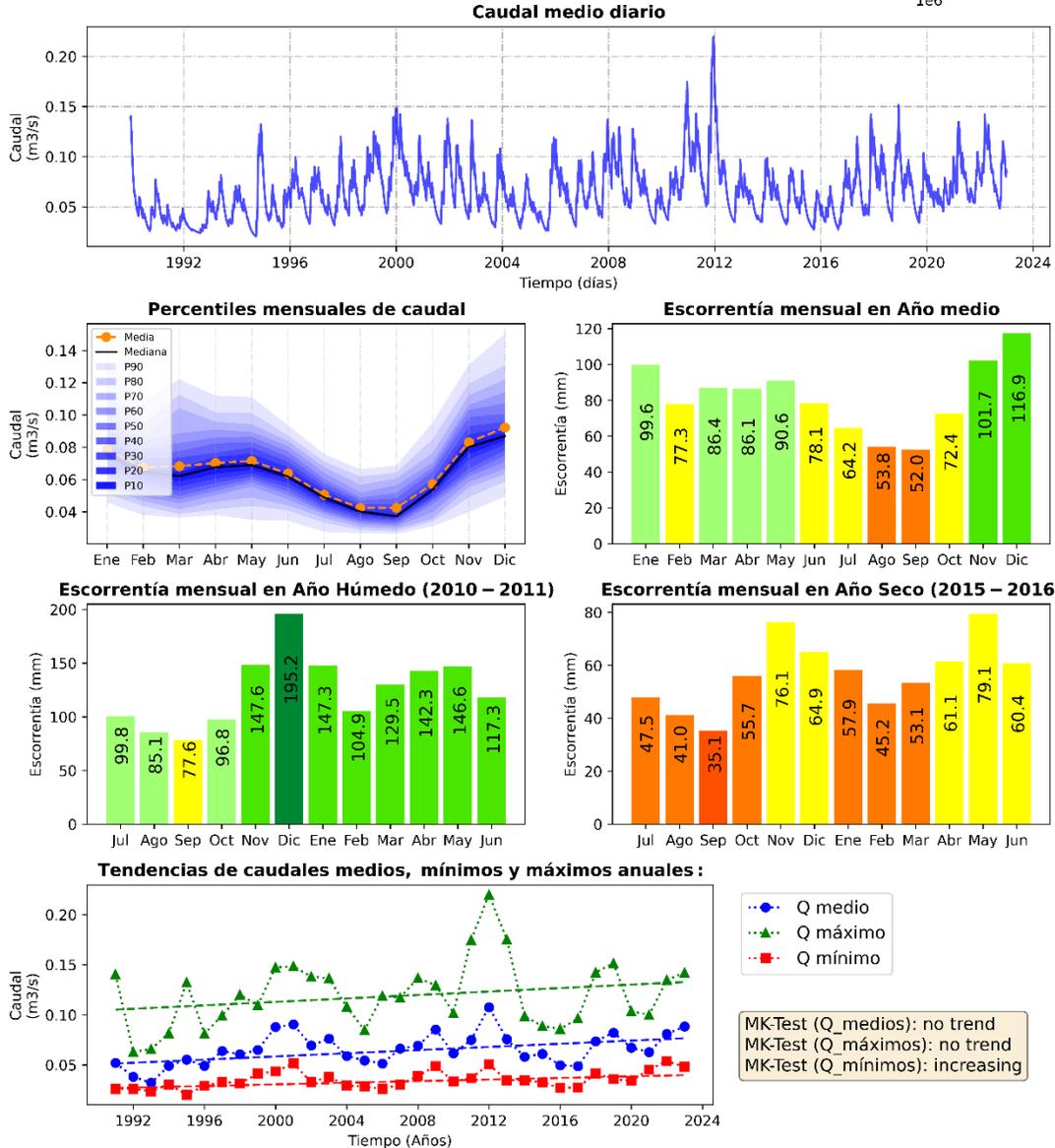
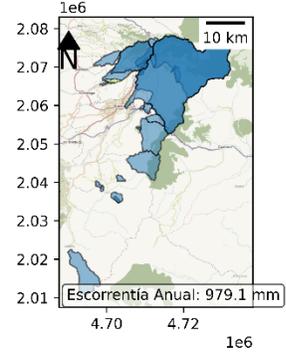


Figura 181. Oferta hídrica total superficial y escurrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada La Soledad

2.4.69. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Lajas

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 41.1, 68.6 y 30.8 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 138.2 % de aumento, un 230.6 % de aumento, y un 103.6 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 19.7, 28.7 y 14.5 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 66.2, 96.7 y 48.8 % con relación al valor medio anual (Figura 182). La escorrentía anual es de 937.5 mm, con valores máximos mensuales de 110.0, 183.6, y 82.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 183).

Tabla 90. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Las Lajas

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.041	0.025	0.016	0.062	0.025	0.037	0.030	0.023	0.007

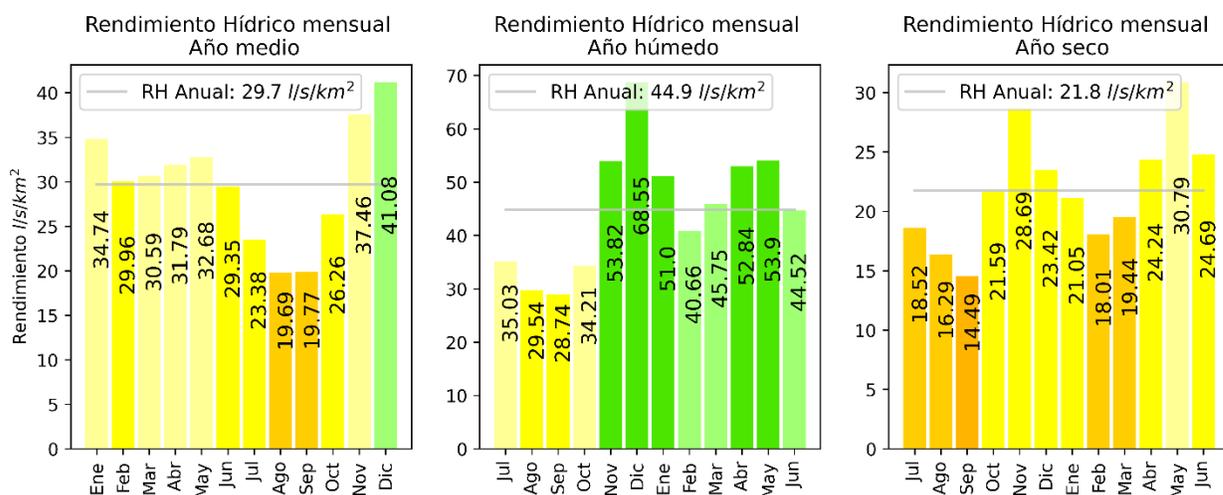


Figura 182. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Lajas

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Q Las Lajas
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4696550 m Y: 2070366 m

Descripción:
Bocatoma de Montenegro, quebrada Las Lajas

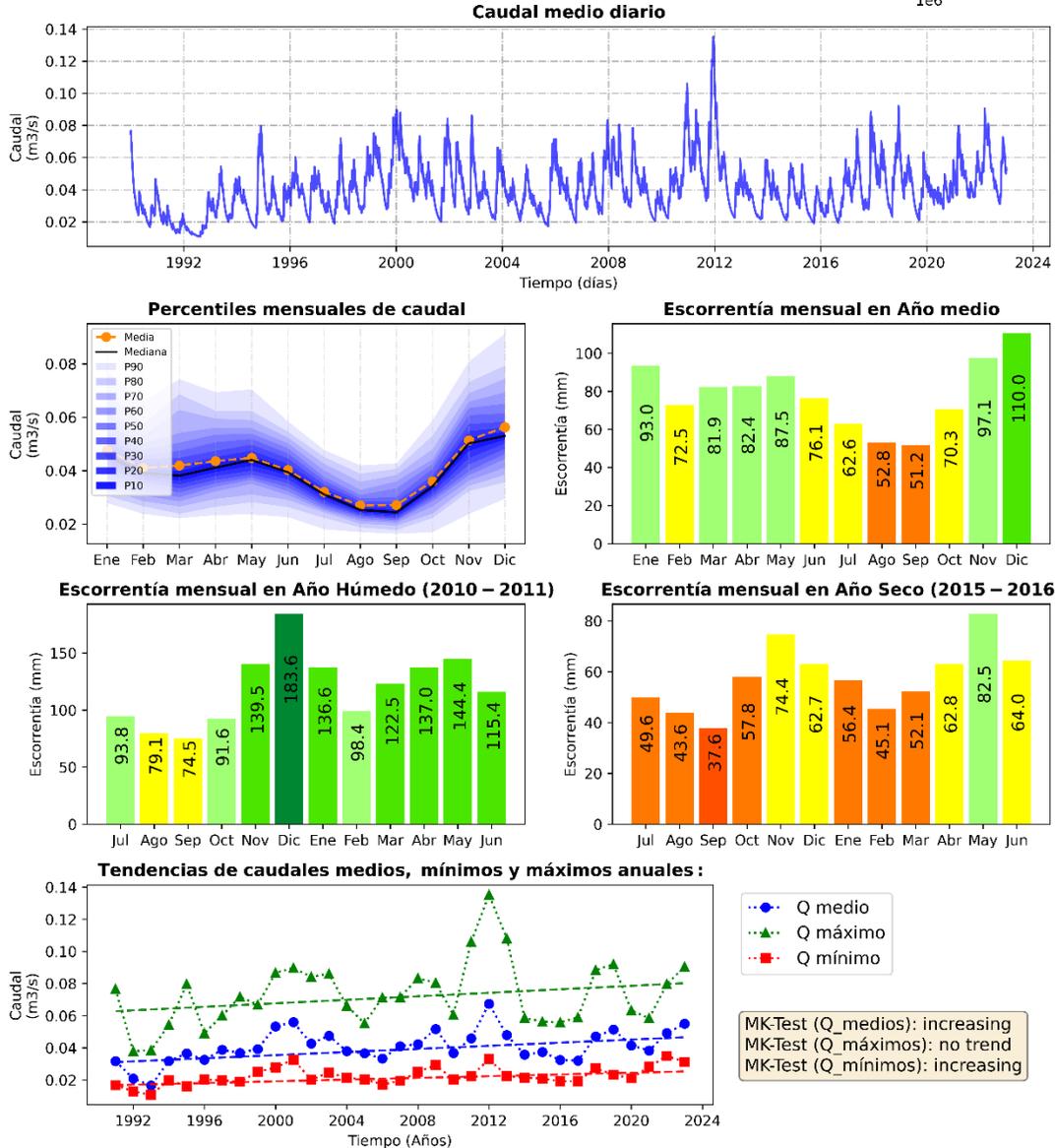
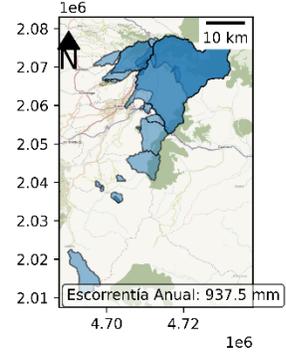


Figura 183. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Las Lajas

2.4.70. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Quebrada Buenavista

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 47.4, 76.3 y 33.5 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 134.7 % de aumento, un 217.0 % de aumento, y un 95.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.1, 34.8 y 14.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 65.7, 99.0 y 42.0 % con relación al valor medio anual (Figura 184). La escorrentía anual es de 1,109.0 mm, con valores máximos mensuales de 127.0, 204.4, y 89.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 185).

Tabla 91. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Quebrada Buenavista

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.477	0.290	0.187	0.704	0.290	0.414	0.336	0.240	0.096

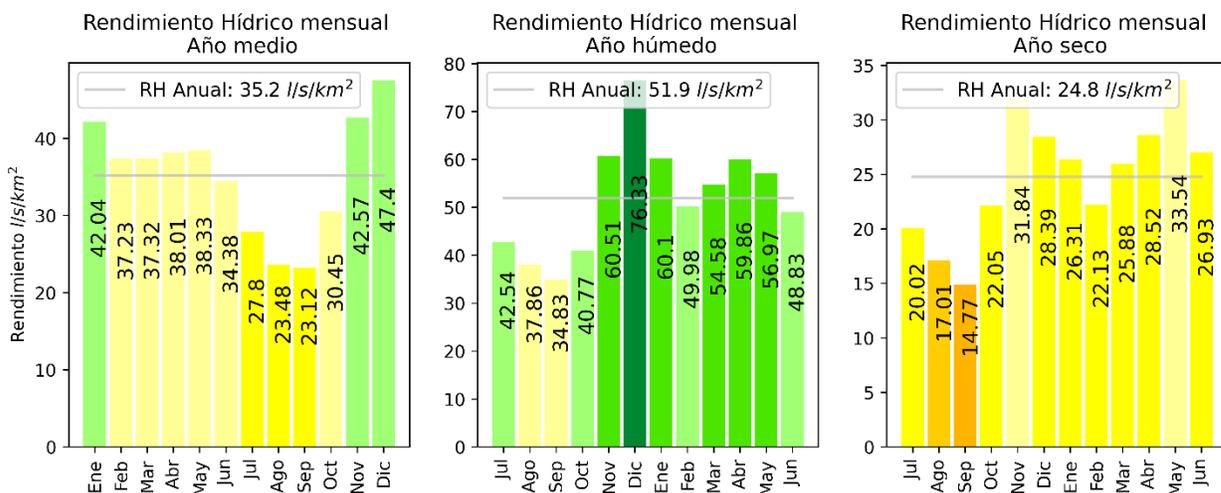


Figura 184. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Buenavista

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Q Buenavista
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4707821 m Y: 2070395 m

Descripción:
Bocatoma de Quimbaya en quebrada Buenavista

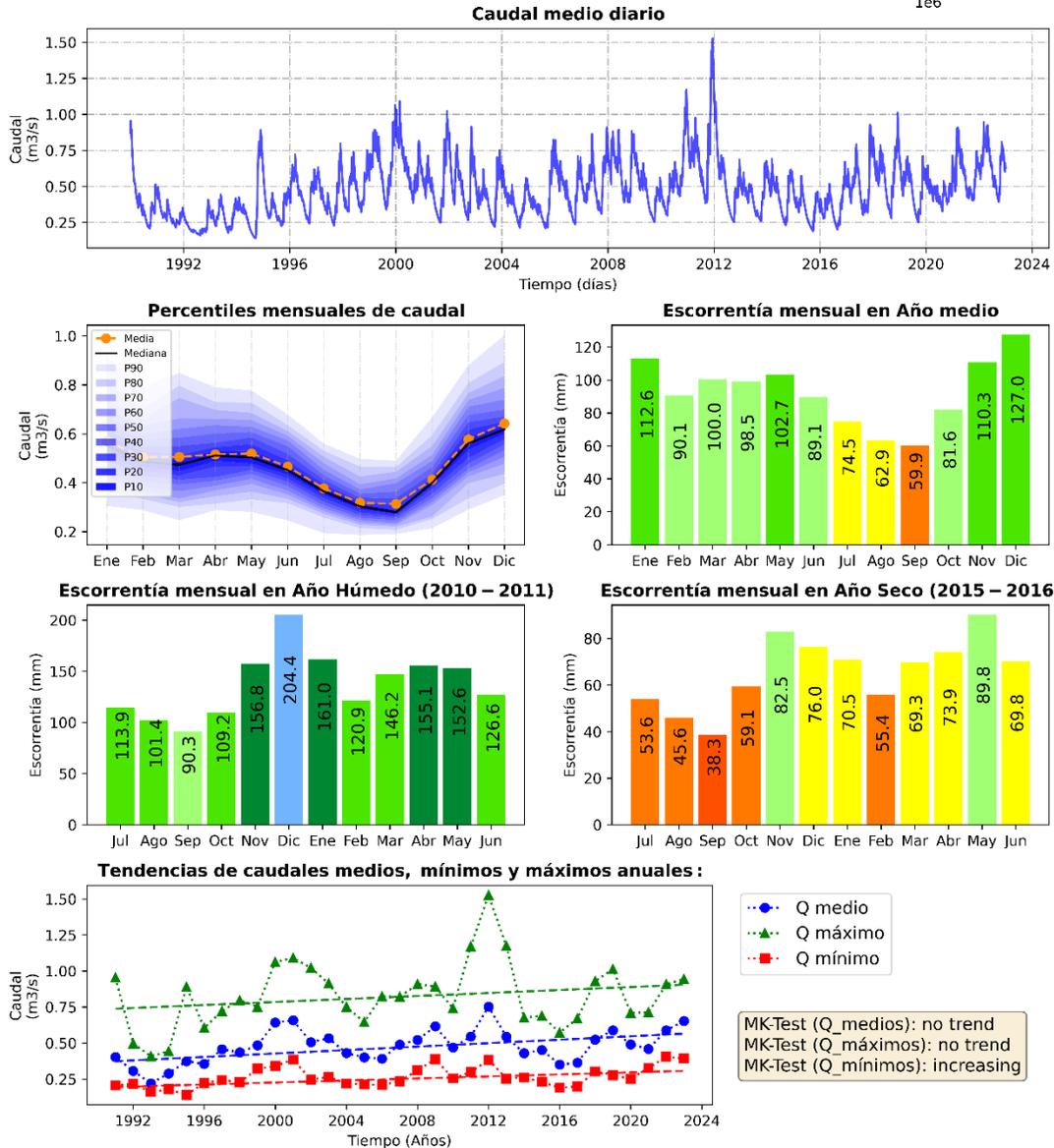
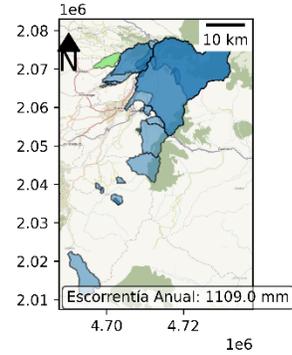


Figura 185. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Quebrada Buenavista

2.4.71. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Circasia

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 73.0, 113.5 y 54.7 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 146.9 % de aumento, un 228.3 % de aumento, y un 110.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 28.8, 46.5 y 14.2 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 58.0, 93.5 y 28.5 % con relación al valor medio anual (Figura 186). La escorrentía anual es de 1,567.2 mm, con valores máximos mensuales de 195.6, 304.1, y 141.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 187).

Tabla 92. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Rio Roble Circasia

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
0.453	0.244	0.209	0.650	0.244	0.407	0.317	0.161	0.155

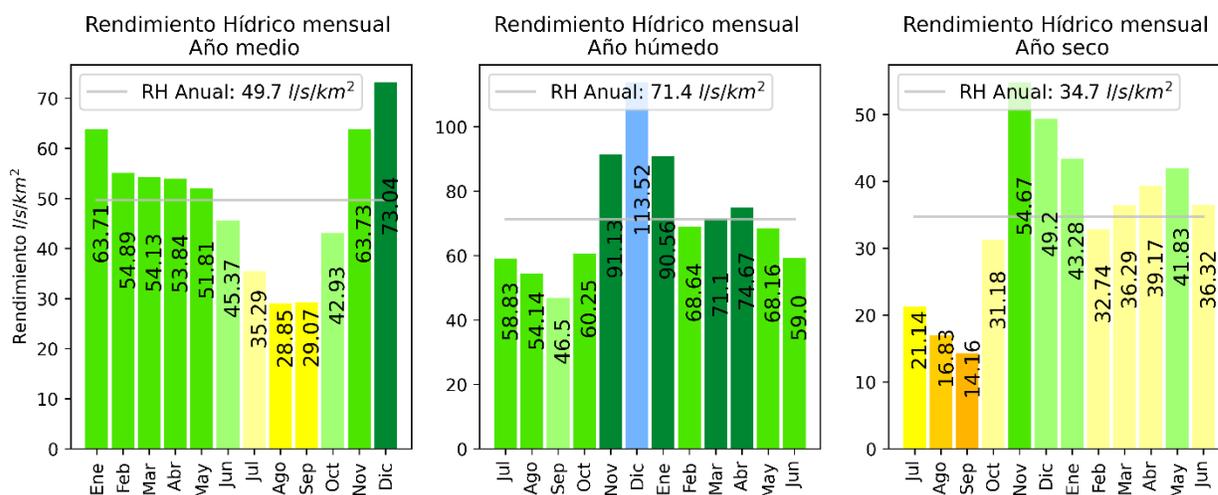


Figura 186. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Circasia

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Río Roble Circasia
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4699050 m Y: 2066501 m

Descripción:
Bocatoma de Circasia en río El Roble

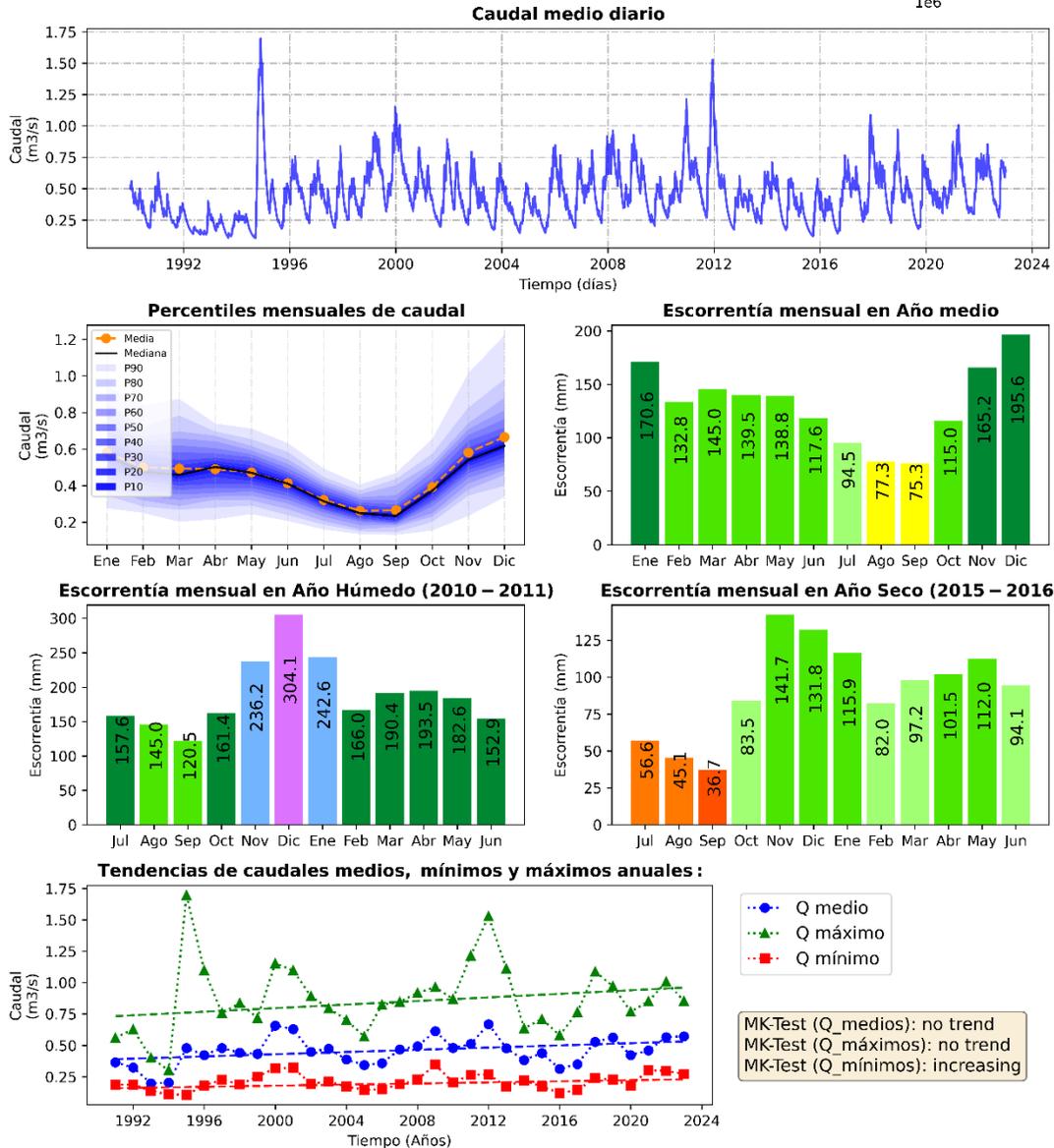
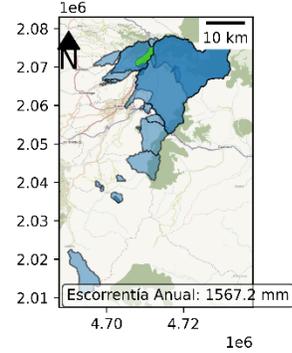


Figura 187. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Roble Circasia

2.4.72. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 59.5, 94.6 y 42.1 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 140.2 % de aumento, un 223.0 % de aumento, y un 99.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 26.3, 41.1 y 14.8 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.1, 96.9 y 34.9 % con relación al valor medio anual (Figura 188). La escorrentía anual es de 1,337.4 mm, con valores máximos mensuales de 159.3, 253.4, y 109.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 189).

Tabla 93. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 1

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
2.860	1.649	1.211	4.172	1.649	2.523	1.954	1.219	0.735

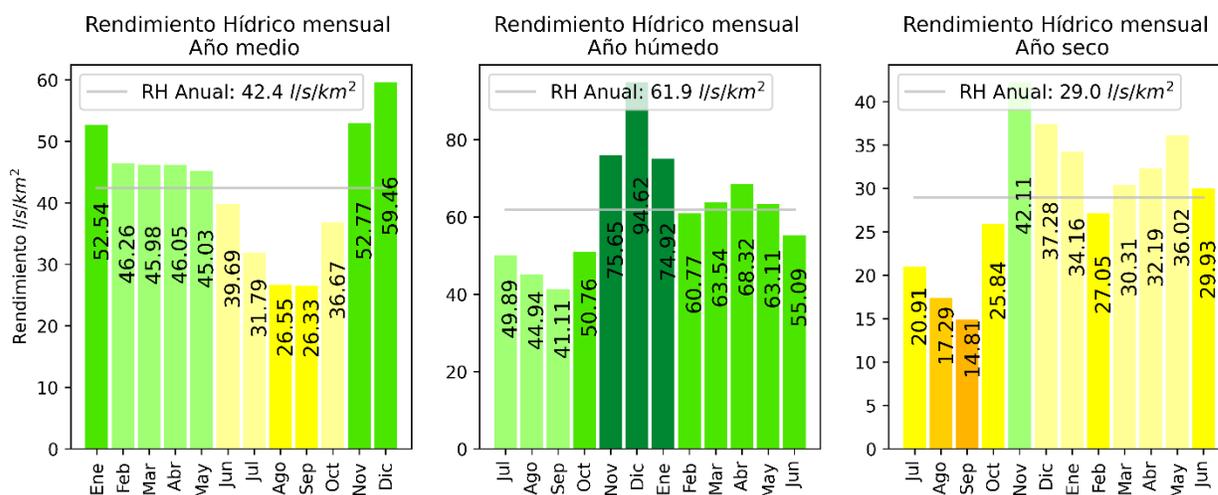


Figura 188. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 1

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Río Roble Montenegro 1
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4701214 m Y: 2068236 m

Descripción:
Bocatoma de Montengro, río El Roble captación 1

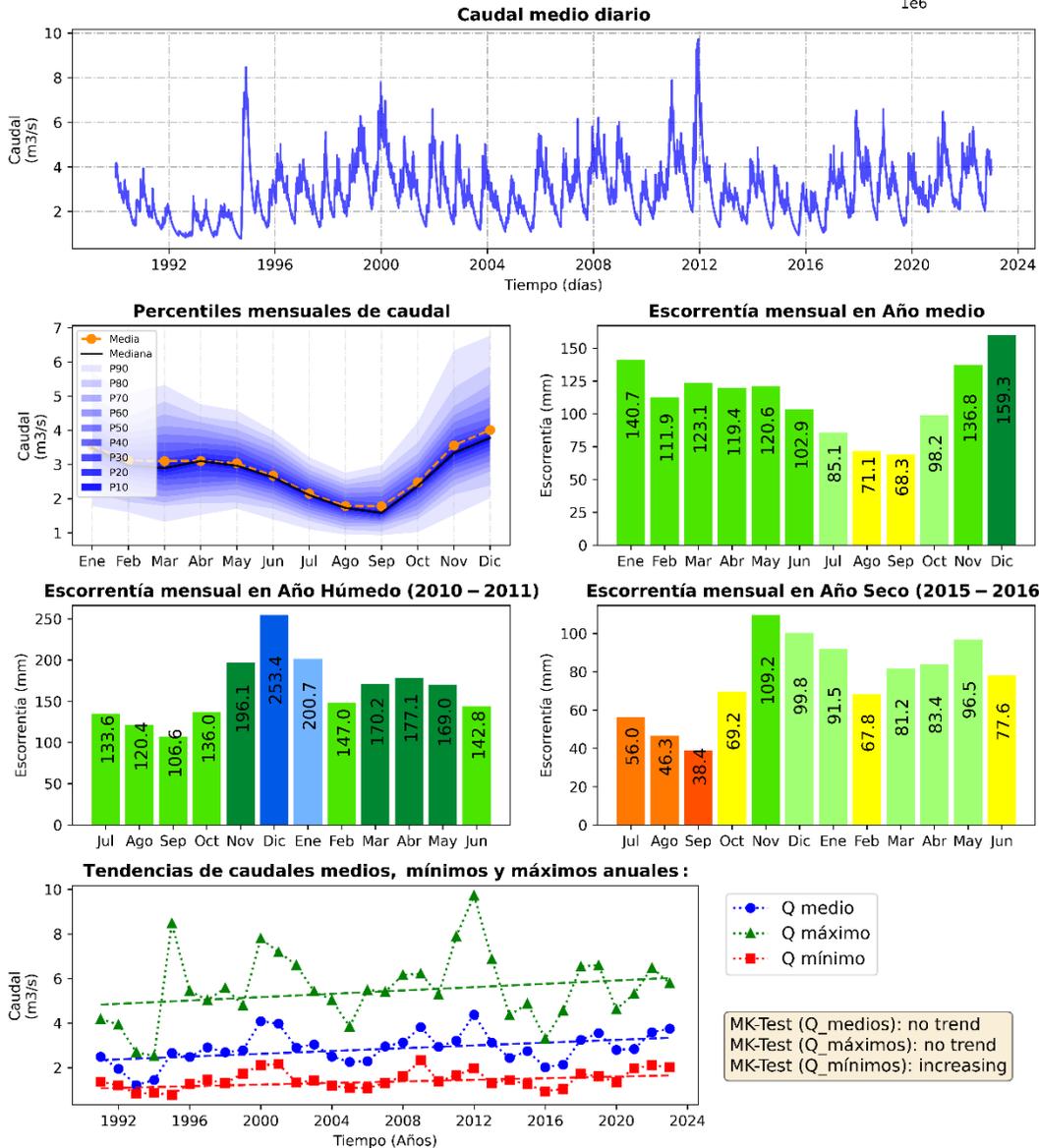
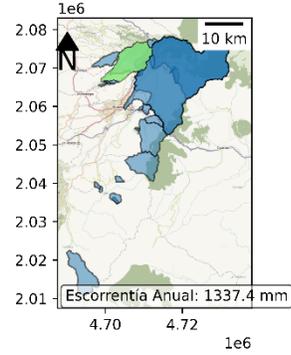


Figura 189. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Roble Montenegro 1

2.4.73. OHTS y OHTD en la Unidad de Análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 62.1, 98.4 y 44.6 l/s/km² para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 140.4 % de aumento, un 222.5 % de aumento, y un 100.9 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.3, 42.9 y 15.1 l/s/km² respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 61.8, 97.0 y 34.2 % con relación al valor medio anual (Figura 190). La escorrentía anual es de 1,394.7 mm, con valores máximos mensuales de 166.4, 263.7, y 115.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 191).

Tabla 94. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 2

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)	OHTS (m ³ /s)	CA (m ³ /s)	OHTD (m ³ /s)
2.453	1.400	1.053	3.566	1.400	2.166	1.683	1.027	0.657

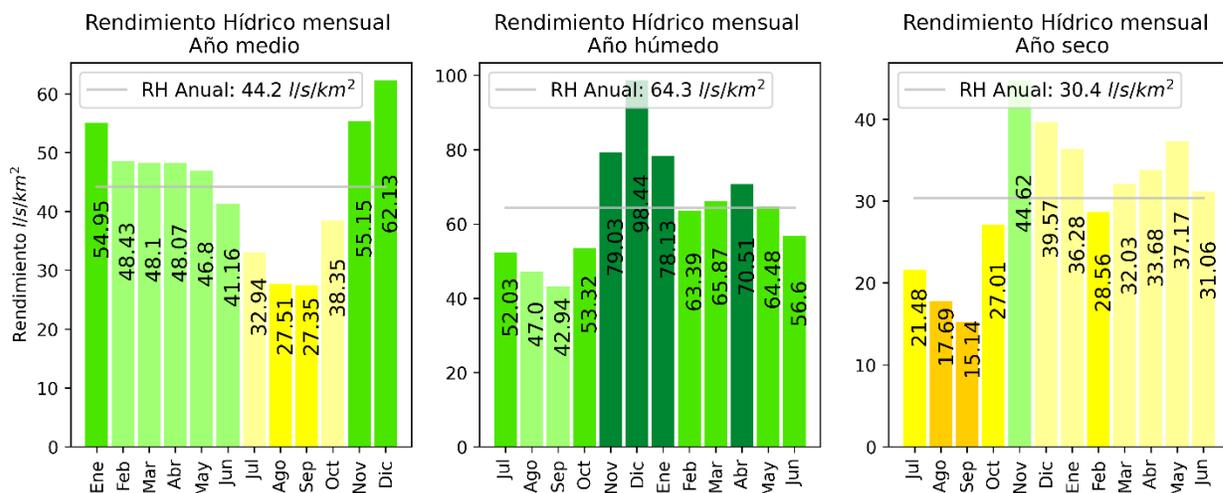


Figura 190. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Rio Roble Montenegro 2

Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

Subzona Hidrográfica: Río_La_Vieja
Unidad de Análisis:
Río Roble Montenegro 2
Punto Cierre en Modelo (CTM12):
X: 4685662 m Y: 2021014 m

Descripción:
Bocatoma de Montenegro, río El Roble captación 2

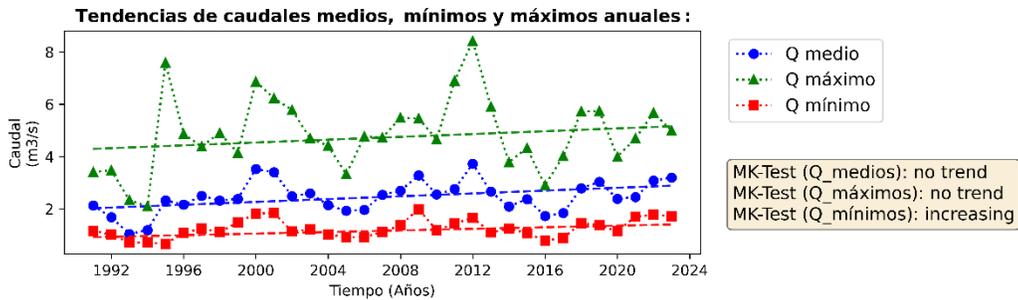
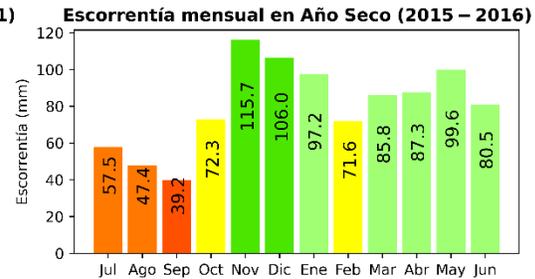
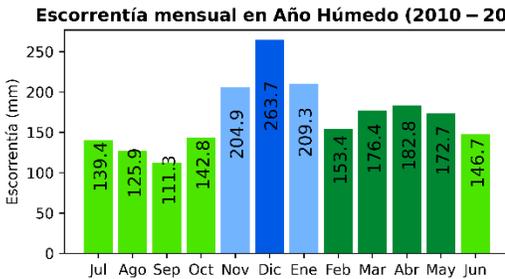
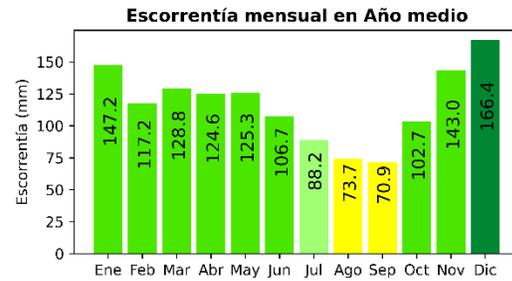
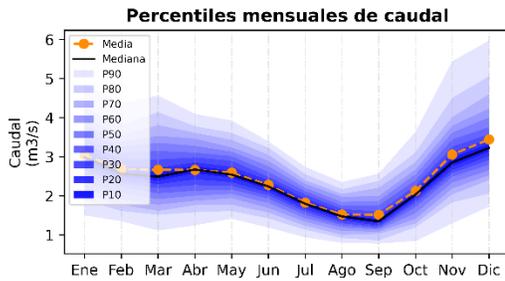
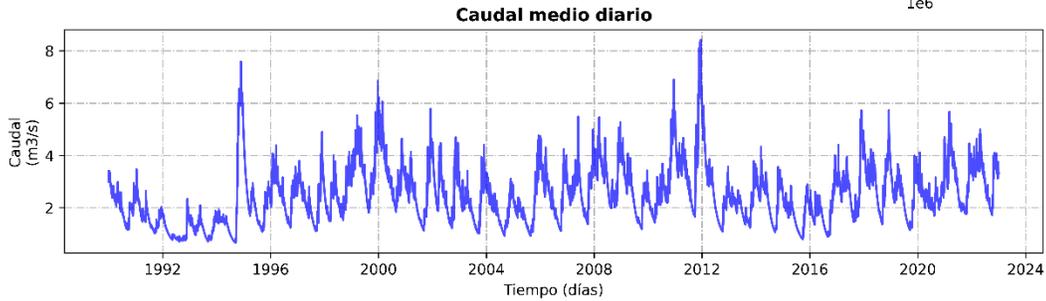
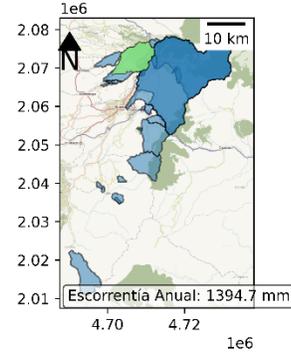


Figura 191. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad de análisis Fuente Abastecedora Río Roble Montenegro 2

2.5. Índice de Regulación y Retención Hídrica

El Índice de Regulación y Retención Hídrica (IRH) determina la capacidad de la cuenca para retener humedad, expresa la relación entre el área bajo la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales diarios y el área bajo la curva de duración de caudales diarios, por lo que sus valores se encuentran entre cero (0) y uno (1), donde los valores más bajos representan menor capacidad de regulación y se clasifica en cinco categorías desde “muy baja” capacidad de regulación a “muy alta” (Tabla 95).

Tabla 95. Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH). (Fuente: IDEAM, 2020a)

Límites de categorías	Categoría	Capacidad de retención y regulación
IRH > 0.85		Muy alta
0.75 < IRH ≤ 0.85		Alta
0.65 < IRH ≤ 0.75		Moderada
0.50 < IRH ≤ 0.65		Baja
IRH ≤ 0.50		Muy Baja

Las unidades hidrológicas de análisis en el departamento del Quindío presentan Alta y Muy Alta capacidad de retención y regulación hídrica (Figura 192) con valores en el rango entre 0.77 y 0.92, los IRH más altos ocurren en las zonas de mayor aporte de flujo base en los modelos hidrológicos, que corresponden a las unidades hidrográficas localizadas sobre el Abanico del Quindío (Figura 193), esta condición implica que el caudal base sostiene en una alta proporción (más de un 40%) la mayor parte del tiempo el caudal medio, generando un efecto regulador de la respuesta hidrológica.

En cuanto a las unidades de análisis ubicadas en la zona de montaña, se identifica que el flujo subsuperficial y la retención de humedad en el suelo dominan la generación de escorrentía con valores de almacenamiento capilar del suelo que alcanzan los 600 mm, y capacidades de almacenamiento por intercepción y en superficie que llegan al rango entre 10 y 15 mm permitiendo retener la humedad excedente de episodios de lluvia.

Es consistente encontrar que las capacidades de retención y regulación hídrica no lleguen a un 0.9 en las microcuencas abastecedoras de acueductos (Figura 194), ya que, dadas las altas elevaciones y gradientes topográficos de estas, reduce la capacidad de retener los excesos de humedad por periodos de tiempo prolongados por efecto de la acción de la gravedad sobre el flujo y menores espesores de suelo. Sin embargo, a pesar de este limitante geomorfológico, el efecto regulador de la cobertura sobre el microclima y el balance de humedad en el suelo explica que el IRH sea Alto en la mayoría de las fuentes abastecedoras de acueductos.

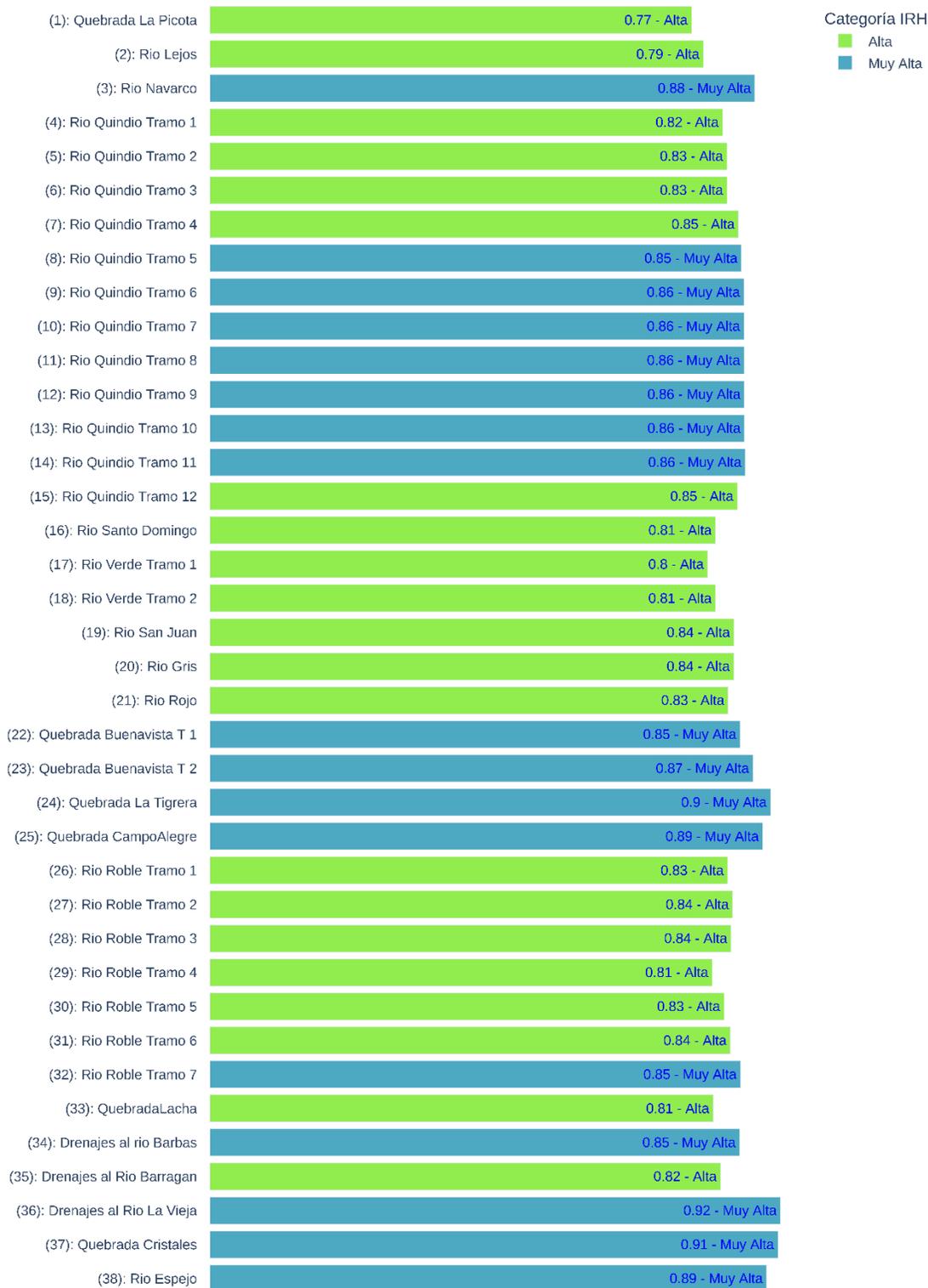


Figura 192. Índice de retención y regulación hídrica en las unidades hidrográficas de análisis para el periodo (1990 a 2022)

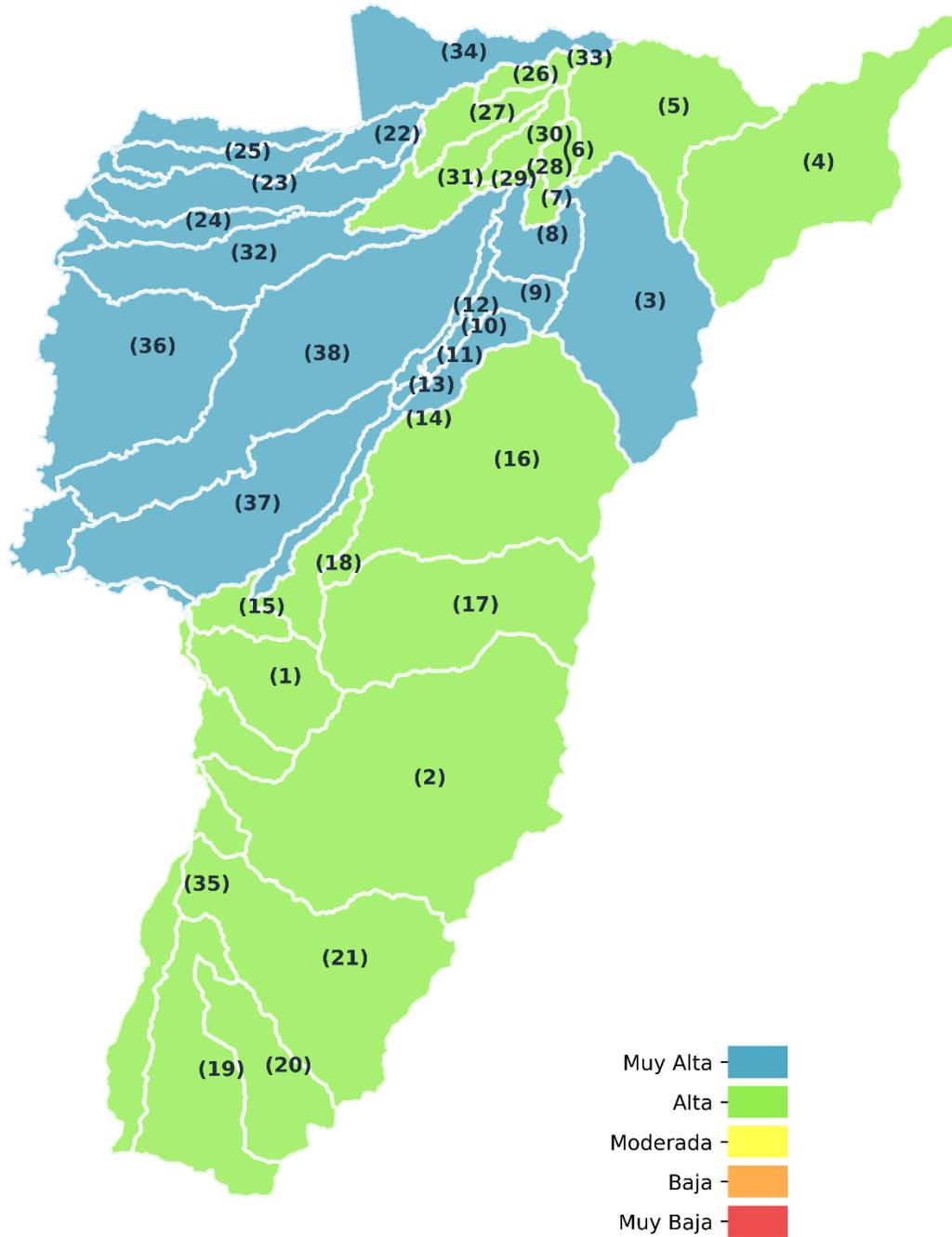


Figura 193. Mapa de distribución espacial del índice de retención y regulación hídrica en las unidades hidrográficas de análisis para el periodo (1990 a 2022)

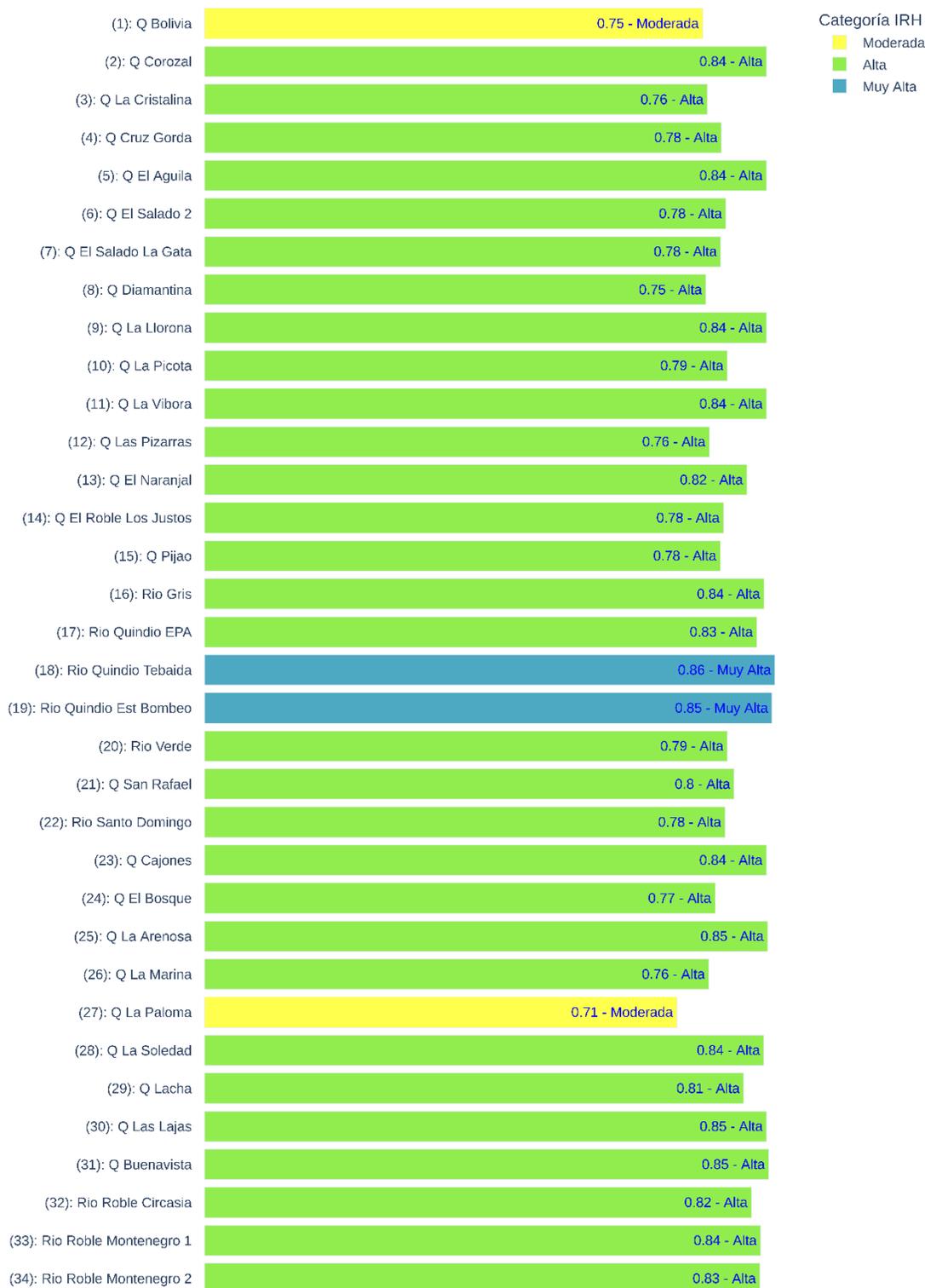


Figura 194. Índice de retención y regulación hídrica en las fuentes abastecedoras de acueductos para el periodo (1990 a 2022)

2.6. Índice de Aridez

De acuerdo con IDEAM, (2013), el índice de aridez (IA) permite identificar áreas con déficit o excedente de agua, a través de la cuantificación del grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de la zona de estudio y su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Ia = \frac{ETo - ETR}{ETo}$$

Donde:

Ia : índice de aridez (adimensional)

ETo : evapotranspiración de referencia (mm)

ETR : evapotranspiración real (mm)

La Tabla 96 presenta la clasificación del índice de aridez.

Tabla 96. Categorías del índice de aridez. Fuente: (IDEAM, 2013)

Límites de categorías	Categoría	Descripción
<0.15		Altos excedentes de agua
0.15 - 0.19		Excedentes de agua
0.20 - 0.29		Entre moderado y excedentes de agua
0.30 - 0.39		Moderado
0.40 - 0.49		Entre moderado y deficitario de agua
0.50 - 0.59		Deficitario de agua
>0.59		Altamente deficitario de agua

El IA se aplicó a las 3 condiciones hidrológicas: 1) año medio, corresponde a la información mensual multianual, 2) año seco, se define como el episodio histórico de la fase cálida del ENSO más severo del que se tiene registro, el cual se identificó el año 2015/2016 y 3) año húmedo, es el episodio más extremo de la fase fría del ENSO, en este caso 2010/2011. La evapotranspiración de referencia (ETo) se determinó a través de la aplicación del método FAO Penman Monteith, y la evapotranspiración real en la escala mensual se determinó mediante el método de BUDYKO (IDEAM, 2013):

$$ETR_i = \left[ET_{o_i} * P_i * \tanh\left(\frac{P_i}{ET_{o_i}}\right) * \left(1 - \cosh\left(\frac{ET_{o_i}}{P_i}\right) + \sinh\left(\frac{ET_{o_i}}{P_i}\right)\right) \right]^{1/2}$$

Donde:

ETR_i : evapotranspiración real del mes i (mm)

ET_{o_i} : evapotranspiración de referencia del mes i (mm)

P_i : precipitación del mes i (mm)

Durante los meses de marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre se presentan excedentes de humedad que logran satisfacer los requerimientos hídricos de los ecosistemas, ya que en las condiciones de año medio y húmedo el IA tiene valores menores a 0.2 en la mayoría de los casos (Figura 195 y Figura 199); en contraste, para estos mismos años hidrológicos de referencia, los meses de julio y agosto alcanzan una condición de deficitaria a moderada con valores de IA en el rango entre 0.3 a 0.59, lo cual evidencia la vulnerabilidad climática sobre los ecosistemas en estos meses aún en el escenario de año húmedo (Figura 196 y Figura 200). Resultan más sensibles a esta condición de déficit de humedad las unidades ubicadas en el suroriente y suroccidente del departamento (río Lejos, río Verde, quebrada la Picota, río Espejo, quebrada Cristales y río Roble)

En la condición hidrológica de año seco se intensifica el déficit de humedad en los meses de junio, julio, agosto y diciembre, alcanzando valores de IA en el rango entre 0.41 y 0.79 que definen una insuficiencia de humedad moderada a altamente deficitaria (Figura 197). Esta característica se evidencia en la zona norte, centro, oriente y occidente del departamento del Quindío (Figura 198) en los meses de junio a agosto, y en todo el departamento en el mes de diciembre. a pesar de la disminución en la disponibilidad de humedad durante año seco, los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre presentan excedentes y altos excedentes de humedad con valores de IA en el rango entre 0.1 y 0.28 (Figura 197).

Las fuentes abastecedoras de acueductos presentan IA moderado a deficitario en los meses de julio y agosto en año hidrológico medio (Figura 201), condición que se mantiene para el mes de agosto en el año hidrológico húmedo, principalmente en las fuentes abastecedoras ubicadas en el río Quindío, río Santo Domingo, río Verde, río Lejos y quebrada la Picota (Figura 203). El déficit de humedad se incrementa notablemente en las fuentes abastecedoras durante la condición hidrológica de año seco, evidenciando en los meses de agosto y diciembre un IA en el rango entre 0.5 y 0.83 definiendo un periodo deficitario y altamente deficitario de humedad (Figura 202).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Quebrada La Picota	0.253	0.223	0.172	0.137	0.171	0.327	0.495	0.533	0.305	0.132	0.094	0.162
(2): Río Lejos	0.223	0.201	0.16	0.128	0.157	0.31	0.464	0.506	0.288	0.122	0.086	0.149
(3): Río Navarco	0.251	0.221	0.183	0.15	0.161	0.257	0.352	0.405	0.28	0.121	0.096	0.163
(4): Río Quindío Tramo 1	0.206	0.18	0.149	0.127	0.14	0.24	0.342	0.372	0.226	0.104	0.085	0.13
(5): Río Quindío Tramo 2	0.175	0.158	0.132	0.119	0.133	0.228	0.336	0.344	0.202	0.091	0.075	0.108
(6): Río Quindío Tramo 3	0.164	0.155	0.129	0.119	0.137	0.228	0.348	0.338	0.199	0.085	0.07	0.099
(7): Río Quindío Tramo 4	0.185	0.169	0.139	0.124	0.141	0.237	0.352	0.359	0.214	0.093	0.077	0.112
(8): Río Quindío Tramo 5	0.205	0.183	0.15	0.13	0.146	0.246	0.358	0.378	0.23	0.102	0.083	0.126
(9): Río Quindío Tramo 6	0.238	0.208	0.168	0.14	0.157	0.26	0.37	0.409	0.258	0.116	0.092	0.148
(10): Río Quindío Tramo 7	0.256	0.22	0.175	0.142	0.162	0.269	0.388	0.431	0.267	0.123	0.097	0.16
(11): Río Quindío Tramo 8	0.268	0.228	0.18	0.143	0.166	0.275	0.4	0.447	0.273	0.129	0.1	0.167
(12): Río Quindío Tramo 9	0.246	0.213	0.169	0.138	0.159	0.265	0.385	0.423	0.257	0.119	0.094	0.152
(13): Río Quindío Tramo 10	0.279	0.235	0.183	0.143	0.169	0.28	0.414	0.463	0.277	0.133	0.102	0.173
(14): Río Quindío Tramo 11	0.279	0.234	0.182	0.142	0.169	0.28	0.419	0.468	0.278	0.133	0.102	0.171
(15): Río Quindío Tramo 12	0.291	0.243	0.183	0.141	0.177	0.306	0.476	0.518	0.294	0.139	0.104	0.176
(16): Río Santo Domingo	0.286	0.244	0.194	0.152	0.173	0.283	0.409	0.471	0.306	0.137	0.104	0.182
(17): Río Verde Tramo 1	0.26	0.222	0.173	0.138	0.169	0.303	0.472	0.52	0.305	0.13	0.095	0.161
(18): Río Verde Tramo 2	0.285	0.233	0.175	0.137	0.175	0.3	0.496	0.539	0.301	0.135	0.1	0.164
(19): Río San Juan	0.229	0.19	0.138	0.102	0.122	0.229	0.364	0.387	0.209	0.099	0.087	0.141
(20): Río Gris	0.229	0.192	0.141	0.106	0.127	0.238	0.374	0.4	0.218	0.102	0.087	0.142
(21): Río Rojo	0.23	0.198	0.148	0.114	0.138	0.263	0.406	0.436	0.242	0.11	0.088	0.146
(22): Quebrada Buenavista T 1	0.219	0.19	0.154	0.13	0.146	0.248	0.358	0.381	0.227	0.107	0.088	0.135
(23): Quebrada Buenavista T 2	0.28	0.233	0.18	0.142	0.162	0.272	0.383	0.42	0.257	0.133	0.106	0.178
(24): Quebrada La Tigresa	0.311	0.254	0.193	0.148	0.169	0.284	0.397	0.44	0.27	0.145	0.116	0.2
(25): Quebrada Campo Alegre	0.289	0.239	0.184	0.144	0.163	0.275	0.38	0.419	0.259	0.136	0.109	0.184
(26): Río Roble Tramo 1	0.166	0.154	0.129	0.118	0.134	0.226	0.342	0.336	0.196	0.085	0.071	0.101
(27): Río Roble Tramo 2	0.18	0.164	0.136	0.122	0.138	0.233	0.347	0.35	0.206	0.091	0.075	0.11
(28): Río Roble Tramo 3	0.173	0.161	0.134	0.121	0.138	0.232	0.35	0.347	0.205	0.089	0.073	0.105
(29): Río Roble Tramo 4	0.186	0.169	0.14	0.124	0.141	0.237	0.353	0.359	0.213	0.094	0.077	0.113
(30): Río Roble Tramo 5	0.166	0.156	0.13	0.119	0.137	0.229	0.349	0.339	0.199	0.085	0.07	0.1
(31): Río Roble Tramo 6	0.204	0.182	0.148	0.128	0.145	0.245	0.36	0.375	0.223	0.102	0.083	0.125
(32): Río Roble Tramo 7	0.296	0.244	0.187	0.145	0.167	0.28	0.398	0.44	0.266	0.139	0.11	0.188
(33): Quebrada Lacha	0.162	0.151	0.126	0.117	0.132	0.224	0.339	0.332	0.193	0.084	0.07	0.099
(34): Drenajes al río Barbas	0.192	0.17	0.14	0.122	0.136	0.233	0.338	0.353	0.208	0.097	0.081	0.119
(35): Drenajes al Río Barragan	0.247	0.211	0.154	0.117	0.144	0.272	0.419	0.442	0.247	0.113	0.094	0.154
(36): Drenajes al Río La Vieja	0.325	0.264	0.198	0.149	0.174	0.29	0.416	0.461	0.276	0.15	0.118	0.207
(37): Quebrada Cristales	0.318	0.259	0.196	0.142	0.176	0.28	0.426	0.479	0.268	0.147	0.111	0.194
(38): Río Espejo	0.286	0.238	0.184	0.141	0.168	0.273	0.404	0.449	0.261	0.135	0.104	0.177

Categorías	Altamente deficitario	Deficitario	Moderado a deficitario	Moderado
Índice de Aridez	Moderado a excedentes	Excedentes	Altos excedentes	

Figura 195. Índice de aridez mensual en año medio para las unidades hidrográficas de análisis en el periodo 1990 a 2022

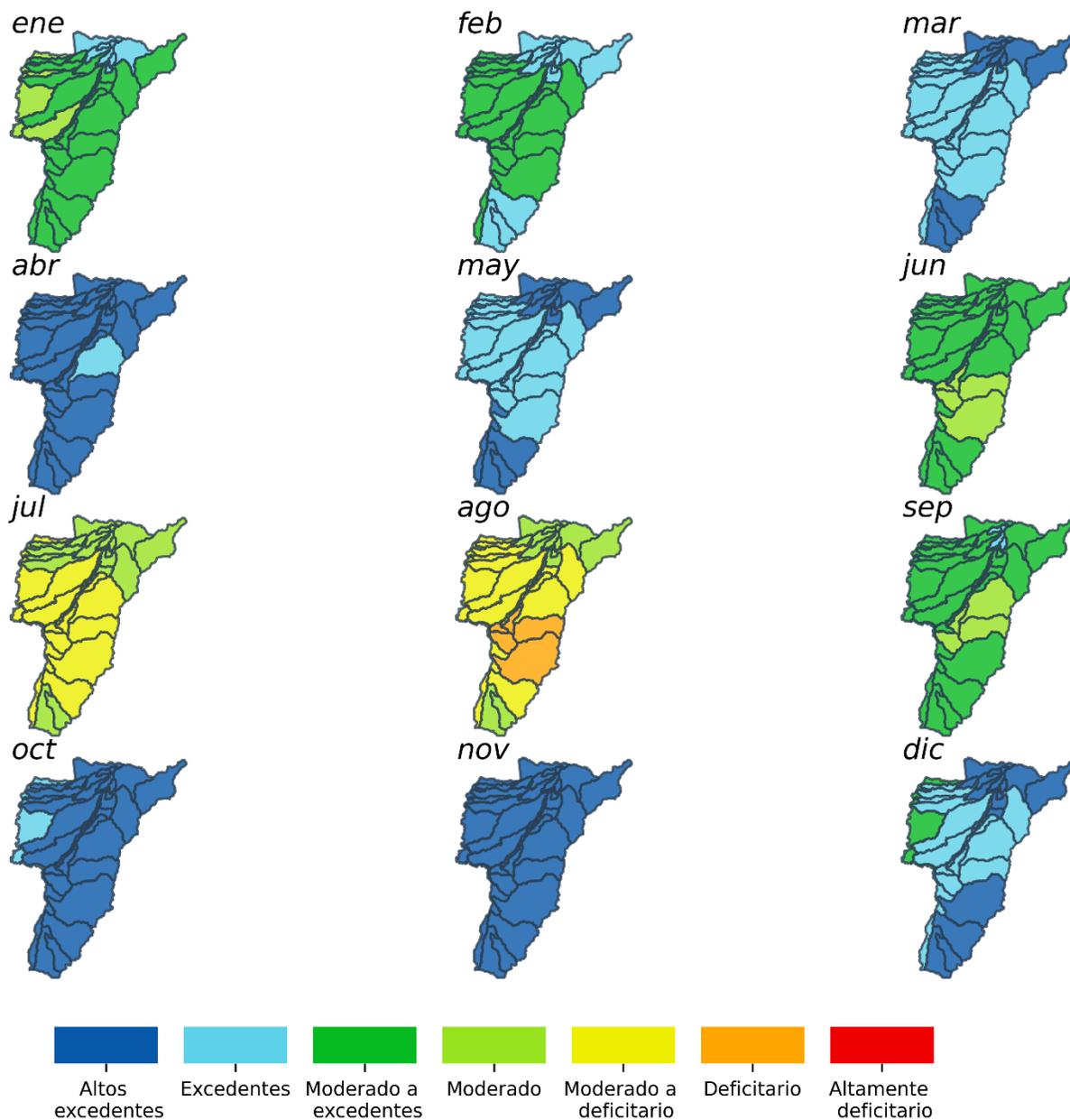


Figura 196. Mapa de índice de aridez mensual en año medio para las unidades hidrográficas de análisis en el periodo 1990 a 2022

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Quebrada La Picota	0.344	0.416	0.235	0.183	0.15	0.666	0.459	0.746	0.28	0.157	0.155	0.596
(2): Río Lejos	0.325	0.401	0.22	0.186	0.155	0.599	0.455	0.696	0.26	0.153	0.129	0.669
(3): Río Navarco	0.388	0.437	0.178	0.176	0.232	0.49	0.436	0.767	0.254	0.161	0.146	0.687
(4): Río Quindío Tramo 1	0.325	0.374	0.159	0.151	0.162	0.438	0.393	0.702	0.199	0.139	0.097	0.504
(5): Río Quindío Tramo 2	0.279	0.36	0.145	0.151	0.143	0.371	0.419	0.747	0.17	0.112	0.077	0.507
(6): Río Quindío Tramo 3	0.248	0.385	0.151	0.156	0.137	0.33	0.507	0.814	0.163	0.088	0.069	0.66
(7): Río Quindío Tramo 4	0.281	0.385	0.158	0.154	0.147	0.378	0.462	0.765	0.18	0.104	0.08	0.601
(8): Río Quindío Tramo 5	0.312	0.393	0.167	0.156	0.158	0.419	0.445	0.744	0.198	0.12	0.092	0.593
(9): Río Quindío Tramo 6	0.359	0.408	0.182	0.16	0.176	0.483	0.434	0.728	0.229	0.143	0.115	0.608
(10): Río Quindío Tramo 7	0.377	0.405	0.195	0.156	0.169	0.522	0.433	0.709	0.239	0.152	0.128	0.591
(11): Río Quindío Tramo 8	0.388	0.403	0.204	0.154	0.166	0.55	0.434	0.702	0.246	0.157	0.138	0.58
(12): Río Quindío Tramo 9	0.364	0.399	0.192	0.153	0.162	0.504	0.435	0.709	0.229	0.144	0.12	0.581
(13): Río Quindío Tramo 10	0.396	0.397	0.212	0.15	0.159	0.578	0.435	0.696	0.25	0.158	0.148	0.562
(14): Río Quindío Tramo 11	0.383	0.387	0.207	0.15	0.159	0.593	0.433	0.709	0.248	0.154	0.152	0.538
(15): Río Quindío Tramo 12	0.374	0.384	0.231	0.151	0.139	0.672	0.444	0.714	0.268	0.155	0.177	0.498
(16): Río Santo Domingo	0.394	0.407	0.199	0.171	0.204	0.607	0.433	0.746	0.275	0.171	0.175	0.594
(17): Río Verde Tramo 1	0.315	0.347	0.193	0.172	0.155	0.68	0.43	0.753	0.258	0.15	0.159	0.461
(18): Río Verde Tramo 2	0.301	0.299	0.188	0.15	0.132	0.737	0.418	0.744	0.246	0.14	0.179	0.334
(19): Río San Juan	0.318	0.216	0.2	0.109	0.107	0.272	0.523	0.234	0.182	0.17	0.124	0.694
(20): Río Gris	0.323	0.242	0.201	0.115	0.112	0.312	0.499	0.281	0.192	0.164	0.126	0.677
(21): Río Rojo	0.332	0.306	0.209	0.134	0.124	0.413	0.472	0.417	0.22	0.159	0.132	0.665
(22): Quebrada Buenavista T 1	0.336	0.387	0.18	0.147	0.151	0.441	0.417	0.676	0.206	0.135	0.096	0.545
(23): Quebrada Buenavista T 2	0.435	0.416	0.223	0.146	0.152	0.495	0.422	0.608	0.239	0.174	0.125	0.614
(24): Quebrada La Tigra	0.484	0.433	0.243	0.145	0.15	0.523	0.426	0.58	0.249	0.192	0.139	0.648
(25): Quebrada Campo Alegre	0.453	0.418	0.232	0.145	0.152	0.496	0.418	0.587	0.248	0.182	0.128	0.623
(26): Río Roble Tramo 1	0.252	0.378	0.149	0.153	0.138	0.34	0.477	0.791	0.163	0.093	0.07	0.597
(27): Río Roble Tramo 2	0.274	0.381	0.157	0.151	0.143	0.369	0.459	0.758	0.175	0.104	0.077	0.581
(28): Río Roble Tramo 3	0.263	0.384	0.154	0.154	0.141	0.352	0.481	0.786	0.171	0.095	0.073	0.621
(29): Río Roble Tramo 4	0.284	0.384	0.16	0.153	0.146	0.381	0.457	0.754	0.181	0.106	0.08	0.589
(30): Río Roble Tramo 5	0.25	0.387	0.153	0.156	0.137	0.332	0.509	0.812	0.164	0.089	0.07	0.663
(31): Río Roble Tramo 6	0.311	0.388	0.171	0.151	0.149	0.416	0.443	0.722	0.194	0.12	0.09	0.577
(32): Río Roble Tramo 7	0.455	0.425	0.231	0.145	0.15	0.527	0.429	0.612	0.242	0.178	0.136	0.627
(33): Quebrada Lacha	0.251	0.37	0.145	0.155	0.136	0.334	0.469	0.795	0.16	0.093	0.069	0.578
(34): Drenajes al río Barbas	0.298	0.37	0.159	0.145	0.148	0.407	0.402	0.697	0.184	0.126	0.084	0.485
(35): Drenajes al Río Barragan	0.352	0.327	0.231	0.135	0.121	0.418	0.513	0.428	0.235	0.172	0.148	0.706
(36): Drenajes al Río La Vieja	0.502	0.447	0.257	0.142	0.146	0.562	0.437	0.598	0.255	0.19	0.158	0.666
(37): Quebrada Cristales	0.488	0.432	0.262	0.13	0.142	0.614	0.443	0.663	0.256	0.161	0.173	0.636
(38): Río Espejo	0.437	0.418	0.23	0.139	0.15	0.553	0.437	0.666	0.241	0.157	0.144	0.616

Categorías	Altamente deficitario	Deficitario	Moderado a deficitario	Moderado
Índice de Aridez	Moderado a excedentes	Excedentes	Altos excedentes	

Figura 197. Índice de aridez mensual en año seco para las unidades hidrográficas de análisis en el periodo 1990 a 2022

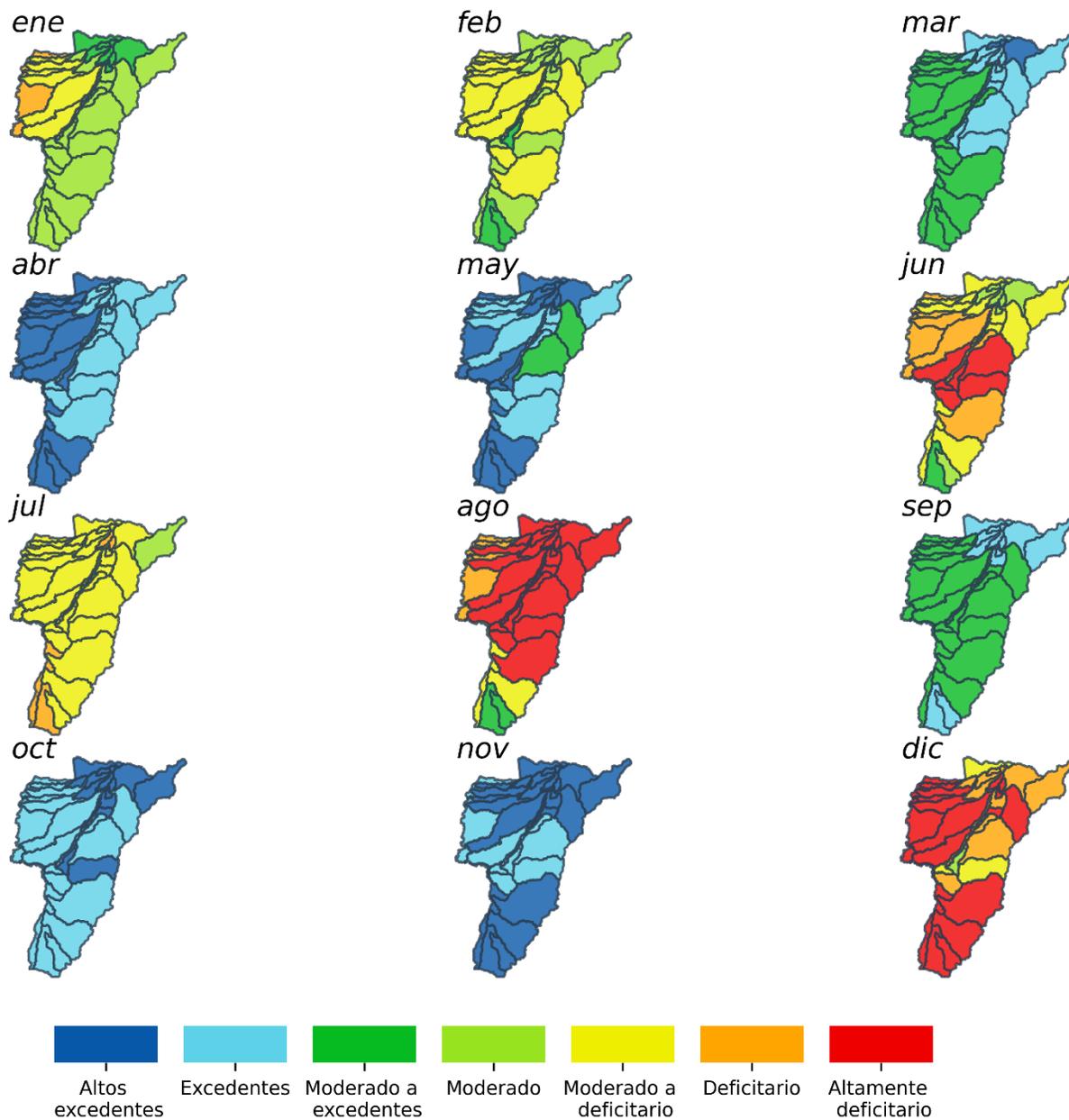


Figura 198. Mapa de índice de aridez seco en año medio para las unidades hidrográficas de análisis en el periodo 1990 a 2022

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Quebrada La Picota	0.38	0.088	0.172	0.061	0.153	0.228	0.255	0.55	0.231	0.086	0.063	0.082
(2): Río Lejos	0.338	0.077	0.139	0.055	0.123	0.206	0.237	0.547	0.19	0.081	0.058	0.079
(3): Río Navarco	0.394	0.085	0.139	0.062	0.114	0.2	0.236	0.535	0.253	0.096	0.063	0.082
(4): Río Quindío Tramo 1	0.265	0.082	0.131	0.063	0.129	0.147	0.201	0.472	0.24	0.088	0.06	0.074
(5): Río Quindío Tramo 2	0.21	0.081	0.118	0.067	0.141	0.124	0.199	0.457	0.241	0.079	0.055	0.065
(6): Río Quindío Tramo 3	0.201	0.086	0.113	0.074	0.158	0.118	0.224	0.455	0.248	0.07	0.051	0.059
(7): Río Quindío Tramo 4	0.232	0.086	0.123	0.07	0.149	0.131	0.219	0.465	0.247	0.077	0.055	0.065
(8): Río Quindío Tramo 5	0.267	0.087	0.132	0.068	0.142	0.146	0.222	0.48	0.249	0.083	0.058	0.071
(9): Río Quindío Tramo 6	0.333	0.09	0.146	0.066	0.133	0.173	0.231	0.506	0.253	0.092	0.062	0.08
(10): Río Quindío Tramo 7	0.362	0.094	0.16	0.067	0.143	0.183	0.235	0.511	0.255	0.096	0.064	0.085
(11): Río Quindío Tramo 8	0.385	0.097	0.171	0.067	0.149	0.19	0.237	0.516	0.256	0.098	0.065	0.088
(12): Río Quindío Tramo 9	0.341	0.095	0.158	0.068	0.15	0.173	0.231	0.5	0.254	0.093	0.062	0.082
(13): Río Quindío Tramo 10	0.407	0.101	0.183	0.068	0.161	0.194	0.237	0.517	0.257	0.1	0.065	0.092
(14): Río Quindío Tramo 11	0.414	0.101	0.185	0.068	0.162	0.194	0.234	0.52	0.259	0.098	0.065	0.092
(15): Río Quindío Tramo 12	0.435	0.104	0.208	0.068	0.185	0.219	0.247	0.531	0.271	0.095	0.067	0.09
(16): Río Santo Domingo	0.457	0.092	0.168	0.063	0.128	0.225	0.244	0.556	0.262	0.099	0.067	0.092
(17): Río Verde Tramo 1	0.407	0.086	0.164	0.062	0.135	0.218	0.238	0.556	0.247	0.087	0.066	0.087
(18): Río Verde Tramo 2	0.442	0.098	0.196	0.069	0.167	0.215	0.232	0.546	0.287	0.089	0.069	0.092
(19): Río San Juan	0.276	0.066	0.102	0.051	0.091	0.153	0.184	0.542	0.238	0.074	0.059	0.078
(20): Río Gris	0.287	0.068	0.109	0.052	0.097	0.16	0.191	0.532	0.233	0.075	0.059	0.077
(21): Río Rojo	0.311	0.074	0.125	0.054	0.111	0.18	0.211	0.527	0.224	0.078	0.059	0.076
(22): Quebrada Buenavista T 1	0.268	0.092	0.143	0.07	0.16	0.146	0.218	0.452	0.25	0.089	0.06	0.075
(23): Quebrada Buenavista T 2	0.34	0.113	0.181	0.076	0.185	0.174	0.257	0.472	0.265	0.108	0.067	0.092
(24): Quebrada La Tigresa	0.381	0.124	0.203	0.079	0.199	0.189	0.275	0.488	0.27	0.117	0.07	0.1
(25): Quebrada Campo Alegre	0.339	0.117	0.183	0.078	0.191	0.176	0.264	0.463	0.27	0.111	0.068	0.094
(26): Río Roble Tramo 1	0.2	0.084	0.114	0.072	0.156	0.117	0.212	0.447	0.243	0.072	0.051	0.06
(27): Río Roble Tramo 2	0.219	0.086	0.122	0.071	0.156	0.125	0.213	0.45	0.245	0.076	0.054	0.064
(28): Río Roble Tramo 3	0.214	0.086	0.118	0.072	0.155	0.123	0.22	0.458	0.247	0.073	0.053	0.062
(29): Río Roble Tramo 4	0.232	0.087	0.125	0.071	0.153	0.131	0.218	0.461	0.247	0.078	0.055	0.066
(30): Río Roble Tramo 5	0.203	0.087	0.114	0.074	0.16	0.118	0.225	0.454	0.248	0.07	0.051	0.059
(31): Río Roble Tramo 6	0.257	0.09	0.135	0.07	0.156	0.141	0.22	0.463	0.249	0.084	0.058	0.071
(32): Río Roble Tramo 7	0.378	0.117	0.196	0.076	0.191	0.186	0.26	0.491	0.264	0.111	0.068	0.096
(33): Quebrada Lacha	0.193	0.083	0.111	0.071	0.152	0.115	0.209	0.451	0.243	0.072	0.051	0.06
(34): Drenajes al río Barbas	0.228	0.084	0.129	0.068	0.152	0.13	0.195	0.435	0.24	0.084	0.058	0.069
(35): Drenajes al Río Barragan	0.321	0.077	0.138	0.055	0.123	0.196	0.224	0.543	0.257	0.08	0.063	0.077
(36): Drenajes al Río La Vieja	0.426	0.128	0.224	0.077	0.212	0.201	0.272	0.502	0.27	0.117	0.069	0.103
(37): Quebrada Cristales	0.473	0.127	0.246	0.072	0.234	0.191	0.233	0.497	0.251	0.111	0.063	0.104
(38): Río Espejo	0.404	0.113	0.203	0.071	0.195	0.18	0.235	0.494	0.252	0.105	0.063	0.095

Categorías	Altamente deficitario	Deficitario	Moderado a deficitario	Moderado
Índice de Aridez	Moderado a excedentes	Excedentes	Altos excedentes	

Figura 199. Índice de aridez mensual en año húmedo para las unidades hidrográficas de análisis en el periodo 1990 a 2022

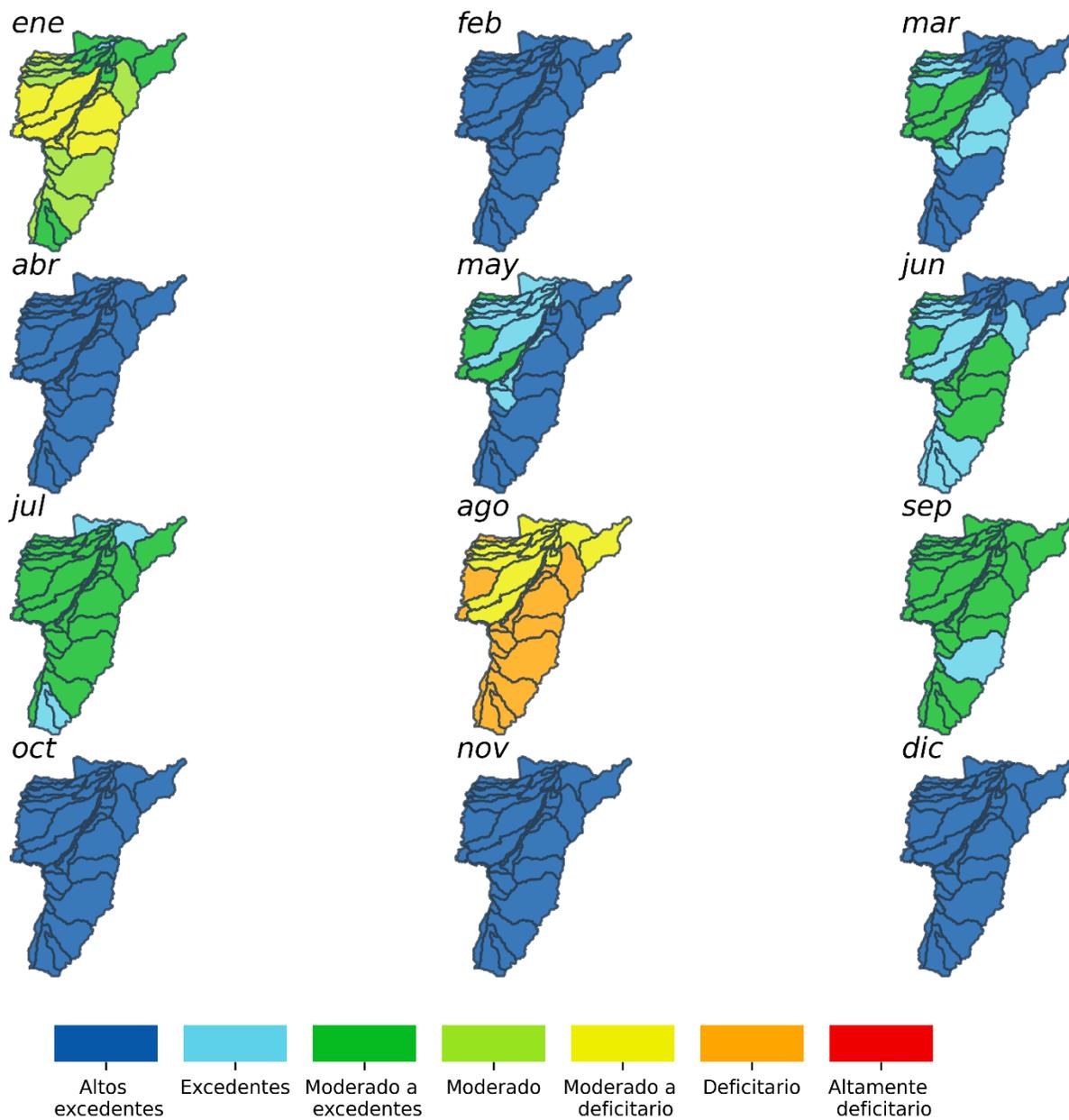


Figura 200. Mapa de índice de aridez mensual en año húmedo para las unidades hidrográficas de análisis en el periodo 1990 a 2022

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Q Bolivia	0.184	0.167	0.138	0.123	0.137	0.234	0.343	0.355	0.211	0.094	0.077	0.114
(2): Q Corozal	0.187	0.169	0.14	0.124	0.139	0.235	0.345	0.358	0.214	0.095	0.078	0.115
(3): Q La Cristalina	0.186	0.167	0.139	0.123	0.138	0.234	0.342	0.356	0.212	0.094	0.078	0.114
(4): Q Cruz Gorda	0.196	0.176	0.145	0.127	0.141	0.239	0.345	0.366	0.222	0.099	0.081	0.122
(5): Q El Aguila	0.187	0.17	0.14	0.125	0.141	0.238	0.353	0.361	0.214	0.094	0.077	0.114
(6): Q El Salado 2	0.283	0.243	0.194	0.152	0.172	0.281	0.395	0.458	0.302	0.136	0.104	0.181
(7): Q El Salado La Gata	0.301	0.262	0.217	0.17	0.178	0.275	0.359	0.441	0.331	0.143	0.11	0.203
(8): Q Diamantina	0.204	0.192	0.159	0.131	0.16	0.34	0.5	0.545	0.308	0.124	0.08	0.144
(9): Q La Llorona	0.182	0.167	0.138	0.123	0.14	0.236	0.352	0.356	0.211	0.092	0.076	0.111
(10): Q La Picota	0.219	0.203	0.165	0.135	0.167	0.345	0.514	0.558	0.317	0.129	0.084	0.15
(11): Q La Vibora	0.16	0.152	0.127	0.118	0.136	0.226	0.348	0.334	0.196	0.083	0.068	0.097
(12): Q Las Pizarras	0.205	0.193	0.16	0.131	0.161	0.343	0.503	0.549	0.31	0.125	0.081	0.144
(13): Q El Naranjal	0.262	0.227	0.183	0.148	0.165	0.269	0.377	0.43	0.281	0.126	0.099	0.167
(14): Q El Roble Los Justos	0.237	0.21	0.166	0.135	0.166	0.322	0.495	0.54	0.307	0.128	0.089	0.153
(15): Q Pijao	0.201	0.193	0.162	0.134	0.164	0.362	0.522	0.569	0.323	0.127	0.08	0.145
(16): Rio Gris	0.229	0.192	0.141	0.106	0.127	0.237	0.374	0.4	0.218	0.102	0.087	0.142
(17): Rio Quindío EPA	0.194	0.172	0.142	0.124	0.138	0.235	0.339	0.362	0.217	0.099	0.081	0.122
(18): Rio Quindío Tebaida	0.24	0.209	0.169	0.14	0.157	0.261	0.373	0.412	0.259	0.117	0.093	0.15
(19): Rio Quindío Est Bombeo	0.24	0.213	0.176	0.145	0.158	0.254	0.353	0.398	0.269	0.117	0.093	0.155
(20): Rio Verde	0.266	0.229	0.181	0.143	0.168	0.29	0.426	0.483	0.3	0.132	0.098	0.169
(21): Q San Rafael	0.266	0.231	0.188	0.151	0.166	0.269	0.371	0.429	0.288	0.128	0.1	0.171
(22): Rio Santo Domingo	0.298	0.258	0.211	0.165	0.177	0.278	0.373	0.451	0.327	0.142	0.109	0.199
(23): Q Cajones	0.172	0.16	0.133	0.121	0.138	0.231	0.349	0.346	0.204	0.088	0.072	0.104
(24): Q El Bosque	0.161	0.153	0.128	0.118	0.136	0.227	0.349	0.335	0.196	0.083	0.069	0.097
(25): Q La Arenosa	0.172	0.16	0.133	0.121	0.138	0.231	0.349	0.346	0.204	0.088	0.073	0.104
(26): Q La Marina	0.165	0.155	0.129	0.119	0.137	0.228	0.348	0.339	0.199	0.085	0.07	0.099
(27): Q La Paloma	0.245	0.21	0.167	0.136	0.156	0.263	0.38	0.413	0.248	0.118	0.095	0.152
(28): Q La Soledad	0.235	0.203	0.163	0.134	0.154	0.259	0.375	0.405	0.243	0.114	0.092	0.145
(29): Q Lacha	0.162	0.151	0.126	0.117	0.132	0.224	0.339	0.332	0.193	0.084	0.07	0.098
(30): Q Las Lajas	0.247	0.212	0.168	0.137	0.157	0.264	0.382	0.416	0.249	0.119	0.095	0.153
(31): Q Buenavista	0.219	0.19	0.154	0.13	0.146	0.248	0.358	0.381	0.228	0.107	0.088	0.135
(32): Rio Roble Circasia	0.162	0.154	0.128	0.119	0.136	0.227	0.349	0.336	0.197	0.084	0.069	0.098
(33): Rio Roble Montenegro 1	0.191	0.172	0.141	0.124	0.141	0.238	0.353	0.361	0.214	0.096	0.079	0.116
(34): Rio Roble Montenegro 2	0.191	0.172	0.141	0.124	0.141	0.238	0.353	0.361	0.214	0.096	0.079	0.116

Categorías	Altamente deficitario	Deficitario	Moderado a deficitario	Moderado
Índice de Aridez	Moderado a excedentes	Excedentes	Altos excedentes	

Figura 201. Índice de aridez mensual en año medio para las fuentes abastecedoras de acueductos de análisis en el periodo 1990 a 2022

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Q Bolivia	0.288	0.374	0.153	0.153	0.149	0.386	0.429	0.746	0.179	0.112	0.081	0.541
(2): Q Corozal	0.29	0.378	0.155	0.154	0.151	0.389	0.434	0.749	0.182	0.112	0.082	0.556
(3): Q La Cristalina	0.29	0.374	0.153	0.153	0.15	0.389	0.426	0.744	0.18	0.113	0.082	0.538
(4): Q Cruz Gorda	0.306	0.381	0.158	0.155	0.158	0.41	0.423	0.738	0.191	0.121	0.088	0.551
(5): Q El Aguila	0.284	0.385	0.16	0.153	0.147	0.382	0.458	0.758	0.182	0.106	0.08	0.594
(6): Q El Salado 2	0.405	0.421	0.201	0.171	0.2	0.58	0.436	0.74	0.274	0.172	0.167	0.624
(7): Q El Salado La Gata	0.461	0.479	0.196	0.194	0.294	0.568	0.438	0.787	0.31	0.199	0.203	0.777
(8): Q Diamantina	0.31	0.441	0.232	0.227	0.173	0.652	0.47	0.789	0.273	0.153	0.116	0.757
(9): Q La Llorona	0.277	0.385	0.158	0.154	0.145	0.372	0.465	0.768	0.178	0.102	0.078	0.602
(10): Q La Picota	0.31	0.422	0.231	0.222	0.17	0.684	0.47	0.8	0.277	0.154	0.126	0.664
(11): Q La Vibora	0.241	0.387	0.15	0.157	0.135	0.319	0.521	0.828	0.16	0.084	0.067	0.682
(12): Q Las Pizarras	0.31	0.445	0.234	0.232	0.175	0.658	0.472	0.797	0.275	0.154	0.116	0.762
(13): Q El Naranjal	0.391	0.423	0.192	0.167	0.195	0.527	0.434	0.735	0.254	0.161	0.14	0.636
(14): Q El Roble Los Justos	0.304	0.369	0.208	0.189	0.155	0.683	0.447	0.768	0.263	0.149	0.139	0.515
(15): Q Pijao	0.312	0.472	0.247	0.259	0.188	0.675	0.487	0.83	0.286	0.158	0.113	0.828
(16): Rio Gris	0.323	0.242	0.201	0.116	0.112	0.312	0.498	0.282	0.192	0.164	0.126	0.677
(17): Rio Quindío EPA	0.308	0.369	0.154	0.151	0.155	0.413	0.402	0.718	0.188	0.129	0.089	0.505
(18): Rio Quindío Tebaida	0.361	0.407	0.184	0.16	0.174	0.488	0.434	0.725	0.23	0.144	0.117	0.605
(19): Rio Quindío Est Bombeo	0.371	0.428	0.176	0.172	0.217	0.473	0.439	0.765	0.242	0.152	0.134	0.671
(20): Rio Verde	0.36	0.388	0.2	0.171	0.175	0.615	0.433	0.733	0.266	0.162	0.16	0.559
(21): Q San Rafael	0.401	0.433	0.191	0.172	0.21	0.529	0.435	0.746	0.262	0.166	0.146	0.662
(22): Rio Santo Domingo	0.444	0.46	0.198	0.189	0.267	0.581	0.437	0.775	0.304	0.193	0.199	0.73
(23): Q Cajones	0.261	0.384	0.154	0.155	0.14	0.349	0.484	0.79	0.169	0.094	0.073	0.625
(24): Q El Bosque	0.242	0.387	0.151	0.157	0.135	0.321	0.519	0.825	0.161	0.085	0.067	0.677
(25): Q La Arenosa	0.261	0.384	0.154	0.154	0.141	0.35	0.482	0.787	0.17	0.095	0.073	0.622
(26): Q La Marina	0.248	0.385	0.151	0.156	0.137	0.331	0.504	0.811	0.163	0.088	0.069	0.655
(27): Q La Paloma	0.372	0.398	0.196	0.148	0.154	0.487	0.426	0.67	0.224	0.147	0.113	0.574
(28): Q La Soledad	0.356	0.396	0.189	0.149	0.154	0.473	0.428	0.684	0.217	0.141	0.107	0.571
(29): Q Lacha	0.251	0.37	0.145	0.155	0.136	0.333	0.471	0.797	0.16	0.092	0.069	0.581
(30): Q Las Lajas	0.374	0.399	0.197	0.148	0.154	0.492	0.427	0.672	0.225	0.148	0.114	0.576
(31): Q Buenavista	0.337	0.387	0.18	0.147	0.151	0.441	0.417	0.675	0.206	0.135	0.096	0.545
(32): Rio Roble Circasia	0.244	0.388	0.151	0.157	0.136	0.324	0.52	0.823	0.162	0.086	0.068	0.681
(33): Rio Roble Montenegro 1	0.291	0.384	0.163	0.151	0.145	0.39	0.453	0.744	0.184	0.111	0.083	0.582
(34): Rio Roble Montenegro 2	0.291	0.384	0.163	0.151	0.145	0.39	0.453	0.744	0.184	0.111	0.083	0.582

Categorías	Altamente deficitario	Deficitario	Moderado a deficitario	Moderado
Índice de Aridez	Moderado a excedentes	Excedentes	Altos excedentes	

Figura 202. Índice de aridez mensual en año seco para las fuentes abastecedoras de acueductos de análisis en el periodo 1990 a 2022

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Q Bolivia	0.229	0.083	0.122	0.067	0.14	0.131	0.206	0.464	0.243	0.079	0.056	0.067
(2): Q Corozal	0.235	0.083	0.123	0.067	0.14	0.133	0.21	0.467	0.244	0.08	0.056	0.067
(3): Q La Cristalina	0.231	0.083	0.123	0.067	0.139	0.132	0.206	0.465	0.243	0.08	0.056	0.067
(4): Q Cruz Gorda	0.252	0.083	0.127	0.066	0.134	0.141	0.209	0.474	0.244	0.083	0.057	0.07
(5): Q El Aguila	0.234	0.087	0.125	0.07	0.151	0.132	0.219	0.464	0.248	0.078	0.055	0.066
(6): Q El Salado 2	0.445	0.092	0.164	0.063	0.122	0.22	0.246	0.552	0.258	0.1	0.067	0.091
(7): Q El Salado La Gata	0.524	0.087	0.152	0.059	0.098	0.256	0.256	0.588	0.261	0.108	0.069	0.095
(8): Q Diamantina	0.32	0.073	0.131	0.053	0.118	0.211	0.244	0.57	0.157	0.079	0.055	0.079
(9): Q La Llorona	0.227	0.086	0.122	0.071	0.151	0.129	0.219	0.462	0.247	0.076	0.054	0.065
(10): Q La Picota	0.343	0.077	0.142	0.056	0.126	0.221	0.25	0.576	0.175	0.081	0.059	0.082
(11): Q La Vibora	0.196	0.086	0.11	0.075	0.16	0.115	0.227	0.454	0.248	0.068	0.05	0.058
(12): Q Las Pizarras	0.321	0.073	0.131	0.053	0.118	0.213	0.246	0.573	0.157	0.079	0.055	0.08
(13): Q El Naranjal	0.392	0.09	0.154	0.064	0.124	0.197	0.239	0.531	0.256	0.098	0.065	0.086
(14): Q El Roble Los Justos	0.368	0.081	0.153	0.059	0.132	0.216	0.241	0.562	0.205	0.083	0.061	0.084
(15): Q Pijao	0.317	0.072	0.13	0.053	0.117	0.219	0.254	0.588	0.149	0.079	0.055	0.081
(16): Rio Gris	0.287	0.068	0.109	0.052	0.097	0.16	0.191	0.532	0.233	0.075	0.059	0.077
(17): Rio Quindío EPA	0.245	0.081	0.126	0.065	0.134	0.139	0.2	0.466	0.24	0.084	0.058	0.071
(18): Rio Quindío Tebaida	0.336	0.09	0.148	0.066	0.135	0.174	0.231	0.506	0.253	0.092	0.062	0.08
(19): Rio Quindío Est Bombeo	0.367	0.086	0.137	0.064	0.12	0.188	0.233	0.523	0.252	0.093	0.062	0.08
(20): Rio Verde	0.418	0.087	0.16	0.061	0.125	0.218	0.24	0.551	0.241	0.092	0.065	0.088
(21): Q San Rafael	0.408	0.089	0.152	0.063	0.117	0.205	0.241	0.541	0.256	0.099	0.065	0.087
(22): Rio Santo Domingo	0.511	0.087	0.155	0.06	0.103	0.251	0.254	0.582	0.259	0.106	0.068	0.094
(23): Q Cajones	0.212	0.086	0.117	0.072	0.155	0.122	0.22	0.457	0.247	0.073	0.052	0.062
(24): Q El Bosque	0.197	0.087	0.111	0.075	0.161	0.115	0.227	0.454	0.248	0.069	0.05	0.058
(25): Q La Arenosa	0.212	0.086	0.117	0.072	0.156	0.122	0.22	0.456	0.247	0.073	0.052	0.062
(26): Q La Marina	0.201	0.086	0.113	0.074	0.159	0.117	0.224	0.454	0.248	0.07	0.051	0.059
(27): Q La Paloma	0.318	0.098	0.16	0.07	0.164	0.164	0.231	0.478	0.255	0.095	0.063	0.082
(28): Q La Soledad	0.305	0.095	0.153	0.07	0.159	0.16	0.228	0.477	0.253	0.092	0.062	0.08
(29): Q Lacha	0.193	0.083	0.111	0.071	0.152	0.115	0.21	0.451	0.244	0.071	0.051	0.06
(30): Q Las Lajas	0.323	0.098	0.162	0.07	0.164	0.166	0.232	0.481	0.255	0.096	0.063	0.083
(31): Q Buenavista	0.268	0.092	0.143	0.07	0.16	0.146	0.218	0.452	0.25	0.089	0.06	0.075
(32): Rio Roble Circasia	0.198	0.087	0.112	0.075	0.161	0.116	0.227	0.453	0.248	0.069	0.05	0.058
(33): Rio Roble Montenegro 1	0.236	0.088	0.128	0.071	0.156	0.132	0.217	0.457	0.247	0.079	0.056	0.067
(34): Rio Roble Montenegro 2	0.236	0.088	0.128	0.071	0.156	0.132	0.217	0.457	0.247	0.079	0.056	0.067

Categorías	Altamente deficitario	Deficitario	Moderado a deficitario	Moderado
Índice de Aridez	Moderado a excedentes	Excedentes	Altos excedentes	

Figura 203. Índice de aridez mensual en año húmedo para las fuentes abastecedoras de acueductos de análisis en el periodo 1990 a 2022

3. Aguas Subterráneas

3.1. Selección y Corrección del Modelo Digital de Elevación

Para caracterizar adecuadamente el flujo subterráneo en la actualización de la Evaluación Regional del Agua en el Departamento del Quindío, se requiere de una topografía regional de detalle que sirva como insumo tanto para el modelo conceptual y para el cálculo de alturas de los diferentes puntos de captación de agua subterránea, que se encuentran localizados dentro sistema acuífero del abanico del Quindío. Por lo tanto, se evaluaron cuatro Modelos Digitales de Elevación (MDEs) a través de una red de 2,768 puntos de observación, distribuidos en los departamentos de Quindío, Risaralda, Tolima, Cauca, Cundinamarca, Caldas y Meta. Los datos de elevación ortométrica fueron tomados de la red de control vertical de precisión del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y de la red de puntos GeoRED del Servicio Geológico de Colombia (SGC). Los puntos con elevación ortométrica fueron descargados desde <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>.

Los modelos digitales de elevación analizados se describen a continuación:

Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM): Este MDE fue creado por el proyecto cooperativo entre la administración espacial y aeronáutica nacional de Estados Unidos (NASA) y la agencia de imágenes y cartografía nacional (NIMA) del departamento de defensa de Estados Unidos. La misión fue diseñada para utilizar un interferómetro de radar, para producir un modelo de elevación digital de la superficie de la terrestre entre aproximadamente 60° N y 56° S, esto es alrededor del 80 por ciento de la masa terrestre del planeta (Rabus et al., 2003). Esta misión se llevó a cabo durante 11 días en el mes de febrero del año 2000. El SRTM posee dos MDE; el SRTM V3 el cual tiene una referencia espacial horizontal de 1 segundo de arco (~ 30 m). Para la descarga y generación del mosaico de imágenes de los productos del SRTM, se automatizó desde la plataforma Google Earth Engine (Kumar y Mutanga, 2018).

Radiómetro espacial avanzado de emisiones térmicas y reflexión (Aster GDEM V3): Este MDE es creado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI), usa una banda espectral infrarroja generando imágenes estéreo, con una relación de base-altura de 0,6 (Tachikawa et al., 2011) que cubre la superficie terrestre mundial desde 83 ° N a 83 ° S (Abrams et al., 2015). Este MDE tiene una referencia espacial de horizontal de 1 segundo de arco (~ 30 m). El modelo de elevación digital (GDEM) versión 3, fue lanzado en 2019 (ocho años después de que su predecesor, la versión 2), además de la adición de nuevas imágenes para el mejoramiento del proceso estereoscópico, se corrigieron varias anomalías las cuales mejoraron la identificación de cuerpos de agua

superficiales aumentando su precisión a nivel global. El MDE Aster GDEM V3 se descargó desde <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Satélite Avanzado de Observación Terrestre (Alos Palsar): El MDE del satélite de observación avanzado terrestre (ALOS) de la Agencia de Exploración Espacial Japonesa (JAXA), utiliza un sensor activo de apertura sintética de banda L de tipo escalonado (PALSAR) que opera a una frecuencia de 14 a 28 MHz. Este satélite estuvo en órbita por un período de 5 años (2006-2011) y permitió generar imágenes de radar con una resolución espacial horizontal de 12.5 m, cubriendo un área de 156.25 m² por pixel (Rosenqvist et al., 2007). El MDE Alos Palsar fue descargado de <https://search.asf.alaska.edu/#/>.

Interferómetro de radar de apertura sintética de observación de la tierra (TanDEM-X): El satélite TanDEM-X fue creado en cooperación público-privada entre el Centro Aeroespacial Alemán (DLR) y EADS Astrium, es un complemento del satélite TerraSAR-X para mediciones digitales de elevación. El TanDEM-X utiliza un interferómetro de radar de apertura sintética aerotransportado el cual fue operado por un período de 6 años (2010-2015), obteniendo el MDE a escala global a finales del 2016. Este MDE es de alta precisión comparado con los anteriores MDEs presentados, permitiendo llegar una resolución horizontal 0.4 segundos de arco (~12 m), y una precisión vertical de ± 10 metros (Zink et al., 2014). El MDE TanDEM-X utilizado en el presente trabajo tiene una resolución horizontal de 3 segundos de arco (~90 m) y fue descargado de <https://download.geoservice.dlr.de/TDM90/>.

A la actualidad, las diferentes bases de datos hidrogeológicas generadas para el Sistema Acuífero Quindío, presentan anomalías en las alturas en los puntos de captación agua subterránea llegando a errores superiores a los 30 metros, ya que en estos estudios previos no se contempló la corrección geopotencial de modelo digital de elevación. Por lo tanto, para caracterizar adecuadamente el medio hidrogeológico se requiere corregir los MDEs, por consiguiente, a continuación, se presenta la metodología de corrección implementada en cada uno de los MDEs analizados.

3.1.1. Corrección de los Modelos Digitales de Elevación Analizados

Antes de evaluar y comparar la precisión de los MDEs analizados, se requiere una corrección geopotencial, principalmente para los MDEs de última generación (Alos Palsar y TanDEM-X), debido a que los modelos digitales de elevación SRTM, Aster GDEM V3, expresan sus alturas corregidas con respecto al geoide. Los MDEs Alos Palsar y TanDEM-X, se modificaron por medio del modelo geopotencial EGM08 para corregir la ondulación con respecto al geoide (Pavlis et al., 2012); ya que estos MDEs expresaban sus alturas a escala elipsoidal.

En la Figura 204, se muestra el modelo geopotencial EGM2008 utilizado para corregir las diferencias en la ondulación del geoide en el departamento del Quindío. Como se observa en la Figura 204 las mayores discrepancias en la ondulación del geoide se presentan hacia el sureste del departamento donde se ubica la cordillera central de los Andes.

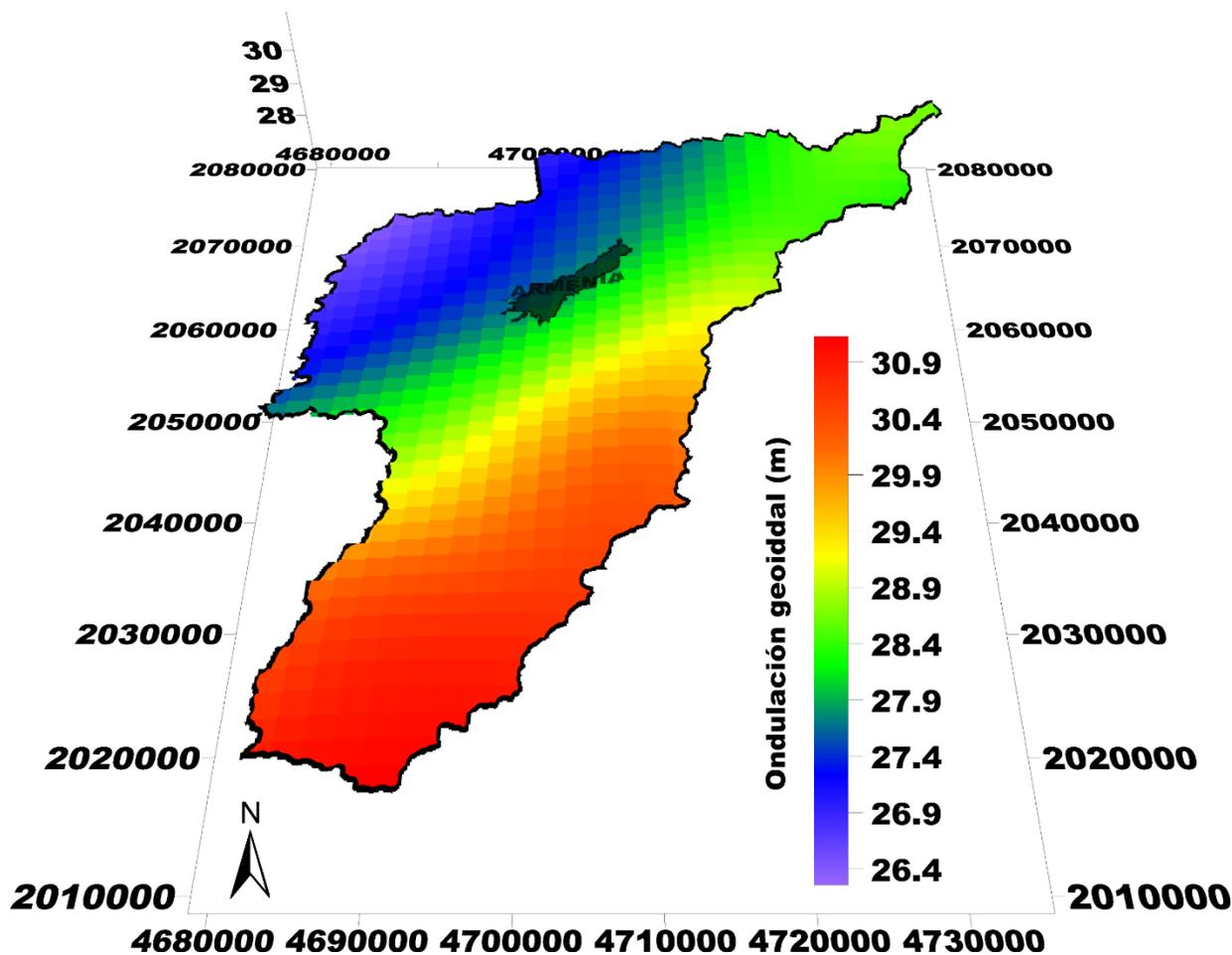


Figura 204. Ondulación Modelo Geopotencial EGM2008 de 3 segundos de arco para el departamento del Quindío.

3.1.2. Evaluación de la Precisión Vertical de los Modelos Digitales de Elevación

En la Figura 205, se presentan los modelos digitales de elevación analizados en la zona de estudio y se muestra la ubicación espacial de los puntos de observación de altura ortométrica medidos en los diferentes departamentos.

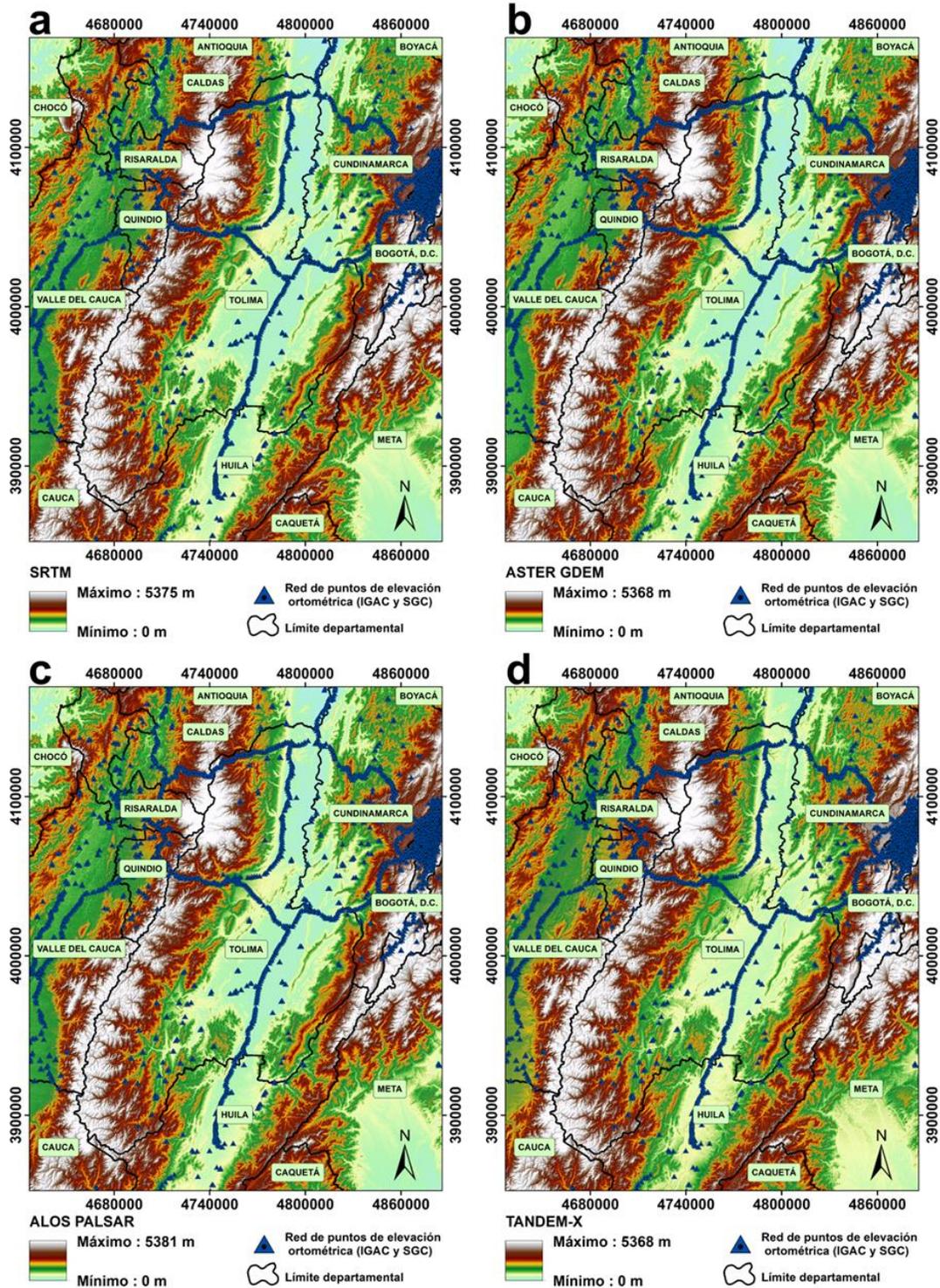


Figura 205. Modelos digitales de elevación analizados en el departamento del Quindío y ubicación de la red de puntos de elevación ortométrica. (a) SRTM, (b) Aster GDEM V3, (c) Alos Palsar, (d) TanDEM-X.

Para determinar la precisión de cada MDE en el departamento del Quindío, se utilizaron métodos estadísticos (Tabla 97) y gráficos los cuales permiten conocer las incertidumbres de los modelos digitales de elevación en la zona de estudio. A partir de los puntos de observación de altura ortométrica medidos por IGAC y SGC, se utilizó un sistema de información geográfico para extraer la información de altura de los diferentes MDEs en cada uno de los puntos observados.

En la Tabla 98, se presenta los resultados de los diferentes estadísticos implementados para cuantificar la incertidumbre topográfica de cada MDE, mientras en la Figura 206, se muestra un diagrama de dispersión entre puntos de observación de elevación ortométrica en contraste con las elevaciones calculadas por medio de los MDEs.

Tabla 97. Estadísticos implementados para el cálculo de la incertidumbre en los MDEs.

Nombre	Abreviatura	Formula
Desviación estándar	STD	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - \bar{z})^2}{n}}$
Error cuadrático medio	MSE	$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - z_i)^2}{n}$
Raíz del error cuadrado medio	RMSE	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - z_i)^2}{n}}$
Coefficiente de determinación	R ²	$\frac{\sigma^2 \hat{z} z_i}{\sigma^2 \hat{z} \sigma^2 z_i}$

n : Número de datos. \bar{z} : Es el promedio de los datos de elevación observados. z_i : Valores de elevación calculados en los MDE, \hat{z}_i : Valores de elevación observados. $\sigma^2 \hat{z} z_i$: Es la covarianza de \hat{z}_i , z_i . $\sigma^2 \hat{z}$: Desviación típica \hat{z}_i . $\sigma^2 z_i$: Desviación típica z_i .

Tabla 98. Estadísticos calculados para medir la incertidumbre topográfica de los MDEs, con respecto a los puntos observación de elevación ortométrica medidos por IGAC y SGC.

Modelo digital de elevación	STD (m)	MSE (m)	RMSE (m)	R ²
STRM (30 m)	928.53	64.82	8.04	0.9993
Aster GDEM V3 (30 m)	929.04	165.53	12.85	0.9992
Alos Palsar corregido (12.5 m)	926.28	44.93	6.70	0.9993
TanDEM-X corregido (90m)	926.27	115.31	10.73	0.9993
Alos Palsar sin corregir (12.5 m)	927.44	659.18	25.65	0.9993
TanDEM-X sin corregir (90m)	927.49	768.15	27.69	0.9993
GPS diferencial	928.04	-----	-----	-----

El análisis de regresión lineal (Figura 206) revela una fuerte correlación significativa para los cuatro modelos digitales de elevación, pero esta correlación es mucho más alta para los modelos ALOS PALSAR, SRTM y TANDEM-X. Es de interés señalar que para los cuatro MDEs analizados el valor de la pendiente de la recta de regresión fue muy cercano a 1.

De acuerdo con el análisis de la Tabla 98, los MDEs más adecuados con su resolución original para representar la topografía en el departamento del Quindío, son los realizados por medio sensores activos como son los modelos TANDEM-X, SRTM y Alos Palsar, aunque los dos últimos presentaron los errores estadísticos más bajos comparado con los otros MDEs. El modelo digital de elevación Aster GDEM V3, presentó las mayores discrepancias para representar la elevación del terreno, obteniendo errores mayores a 12 m. Cabe destacar que el MDE Alos Palsar tiene una resolución horizontal más fina (12.5 m), permitió obtener la mejor precisión vertical, llegando a errores ± 6.7 m, mientras que el SRTM produjo errores ± 8 m.

Debido a la similitud en los coeficientes de determinación entre los puntos observación de altura ortométrica medidos por IGAC y SGC frente a las alturas de los diferentes modelos digitales de elevación, se implementó el diagrama de Taylor (Figura 207). Este diagrama indica gráficamente a partir de la integración (coeficiente de correlación de Pearson, raíz del error cuadrático medio y la desviación estándar) cuál de los modelos digitales de elevación es el más aproximado para representar adecuadamente la superficie terrestre en el departamento del Quindío. Como se observa en la Figura 207, los MDEs que reproducen con mejor precisión la superficie terrestre con respecto a los puntos de elevación ortométrica observados a escala consecutiva fueron: Alos Palsar (12.5 m), SRTM (30 m), TANDEM-X (90 m), Aster GDEM (30 m).

De acuerdo con los resultados anteriormente presentados, el MDE más adecuado, para ser empleado en el estudio hidrogeológico del SAQ, es el Alos Palsar y el cual presenta una resolución espacial horizontal de 12.5 m. En la Figura 208, se presenta la variación topográfica del MDE Alos Palsar corregido ortométricamente para el departamento del Quindío en vista 2D y 3D.

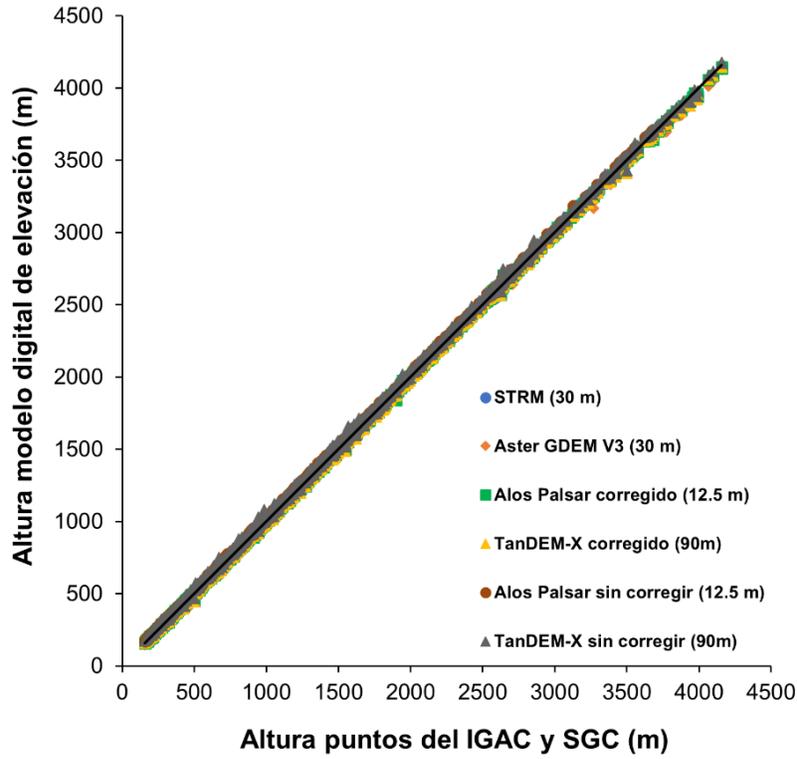


Figura 206. Diagrama de dispersión entre los puntos observación de altura ortométrica medidos por IGAC y SGC frente a las alturas de los diferentes modelos de elevación analizados.

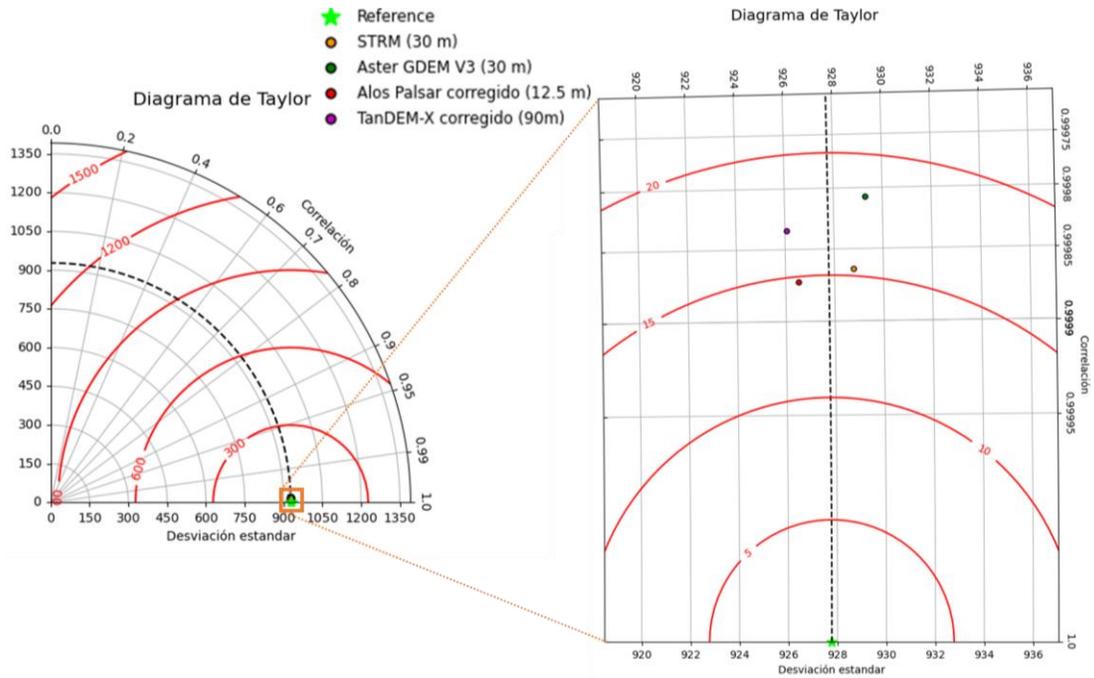


Figura 207. Diagrama de Taylor para evaluar la precisión vertical de los MDEs.

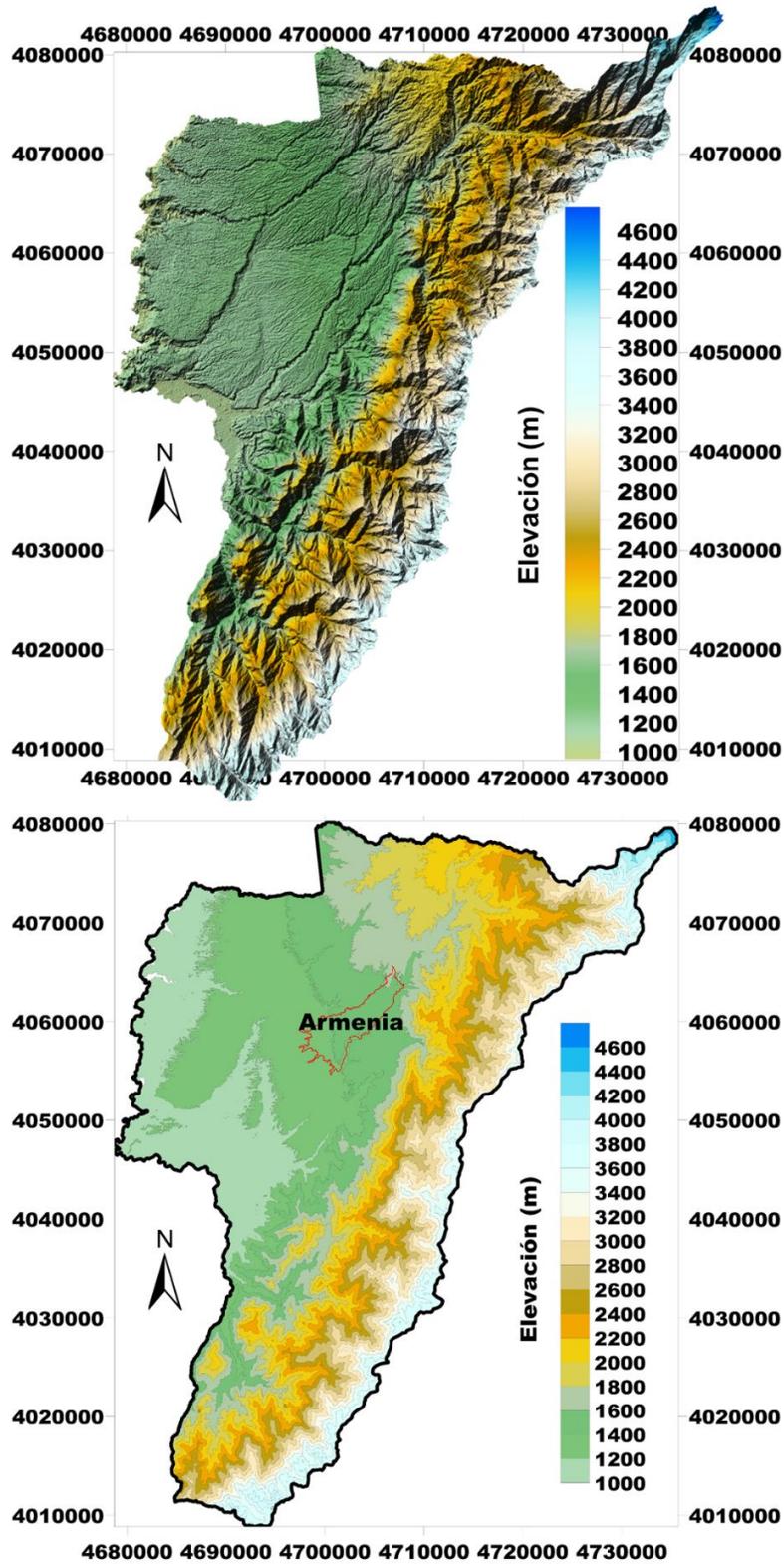


Figura 208. Vista 3D y 2D del modelo digital de elevación Alos Palsar con corrección geoidal para el departamento del Quindío.

3.2. Localización

El área de estudio (Figura 209), se encuentra localizado al centro occidente de Colombia, donde se halla inmerso el sistema acuífero del Abanico de Quindío-Risaralda-Valle, el cual es un sistema acuífero de carácter regional. El estudio principalmente se encuentra ubicado al noroeste del departamento del Quindío, donde se ubica el sistema acuífero del abanico del Quindío (SAQ), el cual hace parte del sistema acuífero regional del abanico de Quindío-Risaralda-Valle. El SAQ se encuentra limitando hacia el norte, con el departamento de Risaralda, al sur y oeste con el departamento del Valle del Cauca y finalmente al este con la cordillera central de los Andes.

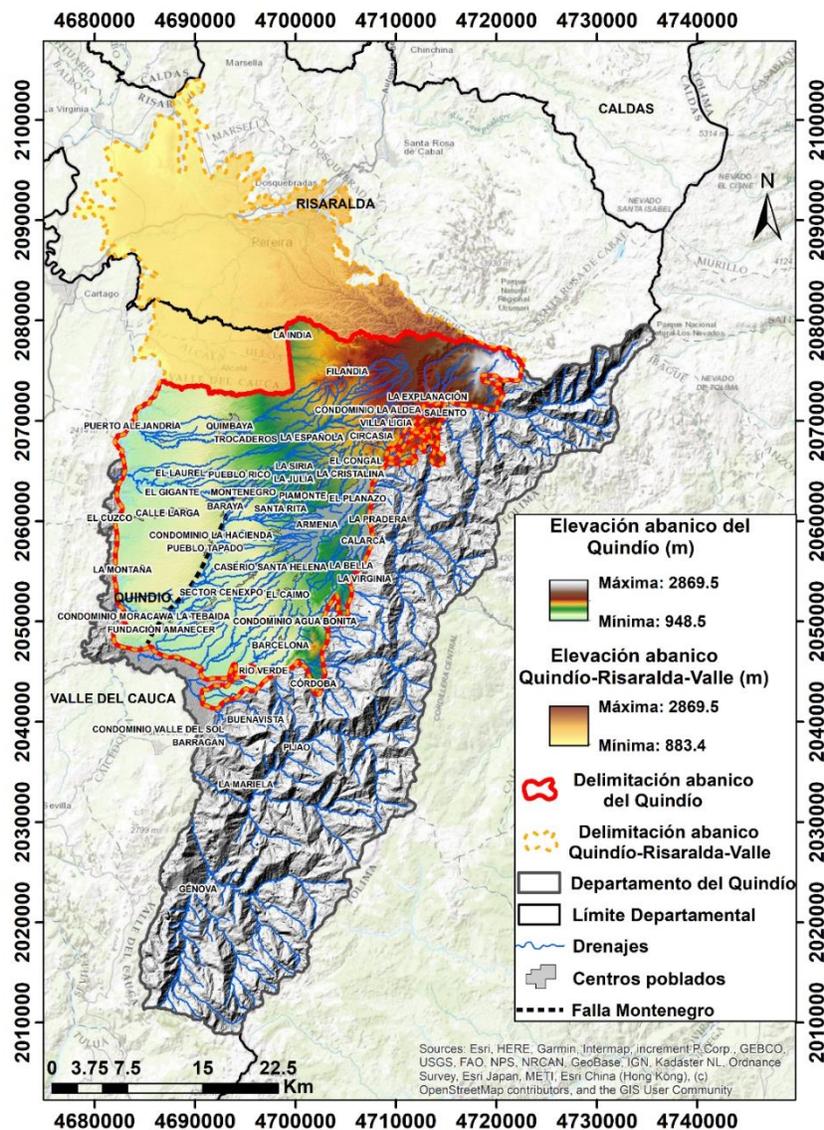


Figura 209. Localización del área en estudio

El SAQ tiene una superficie de 827.5 Km² y presenta una variación altitudinal 2869.5 a 948.5 m.s.n.m. La red de drenaje dentro del SAQ, está constituida esencialmente por las corrientes de los ríos: Roble, Espejo, Quindío, Navarco, Santo Domingo, Boquerón y de las quebradas: Buenavista, Cristales, entre otras. Sobre el SAQ se encuentra asentada alrededor del 70% de la población del departamento del Quindío, donde se destacan los centros poblados de Armenia, Calarcá, La Tebaida, Circasia, Montenegro, Quimbaya y Salento.

3.3. Geología y Geomorfología

En la Figura 211, se presenta el mapa geológico realizado a una escala 1:100000 para el departamento del Quindío (SGC, 2016). De acuerdo con el presente mapa, el SAQ está conformado esencialmente por rocas sedimentarias recientes (Cenozoico-Cuaternario), las cuales se presentan en la Figura 211, como zonas de colores grises. Estos depósitos cuaternarios están relacionados con la actividad neotectónica del sistema de fallas de Romeral (IDEAM, 2010; Espinosa-Baquero, 2020). Estos sedimentos recientes depositados son producto de la actividad volcánica de tipo pliniana de los complejos Machín, Cerro Bravo, Tolima y Ruiz (Espinosa-Baquero, A., 2001).

De acuerdo con recientes estudios (Espinosa-Baquero, 2020), se encontró que el SAQ es un sistema complejo el cual puede ser dividido en 4 grandes unidades:

1. Depósitos cuaternarios antiguos;
2. Aluvión cuaternario reciente;
3. Coluviones y aluviones cuaternarios casi activos y activos;
4. Depósitos piroclásticos

Los depósitos cuaternarios antiguos se encuentran conformados de acuerdo con su geomorfología, geología y petrografía por 3 grupos: 1. Abanico Proximal (Qapr); 2. Abanico Intermedio (Qaint) y 3. Abanico Distal (Qadis). Un esquema del desarrollo de los abanicos distales se presenta en la Figura 210.

Formación Qapr:

Ápice conformado por tres abanicos sucesivos Cocora, Los Robles y Filandia. Geomorfológicamente presenta altas pendientes y una la red de drenaje poco densa. De acuerdo con Espinosa-Baquero (2020), la formación Qapr es un conjunto de abanicos proximales que se inició con el emplazamiento del abanico de Cocora, que está compuesto fundamentalmente por depósitos de avalancha de escombros resultantes del colapso de uno de los edificios volcánicos localizados en la esquina nororiental del moderno abanico Quindío-Risaralda, probablemente el Nevado del Quindío. Este

depósito, que posee grandes dimensiones, relleno toda la depresión y hoy se encuentra en la base de muchos de los abanicos más jóvenes. Posteriormente le siguieron en formación los abanicos de Los Robles y Filandia.

Según SGC (2016), la Formación Qapr, se caracteriza por presentar en su parte superior una secuencia de intercalaciones de arenas y limos, sobre una capa de arcilla, las cuales se encuentran cubiertas por cenizas lapilli con espesores entre 20 y 30 m. Hacia sector medio presenta flujos de lodos monomícticos en una matriz areno-limosa y que presentan en ocasiones cementaciones. Hacia la base presenta una matriz arenosa-media de gran espesor y la cual descansa sobre una capa arcillosa no continua.

Formación Qaint:

El conjunto de abanicos intermedios (Qaint) es una franja bastante amplia situada al oeste, suroeste y sur de la formación Qapr, cuyo límite distal pasa al norte de Armenia, al este de Montenegro y Quimbaya, y al oeste de Ulloa. Esta formación presenta una pendiente media y un grado de incisión menor que Qapr. Qaint está formado por numerosos abanicos tanto al lado del Quindío como al lado de Risaralda (Guarín, 2008), esto forma una red de drenaje mucho más densa y compleja. Los abanicos intermedios tienen sus ápices hacia el frente de los abanicos proximales, indicando que son el resultado de la erosión de los primeros (Espinosa-Baquero, 2020).

De acuerdo con SGC (2016), esta formación se compone de acumulaciones de flujo de escombros masivos con clastos angulares y los cuales se presentan fracturados en muchos sectores. En su base se presentan flujos polimícticos, pasando por arenas arcillosas y limosas.

Formación Qadis:

Según Espinosa-Baquero (2020), la formación Qadis inicia al oeste y al sur de los abanicos intermedios, donde se depositaron las últimas y más extensas unidades del Abanico Quindío-Risaralda, es decir, el abanico distal. Esta unidad está limitada al oeste por los sedimentos terciarios plegados de la serranía de Santa Bárbara. La unidad Qadis presenta una pendiente baja y un grado de incisión fluvial bajo. El número de abanicos que componen esta unidad es mayor que el de los abanicos intermedios, pero pueden clasificarse según el orden de los ciclos sucesivos de depositación. De acuerdo con esta clasificación, los abanicos del primer ciclo son: El Consota II, Morelia, La Estrella, El Retiro, Betulia, Venecia, Alcalá, Quimbaya, El Chaquiro, El Laurel, Montenegro, Hojas Anchas, Pueblo Tapao, La Y, y Barcelona. Estos depósitos son flujos predominantemente detriticos e hiperconcentrados. Los abanicos de segundo ciclo son: El Tigre, Cestillal, Río Barbas, Piedra de Moler, San Felipe, Puerto Alejandría, Buenavista, Quebrada La Estrella, El Ocaso, Río Roble, Vereda El Cuzco, Las Palmas, Vereda Buenos Aires, La Florida, y La

Tebaida. Las partes distales de los abanicos de segundo ciclo, sobreyacen inconformes a las unidades terciarias plegadas de la serranía de Santa Bárbara. La secuencia litológica de los abanicos distales se encuentra conformada por flujo de escombros, hiperconcentrados, con textura de arena gruesa y por depósitos fluviales retrabajados.

El paleopaisaje del SAQ es resultado de erupciones que derritieron la nieve que cubría los volcanes aledaños de la zona (Cano et al., 2021). Estos generaron lahares que formaron, posteriormente drenajes que diseccionaron la superficie del SAQ, formando cañones los cuales se alinean con las principales fallas geológicas. Finalmente, la ceniza volcánica suavizó el paisaje. hacia el oeste se pueden encontrar los depósitos de ceniza volcánica que presentan mayores espesores, mientras que, hacia el sector medio y bajo del abanico, los depósitos volcanicos son más delgados y finos (Tistl, 2006). De acuerdo con su geomorfología (Qapr, Qaint y Qadis), se diferencian fundamentalmente por la altura entre las formaciones, orientaciones de los drenajes y sus grados de disección, los cuales son esenciales para explicar los orígenes del abanico según Espinosa-Baquero (2020). A escala general estos depósitos cuaternarios antiguos son una secuencia caracterizada por una morfología ondulada con inclinación suave hacia el valle del río La Vieja (SGC, 2016).

En relación con las unidades recientes, se han depositado varias unidades sobre el antiguo abanico cuaternario como son: aluviones cuaternarios recientes (Qar), coluviones y aluviones casi activos y activos del cuaternario (Qs, Qal), y depósitos piroclásticos y los cuales se describen a continuación:

Formación Aluvión cuaternario reciente (Qar)

Esta unidad se encuentra compuesta por bloques, gravas, arenas y limos los cuales presentan variable granulometría. Es una matriz que pasa de areno-arcillosa a limo-arenosa y su origen es de rocas de la cordillera central. Qar es una unidad de secuencias aluviales que ocupan pequeñas cuencas y las cuales se sitúan entre antiguos depósitos cuaternarios y el basamento de la Cordillera Central. En la base de esta formación, hay un conglomerado que contiene clastos de composición basáltica, sobre el cual el descansa una secuencia de ceniza volcánica redepositada, en la que son evidentes distintos eventos depositacionales (SGC, 2016).

Formación Coluviones y aluviones cuaternarios (Qs, Qal)

Los coluviones y aluviones del piedemonte, terrazas de La Vieja, Barragán y terrazas del Quindío casi activos (Qs), y aluviones activos (Qal), especialmente se localizan hacia el flanco de la Cordillera Central al este de la línea Salento-Calarcá-Barcelona-Caicedonia, y están estrechamente asociadas a fallas, especialmente a las de actividad reciente (Espinosa-Baquero, 2020). La procedencia sedimentaria de la unidad Qs deriva del

basamento, principalmente del Complejo Quebradagrande, producto del levantamiento tectónico de bloques de basamento a lo largo de fallas locales.

Qal es una unidad constituida en su mayoría por bloques, gravas, arenas y limos que presentan una granulometría variable (SGC, 2016), mientras que Qs son depósitos detríticos que presentan espesores inferiores a los 20 metros.

Depósitos piroclásticos (Qto)

Son cenizas expulsadas por los volcanes de la región en distintos momentos del Cuaternario. Qto presenta un espesor variable, las secuencias con mayor espesor, están constituidas fundamentalmente como una matriz de ceniza y lapilli intercalado por lahares de composición andesítica (SGC, 2016). La ceniza puede ser de caída y reelaborada o redepositado, en ambos casos se trata de los mismos materiales (Espinosa-Baquero, 2020).

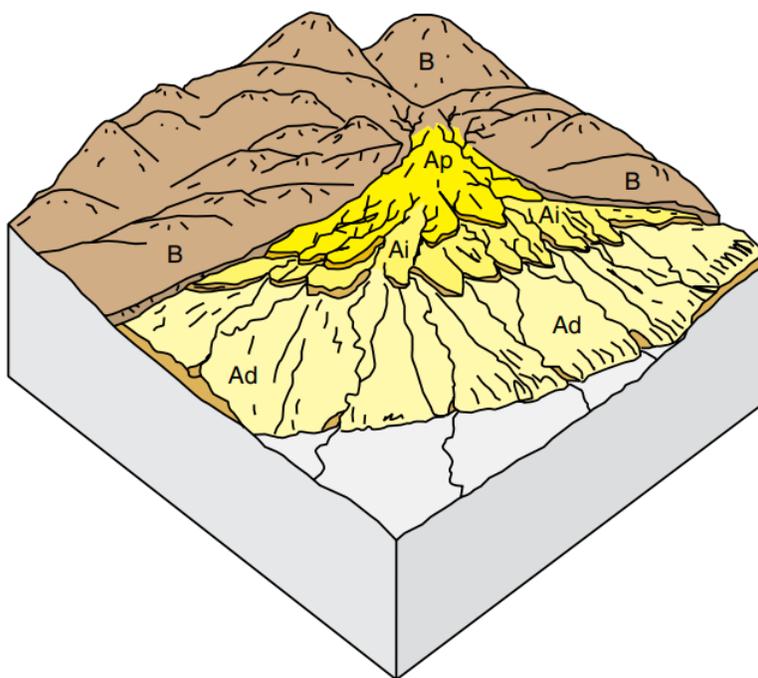


Figura 210. Esquema del desarrollo de los abanicos distales. (B) Basamento precuaternario; (Ap) conjunto de abanicos proximales; (Ai) conjunto de abanicos intermedios; (Ad) conjunto de abanicos distales. Tomado de Espinosa-Baquero, 2020.

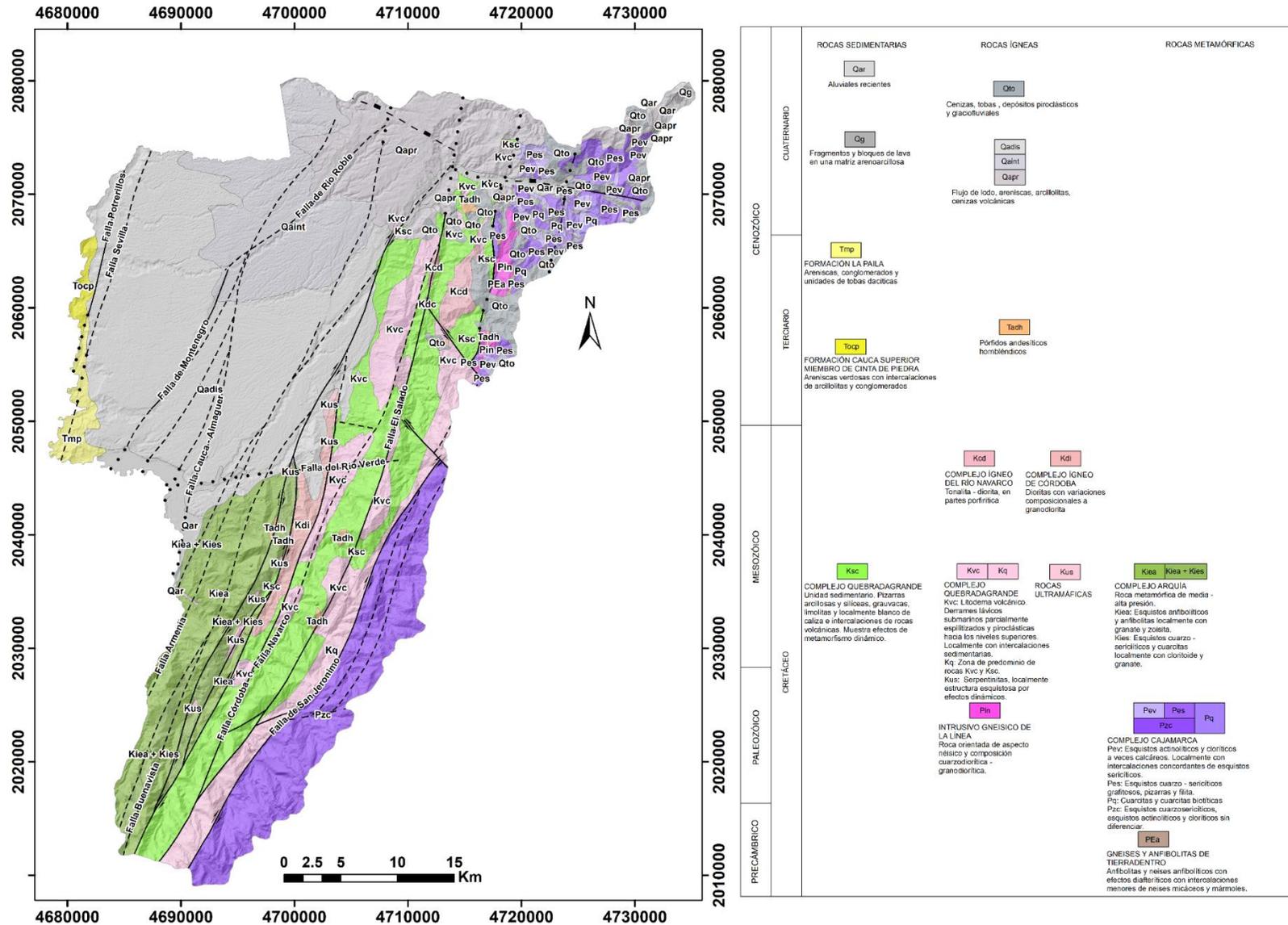


Figura 211. Mapa geológico y sistema de fallas del departamento del Quindío. Adaptado (SGC, 2016).

3.4. Geología Estructural

Como se observa en la Figura 211, el Sistema Acuífero del Quindío (SAQ) se encuentra desde el punto de vista tectónico, dentro del corredor del Sistema de Fallas del Romeral. Las tres fallas principales de este sistema son las fallas Cauca-Almaguer (cretácico Inferior), Silvia-Pijao (Cretácico superior) y San Jerónimo (Paleozoico), las cuales cruzan la región de oeste a este (Suter et al., 2008).

Es escala general el SAQ es atravesado por los siguientes fallamientos:

1. Falla Cauca-Almaguer
2. Falla Silvia Pijao
3. Falla San jerónimo
4. Falla Armenia
5. Falla Río Verde
6. Falla Salento
7. Falla Caicedonia
8. Falla Navarco
9. Falla Montenegro
10. Falla Quebradanegra

3.5. Estratigrafía

En la Figura 212, se presenta la localización de tres columnas estratigráficas realizadas por el SGC (2016). De acuerdo con el presente esquema, el abanico proximal se compone de base a techo de flujos de lodo monomícticos en una matriz areno limosa, en la parte superior de la secuencia se observan intercalaciones de arenas y limos, donde supreyacen capas de arcilla cubiertas por ceniza y lapilli. En el abanico intermedio se presentan flujos de escombros de diferente granulometría desde arcillas a cantos. En su base presentan flujos polimícticos pasando por arenas arcillosas, limosas. El abanico distal está constituido esencialmente por flujos de escombros hiperconcentrados con textura de arena gruesa y por depósitos de tipo fluvial. Hacia el techo presenta secuencia de cenizas y lapilli, mientras que en su base presenta acumulaciones de lodo.

En la Figura 212, se observa la descripción de un perfil geoelectrico con una longitud de 34 Km y el cual se extiende a lo largo del SAQ (SGC, 2016). Analizando el perfil de noreste a suroeste de la Figura 212, los perfiles de mayor espesor se encuentran asociadas a lugares donde se encuentran los fallamientos (Cauca-Almaguer y Armenia), los depósitos de material más fino presentan mayor espesor antes de la falla Cauca-

Almaguer. Después de la mencionada falla los depósitos de material fino presentan menor espesor, pero a diferencia de los depósitos de la parte alta del abanico muestran una mayor extensión hacia el oeste. Esto es corroborado por Tistl (2006).

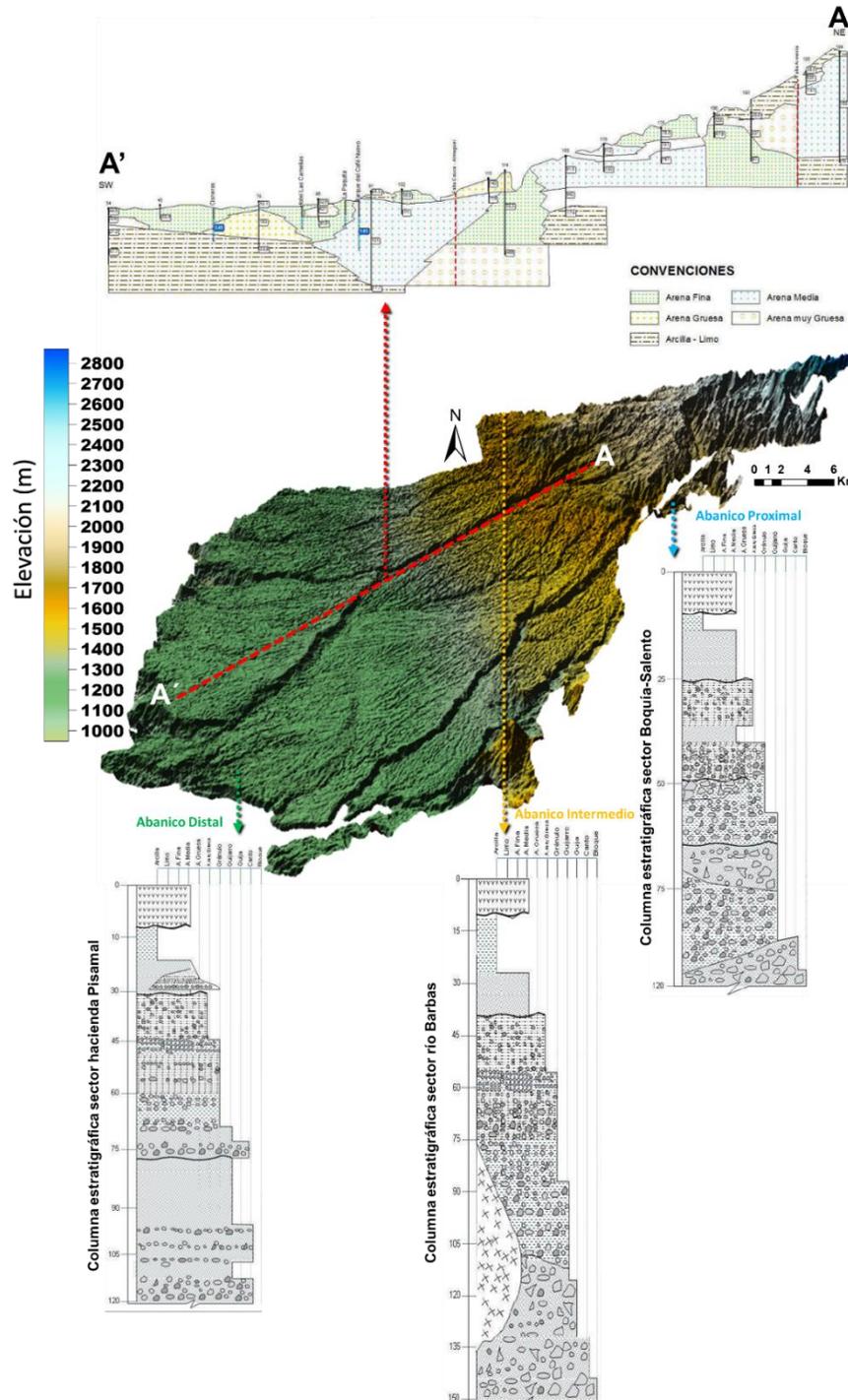


Figura 212. Descripción de columnas estratigráficas y perfil geoelectrico localizados dentro del SAQ

3.6. Contexto Hidrogeológico

De acuerdo con el IDEAM (2018), el SAQ, se halla inmersa en la provincia hidrogeológica Cauca-Patía (PM3), donde se localiza, el sistema acuífero Glacis del Quindío-Risaralda (SAM 6.1). Como se observa en la Figura 213, el SAQ presenta acuíferos de extensión regional y local. Los acuíferos continuos de extensión regional son de tipo libre a confinado y los cuales presentan sedimentos cuaternarios no consolidados a semi-consolidados, de ambiente volcanoclástico, aluvial y glaciofluvial. Este depósito de carácter regional presenta una productividad media para la extracción de agua subterránea (A3). El SAQ también presenta acuíferos discontinuos de extensión local: conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente aluvial y volcanoclástico, de tipo libre a confinado, correspondiente a depósitos aluviales de cenizas recientes. Los acuíferos locales dentro del SAQ, presentan una baja productividad para la extracción del agua subterránea (A4).

3.7. Monitoreo de Niveles de Agua Subterránea e Hidroquímico en el Sistema Acuífero del Quindío – SAQ -

En este informe se han tenido en cuenta la información del SGC (2016), en la cual inventariaron y muestrearon en año del 2010, 576 puntos de monitoreo. En este muestreo se tuvo en cuenta el monitoreo tanto del acuífero somero del Quindío (ASQ) y acuífero profundo del Quindío (APO). En estos puntos se recolectó información de niveles y se analizaron muestras para determinar la composición química del agua subterránea. En relación con las campañas de monitoreo de niveles de agua subterránea realizadas en este año, la primera se ejecutó para el periodo seco 5/2010 y la segunda para el periodo húmedo 8/2010. En el año 2010 se ejecutó una sola campaña de muestreo hidroquímico y la cual se realizó en el periodo 08/2010.

También se tuvieron en cuenta dos campañas de monitoreo (Período seco y húmedo) realizadas en el año 2018, estas estuvieron enfocadas en muestreo hidroquímico y las cuales estuvieron coordinadas por Servicio Geológico Colombiano y por la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). En relación con el monitoreo de niveles de agua subterránea solo, se ejecutó una sola campaña la cual estuvo a cargo del grupo GIAS de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) a través de convenio suscrito con CRQ y fue realizada en el periodo 12/2018. Luego de comparar la composición química de estas dos campañas se encontraron que son similares entre sí (CRQ, 2021), por lo tanto, para

la comparación de resultados entre las diferentes campañas de monitoreo, solo se tuvo en cuenta el monitoreo realizado en el periodo húmedo 08/2010 en el presente informe.

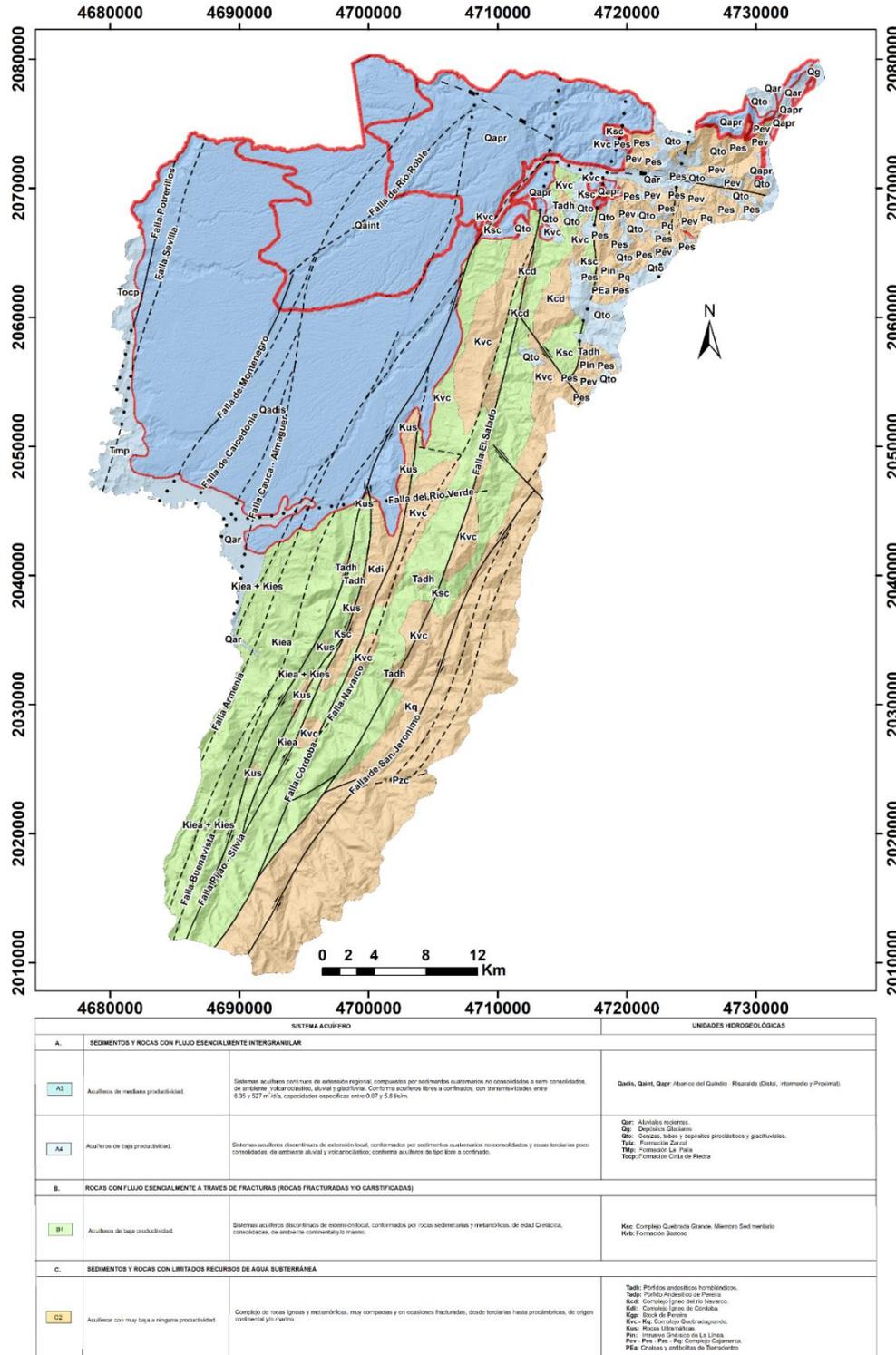


Figura 213. Mapa hidrogeológico del Quindío. Adaptado (SGC, 2016).

Para el año 2019, se realizó sola una campaña y la cual estuvo a cargo del grupo GIAS de la UTP. En esta campaña se midieron niveles de agua subterránea y se analizaron muestras para determinar la composición química del agua subterránea. Esta campaña fue realizada en el periodo húmedo 8-9/2019.

En relación con las campañas de monitoreo de los años 2018-2019, se enfocaron fundamentalmente en ASQ y se tuvieron en cuenta 306 puntos de información. La densidad de puntos monitoreados en el APQ fue relativamente baja como para tenerlos en cuenta en el análisis espacio-temporal hidroquímico del SAQ. Finalmente, en el año 2021 se realizó una campaña de muestreo en el periodo húmedo 7-8/2021, el monitoreo hidroquímico se realizó en 40 pozos y se enfocó solo en el acuífero profundo, mientras que la medición de niveles de agua subterránea solo realizo en el acuífero somero y fue realizada para 400 puntos.

3.8. Mapas de Flujo de Agua Subterránea

Para comprender el movimiento del flujo de agua subterránea en acuífero somero del SAQ, se analizaron 5 monitoreos de niveles de agua subterránea, los cuales fueron realizados desde el periodo del 2010-2021. De estos 5 monitoreos se tuvieron en cuenta 2 monitoreos en épocas secas (05/2010 y 12/2018) y 3 en periodos húmedos (08/2010, 8-9/2019, 8/2021). De estos 5 monitoreos solo fue posible obtener la variación del nivel en el ASQ, para el APQ no se contaron con datos adecuados para caracterizar el nivel de agua subterránea dentro del SAQ. La primera y segunda campaña fueron ejecutadas por el Servicio Geológico Colombiano (SGS, 2016) se midieron 306 captaciones de agua subterránea, para un periodo seco 05/2010 y para un periodo húmedo 08/2010. Debido a la incertidumbre en la medición del nivel de agua subterránea en varios puntos de medición, se borraron datos faltantes y espurios que presentaban niveles anómalos, por lo tanto, se eligieron para construir la piezometría para el periodo de medición 05/2010, 117 puntos de captación de agua subterránea, mientras que para el periodo de medición 08/2010, se tuvieron en cuenta 167 puntos de captación.

Posteriormente en el año del 2018-2021 a partir del censo de captaciones de agua subterránea realizado por el grupo GIAS de la UTP, se implementaron 172 puntos de medición para la construcción del mapa piezométrico y el cual fue realizado para el periodo seco 12/2018. Para el año 2019 se utilizaron 72 puntos distribuidos espacialmente dentro del SAQ para la construcción del mapa piezométrico del ASQ en el periodo húmedo 8-9/2019. Para el año del 2021, se utilizaron 80 puntos de medición de nivel de agua subterránea, para la construcción del mapa piezométrico para este año.

Es importante aclarar que se tuvo en cuenta, para la construcción de todos los mapas piezométricos realizados para los diferentes periodos, una discretización espacial adecuada de los diferentes puntos de captación de agua subterránea en el acuífero somero, para la caracterización del nivel freático dentro del SAQ

Es importante señalar que los estudios hidrogeológicos realizados anteriormente en el SAQ, en sus campañas de medición de niveles de agua subterránea, no se tuvieron en cuenta mediciones verticales que contemplaran las alturas ortométricas (GPS diferencial) no elipsoidales. Tampoco se tuvo en cuenta información esencial, como es la altura de la boca del pozo y/o aljibe, por lo tanto, la piezometría que se presenta en la Figura 214, Figura 215 y Figura 216 presenta errores ya que no se contempló esta altura en la variación del nivel de agua subterránea observada. En los informes hidrogeológicos anteriormente presentados, no se contempló la corrección del modelo digital de elevación, por lo tanto, las piezometrías presentadas al igual que el MDE implementado en estos estudios presentan errores ~26-35 metros.

Como se muestra en la Figura 214, Figura 215 y Figura 216 en todos los mapas, se observa que el flujo de agua subterránea en el acuífero somero presenta un gradiente de tipo regional. Una parte del flujo que se recarga fundamentalmente hacia el noreste se mueve hacia el noroeste por pendiente y descarga hacia este sector ya que el flujo en esta zona no es afectado por la discontinuidad hidráulica de la falla Montenegro. Cuando el flujo de agua subterráneo regional, choca con el bloque levantado de la falla Montenegro, cambia de dirección producto de este levantamiento y se mueve hacia el suroeste donde descarga. La falla Montenegro tiene una dirección N20°E, produce un levantamiento del bloque occidental de varias decenas de metros entre la Tebaida y Montenegro. En los mapas donde se presenta una mayor densidad de pozos en cercanías de la falla Montenegro (principalmente los mapas piezométricos de los años 2010 y 2018), se observa que sobre el bloque levantado por la falla Montenegro se presentan una recarga de tipo local, la cual se mueve fundamentalmente hacia el suroeste a causa del gradiente hidráulico, generado por la discontinuidad hidráulica de la falla Montenegro.

En relación con los cambios de las piezometrías entre los periodos de verano y invierno, se encontraron cambios entre 1.2 y 6.7 metros. Las disminuciones en el nivel subterráneo en el ASQ en periodos de verano se acentúan fundamentalmente en cercanías de la falla Montenegro donde se modifica regionalmente el flujo de agua subterránea a causa de esta discontinuidad hidráulica.

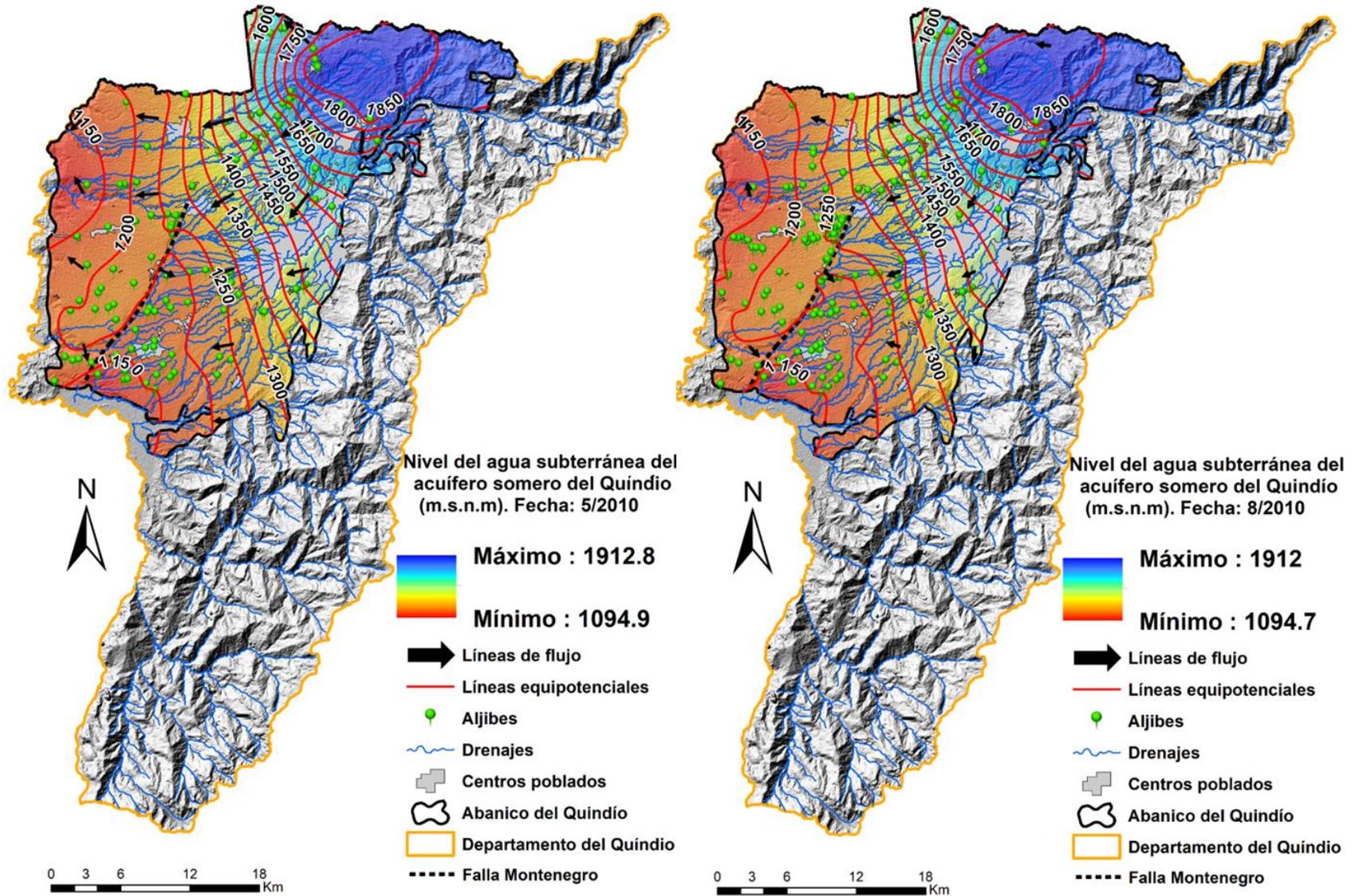


Figura 214. Mapas piezométricos y de flujo de agua subterránea, para del acuífero somero del Quindío, campañas de medición. a. 5/2010, b. 8/2010

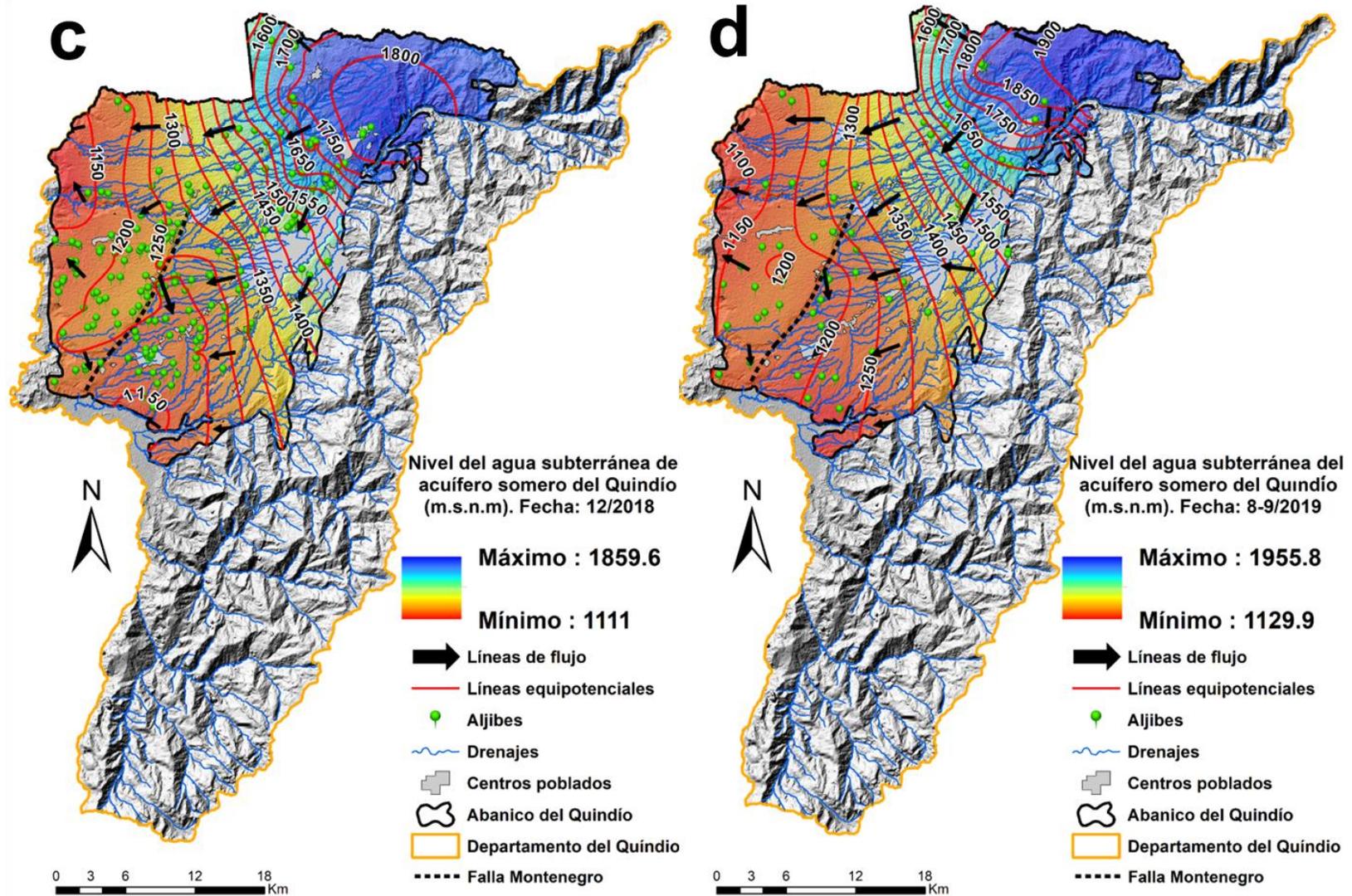


Figura 215. Mapas piezométricos y de flujo de agua subterránea, para del acuífero somero del Quindío, campañas de medición. a. 12/2018, b. 8-9/2019

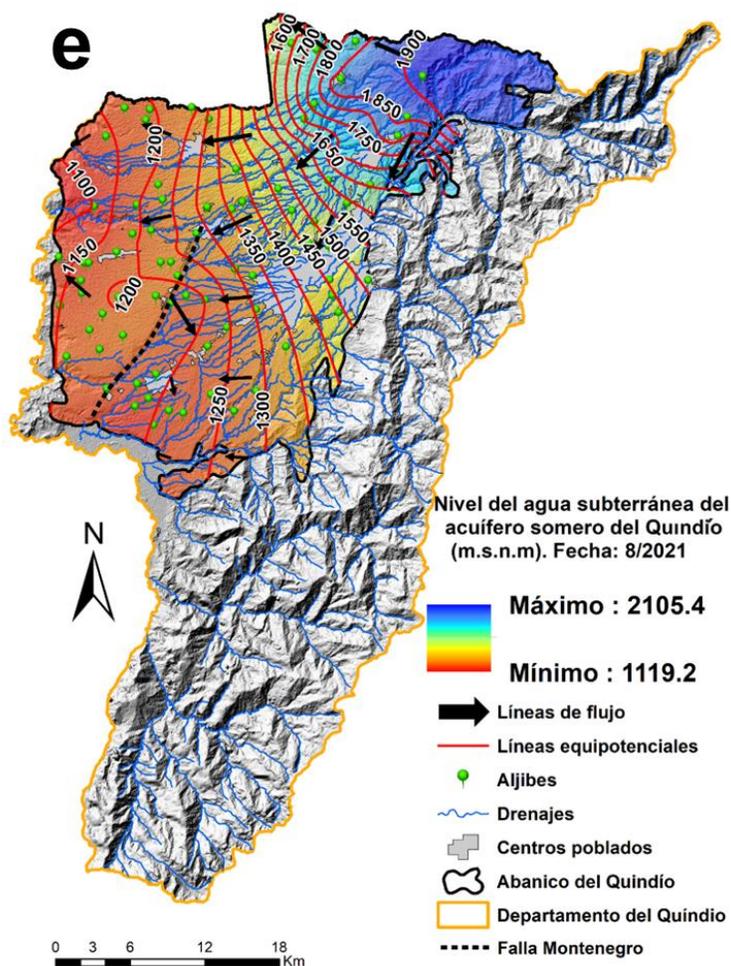


Figura 216. Mapas piezométricos y de flujo de agua subterránea, para del acuífero somero del Quindío, campañas de medición. e. 8/20210

3.9. Interacción entre Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas en el Sistema Acuífero del Quindío - SAQ -

Con el fin de observar las zonas potenciales de descarga y recarga de agua subterránea y realizar una comparación espacio-temporal dentro del SAQ, se usaron los datos de niveles monitoreados en las campañas de los años 2010, 2019 y 2021 (Figura 217). Para la construcción de estos mapas se restaron las superficies freáticas generadas para estos periodos, con respecto al modelo digital de elevación Alos Palsar, el cual fue corregido ortométricamente para el estudio del SAQ. A escala general en la Figura 217, se observa que los principales centros poblados localizados dentro del SAQ, se encuentran fundamentalmente ubicados en zonas de recarga (zonas de color verde).

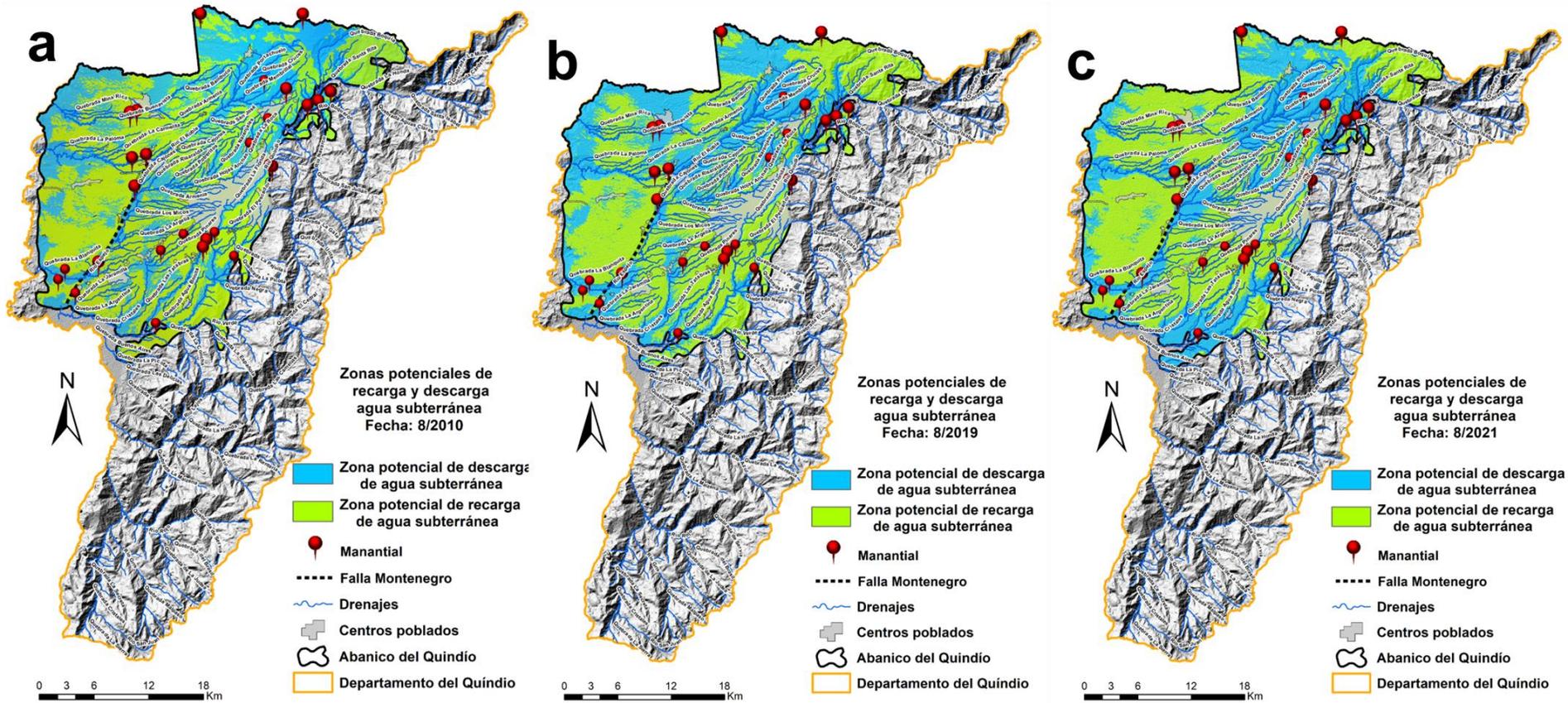


Figura 217. Zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea, para del acuífero somero del Quindío, campañas de medición. a. 8/2010, b. 8/2019 y c. 8/2021.

Se observa, en los tres mapas que la zona de recarga regional se localiza esencialmente hacia noreste, pero se observa sobre todo el Sistema Acuífero del Quindío SAQ varias zonas de recarga de tipo local. La descarga de agua subterránea (zonas de color azul) fundamentalmente se produce en las partes altas de los ríos Roble, Espejo y Quindío, así como en la quebrada Buenavista y a lo largo del sistema de drenaje que hay dentro del SAQ. La zona de color azul, que se presentan al largo del sistema de drenaje que se encuentra dentro del SAQ, indica que hay una conexión importante con el componente subterráneo (Figura 217). Como se observa en la Figura 217, algunos manantiales inventariados en la zona se encuentran fundamentalmente localizados en lugares donde se produce descarga de agua subterránea. Al comparar los cambios entre las zonas de recarga-descarga, estos presentan mayores cambios esencialmente hacia el noroeste, a consecuencia del espesor que presenta la zona no saturada en esta área (CRQ, 2021).

En la Figura 217, se presenta un esquema, que muestra tres perfiles en dirección norte a sur y los cuales cortan perpendicularmente la dirección del flujo de agua subterránea en el SAQ. Este esquema se realizó comparando el nivel de agua subterránea calculado para el año del 2021 para el SAQ, con la superficie del terreno, la cual fue obtenida del MDE Alos Palsar corregido. Se utilizó el monitoreo realizado en el año del 2021, debido a que presentaba la información espacial más adecuada para la caracterización del nivel freático dentro del SAQ.

De acuerdo con la Figura 218, el SAQ presenta una interacción y/o conexión importante entre aguas superficiales y aguas subterráneas. La descarga de agua subterránea en el Acuífero Somero del Quindío (ASQ) mantiene los caudales de los principales ríos y quebradas que se encuentran localizadas dentro del sistema acuífero del Quindío. Los ríos y quebradas ubicadas hacia el noroeste se alimentan potencialmente de flujos de agua subterránea de tipo local, como se muestra en la Figura 218. Como hipótesis se expone que los flujos de tipo regional recargados hacia el noreste, debido al gradiente hidráulico que se presenta en dentro del SAQ y los cuales son influenciados por la discontinuidad hidráulica de la falla Montenegro, posiblemente genere que los ríos localizados hacia el suroeste del SAQ, se alimenten potencialmente de flujos de agua subterránea de carácter regional y local.

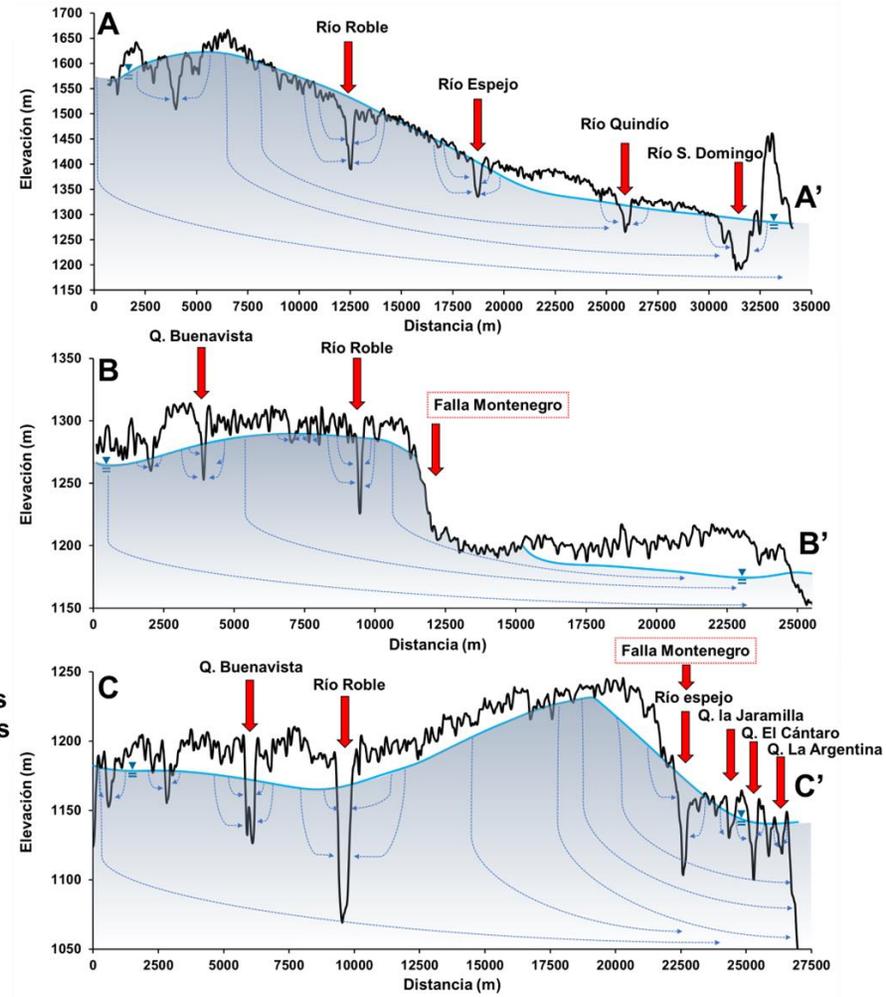
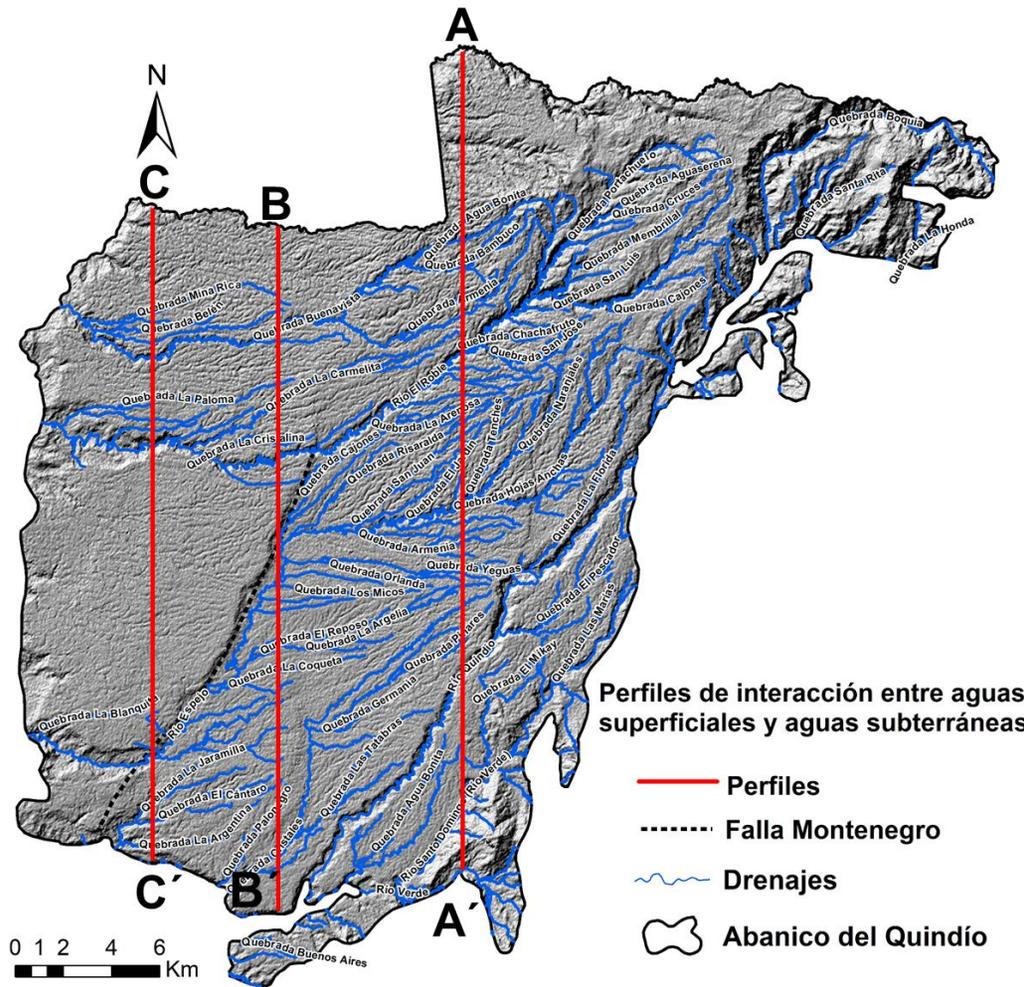


Figura 218. Interacción entre aguas superficiales y aguas subterráneas en el SAQ. Superficie del terreno (línea negra), Superficie freática (línea Azul).

Al no obtener una piezometría espacial para el Acuífero Profundo del Quindío (APO), no fue posible comprobar si este acuífero también tiene una interacción con las aguas superficiales, pero según el estudio del SGC (2016), el cual presentó una piezometría para este acuífero, muestra que los flujos recargados desde el noreste del SAQ, descargan hacia el suroeste potencialmente influenciados por el levantamiento de la falla de Montenegro. De acuerdo con las isopiezas propuestas (SGC, 2016), relacionándolas con los perfiles topográficos propuestos en el presente estudio, algunos de estos flujos podrían estar descargando en el sistema de agua superficial. En concordancia con la información hidroquímica, se evidencia en las Quebradas Primavera y Cristales concentraciones altas de Na, Cl, SO₄, indicando que posiblemente en estos sistemas hídricos superficiales hay descarga del APQ. Pero de acuerdo con la concentración NO₃, posiblemente pueden deberse a descargas de tipo antrópico, como también a litologías locales de tipo reactivas por las cuales pasa el flujo de agua y disuelven fácilmente sales (SO₄ y Cl).

3.10. Monitoreo del Almacenamiento Total de Agua en el Sistema Acuífero del Quindío (SAQ) usando Observaciones del Satélite “Gravity Recovery and Climate Experiment” (GRACE) de la NASA

Debido a que no se cuenta con medidas de niveles en los diferentes acuíferos (somero y profundo) espacialmente a escala transitoria, se implementaron las imágenes del satélite Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), para conocer la variación espacial y temporal del espesor equivalente de agua (EWH) dentro del SAQ. GRACE es una misión conjunta entre la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA) y el Centro Aeroespacial Alemán (DLR). Su objetivo es el estudio del campo gravitatorio de la Tierra a lo largo del tiempo. La misión consta de tres satélites, GRACE-1, GRACE-2 y GRACE-FO que se lanzaron en 2002 (hasta 2017 GRACE-2) y funcionan hasta la actualidad (GRACE-FO lanzado en el año del 2018).

La misión GRACE, utiliza técnicas de radar de microondas para medir la distancia entre los dos satélites y, a partir de estas mediciones, se crean mapas muy precisos del campo gravitatorio, lo que a su vez proporciona información importante sobre la distribución de la masa agua sobre y bajo la superficie terrestre. Una de las aplicaciones más importantes de la misión GRACE fue el estudio del ciclo del agua en la Tierra. Al medir los cambios en el campo gravitatorio de la Tierra, se pueden monitorear el movimiento del agua por el planeta, incluido:

Aguas subterráneas: GRACE se ha utilizado para detectar cambios en el almacenamiento de agua subterránea en varias regiones del mundo. Por lo tanto, este

producto puede estimar los cambios en la masa de agua almacenada en el subsuelo. Esta información puede utilizarse para controlar los cambios en los niveles de las aguas subterráneas y evaluar la sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos (Frappart y Ramillien, 2018).

Lagos y embalses: GRACE también se ha utilizado para detectar cambios en la cantidad de agua almacenada en lagos y embalses. Esta información puede usarse para controlar la disponibilidad de agua para la agricultura, la energía hidroeléctrica y otros usos (Longuevergne et al., 2013).

Capas de hielo y glaciares: GRACE se ha utilizado para controlar los cambios en la masa de las capas de hielo y los glaciares, lo que puede ayudar a evaluar el impacto del cambio climático en estos sistemas y estimar la tasa de pérdida de hielo (Wouters et al., 2019).

En conjunto, el satélite GRACE ha proporcionado valiosa información sobre los cambios en el almacenamiento de agua en todo el mundo, lo que es importante información para gestión sustentable de los recursos hídricos y también para comprender la respuesta de la variabilidad en los patrones climáticos a consecuencia del cambio climático y su impacto en el subsuelo.

Una métrica utilizada para cuantificar el cambio en el volumen de agua en un sistema es el espesor equivalente de agua (EWH). EWH se utiliza para cuantificar la cantidad de agua que sería necesaria para producir la misma cantidad de presión que una carga determinada. Se suele utilizar en el contexto de las mediciones geodésicas y se expresa en centímetros (cm). La EWH es una métrica útil para comprender los cambios en el ciclo del agua en el planeta y para predecir futuros cambios en el nivel del mar. La métrica EWH ayuda a identificar las áreas en las que puede ser necesario actuar para mejorar la gestión y la sostenibilidad del agua con fines a la seguridad hídrica.

GRACE se ha utilizado para monitorizar los cambios en el almacenamiento de agua en Colombia, incluidos los cambios en las aguas subterránea, la nieve y el hielo. Algunos de los hallazgos clave de las mediciones de GRACE en Colombia, han mostrado que el agua subterránea en el Valle del Cauca ha disminuido debido a la extracción excesiva la agricultura y otros usos (Bolaños et al., 2021). También las imágenes de GRACE se han utilizado para monitorizar los cambios en la masa de nieve y hielo en la cordillera de los Andes, que es una importante fuente de agua dulce para la región. Las mediciones del GRACE han mostrado que la masa de nieve y hielo en los Andes ha disminuido en los últimos años (Ciraci et al., 2020), lo que podría tener importantes repercusiones en los recursos hídricos de la región.

Es importante aclarar que la medida del EWH para el departamento del Quindío es una medida integrada verticalmente de los cambios en el almacenamiento de agua que incluyen la humedad del suelo y las aguas subterráneas (Strassberg, et al., 2009). En el presente estudio se usó la quinta versión de los datos GRACE reprocesados cada 10 días por el Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia (Lemoine y Bourgoigne, 2020), y los cuales posteriormente fueron posprocesados para calcular las variaciones anuales y mensuales dentro del SAQ.

3.10.1. Cambio Espacio-Temporal del Espesor Equivalente de Agua en el SAQ

Como se observa en la Figura 219, el EWH varía espacialmente y de forma no muy marcada de acuerdo con las formaciones geológicas identificadas dentro del SAQ. De acuerdo con las mediciones de GRACE en los 22 puntos evaluados a escala mensual para el periodo (2002-2022), muestran que el abanico proximal, presenta variaciones EWH (Min: -12.2 cm, Max: 11.9 cm y Prom: 0.8 cm), en el abanico intermedio muestra (Min: -12 cm, Max: 12.4 cm y Prom: 0.9 cm) y en el abanico distal (Min: -11.9 cm, Max: 13.1 cm y Prom: 0.99 cm).

Acorde a los resultados de los cambios en el almacenamiento total de agua dentro del SAQ, presentan un mayor EWH fundamentalmente hacia el suroeste donde se ubica el abanico distal (Qadis) y menor fundamentalmente hacia el noroeste donde se localiza el abanico proximal (Qapr). Las fluctuaciones en la EWH son mayores en la parte proximal del SAQ, debido a que, en este sector, el acuífero presenta menor espesor y un mayor gradiente hidráulico, lo que ocasiona una menor permanencia del agua en superficie y en el subsuelo. Hacia el abanico distal (Qadis) del Quindío, se presenta un mayor espesor de acuífero y un relieve ondulado a plano donde se observa un menor gradiente hidráulico influenciado por la discontinuidad hidráulica de la falla Montenegro, por lo tanto, se reduce la velocidad del flujo de agua subterránea proveniente del noroeste generando un mayor almacenamiento y permanencia del agua tanto en la superficie como en el subsuelo.

La variabilidad anual y promedio mensual de la EWH para los 22 puntos evaluados dentro del SAQ para el periodo 2002-2022, se presenta en la Figura 220 y Figura 221 respectivamente. Como se muestra en la Figura 221, el EWH en el SAQ presenta variaciones estacionales y mensuales, se observa niveles más altos los meses de abril a mayo y de octubre a diciembre, pero fundamentalmente son mayores en el mes de mayo. Los EWH más bajos se observan de enero a marzo y de agosto a septiembre, pero esencialmente son más bajos el mes de agosto. Estos resultados evidencian la rápida respuesta en el volumen de agua almacenado en el SAQ, en respuesta a la variabilidad de la precipitación mensual en la región.

En la Figura 221, se muestra como varía el almacenamiento total de agua en las diferentes unidades geológicas que componen el SAQ a escala estacional. Fundamentalmente de noviembre a junio se observa un mayor EWH en el abanico distal, mientras de julio a octubre se observa un mayor almacenamiento total de agua en el abanico proximal. Los mayores cambios en EWH en las diferentes unidades geológicas muestran diferencias en el almacenamiento total de agua hasta ± 1 cm.

Con el fin de filtrar las variaciones del nivel de agua subterránea en el almacenamiento total agua (EWH) dentro del SAQ, se implementó la siguiente ecuación:

$$TWS = SW + GW; \quad GW = TWS - SW$$

Donde:

TWS: Almacenamiento total de agua (cm), Fuente GRACE RL05

SW: Humedad en el suelo hasta la zona de raíces (cm), fuente GLDAS 2.2

GW: Nivel de agua subterránea (cm)

Para la corrección del producto GRACE, se realizó el procesamiento de la ecuación *Eq.1* a través de Google Earth Engine. Los datos de humedad del suelo hasta la zona de raíces (*SW*) fueron tomados del producto GLDAS 2.2 y se descargaron de https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/NASA_GLDAS_V022_CLS_M_G025_DA1D. Para obtener la variación del nivel de agua subterránea se preprocesaron los datos de los productos GRACE RL05 y GLDAS 2.2 para que tuvieran la misma proyección, período de tiempo y extensión espacial. La comparación mensual de *TWS*, *SW* y *GW* para el periodo del 2002-2022 se presenta en la Figura 222a.

La variabilidad del nivel del agua subterránea en el SAQ se encuentra fuertemente controlada las fases del ENSO (Figura 222b). Cuando la anomalía en la SST del Pacífico Ecuatorial, supera $\pm 0.5^\circ\text{C}$, se presenta el fenómeno del Niño, se experimentan anomalías negativas en el GW. cuando la SST disminuye $\pm 0.5^\circ\text{C}$, se presenta la Niña se invierte la tendencia y se presentan anomalías positivas en GW. Cuando ocurren los fenómenos de ENSO dentro del SAQ, se presentan un mayor impacto para nivel de agua subterránea que para la precipitación, debido a los efectos análogos de la humedad del suelo y la evapotranspiración.

En correspondencia con el índice climático ONI, los periodos secos relacionados al fenómeno del niño, se observan en los años 2002-2003, 2009-2010 y 2015-2016, un declive en el nivel de agua subterránea dentro del SAQ. Se destaca el periodo 2015-2016, como la sequía más extrema presentada en los últimos 30 años, para este periodo las anomalías negativas en el nivel de agua subterránea llegaron a valores de -10 cm. En el SAQ el ENSO se presenta como un patrón de teleconexión rezagado entre 1 a 5 meses.

El ENSO “Niño” presentó su pico 12/2015, en el océano pacífico, mientras que el pico de este fenómeno en la variación del nivel de agua subterránea ocurre en el periodo 2/2016.

Por otra parte, en relación con los periodos húmedos a consecuencia de eventos tipo “Niña”, se observan en los periodos 2007-2008, 2010-2011 y 2020-2022 una anomalía positiva en el nivel de agua subterránea. Se destaca los años 2020 al 2022, como el periodo con mayor almacenamiento total de agua en el SAQ, llegando a valores de +12 cm. La Niña presentó su pico 11/2020, en el océano pacífico, mientras que el pico de este fenómeno en la variación del nivel de agua subterránea se produjo en el periodo 2/2016.

De acuerdo con la Figura 220, cuando se presenta el fenómeno del Niño en el SAQ, se observa hacia el noreste donde se encuentra ubicado el abanico proximal, un mayor declive EWH cuando se presenta este tipo de fenómenos, mientras que hacia el suroeste donde se localiza el abanico distal presenta un mayor almacenamiento, el cual influye en una menor fluctuación EWH en este sector. Por otra parte, cuando se produce la Niña se observa una anomalía relacionada con tiempo de permanencia del fenómeno; si es “corto”, se observa un mayor almacenamiento total de agua en el abanico proximal, pero si la “Niña” presenta una alta permanencia en el tiempo, como el ocurrido en el periodo 2020-2022, se observa un mayor EWH sobre el abanico distal.

En la Figura 223, se presenta la variación espacial del almacenamiento total de agua para el SAQ, a escala estacional para el periodo 2002-2022. Los periodos de menor almacenamiento de agua dentro del SAQ se observan para las épocas de verano DEF y JJA, mientras los periodos de mayor almacenamiento se vislumbran en los periodos húmedos MAM y SON, aunque sobresale fundamentalmente el periodo MAM.

Cuando se presentan los periodos secos, se observa un patrón espacial diferente dentro del SAQ. Hay un mayor EWH en el periodo DEF hacia el suroeste y un menor EWH hacia noreste, mientras que para el periodo JJA se presenta un mayor EWH hacia el sur y disminuye fundamentalmente en todo el norte del SAQ. Es importante aclarar que para los periodos de verano los mayores almacenamientos totales de agua ocurrieron sobre el abanico distal. Para los periodos húmedos se observa una variabilidad en el patrón espacial del almacenamiento de agua, para el periodo MAM es muy similar al patrón de DEF, esencialmente se observa un mayor EWH hacia el suroeste en la zona distal del SAQ y menor al noreste. En cambio, en el periodo SON, se observa un patrón espacial diferente que en los periodos (DEF, MAM y JJA), el mayor EWH se presenta hacia el noreste donde se localiza el abanico proximal y el menor se observa hacia el sur.

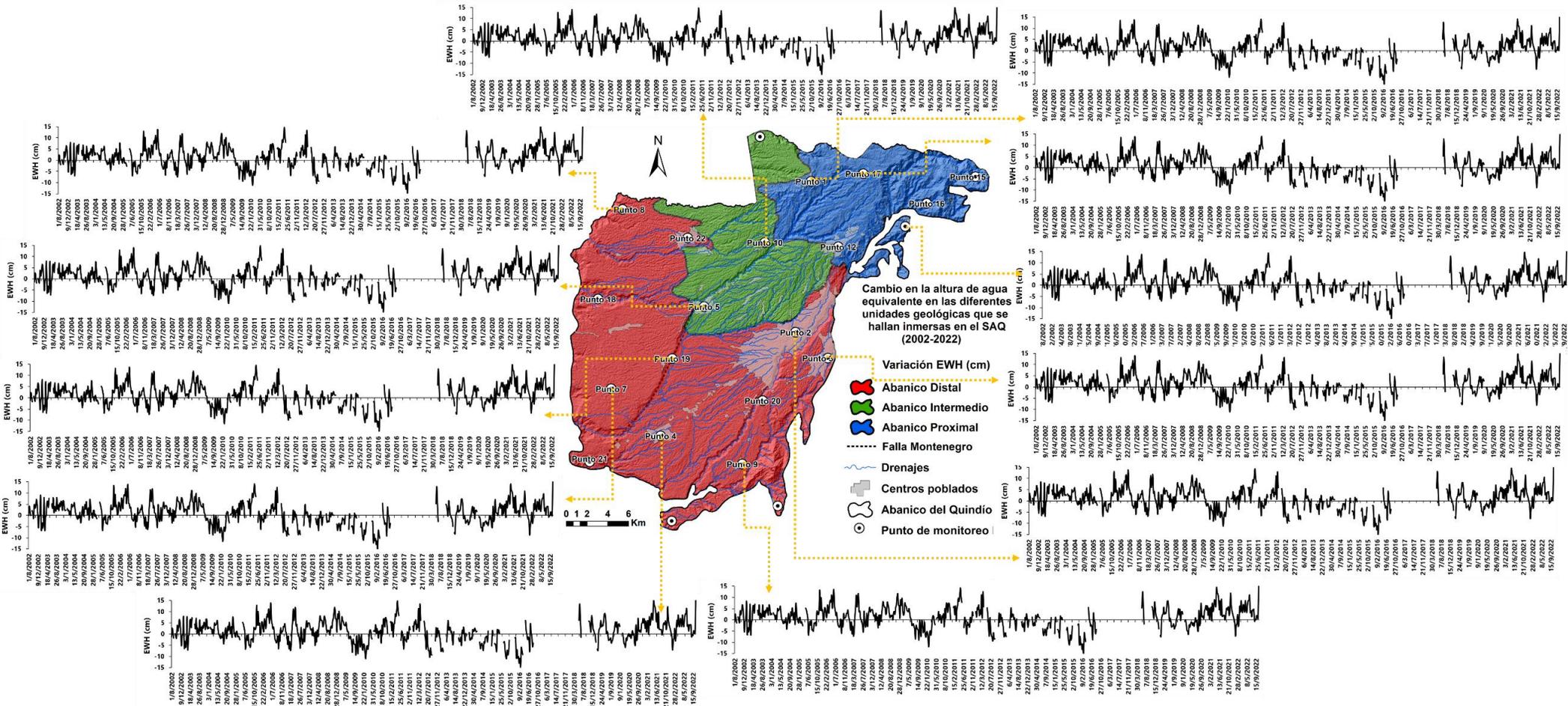


Figura 219. Cambio espacio-temporal del espesor equivalente de agua, con una resolución de 10 días, para 22 puntos de monitoreo evaluados en el SAQ para el periodo 2002-2022.

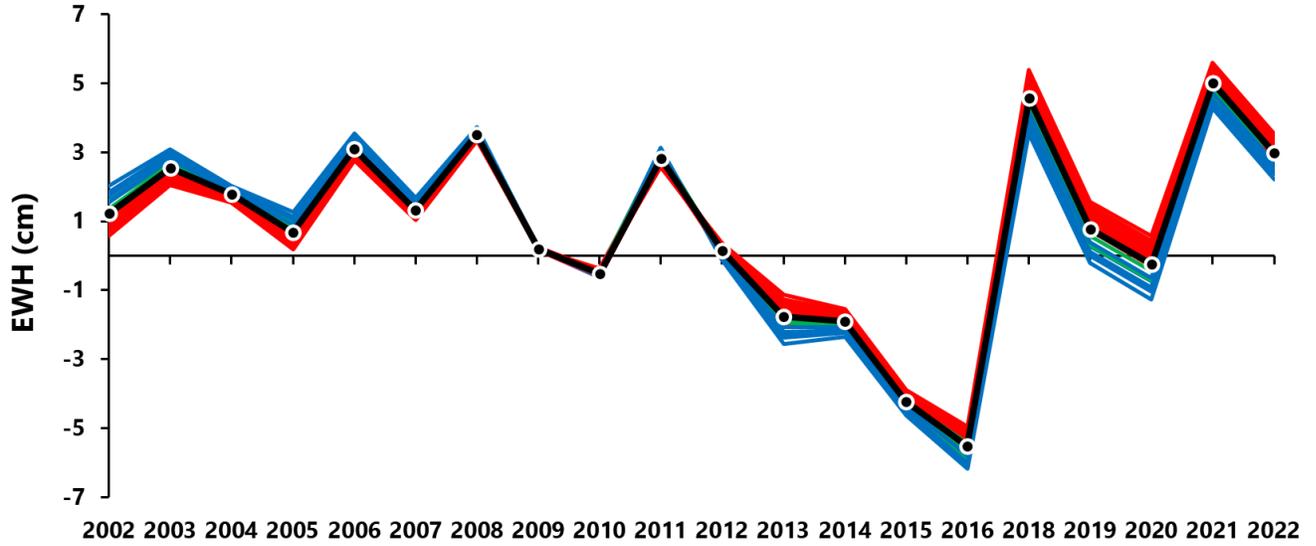


Figura 220. Cambio anual del espesor equivalente de agua en el SAQ, para el periodo 2002-2022. Abanico proximal (líneas color azul), abanico intermedio (líneas color verde), abanico distal (líneas color rojo) y para todo el SAQ (línea color negro)

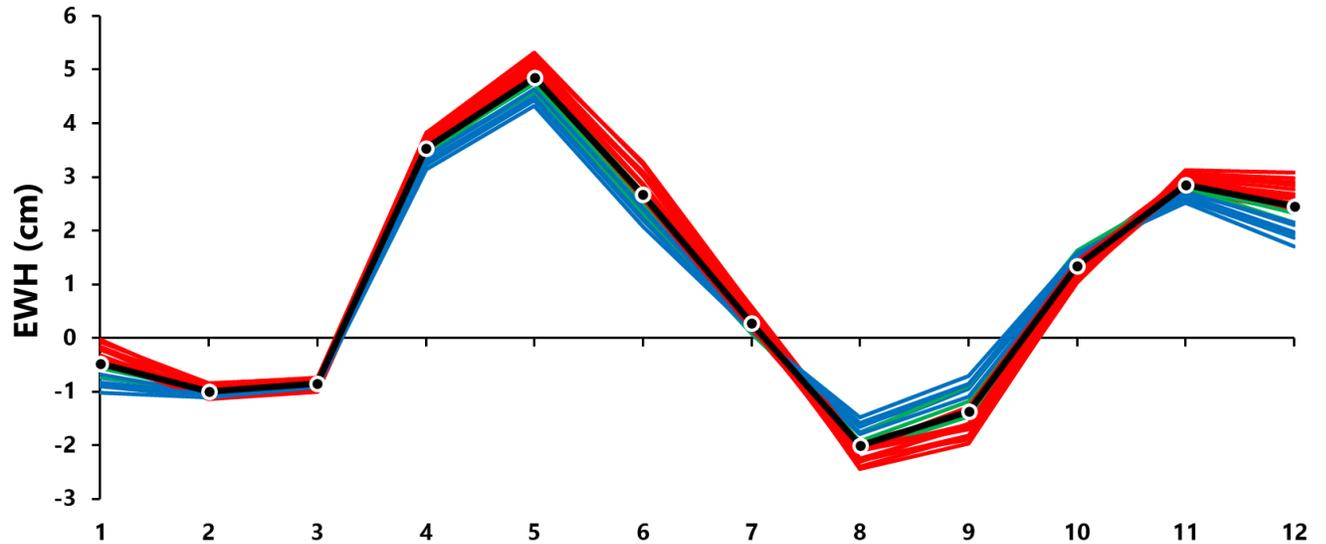


Figura 221. Cambio promedio mensual del espesor equivalente de agua en el SAQ, para el periodo 2002-2022. Abanico proximal (líneas color azul), abanico intermedio (líneas color verde), abanico distal (líneas color rojo) y para todo el SAQ (línea color negro).

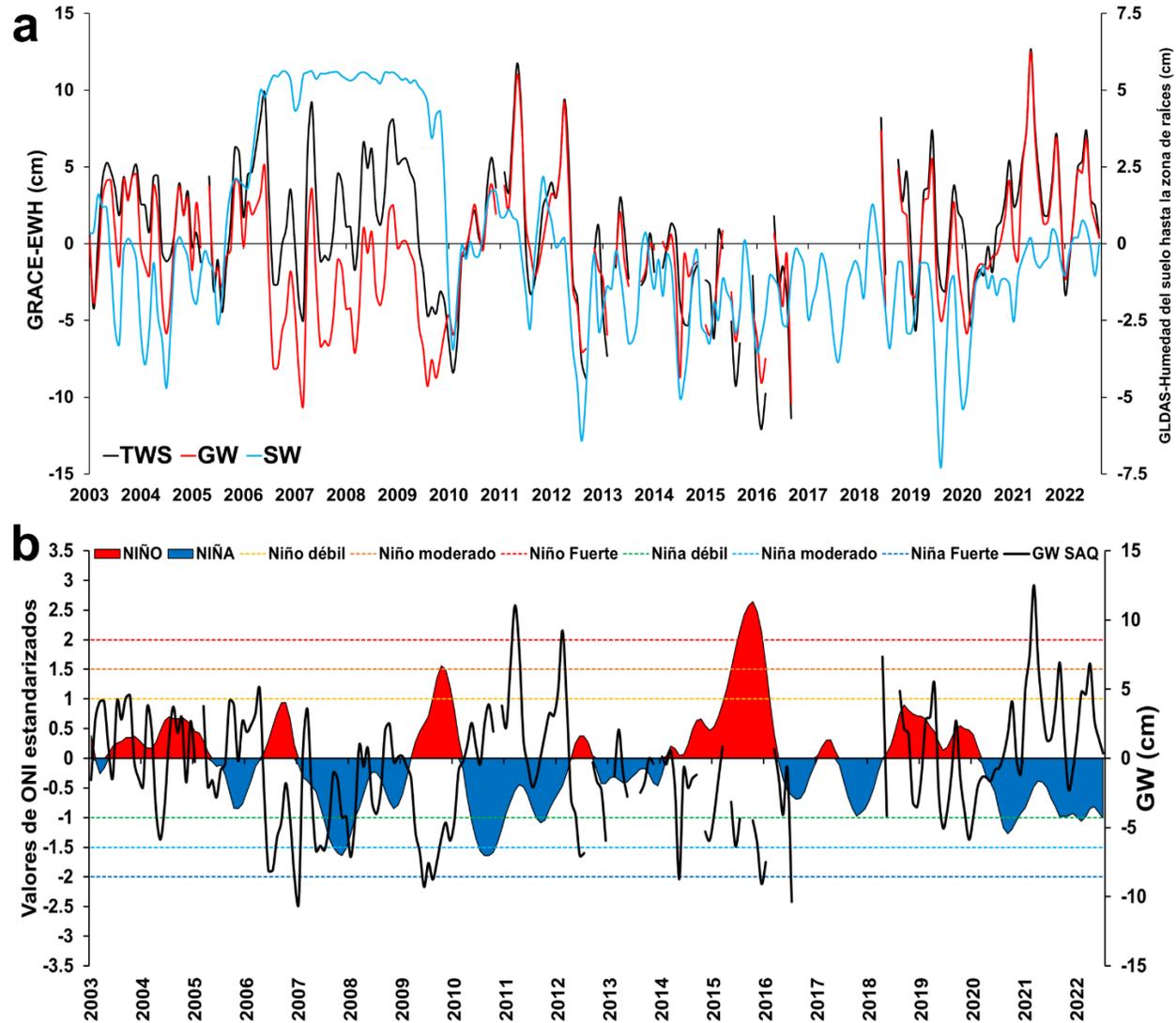


Figura 222. Comparación mensual entre: a. almacenamiento total de agua (TWS= SW+GW), humedad del suelo hasta la zona de raíces (SW) y nivel de agua subterránea (GW) y b. variación del índice climático estandarizado ONI y nivel de agua subterránea en el SAQ para el periodo 2002-2022.

El EWH dentro del SAQ presenta una fuerte estacionalidad y se encuentra ligeramente retrasada con respecto al ciclo estacionalidad de la precipitación (Figura 223). Esto demuestra que la recarga del SAQ presenta gran variabilidad espacio-temporal, la cual logro ser capturada a través de las imágenes multitemporales del satélite GRACE. Se observa en los periodos DEF, MAM una mayor recarga fundamentalmente hacia el suroeste sobre el bloque levantado por la falla de Montenegro, para el periodo JJA se observa una mayor recarga hacia el sur sobre los municipios de Caicedonia y Córdoba. Finalmente, en el periodo SON se observa una mayor recarga en el SAQ hacia el noreste sobre el municipio de Filandia.

3.10.2. Prueba No-Paramétrica Mann-Kendall para el Análisis de la Tendencia del Espesor Equivalente de Agua en el SAQ.

Con el fin de analizar los patrones espaciales en las tendencias EWH dentro del SAQ, se implementó la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall. Esta prueba estadística es una de las más aplicadas para detectar tendencias en las series temporales hidrológicas (Hamed, 2008). Se utiliza para determinar si una serie de tiempo tiene una tendencia monótona al alza o a la baja (Mann, 1945; Kendall, 1987). No requiere que los datos estén normalmente distribuidos o lineales. La hipótesis nula (H_0); asume que no hay tendencia. La hipótesis alternativa (H_1); asume que hay tendencia en la prueba bilateral, esto quiere decir si hay tendencia al alza o tendencia a la baja en la prueba unilateral. La prueba de Mann-Kendall se realizó analizando el rendimiento de tres enfoques de corrección de la varianza: El enfoque original (Mann, 1945; Kendall, 1987), enfoque Hamed y Rao (1998) y el enfoque modificado por Yue y Wang (2004). Se implementaron estas tres pruebas estadísticas de tendencia no paramétrica, debido a la existencia de autocorrelación positiva entre los datos, lo que aumenta la probabilidad de detectar tendencias, cuando en realidad no existen y viceversa (Hamed y Rao, 1998).

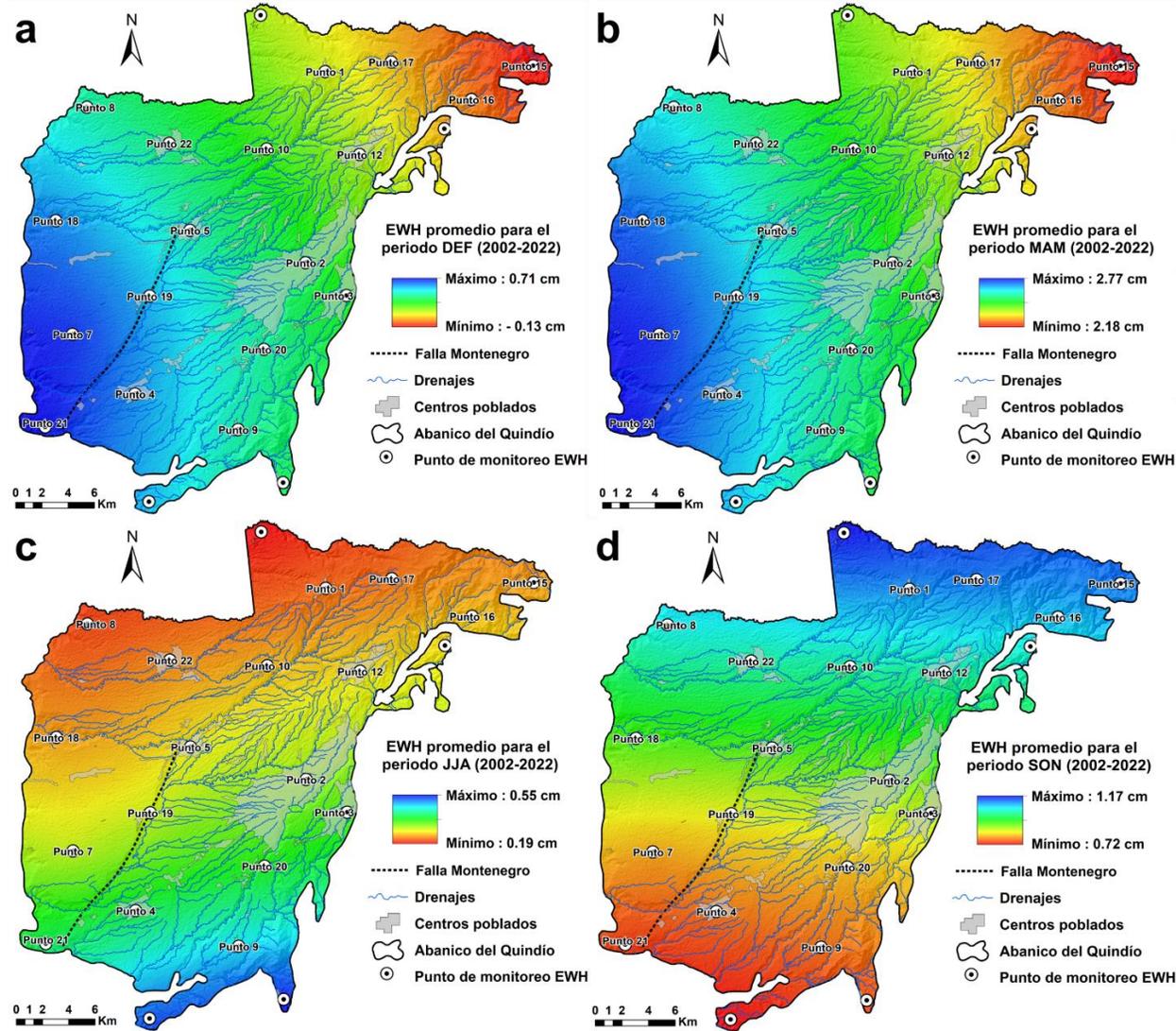


Figura 223. Variación promedio estacional del EWH para el periodo 2002-2022 en el SAQ. a. diciembre-enero-febrero, b. marzo-abril-mayo, c. junio-julio-agosto y d. septiembre-octubre-noviembre.

El primer paso, en la prueba de Mann-Kendall para una serie temporal X_1, \dots, X_n , es calcular la función indicadora $sgn(X_i - X_j)$.

$$sgn(X_i - X_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } X_i - X_j > 0 \\ 0 & \text{si } X_i - X_j = 0 \\ -1 & \text{si } X_i - X_j < 0 \end{cases}$$

Donde:

X_j y X_i : son los valores de la serie temporal;

n : es el tamaño de la serie;

sgn : es la función de signo ($X_i - X_j$)

$sgn(X_i - X_j)$; nos dice si la diferencia entre las medidas en el tiempo i y j , son positivas, negativas o cero. A continuación, se calcula la media (Eq. 2) y la varianza.

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1+1}^n sgn(X_i - X_j)$$

Cuando S es positivo, la serie presenta tendencia creciente. Caso contrario cuando S es negativa, la tendencia es decreciente.

$$V_0^*(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{l=1}^m t_l(i-1)(2i+5)]}{18}$$

Donde:

n : es el número de datos de la serie temporal;

m : es el número de grupos vinculados;

t_i : es el número de grupos vinculados con valor i ;

i : es un conjunto de datos que tienen el mismo valor.

Usando la media y la varianza, se calcula para una serie mayor de diez datos, el estadístico de prueba de Mann-Kendall (MK_z). La distribución de S tiende a la normalidad a medida que aumenta el número de observaciones. La importancia de las tendencias, se puede probar comparando la variable estandarizada MK_z , con la variación normal estándar en el nivel de significancia deseado α , donde la resta o suma en el numerador, es una corrección de continuidad (Kendall, 1975).

$$MK_z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V_0^*(S)}}; & S > 0 \\ 0; & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V_0^*(S)}}; & S < 0 \end{cases}$$

Los valores positivos de MK_z , indican tendencias crecientes, mientras que los valores negativos de MK_z , muestran tendencias decrecientes. La comprobación de las tendencias se realiza al nivel de significación α especificado. En este estudio se ha utilizado el nivel de significación $\alpha=0,05$ (nivel de confianza del 95 %). A un nivel de significación α de la prueba, que también es la tasa de error Tipo I, calculamos si aceptamos o no la hipótesis alternativa H_1 , para cada variante de H_1 por separado:

- H_1 : Existe una tendencia monótona ascendente

Si $MK_z \geq Z_{1-\alpha}$, entonces acepta H_1 , donde la notación $Z_{1-\alpha}$ denota $100(1 - \alpha)$

- H_1 : Existe una tendencia monótona descendente

Si $MK_z \leq Z_{1-\alpha}$ entonces acepta H_1 .

- H_1 : Existe una tendencia monotónica ascendente o descendente

Si $|MK_z| \geq Z_{1-\alpha/2}$ entonces acepta H_1 , donde la notación $||$ es usada para denotar la función de valor absoluto.

Hamed y Rao (1998), abordaron la prueba desarrollada por Mann (1945) y Kendall (1975), desde un enfoque diferente, corrigiendo el efecto de la autocorrelación en el cálculo de la varianza. Para ello emplearon un factor de corrección, que modifica la varianza del estadístico Mann Kendall, para compensar el efecto de la correlación serial en la muestra de datos. Por lo tanto, proponen una aproximación, usando un factor de corrección del tamaño de muestra n , por el efecto de la autocorrelación. La expresión que calcula la varianza se encuentra en la expresión anterior, mientras que el cálculo del factor de corrección se presenta en la siguiente ecuación:

$$V_0^*(S) = V_0^*(S) \frac{n}{n_s^*} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \left(\frac{n}{n_s^*} \right)$$

$$\left(\frac{n}{n_s^*} \right) = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} * \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)\rho_s(i)$$

Donde:

n : tamaño de la serie;

$\left(\frac{n}{n_s^*} \right)$: factor de corrección;

$\rho_s(i)$: función de autocorrelación de los datos de la muestra.

La prueba estadística Mann Kendall modificada por el enfoque de Yue y Wang (2004); se usa cuando los datos de las series temporales suelen estar influidos por la correlación

serial. Al igual que Hamed y Rao (1998), han propuesto un enfoque de corrección de la varianza para abordar el problema de la correlación de la serie en el análisis de tendencias. De acuerdo con Blain (2013), la expresión que calcula la varianza es la misma que se presenta en ecuaciones anteriores, mientras que el cálculo del factor de corrección se presenta en la ecuación anterior.

$$\left(\frac{n}{n_s^*}\right) = 1 + 2 \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{i}{n}\right) \rho_s(a)$$

Donde:

n : es el tamaño de la muestra;

$\left(\frac{n}{n_s^*}\right)$: factor de corrección;

$\rho_s(a)$: función de autocorrelación de los datos originales.

Además, la magnitud de la tendencia de la serie temporal se evaluó mediante un sencillo procedimiento no-paramétrico desarrollado por Sen (1998). Es un método que permite ajustar de manera robusta una línea a puntos muestrales en un plano (regresión lineal simple) eligiendo la mediana de las pendientes de todas las líneas a través de pares de puntos. La pendiente Sen, indica la magnitud y dirección de cualquier serie de tiempo. Los valores positivos son indicativos de una tendencia creciente, mientras que los valores negativos denotan una tendencia decreciente. Los valores de la pendiente de Sen corresponden a la tasa de cambio a través de la pendiente de la serie temporal. El estimador de la pendiente de Sen, se calcula a través de la ecuación anterior

$$\text{Pendiente Sen} = \text{mediana} \left\{ \frac{X_i - x_j}{j - 1} : j < i \right\}$$

Para determinar las tendencias de las series temporales en el EWH por medio de los tres enfoques de corrección de la varianza propuestos, al igual que el cálculo del estimador de la pendiente de Sen en los puntos localizados dentro del SAQ, se implementó el paquete de Python, para pruebas no-paramétricas pyMannKendall. Este paquete es desarrollado por Hussain y Mahmud (2019) y fue descargado <https://github.com/mmhs013/py MannKendall>.

Con el fin de observar las tendencias mensual y estacional del EWH para el periodo 2002-2022, se aplicó la prueba no-paramétrica Mann-Kendall (Tabla 99, Tabla 100, Tabla 101, Tabla 102 y Tabla 103). Debido a las autocorrelaciones significativas, en varias series de tiempo en diferentes puntos de monitoreo, se aplicaron tres pruebas estadísticas, para evaluar las tendencias en el almacenamiento total de agua dentro del SAQ. Los enfoques implementados fueron las pruebas no-paramétricas de Mann-Kendall por medio de los enfoques original (Mann, 1945; Kendall, 1987), Hamed y Rao (1998) y Yue y Wang (2004); estos dos últimos enfoques consideran la estructura de correlación

serial completa. En la Tabla 99, se presentan los resultados estadísticos de las pruebas de Mann-Kendall, calculadas por medio de los tres enfoques propuestos a escala mensual para el periodo 2002-2022. De acuerdo con los estadísticos calculados en la prueba Mann-Kendall, bajo los tres enfoques propuestos (Tabla 99), muestran que en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados no se presentan tendencias en el EWH. Solo el punto de monitoreo 15, el cual se encuentra localizado hacia el noreste sobre la zona de recarga regional, presenta tendencias de decrecimiento bajo los tres enfoques propuestos (Tabla 99).

Se implementó la prueba de Mann-Kendall a escala estacional (DEF, MAM, JJA y SON) bajo los tres enfoques propuestos (Tabla 100, Tabla 101, Tabla 102 y Tabla 103), obteniendo resultados similares a los obtenidos a escala mensual. Todos los puntos de monitoreo distribuidos en el SAQ para los diferentes periodos estacionales analizados no presentaron tendencias en el EWH.

Es importante implementar los enfoques Hamed-Rao y Yue-Wang, ya que como se observa en la Tabla 99, Tabla 100, Tabla 101, Tabla 102 y Tabla 103, debido a autocorrelación significativa de las series de los puntos de monitoreo (1, 3, 6, 10, 11, 12, 15, 16 y 17), presentaron con el enfoque original tendencias de decrecimiento tanto a escala estacional y mensual, mientras cuando se aplicaron los dos enfoques propuestos (Hamed-Rao y Yue-Wang); muestran que realmente en estos puntos de monitoreo no hay tendencia en la EWH.

Es importante contemplar en el análisis de las anomalías en el almacenamiento total de agua, incluir el periodo del 2020 al 2022. Debido a que estudios anteriormente presentados que no contemplan este periodo (Bolaños et al., 2021), muestran en sus resultados tendencias de disminución del EWH cuando en la actualidad no están ocurriendo, ya que el fenómeno de la "niña" el cual comenzó a partir del año 2020 y el cual se encuentra activo hasta la actualidad, aumentó el almacenamiento del agua equilibrando el sistema, por lo tanto, no se observan tendencias de aumento o disminución en el EWH.

Tabla 99. Resultados de la prueba no-paramétrica Mann-Kendall bajo los tres enfoques propuestos a escala mensual para el periodo 2002-2022, para las series de EWH de los puntos que se encuentran distribuidos dentro del SAQ.

Punto de monitoreo	Tau	Pen	Inter	Prueba Mann-Kendall Original				Prueba Mann-Kendall Enfoque Hamed y Rao				Prueba Mann-Kendall Enfoque Yue y Wang			
				Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z
Punto1	-0.08	-0.00253	1.77	Decreciente	V	3.10E-03	-2.96	No hay tendencia	F	1.67E-01	-1.38	No hay tendencia	F	1.69E-01	-1.38
Punto2	-0.05	-0.00165	1.54	No hay tendencia	F	5.13E-02	-1.95	No hay tendencia	F	3.61E-01	-0.91	No hay tendencia	F	3.63E-01	-0.91
Punto3	-0.06	-0.00177	1.62	Decreciente	V	3.63E-02	-2.09	No hay tendencia	F	3.26E-01	-0.98	No hay tendencia	F	3.28E-01	-0.98
Punto4	0.00	-0.00017	1.24	No hay tendencia	F	8.59E-01	-0.18	No hay tendencia	F	9.34E-01	-0.08	No hay tendencia	F	9.34E-01	-0.08
Punto5	-0.03	-0.00105	1.38	No hay tendencia	F	2.21E-01	-1.22	No hay tendencia	F	5.67E-01	-0.57	No hay tendencia	F	5.69E-01	-0.57
Punto6	-0.10	-0.00310	1.93	Decreciente	V	2.98E-04	-3.62	No hay tendencia	F	9.05E-02	-1.69	No hay tendencia	F	9.17E-02	-1.69
Punto7	0.00	0.00014	1.13	No hay tendencia	F	8.68E-01	0.17	No hay tendencia	F	9.38E-01	0.08	No hay tendencia	F	9.38E-01	0.08
Punto8	-0.03	-0.00089	1.34	No hay tendencia	F	2.95E-01	-1.05	No hay tendencia	F	6.25E-01	-0.49	No hay tendencia	F	6.27E-01	-0.49
Punto9	-0.02	-0.00076	1.41	No hay tendencia	F	3.84E-01	-0.87	No hay tendencia	F	6.83E-01	-0.41	No hay tendencia	F	6.85E-01	-0.41
Punto10	-0.06	-0.00186	1.57	Decreciente	V	2.88E-02	-2.19	No hay tendencia	F	3.07E-01	-1.02	No hay tendencia	F	3.09E-01	-1.02
Punto11	-0.08	-0.00235	1.72	Decreciente	V	5.70E-03	-2.76	No hay tendencia	F	1.98E-01	-1.29	No hay tendencia	F	1.99E-01	-1.28
Punto12	-0.08	-0.00244	1.68	Decreciente	V	4.40E-03	-2.85	No hay tendencia	F	1.83E-01	-1.33	No hay tendencia	F	1.84E-01	-1.33
Punto13	-0.03	-0.00094	1.49	No hay tendencia	F	2.70E-01	-1.10	No hay tendencia	F	6.05E-01	-0.52	No hay tendencia	F	6.07E-01	-0.51
Punto14	0.00	-0.00006	1.34	No hay tendencia	F	9.50E-01	-0.06	No hay tendencia	F	9.77E-01	-0.03	No hay tendencia	F	9.77E-01	-0.03
Punto15	-0.12	-0.00385	2.07	Decreciente	V	7.87E-06	-4.47	Decreciente	V	3.64E-02	-2.09	Decreciente	V	3.73E-02	-2.08
Punto16	-0.11	-0.00333	1.99	Decreciente	V	9.31E-05	-3.91	No hay tendencia	F	6.75E-02	-1.83	No hay tendencia	F	6.85E-02	-1.82
Punto17	-0.09	-0.00298	1.90	Decreciente	V	5.23E-04	-3.47	No hay tendencia	F	1.05E-01	-1.62	No hay tendencia	F	1.07E-01	-1.61
Punto18	-0.01	-0.00021	1.19	No hay tendencia	F	8.17E-01	-0.23	No hay tendencia	F	9.14E-01	-0.11	No hay tendencia	F	9.15E-01	-0.11
Punto19	-0.02	-0.00051	1.26	No hay tendencia	F	5.77E-01	-0.56	No hay tendencia	F	7.94E-01	-0.26	No hay tendencia	F	7.95E-01	-0.26
Punto20	-0.03	-0.00109	1.39	No hay tendencia	F	2.03E-01	-1.27	No hay tendencia	F	5.51E-01	-0.60	No hay tendencia	F	5.53E-01	-0.59
Punto21	0.01	0.00047	1.06	No hay tendencia	F	5.99E-01	0.53	No hay tendencia	F	8.06E-01	0.25	No hay tendencia	F	8.07E-01	0.24
Punto22	-0.04	-0.00128	1.43	No hay tendencia	F	1.34E-01	-1.50	No hay tendencia	F	4.84E-01	-0.70	No hay tendencia	F	4.86E-01	-0.70
Variación SAQ	-0.05	-0.00147	1.49	No hay tendencia	F	8.26E-02	-1.74	No hay tendencia	F	4.17E-01	-0.81	No hay tendencia	F	4.19E-01	-0.81

Tau de Kendall (Tau), estimador de la pendiente de Theil-Sen (Pen.), intercepción de la línea de Kendall-Theil (Inter), tendencia (Ten.), hipótesis (h). Verdadero si la tendencia está presente (V); falso si no hay tendencia (F), el valor p de la prueba (Valor P), estadística normalizada de la prueba (Z).

Tabla 100. Resultados de la prueba no-paramétrica Mann-Kendall bajo los tres enfoques propuestos en el periodo DEF, para las series de EWH de los puntos que se encuentran distribuidos dentro del SAQ.

Punto de monitoreo	Tau	Pen	Inter	Prueba Mann-Kendall Original				Prueba Mann-Kendall Enfoque Hamed y Rao				Prueba Mann-Kendall Enfoque Yue y Wang			
				Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z
Punto1	-0.14	-0.01730	1.83	Decreciente	V	1.12E-02	-2.54	No hay tendencia	F	1.51E-01	-1.44	No hay tendencia	F	1.62E-01	-1.40
Punto2	-0.12	-0.01453	1.85	Decreciente	V	3.67E-02	-2.09	No hay tendencia	F	2.31E-01	-1.20	No hay tendencia	F	2.45E-01	-1.16
Punto3	-0.12	-0.01513	1.90	Decreciente	V	3.00E-02	-2.17	No hay tendencia	F	2.13E-01	-1.25	No hay tendencia	F	2.27E-01	-1.21
Punto4	-0.08	-0.00987	1.80	No hay tendencia	F	1.79E-01	-1.34	No hay tendencia	F	4.35E-01	-0.78	No hay tendencia	F	4.50E-01	-0.76
Punto5	-0.10	-0.01233	1.93	No hay tendencia	F	6.90E-02	-1.82	No hay tendencia	F	2.96E-01	-1.05	No hay tendencia	F	3.10E-01	-1.02
Punto6	-0.16	-0.01928	1.92	Decreciente	V	4.87E-03	-2.82	No hay tendencia	F	1.10E-01	-1.60	No hay tendencia	F	1.21E-01	-1.55
Punto7	-0.07	-0.00881	1.63	No hay tendencia	F	2.42E-01	-1.17	No hay tendencia	F	4.97E-01	-0.68	No hay tendencia	F	5.10E-01	-0.66
Punto8	-0.09	-0.01120	1.81	No hay tendencia	F	9.77E-02	-1.66	No hay tendencia	F	3.44E-01	-0.95	No hay tendencia	F	3.56E-01	-0.92
Punto9	-0.10	-0.01194	1.95	No hay tendencia	F	8.40E-02	-1.73	No hay tendencia	F	3.17E-01	-1.00	No hay tendencia	F	3.33E-01	-0.97
Punto10	-0.12	-0.01487	1.92	Decreciente	V	2.69E-02	-2.21	No hay tendencia	F	2.07E-01	-1.26	No hay tendencia	F	2.20E-01	-1.23
Punto11	-0.14	-0.01636	1.77	Decreciente	V	1.67E-02	-2.39	No hay tendencia	F	1.77E-01	-1.35	No hay tendencia	F	1.87E-01	-1.32
Punto12	-0.14	-0.01700	1.94	Decreciente	V	1.08E-02	-2.55	No hay tendencia	F	1.46E-01	-1.45	No hay tendencia	F	1.58E-01	-1.41
Punto13	-0.10	-0.01259	2.01	No hay tendencia	F	6.69E-02	-1.83	No hay tendencia	F	2.89E-01	-1.06	No hay tendencia	F	3.06E-01	-1.02
Punto14	-0.08	-0.00945	1.83	No hay tendencia	F	1.71E-01	-1.37	No hay tendencia	F	4.25E-01	-0.80	No hay tendencia	F	4.42E-01	-0.77
Punto15	-0.18	-0.02208	1.97	Decreciente	V	1.23E-03	-3.23	No hay tendencia	F	6.81E-02	-1.82	No hay tendencia	F	7.63E-02	-1.77
Punto16	-0.17	-0.02007	1.88	Decreciente	V	3.04E-03	-2.96	No hay tendencia	F	9.29E-02	-1.68	No hay tendencia	F	1.03E-01	-1.63
Punto17	-0.15	-0.01870	1.81	Decreciente	V	6.27E-03	-2.73	No hay tendencia	F	1.22E-01	-1.55	No hay tendencia	F	1.33E-01	-1.50
Punto18	-0.08	-0.00929	1.59	No hay tendencia	F	1.81E-01	-1.34	No hay tendencia	F	4.40E-01	-0.77	No hay tendencia	F	4.53E-01	-0.75
Punto19	-0.08	-0.01077	1.85	No hay tendencia	F	1.41E-01	-1.47	No hay tendencia	F	3.94E-01	-0.85	No hay tendencia	F	4.09E-01	-0.83
Punto20	-0.10	-0.01276	1.98	No hay tendencia	F	6.31E-02	-1.86	No hay tendencia	F	2.84E-01	-1.07	No hay tendencia	F	2.99E-01	-1.04
Punto21	-0.06	-0.00797	1.61	No hay tendencia	F	2.76E-01	-1.09	No hay tendencia	F	5.26E-01	-0.63	No hay tendencia	F	5.39E-01	-0.61
Punto22	-0.11	-0.01280	1.90	No hay tendencia	F	5.90E-02	-1.89	No hay tendencia	F	2.80E-01	-1.08	No hay tendencia	F	2.93E-01	-1.05
Variación SAQ	-0.11	-0.01373	1.81	Decreciente	V	4.66E-02	-1.99	No hay tendencia	F	2.54E-01	-1.14	No hay tendencia	F	2.68E-01	-1.11

Tau de Kendall (Tau), estimador de la pendiente de Theil-Sen (Pen.), intercepción de la línea de Kendall-Theil (Inter), tendencia (Ten.), hipótesis (h). Verdadero si la tendencia está presente; falso si no hay tendencia, el valor p de la prueba (Valor P), estadística normalizada de la prueba (Z).

Tabla 101. Resultados de la prueba no-paramétrica Mann-Kendall bajo los tres enfoques propuestos en el periodo MAM, para las series de EWH de los puntos que se encuentran distribuidos dentro del SAQ.

Punto de monitoreo	Tau	Pen	Inter	Prueba Mann-Kendall Original				Prueba Mann-Kendall Enfoque Hamed y Rao				Prueba Mann-Kendall Enfoque Yue y Wang			
				Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z
Punto1	-0.06	-0.00907	3.23	No hay tendencia	F	2.33E-01	-1.19	No hay tendencia	F	5.17E-01	-0.65	No hay tendencia	F	5.19E-01	-0.64
Punto2	-0.04	-0.00545	3.00	No hay tendencia	F	4.69E-01	-0.72	No hay tendencia	F	6.89E-01	-0.40	No hay tendencia	F	6.89E-01	-0.40
Punto3	-0.05	-0.00606	2.96	No hay tendencia	F	3.95E-01	-0.85	No hay tendencia	F	6.37E-01	-0.47	No hay tendencia	F	6.38E-01	-0.47
Punto4	0.00	0.00039	2.89	No hay tendencia	F	9.30E-01	0.09	No hay tendencia	F	9.61E-01	0.05	No hay tendencia	F	9.61E-01	0.05
Punto5	-0.02	-0.00305	3.01	No hay tendencia	F	7.17E-01	-0.36	No hay tendencia	F	8.41E-01	-0.20	No hay tendencia	F	8.41E-01	-0.20
Punto6	-0.08	-0.01141	3.27	No hay tendencia	F	1.28E-01	-1.52	No hay tendencia	F	4.06E-01	-0.83	No hay tendencia	F	4.10E-01	-0.82
Punto7	0.01	0.00155	2.73	No hay tendencia	F	8.75E-01	0.16	No hay tendencia	F	9.29E-01	0.09	No hay tendencia	F	9.30E-01	0.09
Punto8	-0.02	-0.00250	2.97	No hay tendencia	F	7.45E-01	-0.32	No hay tendencia	F	8.58E-01	-0.18	No hay tendencia	F	8.59E-01	-0.18
Punto9	-0.01	-0.00143	2.90	No hay tendencia	F	8.43E-01	-0.20	No hay tendencia	F	9.11E-01	-0.11	No hay tendencia	F	9.12E-01	-0.11
Punto10	-0.05	-0.00646	3.15	No hay tendencia	F	3.95E-01	-0.85	No hay tendencia	F	6.41E-01	-0.47	No hay tendencia	F	6.43E-01	-0.46
Punto11	-0.06	-0.00855	3.34	No hay tendencia	F	2.55E-01	-1.14	No hay tendencia	F	5.36E-01	-0.62	No hay tendencia	F	5.39E-01	-0.61
Punto12	-0.06	-0.00862	3.15	No hay tendencia	F	2.48E-01	-1.16	No hay tendencia	F	5.27E-01	-0.63	No hay tendencia	F	5.29E-01	-0.63
Punto13	-0.02	-0.00188	2.80	No hay tendencia	F	7.79E-01	-0.28	No hay tendencia	F	8.74E-01	-0.16	No hay tendencia	F	8.75E-01	-0.16
Punto14	0.01	0.00133	2.82	No hay tendencia	F	8.60E-01	0.18	No hay tendencia	F	9.20E-01	0.10	No hay tendencia	F	9.21E-01	0.10
Punto15	-0.10	-0.01438	3.59	No hay tendencia	F	5.69E-02	-1.90	No hay tendencia	F	3.03E-01	-1.03	No hay tendencia	F	3.07E-01	-1.02
Punto16	-0.09	-0.01247	3.37	No hay tendencia	F	9.99E-02	-1.65	No hay tendencia	F	3.72E-01	-0.89	No hay tendencia	F	3.75E-01	-0.89
Punto17	-0.08	-0.01081	3.32	No hay tendencia	F	1.48E-01	-1.45	No hay tendencia	F	4.32E-01	-0.79	No hay tendencia	F	4.35E-01	-0.78
Punto18	0.00	0.00000	2.86	No hay tendencia	F	9.91E-01	0.01	No hay tendencia	F	9.95E-01	0.01	No hay tendencia	F	9.95E-01	0.01
Punto19	-0.01	-0.00072	2.91	No hay tendencia	F	9.07E-01	-0.12	No hay tendencia	F	9.48E-01	-0.07	No hay tendencia	F	9.48E-01	-0.07
Punto20	-0.02	-0.00333	2.97	No hay tendencia	F	6.87E-01	-0.40	No hay tendencia	F	8.22E-01	-0.22	No hay tendencia	F	8.23E-01	-0.22
Punto21	0.02	0.00310	2.71	No hay tendencia	F	6.91E-01	0.40	No hay tendencia	F	8.23E-01	0.22	No hay tendencia	F	8.23E-01	0.22
Punto22	-0.03	-0.00397	3.10	No hay tendencia	F	6.26E-01	-0.49	No hay tendencia	F	7.89E-01	-0.27	No hay tendencia	F	7.89E-01	-0.27
Variación SAQ	-0.03	-0.00484	3.10	No hay tendencia	F	5.45E-01	-0.60	No hay tendencia	F	7.39E-01	-0.33	No hay tendencia	F	7.39E-01	-0.33

Tau de Kendall (Tau), estimador de la pendiente de Theil-Sen (Pen.), intercepción de la línea de Kendall-Theil (Inter), tendencia (Ten.), hipótesis (h). Verdadero si la tendencia está presente; falso si no hay tendencia, el valor p de la prueba (Valor P), estadística normalizada de la prueba (Z).

Tabla 102. Resultados de la prueba no-paramétrica Mann-Kendall bajo los tres enfoques propuestos en el periodo JJA, para las series de EWH de los puntos que se encuentran distribuidos dentro del SAQ.

Punto de monitoreo	Tau	Pen	Inter	Prueba Mann-Kendall Original				Prueba Mann-Kendall Enfoque Hamed y Rao				Prueba Mann-Kendall Enfoque Yue y Wang			
				Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z
Punto1	-0.05	-0.00553	0.61	No hay tendencia	F	3.65E-01	-0.91	No hay tendencia	F	6.28E-01	-0.48	No hay tendencia	F	6.23E-01	-0.49
Punto2	-0.01	-0.00125	0.49	No hay tendencia	F	8.47E-01	-0.19	No hay tendencia	F	9.17E-01	-0.10	No hay tendencia	F	9.15E-01	-0.11
Punto3	-0.01	-0.00183	0.53	No hay tendencia	F	7.97E-01	-0.26	No hay tendencia	F	8.89E-01	-0.14	No hay tendencia	F	8.88E-01	-0.14
Punto4	0.05	0.00558	-0.12	No hay tendencia	F	3.95E-01	0.85	No hay tendencia	F	6.36E-01	0.47	No hay tendencia	F	6.35E-01	0.47
Punto5	0.01	0.00146	0.11	No hay tendencia	F	8.12E-01	0.24	No hay tendencia	F	8.97E-01	0.13	No hay tendencia	F	8.96E-01	0.13
Punto6	-0.06	-0.00762	0.67	No hay tendencia	F	2.38E-01	-1.18	No hay tendencia	F	5.27E-01	-0.63	No hay tendencia	F	5.22E-01	-0.64
Punto7	0.06	0.00679	-0.32	No hay tendencia	F	2.91E-01	1.05	No hay tendencia	F	5.58E-01	0.59	No hay tendencia	F	5.56E-01	0.59
Punto8	0.01	0.00164	0.07	No hay tendencia	F	7.87E-01	0.27	No hay tendencia	F	8.84E-01	0.15	No hay tendencia	F	8.82E-01	0.15
Punto9	0.02	0.00285	0.19	No hay tendencia	F	6.63E-01	0.44	No hay tendencia	F	8.10E-01	0.24	No hay tendencia	F	8.08E-01	0.24
Punto10	-0.02	-0.00246	0.59	No hay tendencia	F	7.22E-01	-0.36	No hay tendencia	F	8.48E-01	-0.19	No hay tendencia	F	8.46E-01	-0.19
Punto11	-0.04	-0.00509	0.57	No hay tendencia	F	4.25E-01	-0.80	No hay tendencia	F	6.71E-01	-0.43	No hay tendencia	F	6.66E-01	-0.43
Punto12	-0.04	-0.00466	0.56	No hay tendencia	F	4.46E-01	-0.76	No hay tendencia	F	6.83E-01	-0.41	No hay tendencia	F	6.78E-01	-0.41
Punto13	0.02	0.00211	0.33	No hay tendencia	F	7.45E-01	0.32	No hay tendencia	F	8.58E-01	0.18	No hay tendencia	F	8.56E-01	0.18
Punto14	0.05	0.00583	0.00	No hay tendencia	F	3.96E-01	0.85	No hay tendencia	F	6.35E-01	0.47	No hay tendencia	F	6.34E-01	0.48
Punto15	-0.09	-0.01068	0.92	No hay tendencia	F	9.55E-02	-1.67	No hay tendencia	F	3.76E-01	-0.89	No hay tendencia	F	3.68E-01	-0.90
Punto16	-0.07	-0.00871	0.78	No hay tendencia	F	1.71E-01	-1.37	No hay tendencia	F	4.64E-01	-0.73	No hay tendencia	F	4.58E-01	-0.74
Punto17	-0.06	-0.00722	0.62	No hay tendencia	F	2.54E-01	-1.14	No hay tendencia	F	5.43E-01	-0.61	No hay tendencia	F	5.37E-01	-0.62
Punto18	0.04	0.00520	-0.29	No hay tendencia	F	4.43E-01	0.77	No hay tendencia	F	6.73E-01	0.42	No hay tendencia	F	6.71E-01	0.42
Punto19	0.03	0.00398	-0.08	No hay tendencia	F	5.23E-01	0.64	No hay tendencia	F	7.24E-01	0.35	No hay tendencia	F	7.23E-01	0.35
Punto20	0.01	0.00128	0.31	No hay tendencia	F	8.72E-01	0.16	No hay tendencia	F	9.30E-01	0.09	No hay tendencia	F	9.29E-01	0.09
Punto21	0.07	0.00791	-0.27	No hay tendencia	F	2.22E-01	1.22	No hay tendencia	F	4.94E-01	0.68	No hay tendencia	F	4.93E-01	0.69
Punto22	0.00	0.00000	0.16	No hay tendencia	F	9.99E-01	0.00	No hay tendencia	F	9.99E-01	0.00	No hay tendencia	F	9.99E-01	0.00
Variación SAQ	0.00	-0.00059	0.36	No hay tendencia	F	9.29E-01	-0.09	No hay tendencia	F	9.62E-01	-0.05	No hay tendencia	F	9.61E-01	-0.05

Tau de Kendall (Tau), estimador de la pendiente de Theil-Sen (Pen.), intercepción de la línea de Kendall-Theil (Inter), tendencia (Ten.), hipótesis (h). Verdadero si la tendencia está presente; falso si no hay tendencia, el valor p de la prueba (Valor P), estadística normalizada de la prueba (Z).

Tabla 103. Resultados de la prueba no-paramétrica Mann-Kendall bajo los tres enfoques propuestos en el periodo SON, para las series de EWH de los puntos que se encuentran distribuidos dentro del SAQ.

Punto de monitoreo	Tau	Pen	Inter	Prueba Mann-Kendall Original				Prueba Mann-Kendall Enfoque Hamed y Rao				Prueba Mann-Kendall Enfoque Yue y Wang			
				Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z	Ten	h	Valor P	Z
Punto1	-0.12	-0.01254	2.15	Decreciente	V	2.50E-02	-2.24	No hay tendencia	F	2.05E-01	-1.27	No hay tendencia	F	1.93E-01	-1.30
Punto2	-0.09	-0.00920	1.72	No hay tendencia	F	1.17E-01	-1.57	No hay tendencia	F	3.65E-01	-0.91	No hay tendencia	F	3.54E-01	-0.93
Punto3	-0.09	-0.00975	1.77	No hay tendencia	F	1.05E-01	-1.62	No hay tendencia	F	3.51E-01	-0.93	No hay tendencia	F	3.39E-01	-0.96
Punto4	-0.03	-0.00391	1.31	No hay tendencia	F	5.36E-01	-0.62	No hay tendencia	F	6.99E-01	-0.39	No hay tendencia	F	7.06E-01	-0.38
Punto5	-0.06	-0.00740	1.58	No hay tendencia	F	2.41E-01	-1.17	No hay tendencia	F	4.95E-01	-0.68	No hay tendencia	F	4.82E-01	-0.70
Punto6	-0.14	-0.01487	2.21	Decreciente	V	1.09E-02	-2.55	No hay tendencia	F	1.53E-01	-1.43	No hay tendencia	F	1.42E-01	-1.47
Punto7	-0.03	-0.00271	1.26	No hay tendencia	F	6.52E-01	-0.45	No hay tendencia	F	7.78E-01	-0.28	No hay tendencia	F	7.82E-01	-0.28
Punto8	-0.06	-0.00657	1.64	No hay tendencia	F	2.45E-01	-1.16	No hay tendencia	F	4.99E-01	-0.68	No hay tendencia	F	4.86E-01	-0.70
Punto9	-0.06	-0.00606	1.41	No hay tendencia	F	3.07E-01	-1.02	No hay tendencia	F	5.49E-01	-0.60	No hay tendencia	F	5.38E-01	-0.62
Punto10	-0.10	-0.00992	1.79	No hay tendencia	F	7.63E-02	-1.77	No hay tendencia	F	3.09E-01	-1.02	No hay tendencia	F	2.97E-01	-1.04
Punto11	-0.12	-0.01199	2.20	Decreciente	V	3.27E-02	-2.14	No hay tendencia	F	2.28E-01	-1.21	No hay tendencia	F	2.14E-01	-1.24
Punto12	-0.12	-0.01200	2.06	Decreciente	V	3.25E-02	-2.14	No hay tendencia	F	2.26E-01	-1.21	No hay tendencia	F	2.12E-01	-1.25
Punto13	-0.06	-0.00655	1.48	No hay tendencia	F	2.49E-01	-1.15	No hay tendencia	F	5.00E-01	-0.67	No hay tendencia	F	4.89E-01	-0.69
Punto14	-0.03	-0.00348	1.21	No hay tendencia	F	6.04E-01	-0.52	No hay tendencia	F	7.46E-01	-0.32	No hay tendencia	F	7.51E-01	-0.32
Punto15	-0.17	-0.01793	2.48	Decreciente	V	1.82E-03	-3.12	No hay tendencia	F	8.51E-02	-1.72	No hay tendencia	F	7.62E-02	-1.77
Punto16	-0.15	-0.01571	2.20	Decreciente	V	6.76E-03	-2.71	No hay tendencia	F	1.31E-01	-1.51	No hay tendencia	F	1.20E-01	-1.55
Punto17	-0.14	-0.01444	2.15	Decreciente	V	1.27E-02	-2.49	No hay tendencia	F	1.63E-01	-1.39	No hay tendencia	F	1.51E-01	-1.44
Punto18	-0.04	-0.00391	1.41	No hay tendencia	F	5.03E-01	-0.67	No hay tendencia	F	6.76E-01	-0.42	No hay tendencia	F	6.84E-01	-0.41
Punto19	-0.05	-0.00531	1.40	No hay tendencia	F	4.14E-01	-0.82	No hay tendencia	F	6.32E-01	-0.48	No hay tendencia	F	6.21E-01	-0.49
Punto20	-0.07	-0.00731	1.53	No hay tendencia	F	2.39E-01	-1.18	No hay tendencia	F	4.92E-01	-0.69	No hay tendencia	F	4.81E-01	-0.70
Punto21	-0.01	-0.00112	1.11	No hay tendencia	F	8.61E-01	-0.18	No hay tendencia	F	9.12E-01	-0.11	No hay tendencia	F	9.14E-01	-0.11
Punto22	-0.08	-0.00816	1.70	No hay tendencia	F	1.70E-01	-1.37	No hay tendencia	F	4.25E-01	-0.80	No hay tendencia	F	4.14E-01	-0.82
Variación SAQ	-0.08	-0.00868	1.71	No hay tendencia	F	1.36E-01	-1.49	No hay tendencia	F	3.88E-01	-0.86	No hay tendencia	F	3.76E-01	-0.88

Tau de Kendall (Tau), estimador de la pendiente de Theil-Sen (Pen.), intercepción de la línea de Kendall-Theil (Inter), tendencia (Ten.), hipótesis (h). Verdadero si la tendencia está presente; falso si no hay tendencia, el valor p de la prueba (Valor P), estadística normalizada de la prueba (Z).

3.11. Hidroquímica en el Sistema Acuífero del Quindío - SAQ -

La composición de las aguas subterráneas es el resultado de la interacción del agua con el material geológico que conforma el SAQ y por procesos antropogénicos de la población asentada sobre este sistema. En esta sección primero, se analiza la distribución espacial de los iones mayoritarios en el Acuífero Somero del Quindío (ASQ) y Acuífero Profundo del Quindío (APQ). Posteriormente se describe la caracterización hidrogeoquímica de los dos acuíferos para las diferentes campañas.

3.11.1. Distribución Espacial de Cationes, Aniones, pH y CE en el SAQ

La distribución espacial de los iones mayoritarios que se encuentran en el ASQ y en el APQ se presenta a continuación. En la Figura 224, Figura 225, Figura 226 y Figura 227, se presenta la distribución espacial de los cationes tanto el ASQ, como en el APQ, para diferentes fechas de monitoreo, mientras que en la Figura 228, Figura 229, Figura 230 y Figura 231 se presenta la distribución espacial de los aniones. Finalmente se presenta en la Figura 232 y Figura 233, la variación espacial de parámetros fisicoquímicos (pH y conductividad eléctrica) en los dos acuíferos para las diferentes campañas.

Calcio (Ca)

El calcio es uno de los principales cationes de las aguas subterráneas. Las fuentes que suministran calcio incluyen la disolución de silicatos y plagioclasas de rocas ígneas y metamórficas, así como de carbonatos y yeso. Como se muestra en la Figura 224, las cantidades mínimas de calcio tanto en el ASQ, como en el APQ, se encuentra fundamentalmente, en la zona de recarga localizada hacia el noreste, mientras que las concentraciones máximas se exhiben hacia el suroeste, donde se localiza la zona de descarga del ASP y APQ.

La disolución de calcio se produce a lo largo de la trayectoria del flujo de agua subterránea y debido a la presencia de rocas sedimentarias piroclásticas en el SAQ, por lo tanto, la concentración de calcio aumenta en las áreas de descarga del acuífero, debido a la presencia de un menor gradiente hidráulico y velocidad de flujo subterránea, la cual favorece a las reacciones de disolución de minerales. También se observan altas concentraciones de Ca en el SAQ en zonas aledañas al complejo Quebradagrande, debido que esta formación presenta bancos de calizas.

Magnesio (Mg)

De forma similar al Ca en el SAQ, la mayoría de las aguas subterráneas contienen concentraciones estables de Mg; sin embargo, se observan las mayores concentraciones

como valores puntuales hacia el noroeste y suroeste donde descarga el SAQ y en cercanías a las ciudades de Armenia y Circasia posiblemente debido al contacto del ASQ con rocas del complejo Quebradagrande (Figura 225). Las concentraciones de Mg mayores en el ASQ; que; en el APQ, pueden deberse a procesos de intercambio catiónico que se generan en niveles arcillosos en profundidad inmovilizando el Mg e intercambiándolo por Na (CRQ, 2018).

Sodio (Na)

Las concentraciones de sodio pueden tener de diferentes fuentes: naturales (p.ej. materiales geológicos con feldespatos, arcillas, lixiviados del suelo, aguas salinas profundas e intercambio catiónico) o bien antrópicas como residuos y efluentes domiciliarios e industriales. Como se muestra en la Figura 226, el contenido de Na en el agua subterránea en el APQ, es mayor que en ASQ, indicando que a mayor profundidad hay un aporte de iones de Na, que puede provenir de una intrusión de origen salino que tiene una fuente en niveles acuíferos profundos, como también del intercambio catiónico con niveles arcillosos. Las mayores concentraciones de Na, se localizan hacia el sector de Filandia, Armenia, Circasia, La Tebaida y Montenegro en el ASQ, indicando condiciones de contaminación antrópica debido a su correspondencia con los contenidos de NO_3 . Las mayores concentraciones de Na en el APQ, se presentan en cercanías a la falla Montenegro, fundamentalmente en el pozo del parque del café, el cual tiene una profundidad de 243 m y el cual posiblemente extrae una mezcla de aguas del acuífero profundo con aguas de origen marino que posee el basamento hidrogeológico.

Potasio (K)

Otro elemento soluble importante en las aguas subterráneas es el potasio. En el SAQ, las fuentes más frecuentes de potasio son los feldespatos y los fertilizantes. Los mapas de distribución de K (Figura 227), muestran una menor concentración en el APQ que en el ASQ. En el ASQ, se observan mayores concentraciones hacia el noreste del SAQ, sobre el sector Filandia, mientras que, en el APQ, se observan en cercanías de Montenegro y La Tebaida.

Bicarbonato (HCO_3^-)

Los contenidos HCO_3^- en el agua subterránea en el SAQ, pueden originarse de varias fuentes, incluyendo el CO_2 en la atmósfera y en el suelo, disolución de minerales (silicatos, feldespatos, calizas, olivinos, piroxenos, anfíboles y micas), oxidación de materiales orgánicos y gases volcánicos. Los diferentes mapas de distribución de bicarbonato tanto en el ASQ, como en el APQ muestran tendencias similares al comportamiento del Ca, niveles mínimos hacia el noreste, mientras que los valores

máximos, se presentan al suroeste donde descarga el SAQ (Figura 228). Esto quiere decir que las aguas subterráneas, se enriquecen con HCO_3 a lo largo de la trayectoria del flujo regional del agua subterránea en el SAQ.

Sulfato (SO_4)

En el SAQ, las concentraciones de SO_4 , se derivan en gran medida de la disolución de fertilizantes que son transportados por el agua, y por oxidación de minerales de sulfuro, que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias. Los mapas de distribución de sulfato (Figura 229), muestran que su concentración en el ASQ, aumenta fundamentalmente donde localizan los centros poblados más importantes que se encuentran dentro del SAQ (Filandia, Montenegro, Armenia, Circasia y La Tebaida). Por lo tanto, las fuentes de SO_4 en el ASQ, tienen un origen antrópico y las cuales han contribuido al aumento de iones de sulfato en el ASQ. En relación con el APQ, el SO_4 muestra mayores concentraciones hacia el suroeste, esencialmente sobre el sector del fallamiento de Montenegro.

Cloruro (Cl)

Los cloruros en el agua subterránea del SAQ, se originan de condiciones antrópicas (aguas residuales domésticas) y por mezclas de aguas de origen marino. Como se observa en la Figura 230, los mapas de isoconcentración de cloruros, presentan una tendencia similar que la distribución del Na dentro del SAQ. Se presentan mayores concentraciones en el APQ, que en el ASQ. Es importante aclarar, que a escala general las concentraciones de Cl, son mayores en ASQ, pero en cercanías a Montenegro y La Tebaida debido a la profundidad de los pozos, se extraen una mezcla de aguas que provienen del acuífero profundo con aguas salinas de formaciones profundas que pueden deberse a litologías que posee el basamento ígneo de corteza oceánica. En el ASQ las concentraciones de Cl, están relacionadas con la contaminación con aguas residuales, como se observa en la Figura 230, las mayores concentraciones fundamentalmente se exhiben en los principales centros poblados localizados dentro del SAQ.

Nitrato (NO_3)

Los compuestos de nitrógeno que ingresan al SAQ, pueden provenir de diferentes fuentes, incluida la deposición atmosférica, la descomposición de las plantas fijadoras de nitrógeno, la oxidación de amoníaco o nitrógeno orgánico, la contaminación del agua con aguas residuales y el uso de fertilizantes nitrogenados. El nitrato se considera el contaminante más común de las aguas subterráneas, ya que suele liberarse más fácilmente al medio ambiente que otros componentes del ciclo del nitrógeno, debido al uso de fertilizantes nitrogenados, los cuales poseen una alta solubilidad. Como se observa en la Figura 231, se presentan mayores concentraciones de NO_3 en el ASQ, que

el APQ, indicando procesos de contaminación en el acuífero somero. El nitrato presenta la misma tendencia que los cloruros en ASQ, reflejando mayores concentraciones en los principales centros poblados localizados dentro del SAQ y donde se evidencia un aumento en la concentración de iones (NO_3 y Cl) a causa de fuentes de contaminación, posiblemente aguas residuales domésticas. Es importante aclarar que en los monitores hidroquímicos más actualizados realizados en ASQ, se observa un aumento progresivo en las concentraciones de nitrato, fundamentalmente en las zonas urbanas y en las zonas agrícolas, debido al aumento de la población y al uso fertilizantes nitrogenados sobre estas áreas.

Concentración de iones de hidrógeno (pH)

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad que presentan las aguas subterráneas. Los valores de pH de las muestras analizadas para el SAQ, para los diferentes monitores, varían entre 5 y 7.9, lo que indica que el agua subterránea del SAQ es de tipo alcalina (Figura 232). Los mayores pH en el ASQ se localizan fundamentalmente hacia el noreste y suroeste del SAQ, a consecuencia de la disolución de feldespatos en zonas aledañas del complejo Arquía y Quebradagrande, debido a una conexión lateral con las formaciones silicoclásticas y piroclásticas que componen el SAQ.

Conductividad eléctrica (CE)

Dado que la conductividad eléctrica, se incrementa con el aumento de la concentración de sales solubles en el agua. Los valores de CE dependen de la concentración de iones, la temperatura y el tipo de iones. Para interpretar la calidad del agua en términos de la cantidad de iones solubles, debe tenerse en cuenta, como regla general, que la cantidad de sales solubles suele aumentar a lo largo de la dirección del flujo de agua subterránea (Freeze y Cherry 1979). Como se observa en la Figura 233, en el ASQ, como en el APQ, la CE aumenta de noreste a suroeste, en concordancia con el flujo del agua subterránea. En el ASQ, los diferentes mapas de distribución espacial de CE, muestra valores máximos en zonas puntuales, como en centros poblados, revelando procesos de contaminación focalizados (CRQ, 2021). En la Figura 233, se vislumbra al igual que los mapas de NO_3 para el ASQ, un aumento progresivo de la CE (mapa año 2019) sobre todo el ASQ, indicando un aumento progresivo en la contaminación sobre este acuífero.

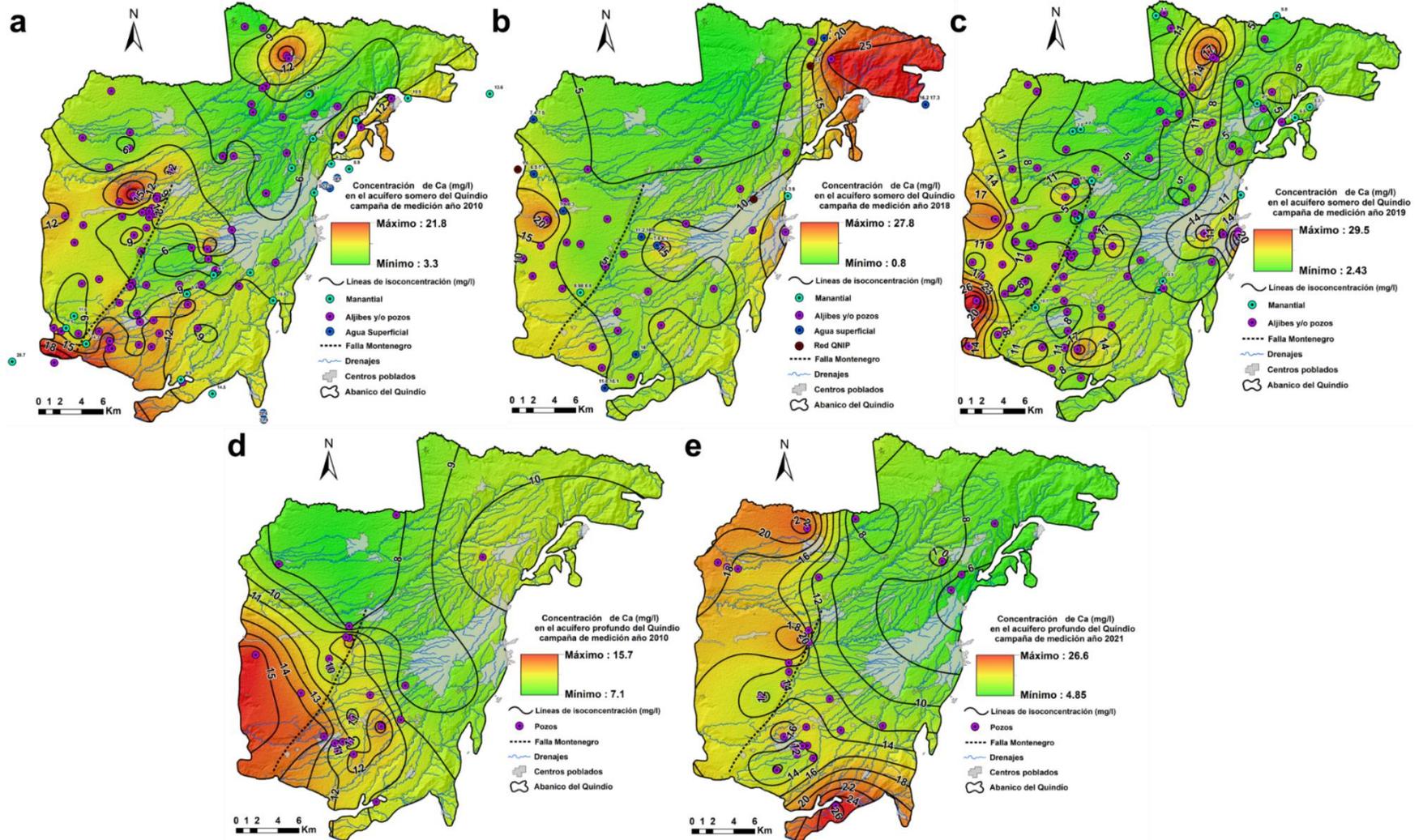


Figura 224. Concentración de Calcio (Ca) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

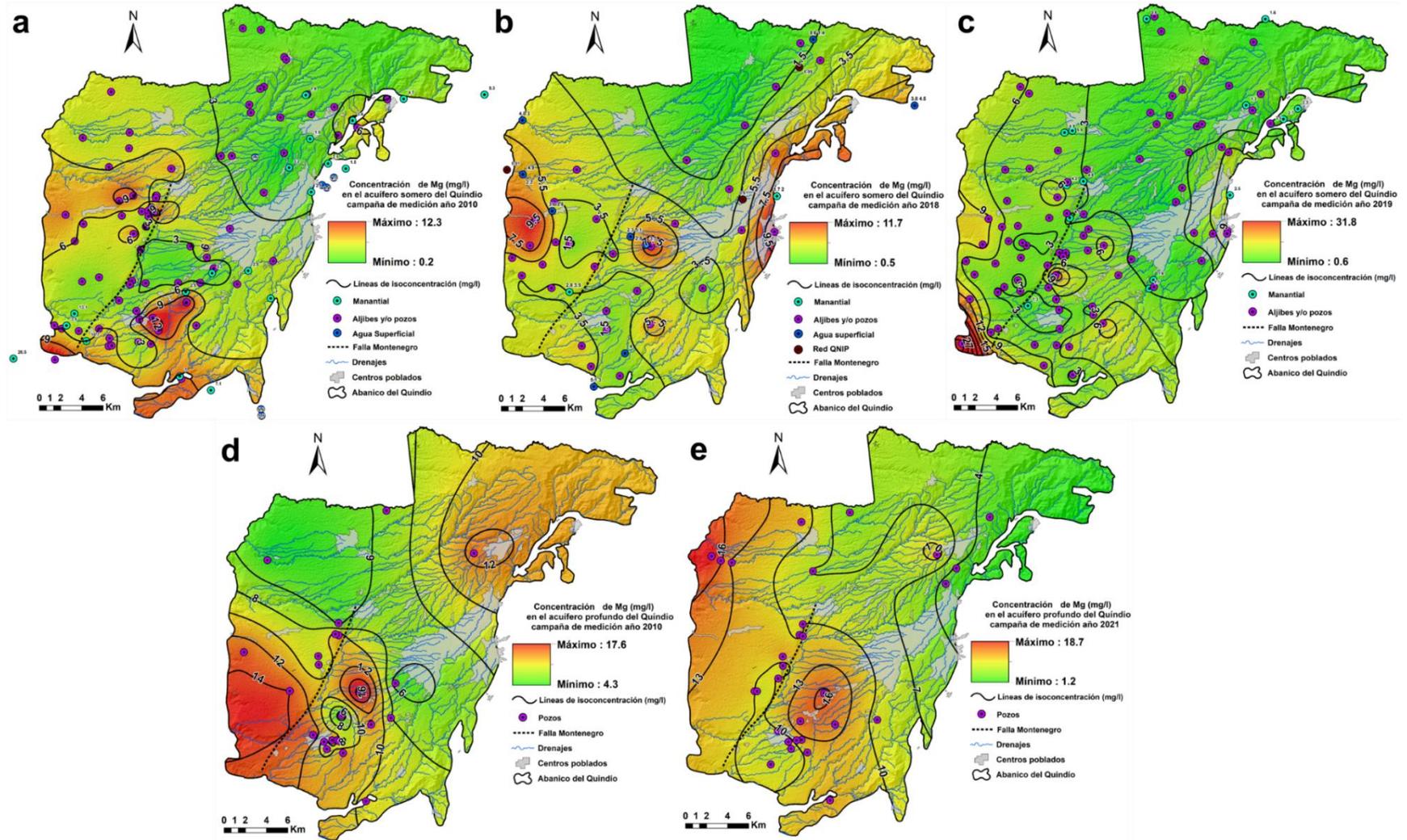


Figura 225. Concentración de Magnesio (Mg) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

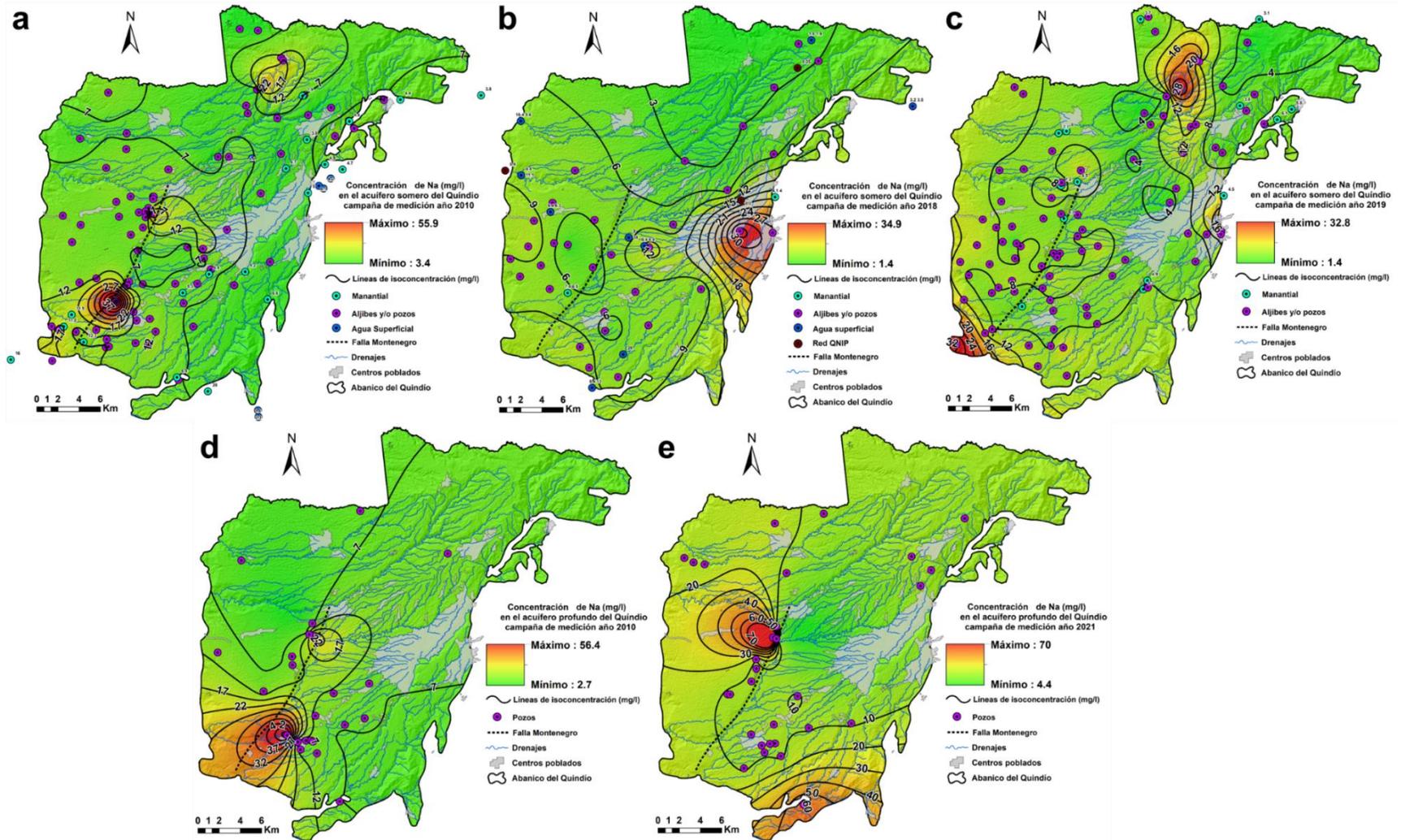


Figura 226. Concentración de Sodio (Na) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

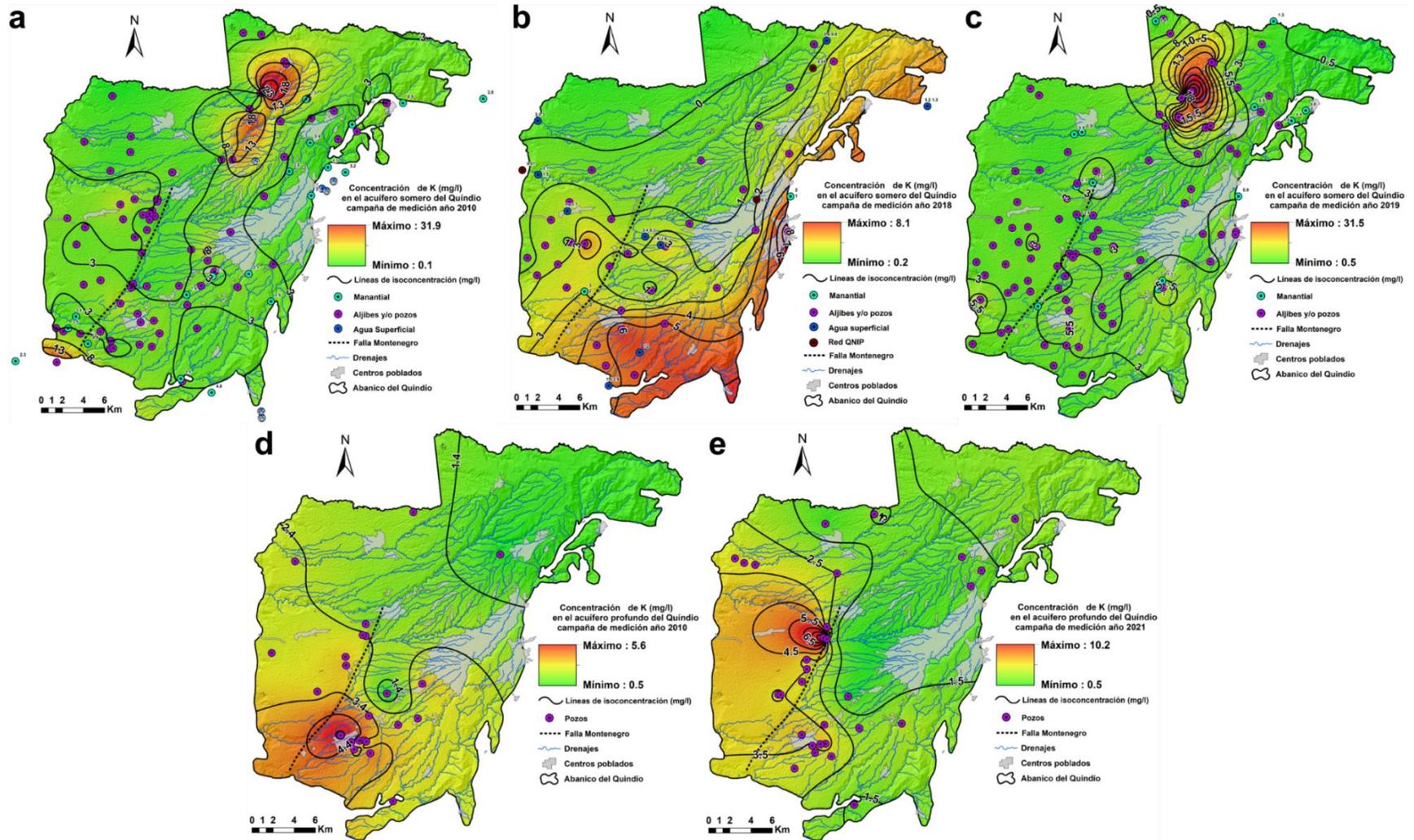


Figura 227. Concentración de Potasio (K) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

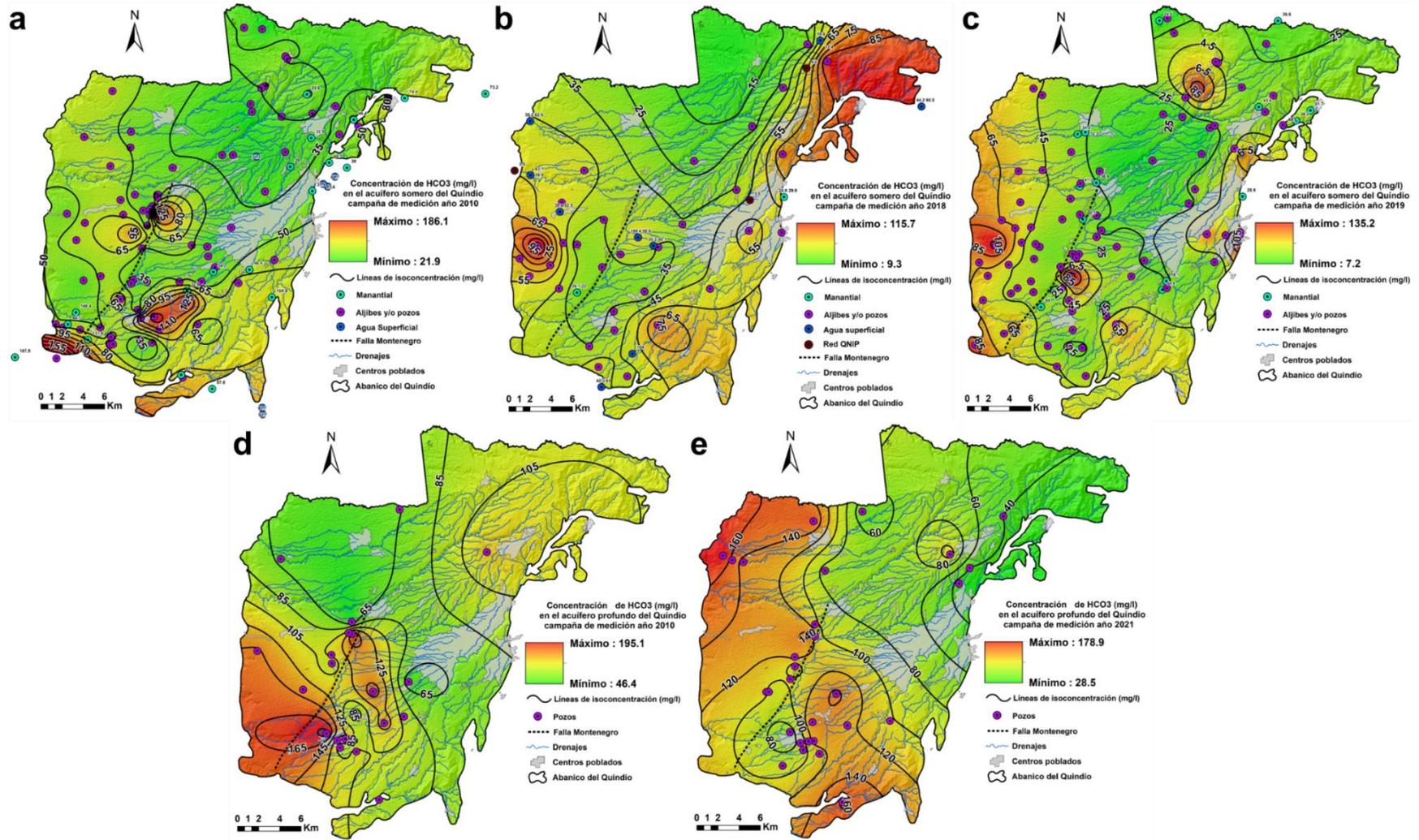


Figura 228. Concentración de Bicarbonato (HCO₃⁻) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

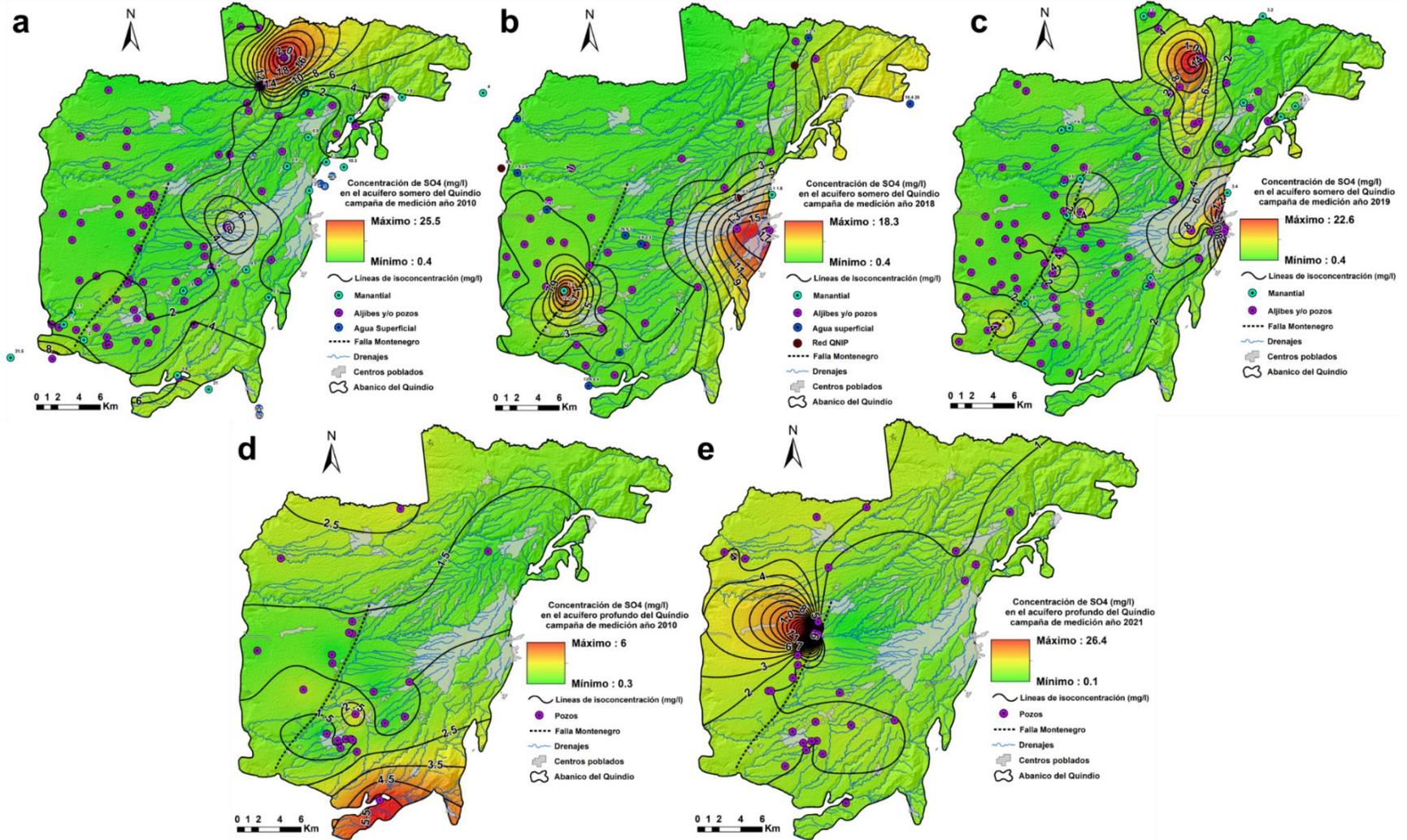


Figura 229. Concentración de Sulfato (SO₄-) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

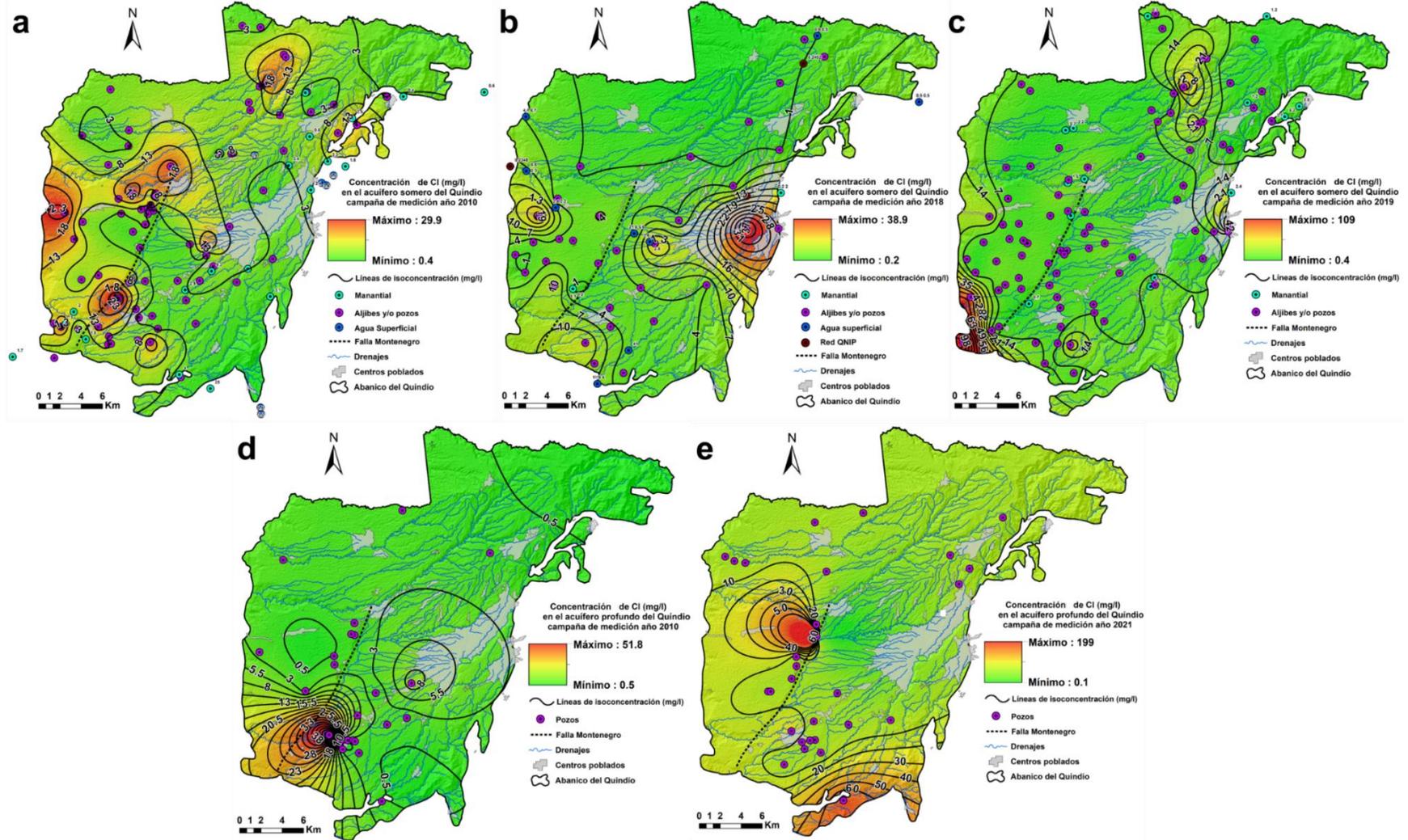


Figura 230. Concentración de Cloruro (Cl-) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

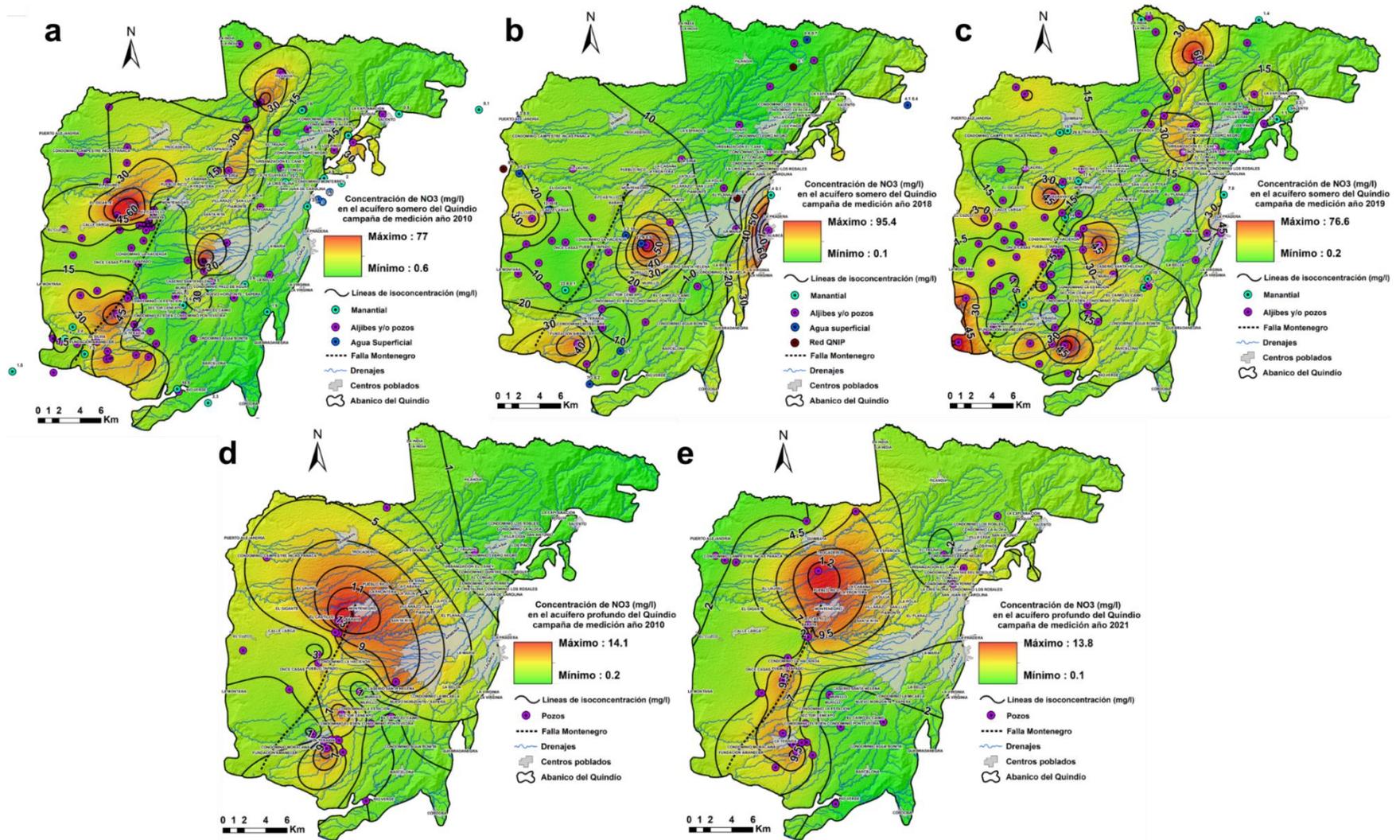


Figura 231. Concentración de Nitrato (NO₃⁻) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

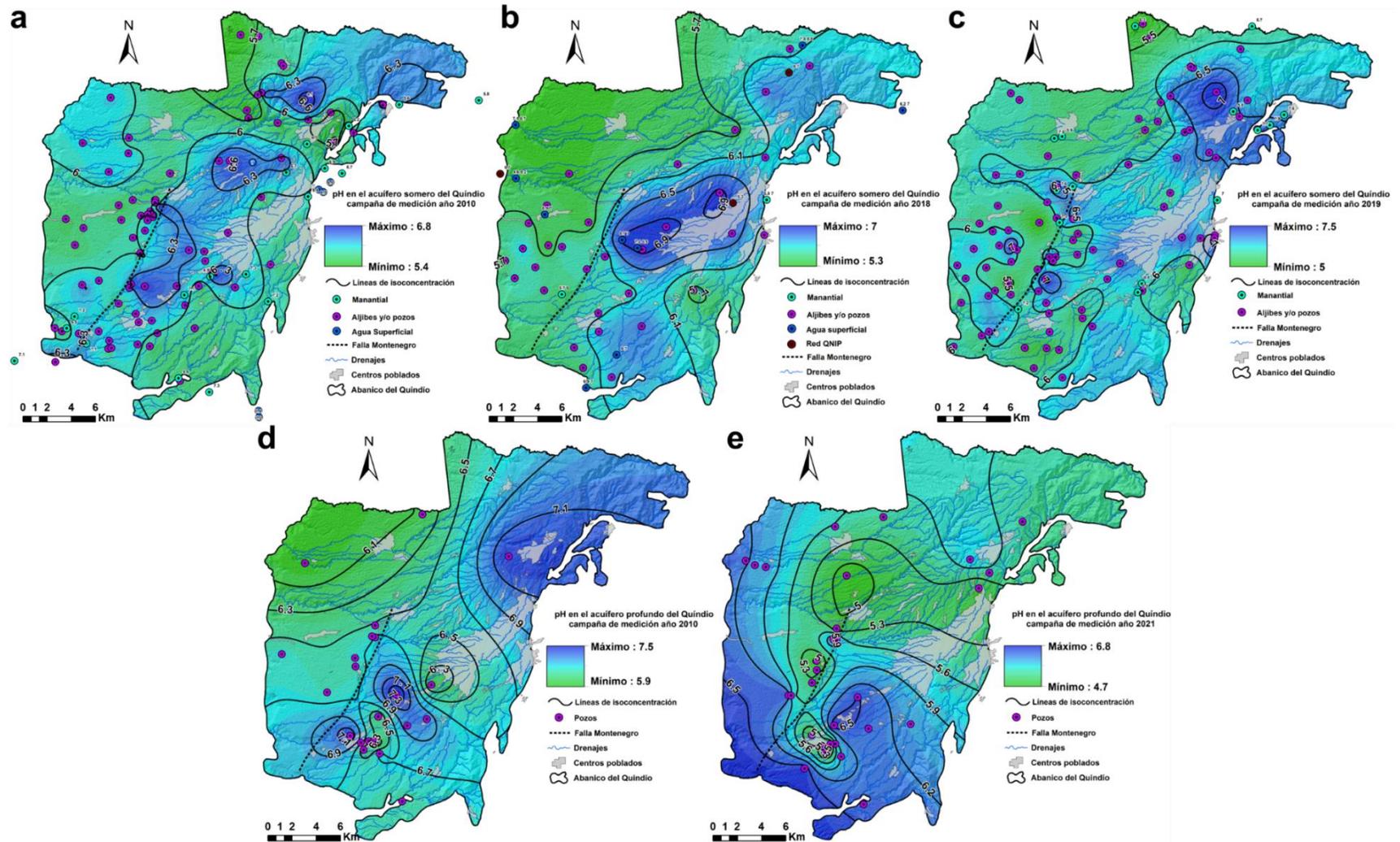


Figura 232. Concentración de pH en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

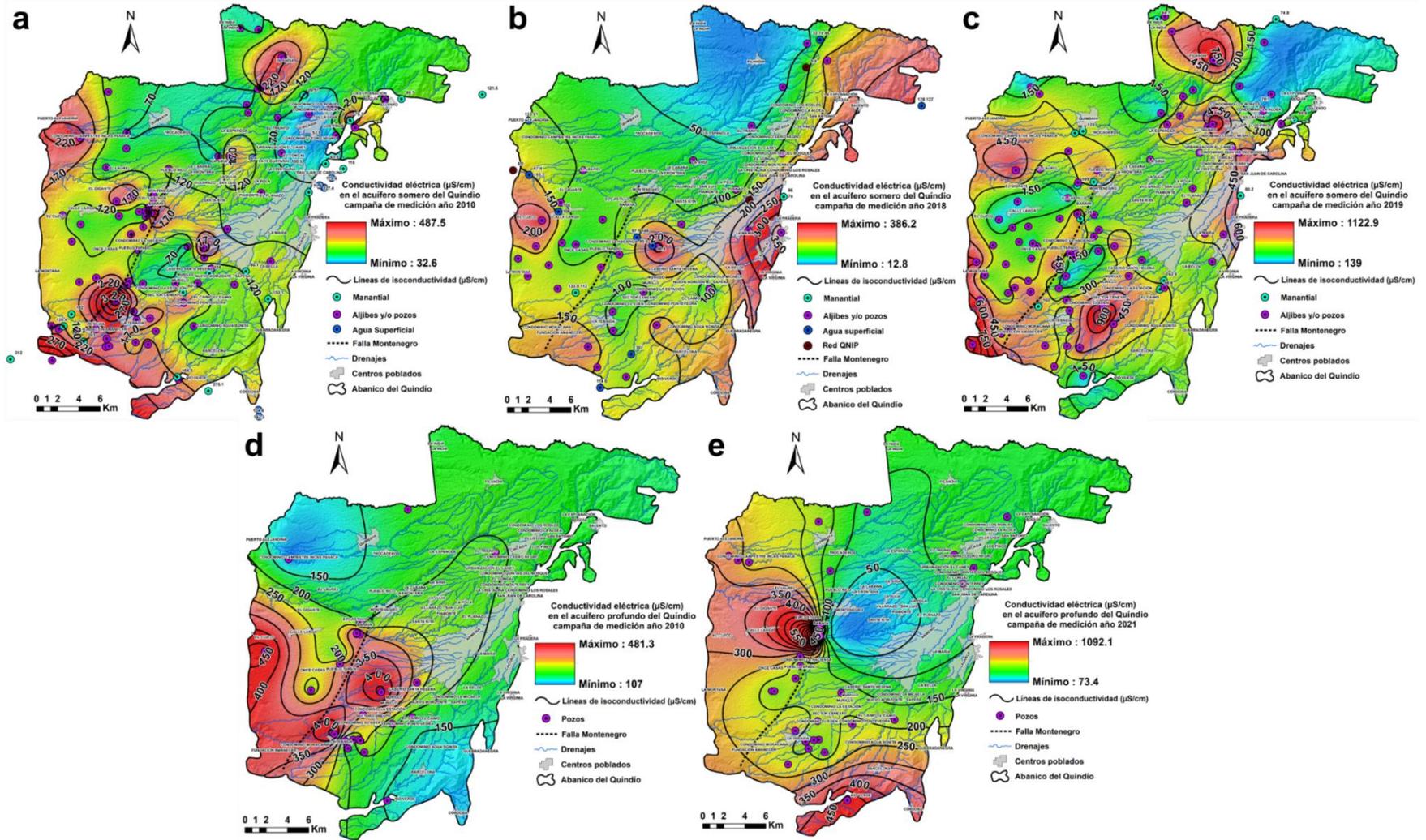


Figura 233. Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

3.11.2. Facies Hidroquímica

Las facies hidrogeoquímicas del agua subterránea y la relación entre los diferentes iones mayoritarios disueltos se pueden analizar de forma porcentual (relativa en la misma muestra) trazando los datos geoquímicos en el diagrama trilineal de Piper (Figura 234). Por otro lado, los contenidos absolutos de los iones mayoritarios pueden reconocerse con los diagramas de Stiff y su distribución espacial en el SAQ, se muestra en la Figura 235.

En las facies hidrogeoquímicas, se reconoce un predominio de aguas bicarbonatadas cálcicas (Ca-HCO_3) con proporción variable de sodio (Na) y magnesio (Mg) principalmente en la dirección de flujo del agua subterránea en el ASQ y dependiente de la distribución de los afloramientos de rocas reactivas ricas en Na y Mg como rocas ígneas o metamórficas con silicatos o bien rocas sedimentarias ricas en Na y Mg. En cambio, en el APQ, aunque presenta menor número de muestreos se reconoce el predominio de facies hidrogeoquímicas de aguas bicarbonatadas sulfatadas ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4$) cálcicas magnésicas (Ca-Mg) en zonas de descarga regional y en menor proporción aguas bicarbonatadas cálcicas (Ca-HCO_3) con proporción variable de magnesio (Mg) y de sodio (Na) (Figura 234).

Además, localmente se reconocen facies hidrogeoquímicas con proporciones variables de Cl y NO_3 (Figura 230 y Figura 231) en sitios localizados próximo a centros poblados, así como en las zonas de descarga regional y próxima a la Falla Montenegro.

3.12. Mecanismos que controlan la química del agua subterránea

En ausencia de contaminación, la composición química del agua subterránea manifiesta principalmente al contenido mineral del terreno del suelo y subsuelo por el que circula el agua. Mientras que heterogeneidad mineral y el grado de estabilidad mineral dependen principalmente del tiempo de permanencia en el terreno. En este sentido, ocurren reacciones entre el agua y el terreno (incluyendo la matriz sólida, los gases, la materia orgánica y otras aguas intersticiales). A continuación, se presenta un análisis de los procesos actuantes en el ASQ y APQ.

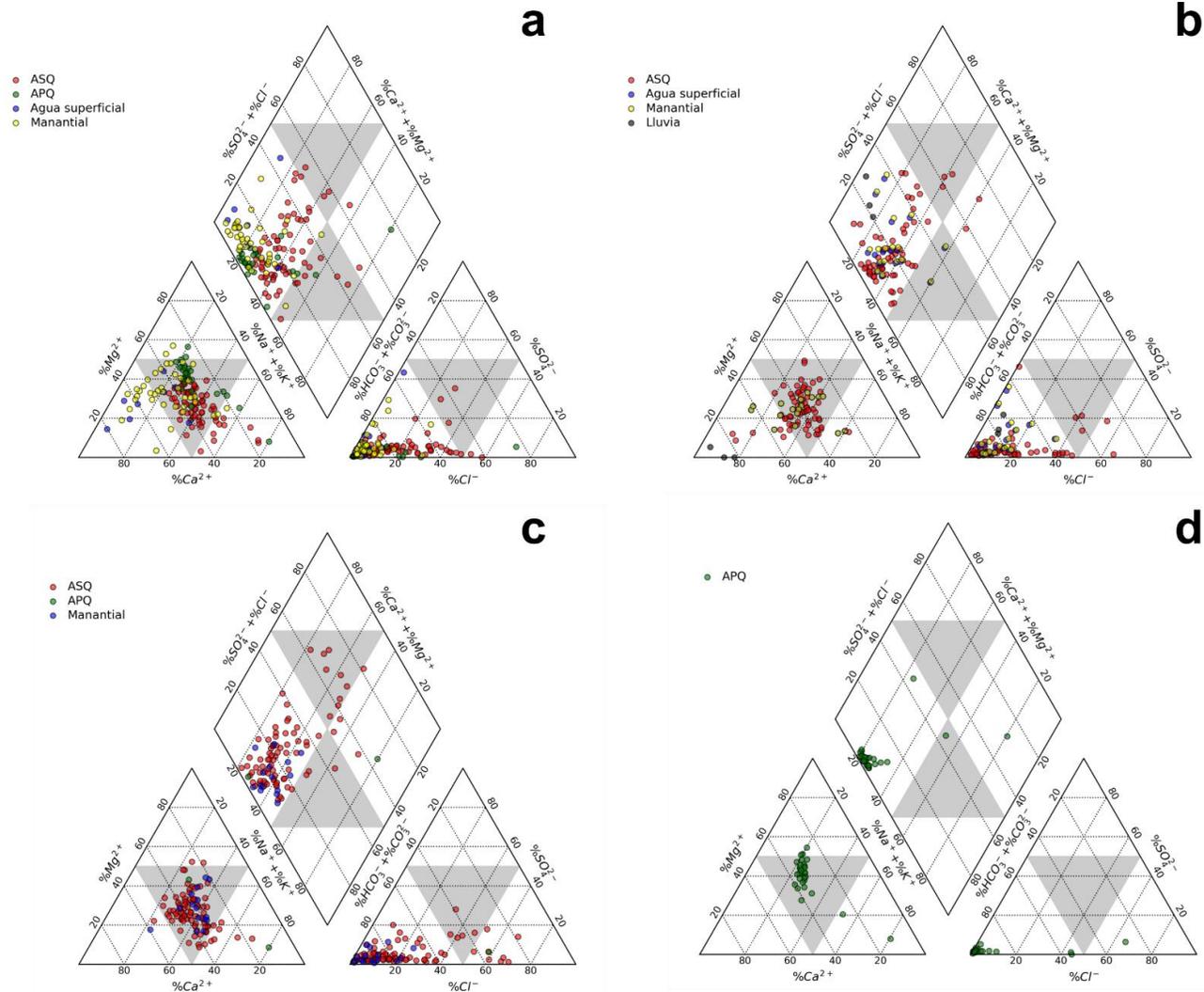


Figura 234. Diagramas Piper en el SAQ: Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018, c. 2019 y d. 2021.

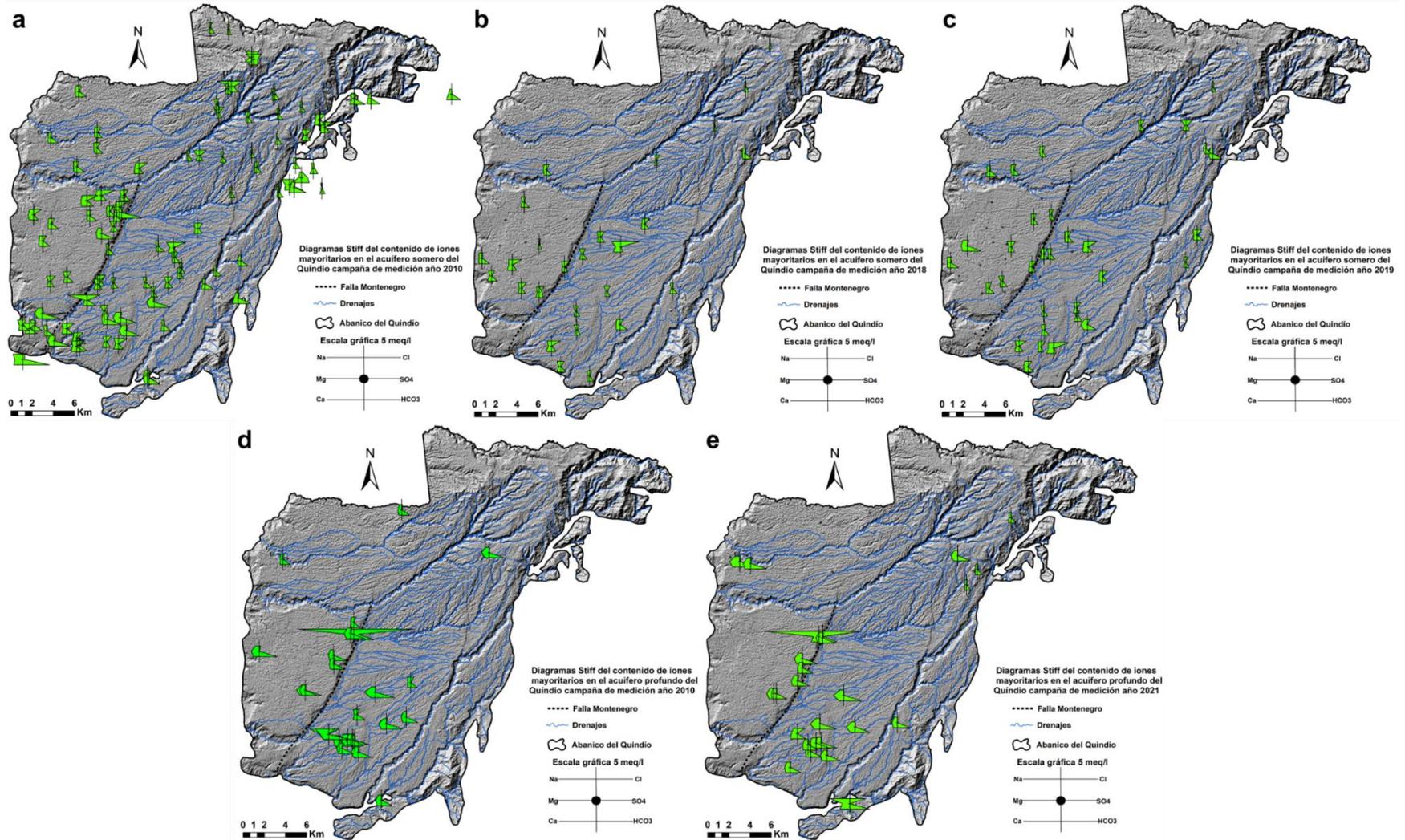


Figura 235. Diagramas Stiff de contenido de iones mayoritarios en el SAQ: acuífero somero del Quindío, Campaña de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019. Acuífero profundo del Quindío, Campaña de monitoreo: d. 2010 y e. 2021.

3.12.1. Matrices de Correlación de Pearson

Como se muestra en la Figura 236, Figura 237 y Figura 238, se implementaron matrices de correlación de Pearson para evaluar las interrelaciones entre los constituyentes químicos del agua subterránea en el ASQ, mientras que las matrices construidas para el APQ, se vislumbran en la Figura 239 y Figura 240.

Para tal fin se utilizaron los rangos clasificatorios del coeficiente de correlación de Pearson:

- 1.00: correlación positiva perfecta,
- $0.90 < r < 1.00$: correlación positiva fuerte,
- $0.50 < r < 0.90$: correlación positiva moderada,
- $0.10 < r < 0.50$: correlación positiva débil,
- $0.10 < r < -0.10$: correlación nula,
- $-0.10 < r < -0.50$: correlación negativa débil,
- $-0.50 < r < -0.90$: correlación negativa moderada,
- $-0.90 < r < -1.00$: correlación negativa fuerte,
- -1.00: correlación negativa perfecta.

De acuerdo con las matrices de correlación de Pearson en el ASQ, se encontró una correlación moderada positiva entre Ca y HCO_3 , Mg y HCO_3 , lo que podría ser un indicio de que el acuífero somero pudo haber experimentado varios procesos de interacción agua-roca, intercambio catiónico y meteorización de las rocas originales del acuífero, lo que hace que el HCO_3 como ion dominante en la química del agua subterránea en el ASQ. La correlación intermedia, y no fuerte, es posible de explicar debido a la dificultad de la preservación del HCO_3 para ser medido en laboratorio, mientras que junto con el Ca y Mg participan de numerosos sistemas naturales, dificultando alcanzar el equilibrio.

La correlación positiva entre Ca y Mg se debe a la disolución de silicatos. Los resultados muestran una correlación fuerte y moderada positiva entre CE y SDT, así como estos dos con Na y Cl, evidenciando el control de las dos primeras por el Na y Cl. Las correlaciones positivas entre NO_3 y Cl indican procesos de polución en el ASQ lo que revela que probablemente se han originado en una fuente diferente, probablemente antropogénica de origen son aguas residuales domésticas. También se presentó una relación alta significativa en Sr y Ca, lo que indica procesos de disolución de carbonatos.

En relación con el APQ se encontraron relaciones fuertes positivas como cabe de esperarse en aguas con pH inferiores a 8, el ion dominante es el HCO_3 y obtuvo una relación significativa con Ca y Mg, lo que indica procesos de disolución e hidrólisis de minerales silicatados. Por otro lado, se reconoce que la CE y SDT presenta una

correlación moderada a fuerte positiva con el Na, Ca, SO₄ y HCO₃, evidenciando los iones mayoritarios predominantes en este acuífero. El Na presentó correlaciones fuertes positivas con Cl, SO₄, PO₄, B y F, lo que indica que la disolución de silicatos y minerales volcanoclásticos, gobiernan la hidroquímica del APQ. Se observa el enriquecimiento de iones Na y decrecimiento de iones de Mg en profundidad, lo que alude a procesos de intercambio catiónico que se producen en las formaciones de carácter arcilloso.

Las relaciones entre Na y Cl son más significativas en profundidad en APQ, es posible que exista una mezcla de aguas salinas que pueden ser continentales antiguas o de origen marino por el aumento progresivo en profundidad de estos dos iones. Por otro lado, El NO₃ no presenta asociaciones con Cl en el APQ, lo que indica que hasta el momento no se presentan procesos de polución para este acuífero. Finalmente, en el APQ el NO₃ y pH se relacionan inversamente, revelando procesos de óxido-reducción.

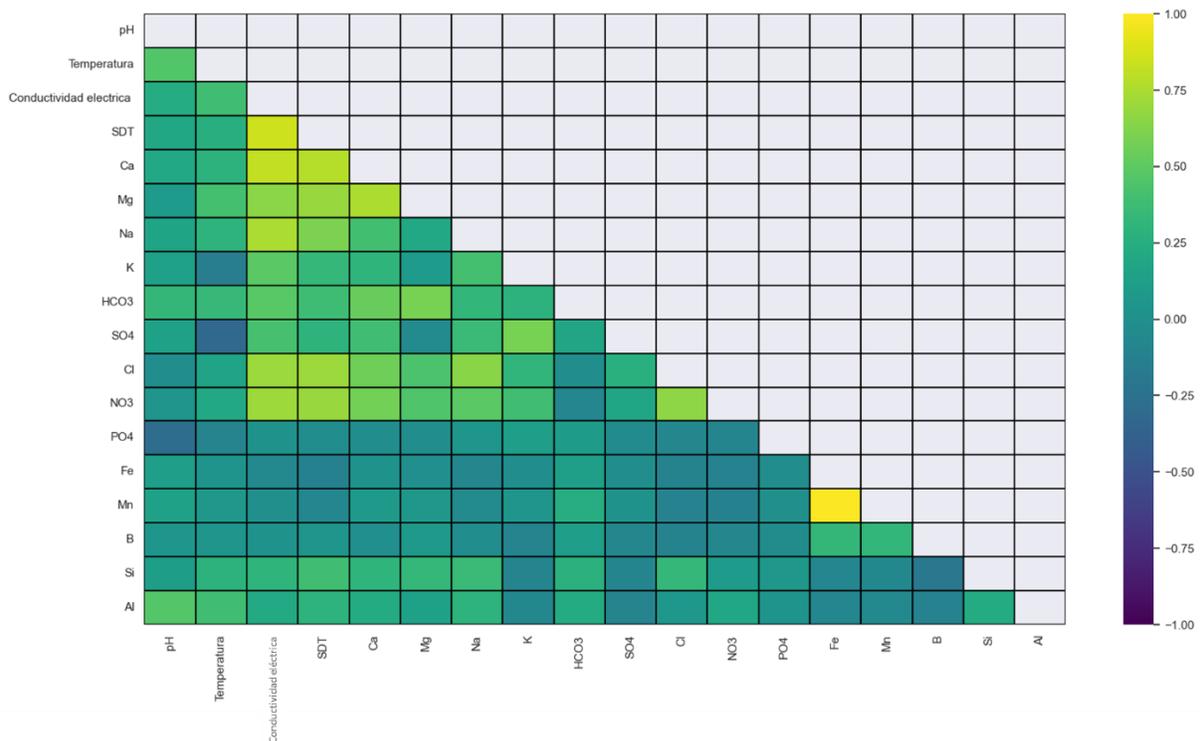


Figura 236. Matriz de correlación acuífero somero, campaña de monitoreo año 2010.

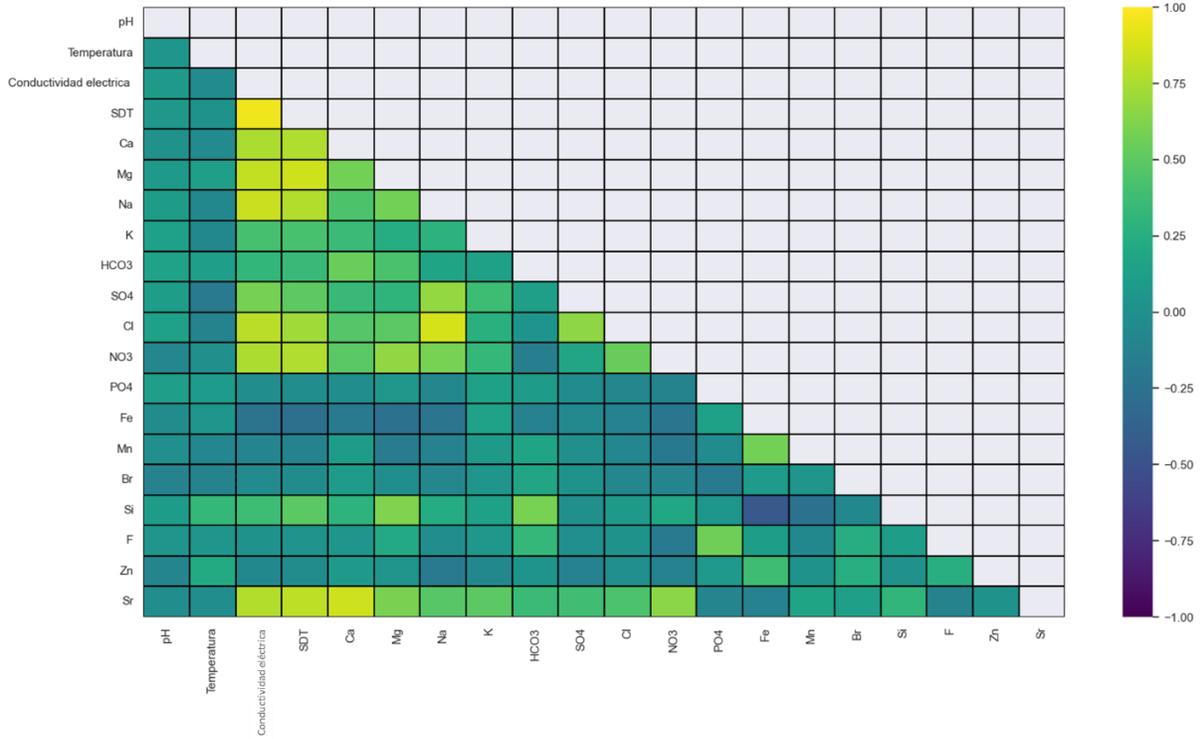


Figura 237. Matriz de correlación acuífero somero, campaña de monitoreo año 2018.

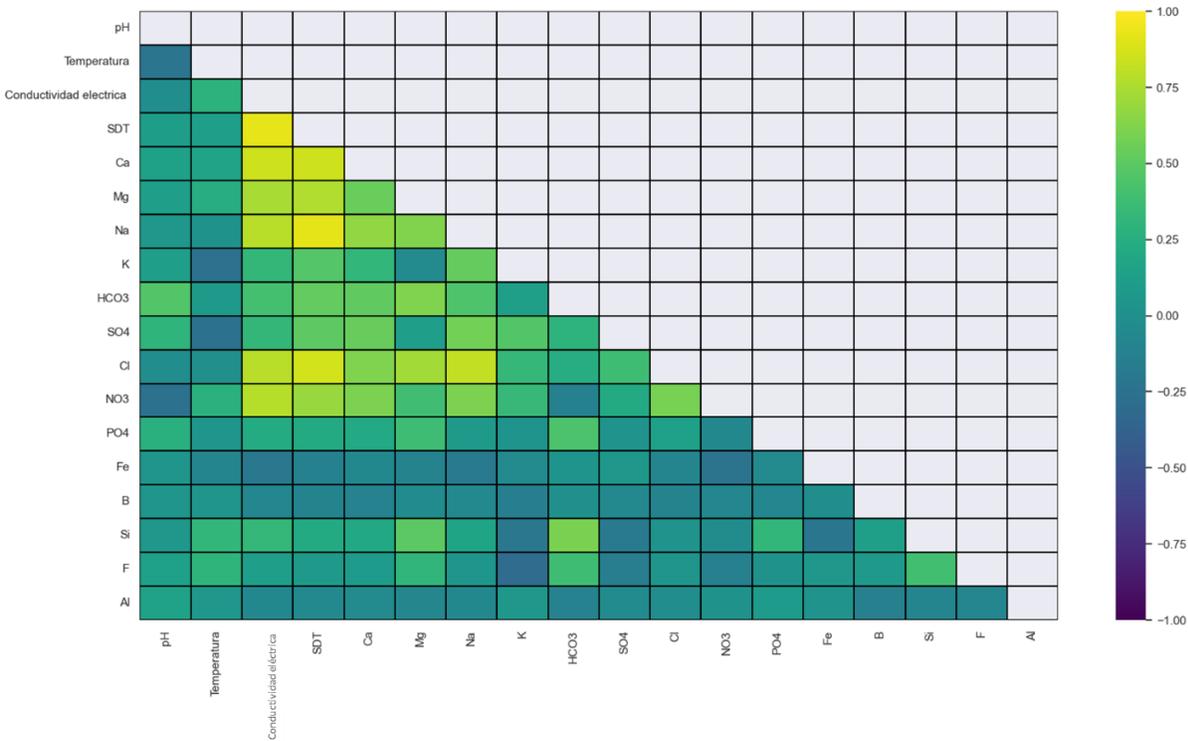


Figura 238. Matriz de correlación acuífero somero, campaña de monitoreo año 2019.

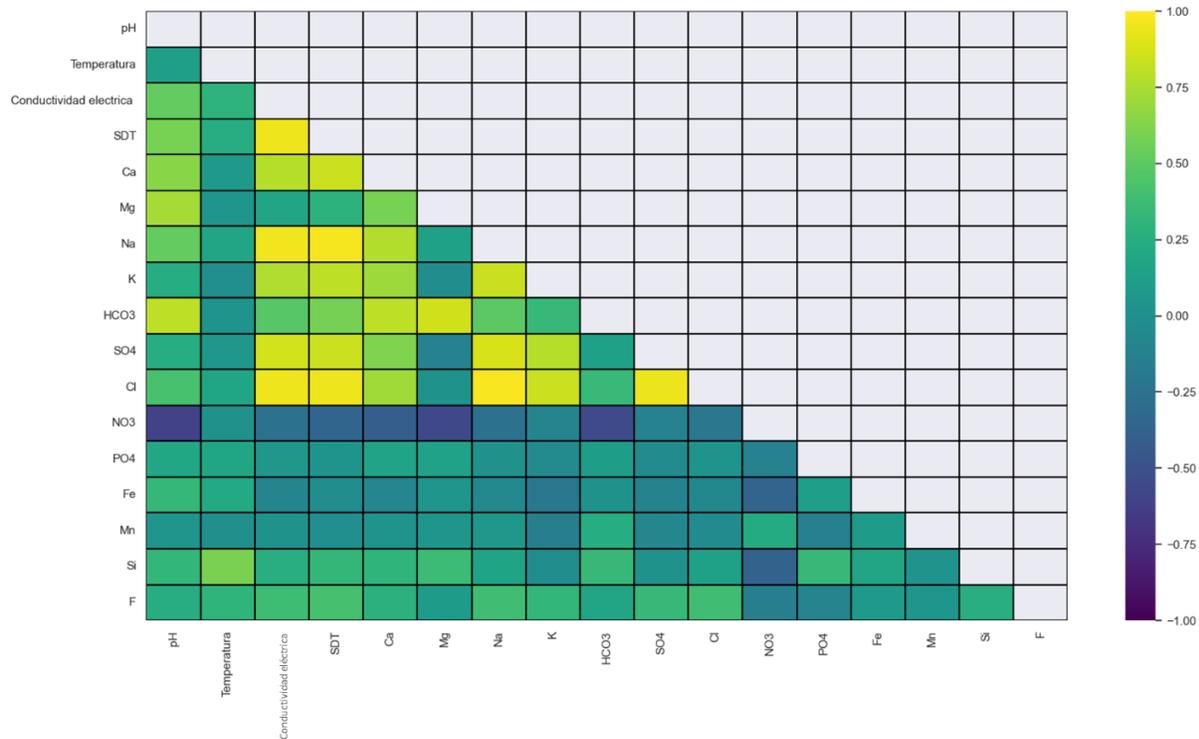


Figura 239. Matriz de correlación acuífero profundo, campaña de monitoreo año 2010.

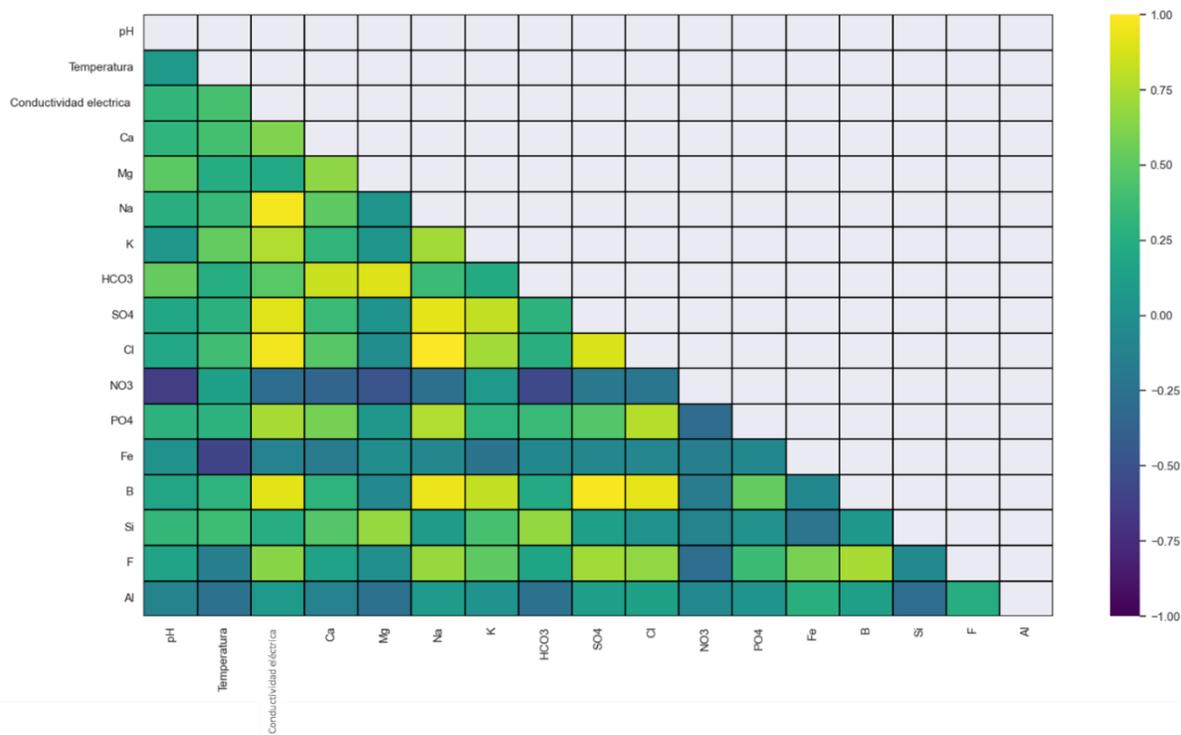


Figura 240. Matriz de correlación acuífero profundo, campaña de monitoreo año 2021.

3.12.2. Diagramas de Durov, Gibbs, Gaillardet y HFE

Con el fin de observar la dominancia de las facies hidrogeoquímicas y su relación con la composición litológica dentro del SAQ, se implementaron los diagramas de Durov (Figura 241), Gibbs (Figura 242), Gaillardet (Figura 243) y HFE (Figura 244).

En general el diagrama de Durov, muestra que los principales procesos hidroquímicos involucrados en la química del ASQ, manantiales y aguas superficiales es el predominio de aguas de baja salinidad con procesos de disolución simple y mezcla, mientras que en el APQ predominan los procesos de intercambio catiónico (Figura 241). Lo que confirma la dominancia de procesos hidrogeoquímicos sobre litologías con niveles arcillosos y su relación en el intercambio catiónico de Ca y/o Mg por Na.

De acuerdo con la Figura 242, las muestras obtenidas en las diferentes campañas de monitoreo se distribuyen principalmente en la parte central del diagrama (la zona de dominancia de la roca), lo que indica que la meteorización de la roca (interacción agua-roca) controla la evolución química de las aguas subterráneas freáticas y profundas dentro del SAQ. La mayoría de las gráficas están agrupadas en el diagrama con $Na/(Na+Ca)$ entre 0,1 y 0,7 y $Cl/(Cl+HCO_3)$ se mantiene 0.62 (Figura 242), lo que indica que el Ca y el HCO_3 son los componentes predominantes de las aguas subterráneas en el área de estudio. El campo de dominancia de la interacción agua-roca indica que la conexión entre la química de la roca y la química de las aguas se debe a procesos de interacción entre ambas a través de la circulación de aguas de baja salinidad en el medio poroso en el suelo y el ASQ, como también, pero en menor proporción de aguas salobres y dilución por aguas de lluvia dentro del SAQ. En la Figura 242, no se tuvo en cuenta el monitoreo en el año del 2021 en el APQ, debido a que en esta campaña no se midieron los sólidos disueltos totales.

Para analizar más a fondo los tipos de roca involucrados en los procesos de meteorización que impulsan las facies hidroquímicas dentro del SAQ, se implementaron los diagramas Gaillardet (Figura 243). De acuerdo con los resultados, la interacción agua-roca dentro del SAQ está dominada por procesos de disolución y meteorización de silicatos y conforme a la litología presente en el SAQ son feldespatos, cuarzo, vidrio volcánico, olivino, piroxenos, anfíboles y micas. Se observan tendencias de procesos de enriquecimiento de Ca/Na tanto por silicatos o bien por disolución de carbonatos fundamentalmente en los monitoreos realizados en manantiales y aguas superficiales. Esto se debe a la relativa facilidad de la liberación de Ca de minerales lábiles.

En la Figura 244, se presenta los diagramas HFE para cada campaña de monitoreo. El diagrama HFE proporciona una descripción general de los principales procesos hidroquímicos que ocurren en los acuíferos que componen al SAQ. Las facies

hidroquímicas se determinan en función de los porcentajes de los dos aniones principales y de los dos cationes principales, calculados como la proporción de los aniones y cationes totales, respectivamente (en meq/L). Cada facie en el diagrama HFE se nombra de acuerdo con el anión y el catión dominante y el cual excede el 50% del total de cationes y aniones, respectivamente. La facie principal se define por tener más del 50% del anión y más del 50% del anión que la caracteriza. El diagrama HFE traza cuatro posibles facies heterópicas: NaCl, CaCl, NaHCO₃ y CaHCO₃. Cada facies heterópica también representa otras cuatro facies que son similares a ella. Por ejemplo, la facies heterópica CaCl incluye el siguiente grupo de facies isópicas: CaCl, Mezcla CaCl, Mezcla ClCa y Mezcla Ca Mezcla Cl. De esta forma refleja dieciséis facies isópicas y cuatro heterópicas. Los dos iones secundarios restantes (catión y anión, generalmente Mg y SO₄) no están representados en el diagrama, pero se toman en consideración como parte de los respectivos totales de cationes y aniones utilizados para calcular los porcentajes de iones.

Se identificaron varias facies hidroquímicas en el SAQ a través del diagrama HFE, en la mayoría de los puntos de extracción de agua subterránea en el ASQ predominan aguas tipo Ca-HCO₃/SO₄ y Na-HCO₃/SO₄, pero se observan sobre este acuífero en algunos puntos procesos de mezcla con aguas tipo Na-Cl y Ca-Cl. En este gráfico se observan que hay puntos de extracción de agua subterránea en el ASQ en las casillas 8 y 12, pero hay que aclarar que no es por procesos de intrusión salina sino por contaminación con agua residuales domésticas debido a la presencia de NO₃. En el APQ predomina la facie hidroquímica Na-HCO₃/SO₄, mientras que en los pozos más profundos localizados sobre este acuífero presentan facies Na-Cl (Figura 244). Finalmente, en los manantiales y los puntos de agua superficial evaluados se observa que predominan la facie Ca-HCO₃/SO₄ y en algunos puntos se observan aguas tipo Na-HCO₃/SO₄. A escala general la facie hidroquímica predominante en el SAQ son aguas Ca-HCO₃/SO₄.

En resumen, en la Figura 241, Figura 242, Figura 243 y Figura 244 se presenta una evidencia clara que entre los factores naturales que afectan la química del agua subterránea en el SAQ predomina la interacción agua-roca principalmente por los procesos de disolución de silicatos y otros minerales lábiles como carbonatos y vidrio volcánico. De esta forma, en el ASQ predominan aguas tipo Ca-HCO₃/SO₄ con evidencias de procesos de intercambio catiónico a lo largo ASQ. Mientras que en el APQ se reconoce un enriquecimiento de sales por circulación en acuíferos profundos y aguas tipo NaCl en profundidad, por lo tanto, en el APQ predomina la facie hidroquímica Na-HCO₃/SO₄.

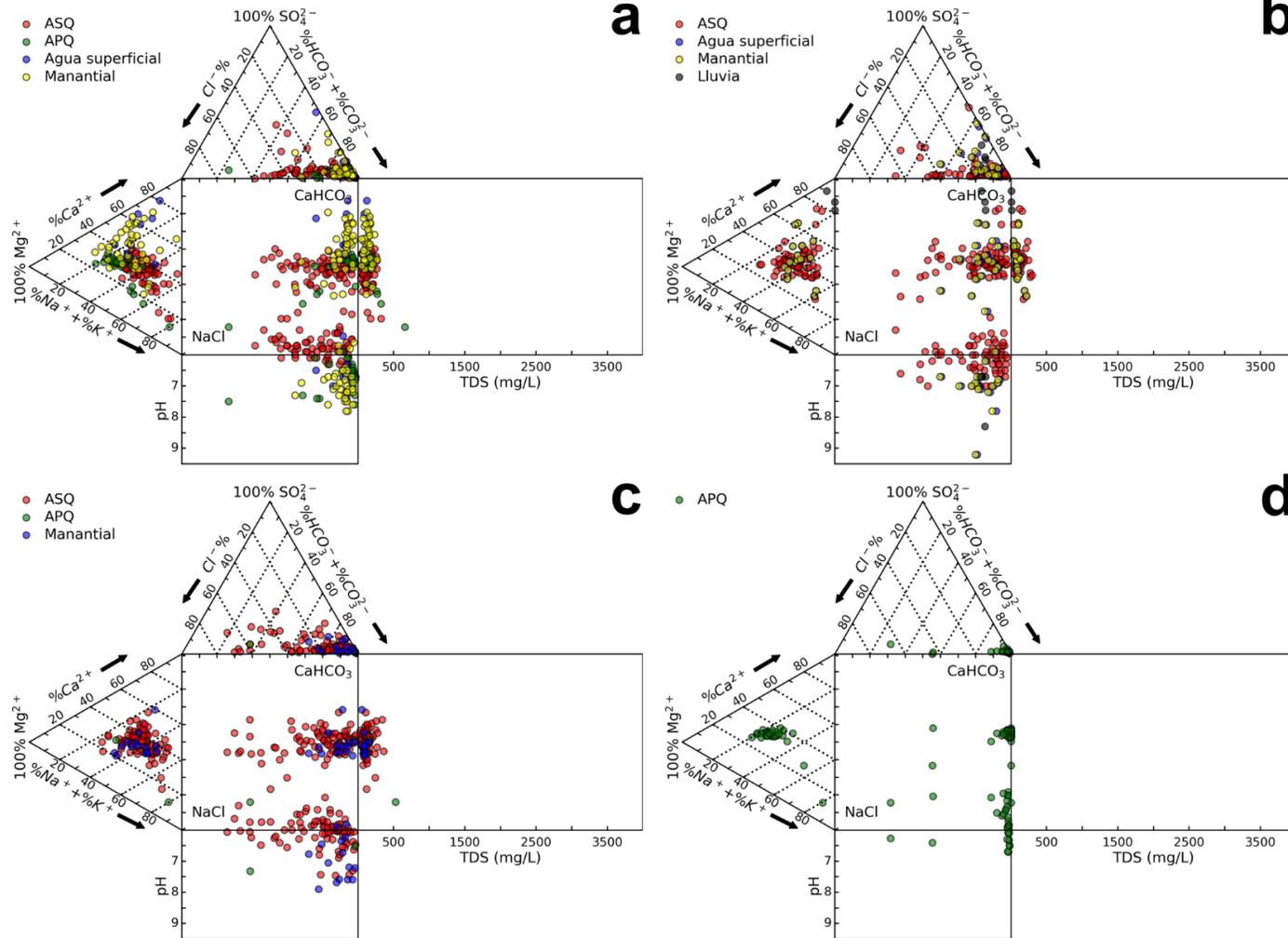


Figura 241. Diagramas de Durov, campañas de monitoreo: a. 2010, b. 2018, c. 2019 y d. 2021

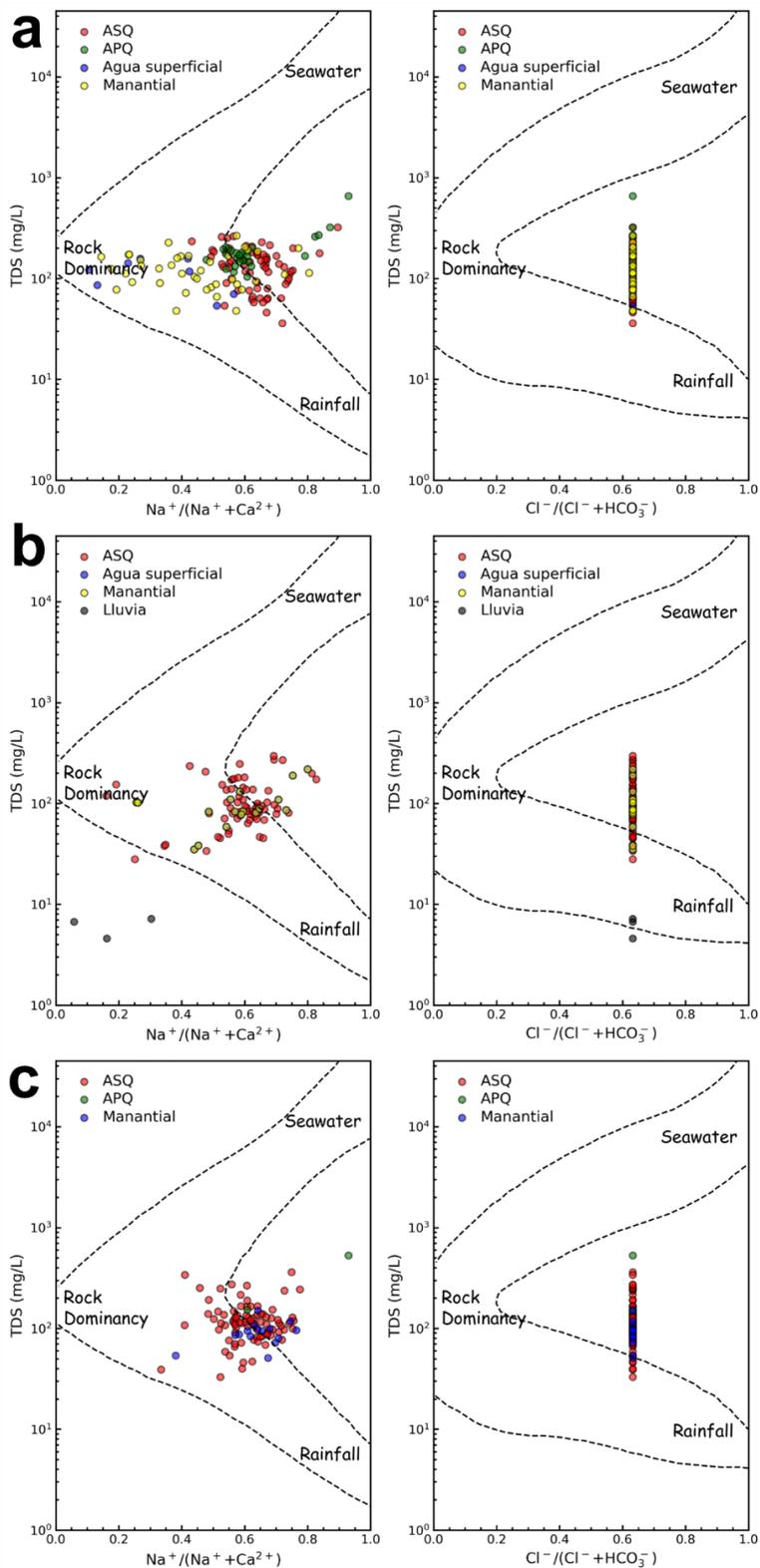


Figura 242. Diagramas de Gibbs, campañas de monitoreo: a. 2010, b. 2018 y c. 2019.

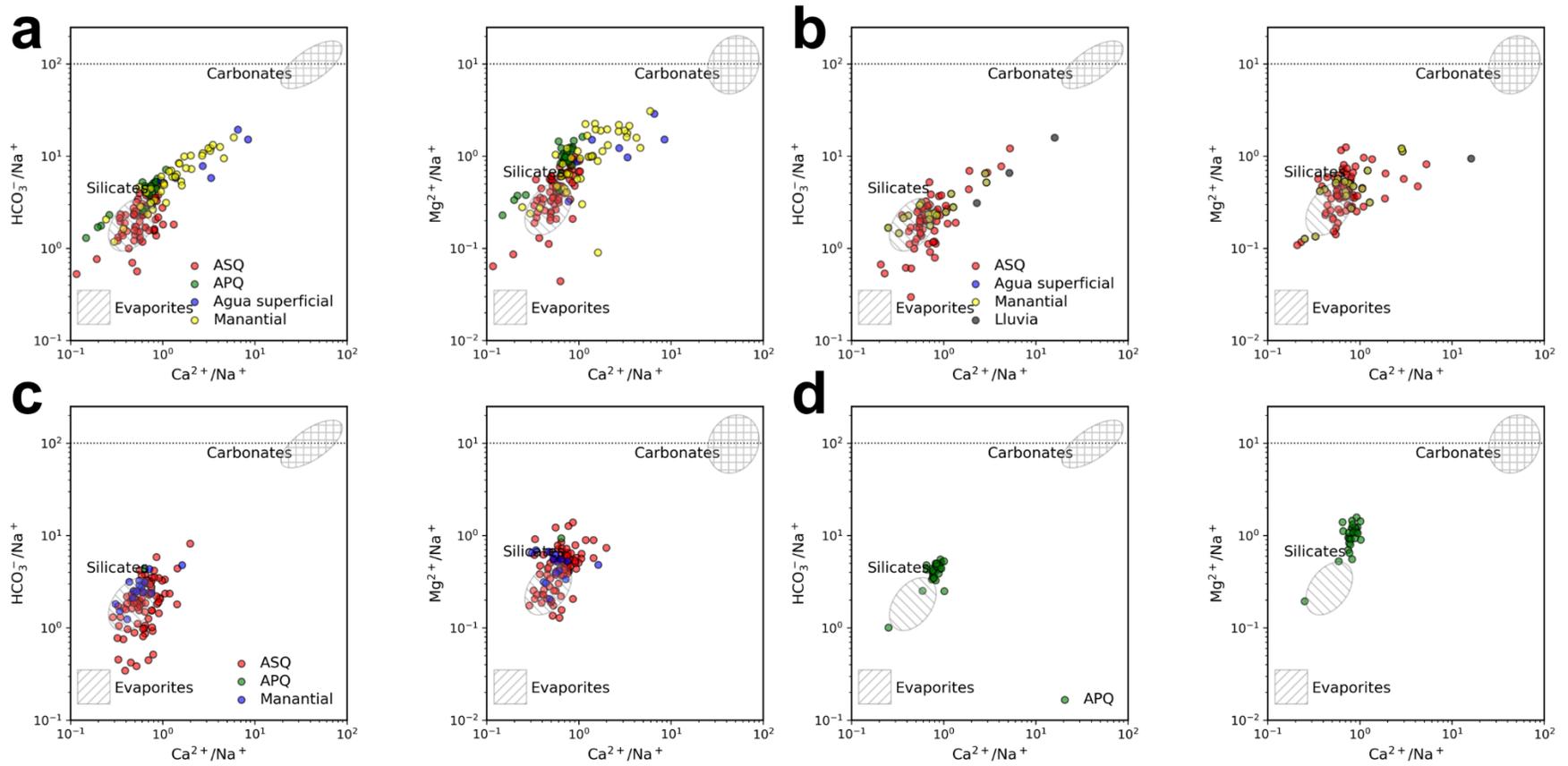


Figura 243. Diagramas Gaillardet, campañas de monitoreo: a. 2010, b. 2018, c. 2019 y d. 2021.

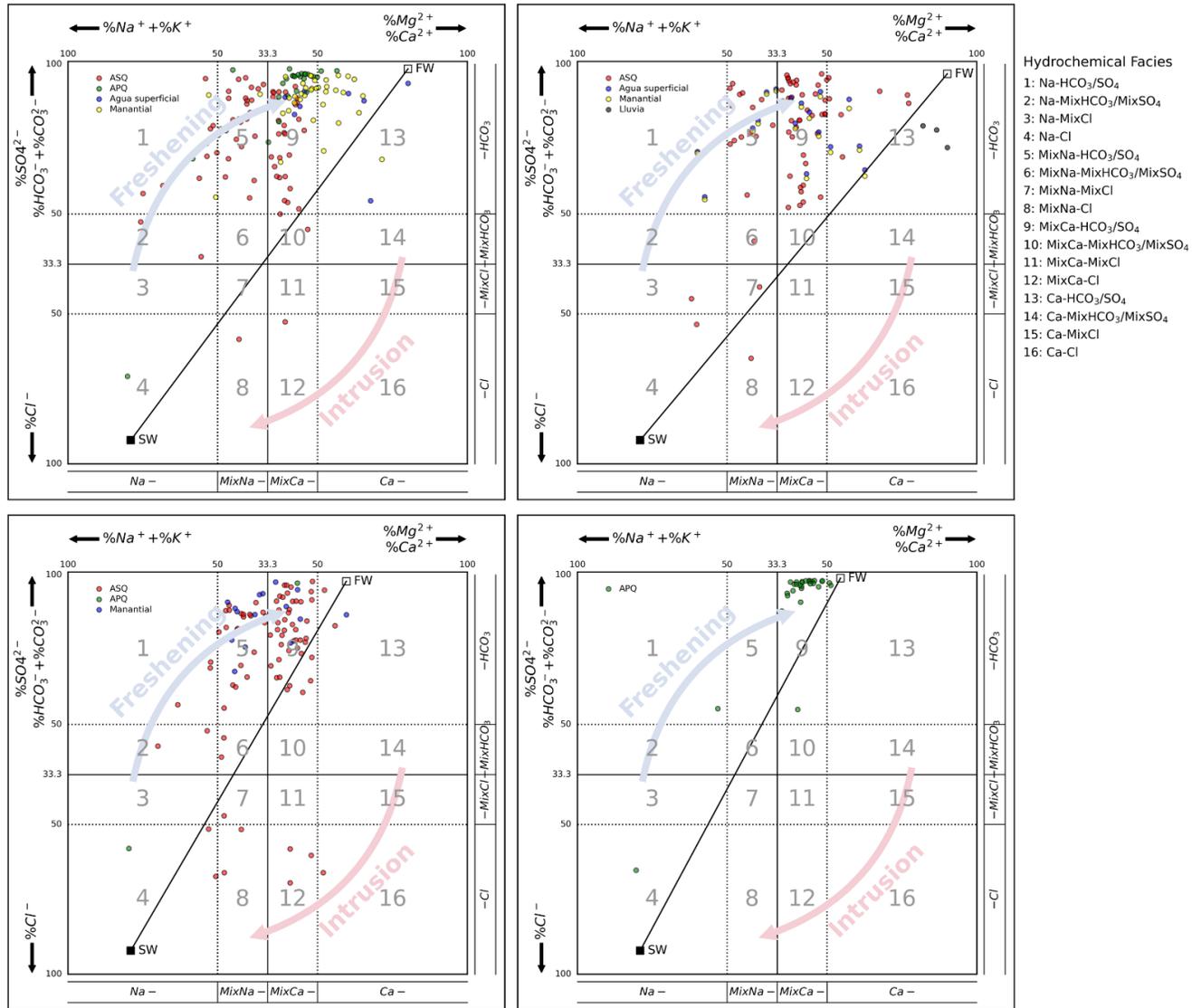


Figura 244. Diagramas HFE, campañas de monitoreo: a. 2010, b. 2018, c. 2019 y d. 2021.

3.12.3. Regresiones Lineales

A continuación, se presentan una descripción general de los principales procesos hidroquímicos que ocurren en el SAQ, así como las relaciones existentes entre el Na y el SiO_2 , la relación entre el exceso de Na respecto a Cl (Na/Cl) y el Cl, tanto para el ASQ (Figura 245) como para el APQ (Figura 246). La Figura 245 incluye los censos del ASQ de los años 2010, 2018 y 2019 (subfiguras a/b, c/d y d/e), mientras que la Figura 246, incluye los censos del APQ de los años 2010 y 2021 (subfiguras a/b y c/d).

La relación Na/Cl (meq/L) permite reconocer que los valores de exceso de Na (Na/Cl >1) requieren un aporte de Na que no se puede explicar por el aporte del mineral halita (NaCl). En este sentido se reconoce que gran parte de las muestras de pozos y de manantiales del ASQ de los censos considerados presentan un exceso de Na/Cl hasta valores próximos a 30 (Figura 245b, d y f) indicando contenidos muy bajos de Cl y contenidos bajos a intermedios de Na producto del aporte por disolución mineral de minerales con abundante Na como son silicatos calcoalcalinos como feldespatos, plagioclasas y vidrio volcánico entre otros. En cambio, las muestras con contenidos cercanos a 1 se relacionan a aportes naturales o antrópicos de estos elementos. En cambio, al considerar las muestras disponibles del APQ (Figura 246) de los censos de 2010 (Figura 246b) y del censo de 2021 (Figura 246d) se reconocen valores de la relación Na/Cl un valor máximo cercano a 42 para el censo 2010, mientras que para el censo de 2021 se reconoce un valor máximo próximo a 110. Estos valores elevados pueden explicarse principalmente debido al enriquecimiento de Na, en aguas de formación especialmente de acuíferos volcánico-clásticos con predominio de meteorización abundante de silicatos calcoalcalinos como feldespatos y plagioclasas ricas en Na.

Por otro lado, los procesos de meteorización de silicatos frecuentemente incorporan nuevos minerales producto de la precipitación de argilominerales a las formaciones. En este sentido, quizá una de las reacciones más frecuentes corresponde a la disolución de la albita por la formación de montmorillonita. Esta reacción incorpora solutos al agua liberando 1 mol de Na y 0,5 mol de SiO_2 por cada 1,5 mol de albita disuelta. La línea de equilibrio de estos productos disueltos se graficó para las muestras de agua del ASQ (Figura 245a, c, e) y del APQ (Figura 246a y c).

Es posible observar en estos gráficos gran parte de las muestras del ASQ por debajo de la curva, reconociendo a las muestras de pozos con los valores más cercanos a la reacción química mencionada y con los valores máximos de Na reconocidos en el ASQ. No obstante, algunas muestras de pozos y manantiales del censo del año 2018 superan esta curva indicando la presencia de otras fuentes de Na adicionales a la reacción mencionada.

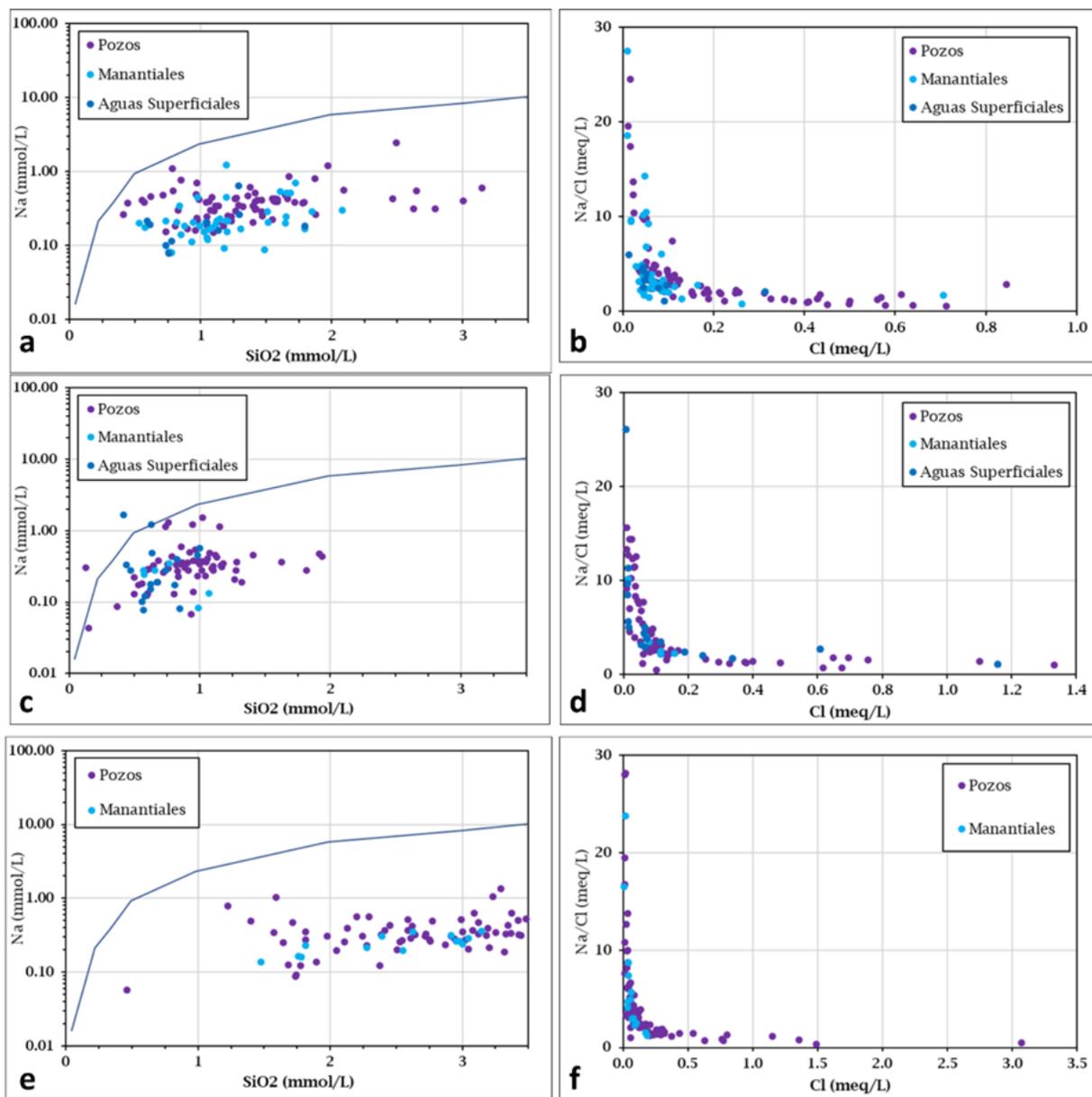


Figura 245. Diagramas bivariados de las aguas de ASQ de las campañas de monitoreo 2010 (a y b), 2018 (c y d) y 2019 (e y f) indicando la relación entre Na y SiO₂ (a, c y e) y la relación entre Na/Cl y Cl (b, d y f).

En el caso del APQ, se observa una mayor estabilidad en el contenido de Na, aunque se reconocen valores máximos posiblemente a fuentes minerales localizadas (Figura 246a y c). En cambio, el contenido de SiO₂, presenta valores que duplican el contenido de las aguas del ASQ. Estos contenidos pueden explicarse debido al enriquecimiento adicional de fases minerales altamente reactivas de SiO₂ como por ejemplo el vidrio volcánico.

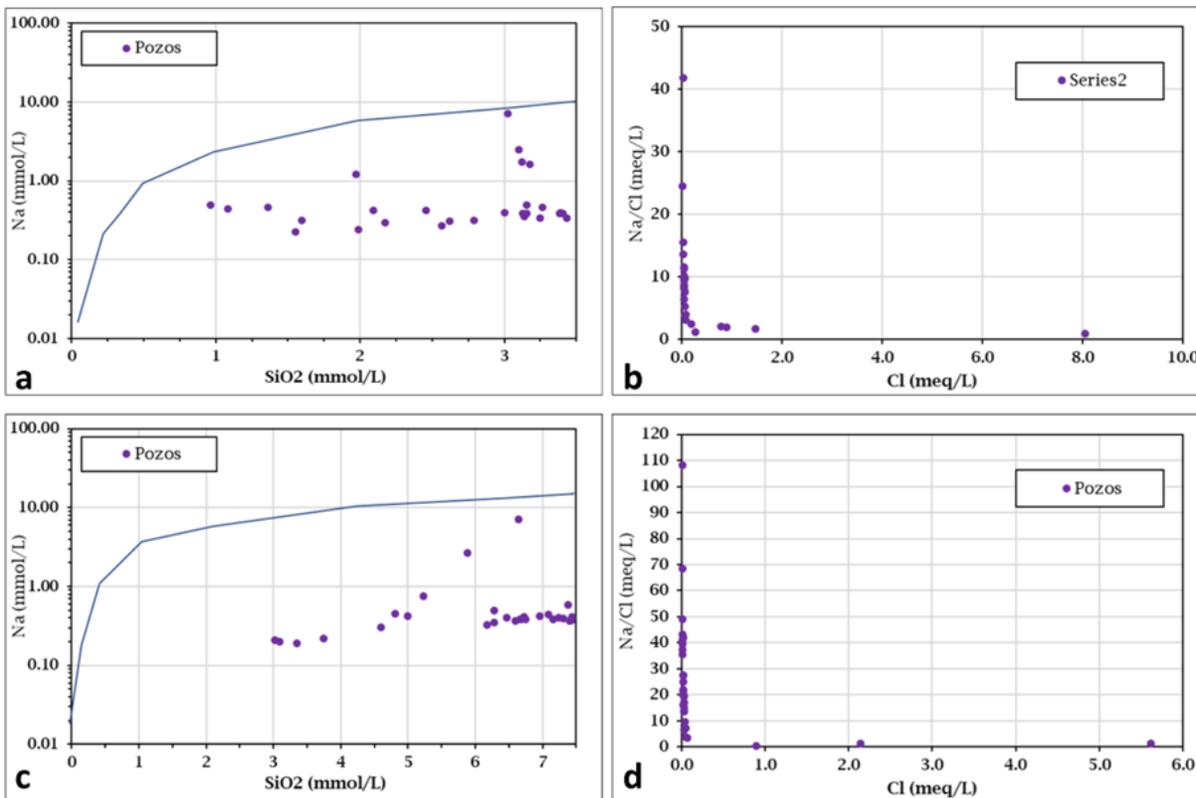


Figura 246. Diagramas bivariados de las aguas de APQ de las campañas de monitoreo 2010 (a y b) y 2021 (c y d) indicando la relación entre Na y SiO₂ (a y c) y la relación entre Na/Cl y Cl (b y d).

3.13. Isotopía

La siguiente sección sintetiza los avances más notorios en el conocimiento de las aguas subterráneas del SAQ, logrados por la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) en los últimos cinco años de labores con relación al tema de isotópico.

Por lo tanto, en esta sección primero, se abordará la red de isótopos en la precipitación (QNIP), posteriormente se presentan resultados de isótopos estables en las aguas subterráneas, seguidamente se aborda de manera concisa el tema de la contaminación con nitratos y finalmente se determina la datación de las aguas subterráneas dentro del SAQ.

3.13.1. Isótopos estables en la precipitación del Abanico

En febrero de 2018, la estación CRQ se convirtió en la pionera de una ambiciosa red de monitoreo de isótopos, marcando el comienzo de una nueva era en la investigación ambiental. Solo un mes después, su capacidad se amplió notablemente con la activación de cuatro estaciones adicionales, lo que representó un avance significativo en la

capacidad de monitoreo a gran escala. A pesar de enfrentar retos logísticos que han provocado breves interrupciones en su funcionamiento, la red ha logrado mantener una operatividad efectiva y constante. Hasta noviembre de 2021, la estación CRQ ha jugado un papel crucial dentro de este esfuerzo colectivo, enviando un total de 205 muestras al renombrado Laboratorio de Isótopos Ambientales de la Universidad de Waterloo, en Canadá, para el análisis detallado de deuterio y oxígeno-18. En la Figura 247, se muestra la localización de las cinco estaciones.

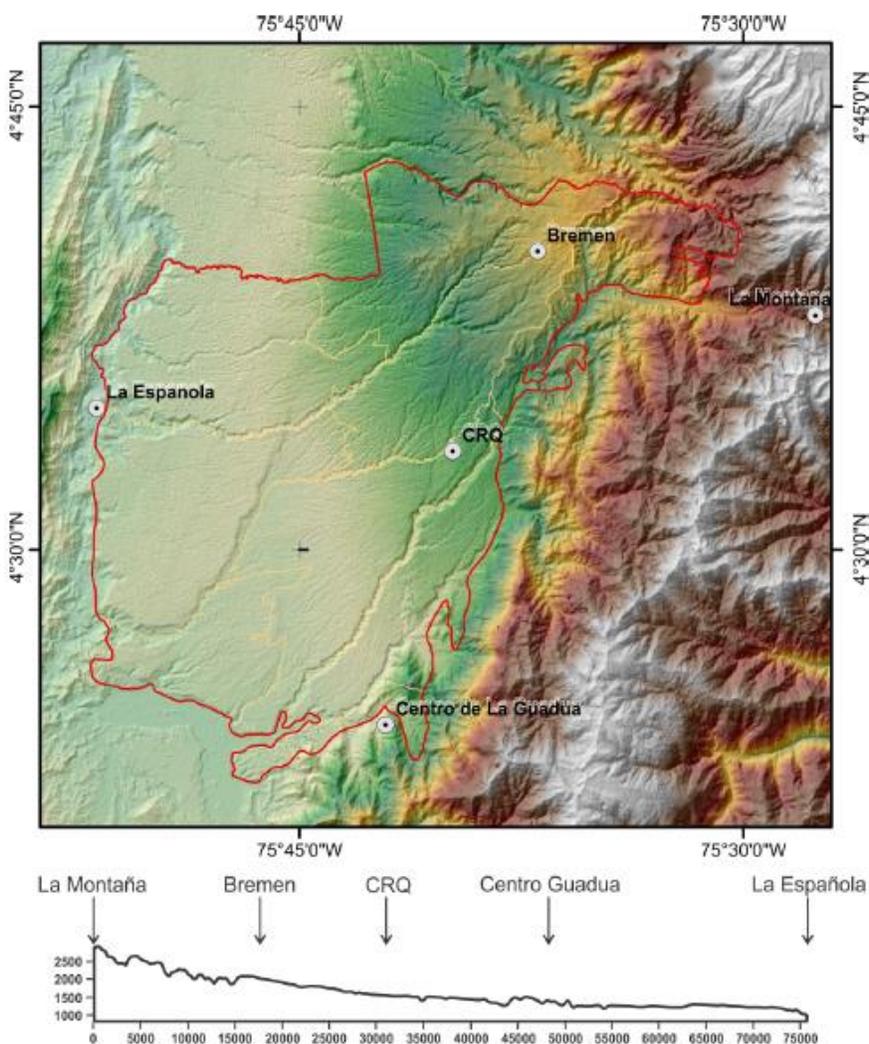


Figura 247. Localización de la red de monitoreo de Isótopos de la Precipitación (QNIP).

La Figura 248, contiene la recta meteórica regional para la precipitación en el Abanico (3), la cual es un promedio de las rectas que se pueden estimar para cada estación. Esta recta es muy similar a la recta meteórica global. La única diferencia es que el intercepto de deuterio (12.02%) es ligeramente superior al promedio mundial (10%). Esta diferencia indica que en promedio la lluvia local cuenta con un componente importante de reciclaje

hídrico; es decir, que parte de la humedad que condensa y genera las lluvias sobre el Abanico proviene de evapotranspiración sobre Colombia o sobre el subcontinente suramericano.

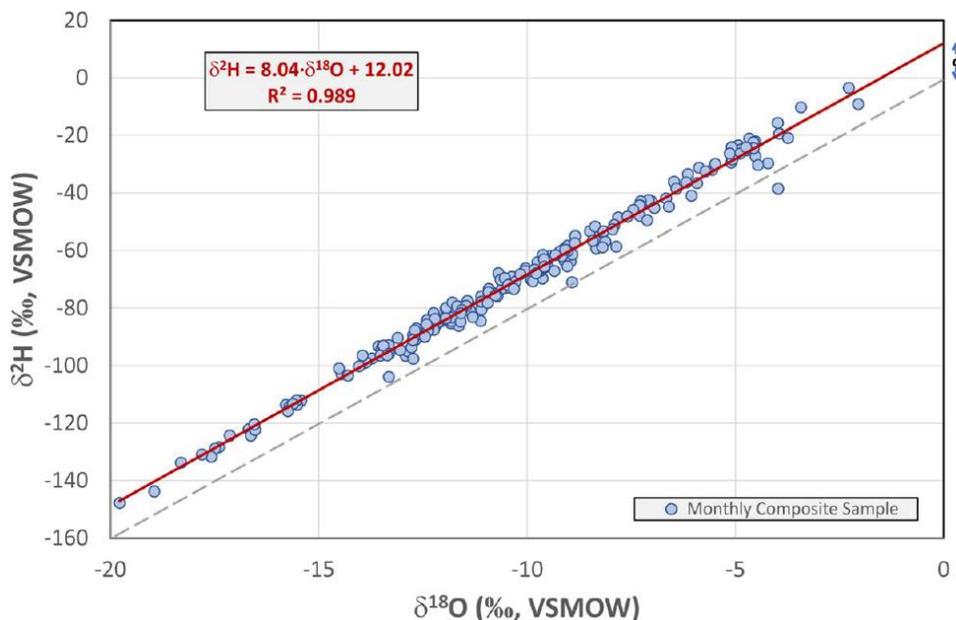


Figura 248. Recta meteórica del SAQ, construida a partir de 205 mediciones.

Un rasgo llamativo de los datos es la amplia variación en la composición isotópica. Este comportamiento es notable si se tiene en cuenta que los datos aquí abordados corresponden a promedios mensuales ya que el método de muestreo es compuesto mensual. Para el oxígeno-18 el rango de datos tiene un ancho de 17.73%, mientras que para el deuterio el rango es de 144.2%. En regiones templadas como Europa y América del Norte, las variaciones isotópicas están gobernadas por diferencias estacionales en la temperatura del aire. En el trópico, los promedios mensuales de la temperatura del aire rara vez varían más de dos grados Celsius en cada año hidrológico. Por tal motivo, las variaciones observadas no se pueden explicar si sólo se tiene en cuenta las oscilaciones en la temperatura del aire. Aspectos como la intensidad y cantidad de lluvia juegan un papel protagónico en la composición isotópica de la lluvia en el trópico. Sin embargo, el principal motor que impulsa la variación isotópica de la precipitación es el cambio estacional del origen de la humedad que alimenta las lluvias sobre el Abanico.

La Figura 249, representa las series de datos construidas hasta septiembre de 2021 para el oxígeno-18. Una gráfica similar (no mostrada en el presente texto) se obtiene para el deuterio debido a la fuerte correlación lineal entre ambos isótopos. En esta gráfica se ha sobrepuesto una serie con valores promedio (curva color gris). El rasgo más sobresaliente es que todas las estaciones siguen el mismo patrón general. Este comportamiento sugiere que el factor que impulsa la variación isotópica temporal la

precipitación está a una escala sinóptica o al menos a escala meso. Las pequeñas diferencias entre las estaciones deben ser el resultado de condiciones locales.

Las series de datos indican con claridad la existencia de una variación estacional (variación intra anual) en la composición isotópica de la lluvia. Las concentraciones más empobrecidas en isótopos pesados se observan en el mes de mayo. En el año 2020 las concentraciones más negativas se observaron en junio. Las mayores concentraciones se observaron en el mes de febrero en los años 2018 y 2021, en enero en el año 2019 y en marzo en 2020. La estacionalidad isotópica también incluye la presencia de mínimos y máximos intermedios. En octubre y noviembre tiene lugar un descenso en la concentración isotópica, mientras que un incremento se observa alrededor de agosto.

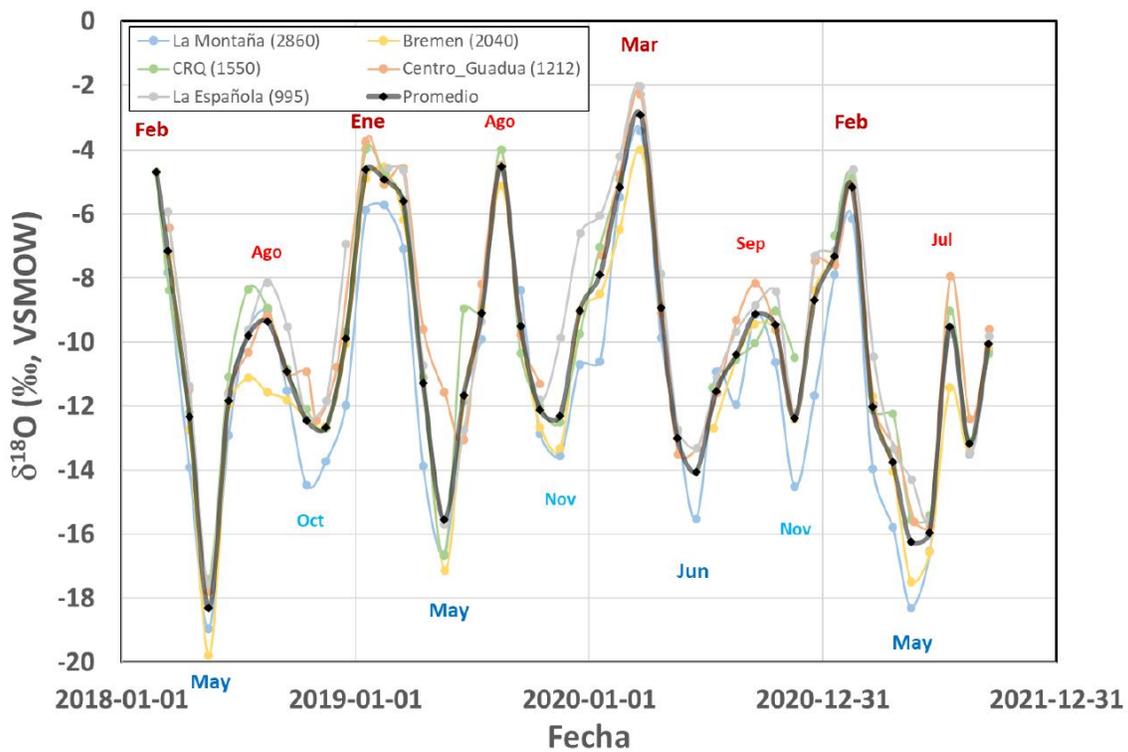


Figura 249. Variación mensual del oxígeno-18 en la precipitación para el periodo (2018-2021) en los 5 puntos de monitoreo.

La Figura 250, muestra los valores por mes para el oxígeno-18 (arriba), deuterio (centro) y exceso de deuterio (abajo). En esas gráficas es muy claro la oscilación estacional de las tres variables. La línea negra gruesa en cada caja es la mediana. La oscilación periódica mostrada en estas gráficas permite hacer las siguientes observaciones:

- En el primer trimestre del año, la principal fuente de humedad está ubicada en el mar Caribe y en el Atlántico Tropical. Debido a que esta fuente de humedad está cerca del área de estudio, es de esperar que las lluvias que se originan en el Caribe estén relativamente enriquecidas.

- En el segundo trimestre, se espera una fuerte contribución de la cuenca del Orinoco y el Atlántico Tropical. Sin embargo, las concentraciones tan empobrecidas en isótopos y el bajo valor del exceso de deuterio no respaldan esta hipótesis. Una explicación alterna es la presencia de humedad proveniente del Pacífico Subtropical (Sakamoto et al., 2011). Esta fuente podría proporcionar agua empobrecida y, en parte, explicaría la disminución sustancial en la composición isotópica de la precipitación observada en mayo y junio.
- En el tercer trimestre se espera una importante contribución del Atlántico Sur Tropical a través de la cuenca del Amazonas. El papel de la cuenca del Amazonas en el reciclaje de agua es bien conocido. Si este fenómeno no existiera, cabría esperar aguas muy empobrecidas debido al efecto continental. Sin embargo, la presencia de humedad reciclada tiene dos consecuencias: por un lado, puede inyectar agua relativamente enriquecida a la atmósfera. Por otro lado, aumenta el exceso de deuterio. Estas afirmaciones son consistentes con la tendencia observada en este estudio.
- En el cuarto trimestre continúa el aporte de la cuenca del Amazonas. También lo hace la fuente del Pacífico, que puede provenir de latitudes más altas en el hemisferio sur. La disminución en el contenido isotópico detectado en octubre y noviembre puede resultar del efecto cantidad ya que ambos meses son los más lluviosos en el área de estudio. Sin embargo, se recuerda que las concentraciones isotópicas más negativas aparecen en mayo.

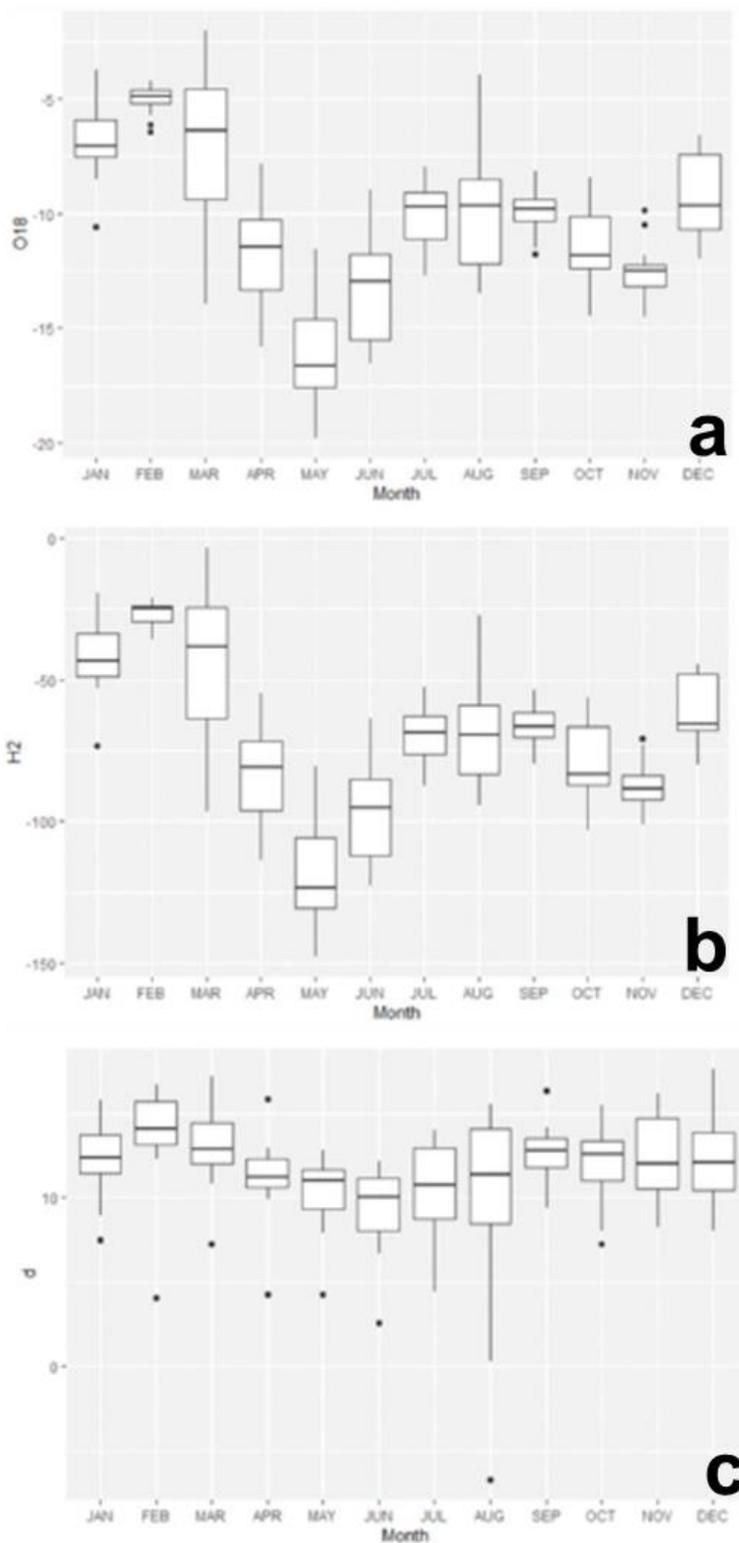


Figura 250. Promedio mensual en la precipitación para el periodo (2018-2021) de: a oxígeno-18, b. deuterio y c. exceso d deuterio.

En la Figura 251, se presenta el exceso de deuterio para cada estación (puntos negros), obtenido de la composición isotópica ponderada por cantidad de lluvia. Los puntos blancos corresponden a valores interpolados por Terzer et al. (2021) a escala global y regional mediante técnicas híbridas avanzadas de interpolación (puntos blancos).

Los valores de Terzer et al. (2021) son promedios multianuales ajustados a rasgos geográficos regionales. Si el Abanico no tuviese condiciones especiales, uno podría esperar que la tendencia en el exceso de deuterio de la lluvia local (curva azul) fuera un reflejo de los valores interpolados (curva roja). En este orden de ideas, las estaciones La Montaña, CRQ y La Española se comportan según lo esperado. En contraste, El Centro de la Guadua y sobre todo Bremen se alejan del comportamiento de las otras tres estaciones.

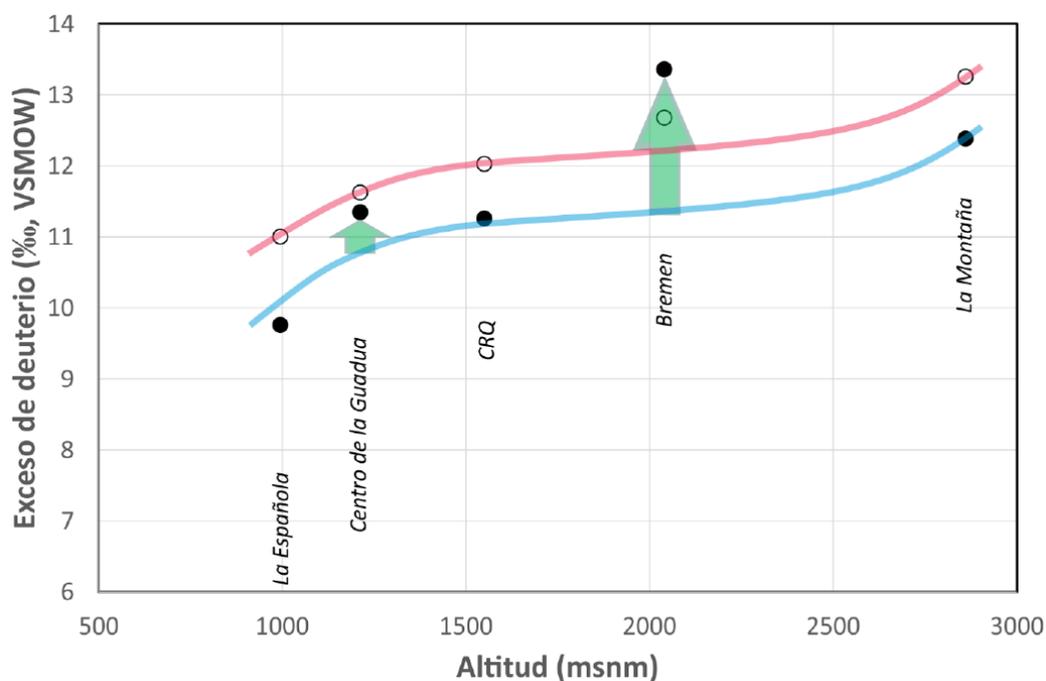


Figura 251. Comparación exceso de deuterio: valores interpolados por Terzer (círculos blancos) y promedios de la red QNIP (círculos negros).

Una posible explicación del incremento en el exceso de deuterio en la estación Bremen es la presencia de humedad generada por evapotranspiración. El caso mejor documentado es el de la cuenca amazónica (Salati et al., 1979; Gat y Matsui, 1991). La estación Bremen se ubica dentro de la reserva natural Bremen - La Popa. Este es un relictos de bosque muy húmedo montano y premontano. De hecho, en esta parte del departamento del Quindío la cantidad de lluvia es sensiblemente superior al resto del Abanico. Como hipótesis de trabajo se propone que la evapotranspiración que tiene lugar en la reserva Bremen - La Popa causa que el exceso de deuterio de la lluvia local

sea alto en comparación con la precipitación en zonas aledañas. Lo anterior pone de relieve la importancia de este bosque en el balance hídrico de la región.

Para la estación Centro de la Guadua se sugiere una condición similar a la presentada por la estación Bremen, aunque en una magnitud mucho menor. En imágenes satelitales se observa unos pequeños parches de vegetación arbórea alrededor de esta estación, pero por el momento se desconoce si esa vegetación es lo suficientemente densa para dar lugar a un enriquecimiento del exceso de deuterio en la lluvia local por aporte de la evapotranspiración a la humedad.

La Figura 252 muestra los promedios isotópicos ponderados por lluvia para las cinco estaciones. Como marco referencia, también aparecen algunos resultados individuales de las muestras compuestas mensuales (sin diferenciar) así como la recta meteórica regional (promedio de las cinco rectas locales). Las etiquetas de los puntos indican el código de la estación y su cota.

El "efecto altitud" ampliamente aceptado en la literatura isotópica indica que el contenido isotópico de la precipitación producida a mayor altitud tiende a estar más empobrecido en isótopos pesados que el contenido de las lluvias generadas a menores altitudes en la misma región. Es decir, existe una relación negativa entre la altitud y el contenido isotópico de la lluvia en una misma región.

En la Figura 252, los promedios ponderados más cercanos a la recta meteórica regional siguen el "efecto altitud": La estación L2 (2860 msnm) ostenta el promedio más empobrecido mientras que la estación L5 (1212 msnm) exhibe el promedio más enriquecido, estando la estación L1 (1550 msnm) en un sitio intermedio. Los dos promedios ponderados más alejados de la recta meteórica regional (Bremen o L3 y La Española o L4) no siguen el "efecto altitud". Si se tiene en cuenta la cota de ambas estaciones, el promedio de L3 debería estar situado entre las estaciones L2 y L1, y el promedio de la estación L4 debería ser el más enriquecido de la red QNIP, como lo sugieren las flechas en la Figura 252. Como las dos flechas apuntan en sentidos opuestos, uno puede especular que ambas estaciones están localmente afectadas por procesos distintos.

En el caso de la estación Bremen (L3), ya se insinuó que en este sitio hay un importante proceso de evapotranspiración generado por el relicto boscoso que conforma la reserva Bremen - La Popa. La evapotranspiración incide en dos maneras: por un lado, inyecta a la atmósfera vapor de agua relativamente enriquecido en isótopos pesados y, por otro, hace que la precipitación formada por esa humedad tenga un exceso de deuterio relativamente elevado. Ambos rasgos se observan en el punto L3 de la Figura 252.

El caso de la estación La Española (L4) es más complicado de explicar. El exceso de deuterio se calcula con la ecuación $d = \delta H^2 - 8 \cdot O^{18}$ donde δH^2 y δO^{18} son los promedios ponderados del deuterio y oxígeno-18, respectivamente. Para la estación L4, el exceso de deuterio es 10.1%. La pendiente ligeramente por debajo de 8.0 (7.91) de la recta meteórica local para la estación L4 sugiere que hay alguna afectación por evaporación secundaria. Esa evaporación reduce el exceso de deuterio. Eso explica por qué la estación L4 ostenta el promedio ponderado con el menor exceso de deuterio en la red QNIP. Sin embargo, esa evaporación secundaria también enriquece isotópicamente la lluvia. Pero en la figura 18 se ve claramente que el promedio de L4 está más empobrecido que el promedio de L5, esta última estación 217 metros por encima de la estación L4.

Por el momento, no se tiene una hipótesis fuerte para explicar el empobrecimiento observado en la lluvia captada por el colector L4. Al norte del área de estudio, en el municipio de Pereira, se observa una tendencia similar con una estación de la red isotópica de la empresa Aguas & Aguas de Pereira situada a 990 msnm. Al comparar esa estación con otra situada a 1534 msnm (Planta de Tratamiento), también se detecta un empobrecimiento isotópico en la lluvia ocurrida en la cota menor. Al parecer, hay una inversión en el gradiente isotópico altitudinal en la región. La causa todavía no ha sido identificada.

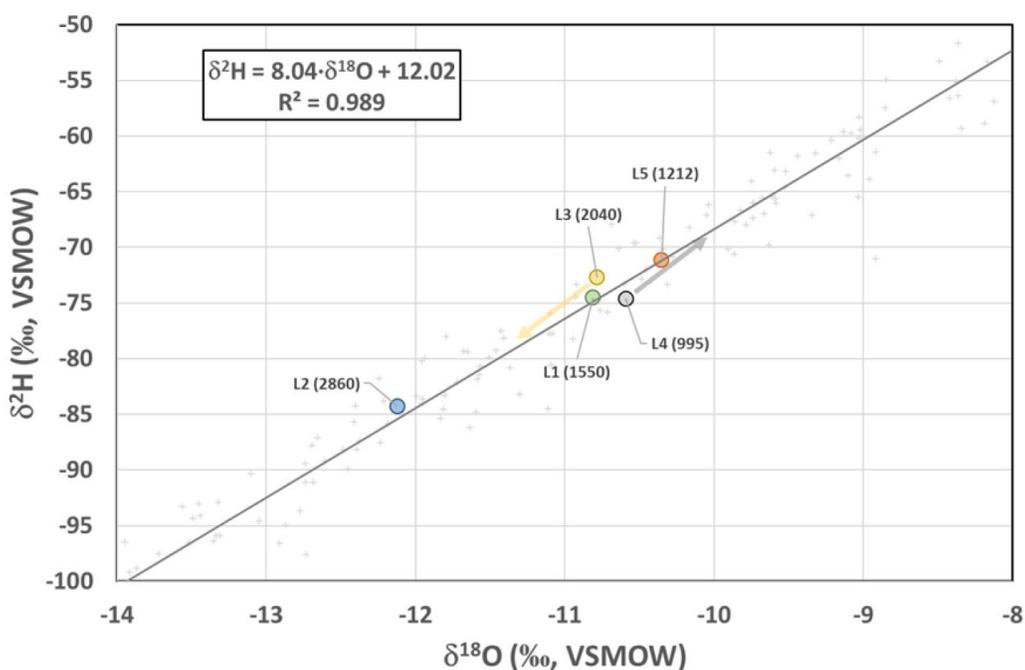


Figura 252. Concentraciones isotópicas ponderadas por cantidad de lluvia. Datos hasta septiembre de 2021.

3.13.2. Isótopos estables en el agua subterránea del abanico

La Tabla 104, contiene la estadística descriptiva de las variables oxígeno-18, deuterio y exceso de deuterio para pozos (acuífero profundo) y aljibes (acuífero somero), datos de la campaña de 2021. La Figura 253 presenta los diagramas respectivos de cajas y bigotes.

Tabla 104. Estadística descriptiva isótopos estables en el agua subterránea. Campaña 2021.

	Oxígeno-18		Deuterio		Exceso de deuterio	
	Ac. Profundo	Ac. Somero	Ac. Profundo	Ac. Somero	Ac. Profundo	Ac. Somero
Media	-10.53	-10.43	-73.3	-72.7	11.0	10.7
Mediana	-10.50	-10.37	-73.2	-71.6	11.0	10.5
Desviación Estándar	0.24	0.72	1.7	5.4	1.5	1.5
Varianza	0.06	0.52	2.9	29.2	2.3	2.4
Curtosis	-0.77	1.30	-0.4	1.6	-0.2	-0.9
Asimetría	-0.05	-0.94	-0.4	-1.2	0.0	0.4
Rango	0.94	2.51	6.5	17.9	6.1	4.6
Mínimo	-11.02	-11.98	-76.7	-84.7	8.2	8.9
Máximo	-10.08	-9.46	-70.2	-66.8	14.2	13.5
Conteo	30	10	30	10	30	10

Como se observa en la Figura 253, las variaciones isotópicas en el acuífero profundo son menores que en el somero. Este comportamiento es análogo al de los parámetros físico-químicos. En términos isotópicos, se puede argumentar que las condiciones ambientales predominantes en la zona de recarga son más homogéneas para el acuífero profundo que para el somero.

El segundo aspecto sobresaliente en la Figura 253, es que tanto la mediana como el promedio de las concentraciones isotópicas en los pozos es inferior al de los aljibes. En otras palabras, los valores centrales sugieren que en general las aguas del acuífero profundo son ligeramente más empobrecidas que el agua del acuífero somero. Si lo anterior se traduce a términos de altitud promedio de recarga, se puede afirmar que el promedio de altitud de la zona de recarga del acuífero profundo es mayor que el promedio de altitud de la zona de recarga del acuífero somero. Recuérdese que la tendencia general es que la concentración isotópica de la lluvia decrezca con la altitud.

Como se observa en la Figura 253, los valores centrales para el exceso de deuterio (mediana y promedio) son mayores en el acuífero profundo que en el somero. Lo anterior está acorde con la sugerencia de que la altitud promedio de la zona de recarga del

acuífero profundo es mayor que la del acuífero somero. La tendencia general es que el exceso de deuterio de la lluvia aumente con la altitud.

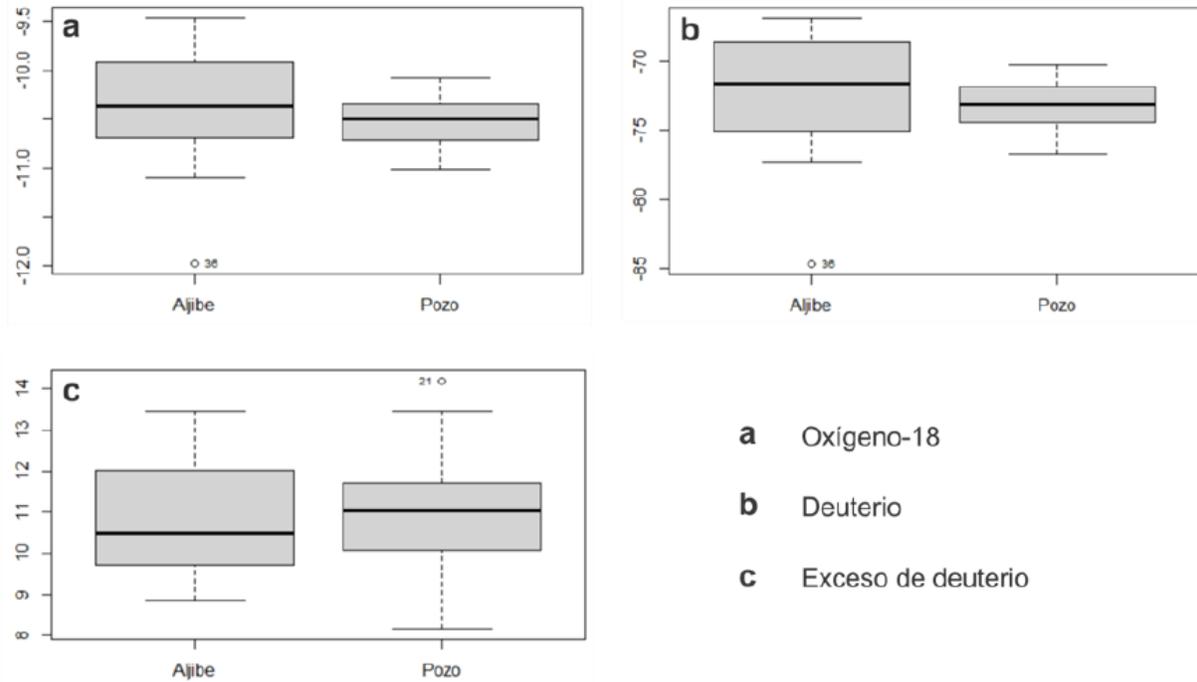


Figura 253. Diagramas cajas y bigotes isótopos estables en el agua subterránea. Valores en ‰ VSMOW.

En la Figura 254, se presenta la gráfica oxígeno-18 vs deuterio. Los cuadrados azules representan a los aljibes y los diamantes negros a los pozos. En la gráfica se incluye de nuevo los promedios ponderados por cantidad de lluvia de las cinco estaciones de la red QNIP. También aparecen algunas muestras compuestas mensuales de lluvia (cruces grises). La recta gris es la recta meteórica regional. La recta discontinua verde es una recta con pendiente ocho (8) que pasa justo por el promedio ponderado de la estación Bremen (L3). Es decir, el intercepto de esta recta coincide con el exceso de deuterio calculado para el promedio ponderado de la estación L3 (13.6‰). De forma análoga, la recta discontinua roja es una recta de pendiente ocho (8) que pasa justo por el promedio ponderado de la estación La Española (L4). El exceso de deuterio para el promedio ponderado de esta estación es 10.1‰.

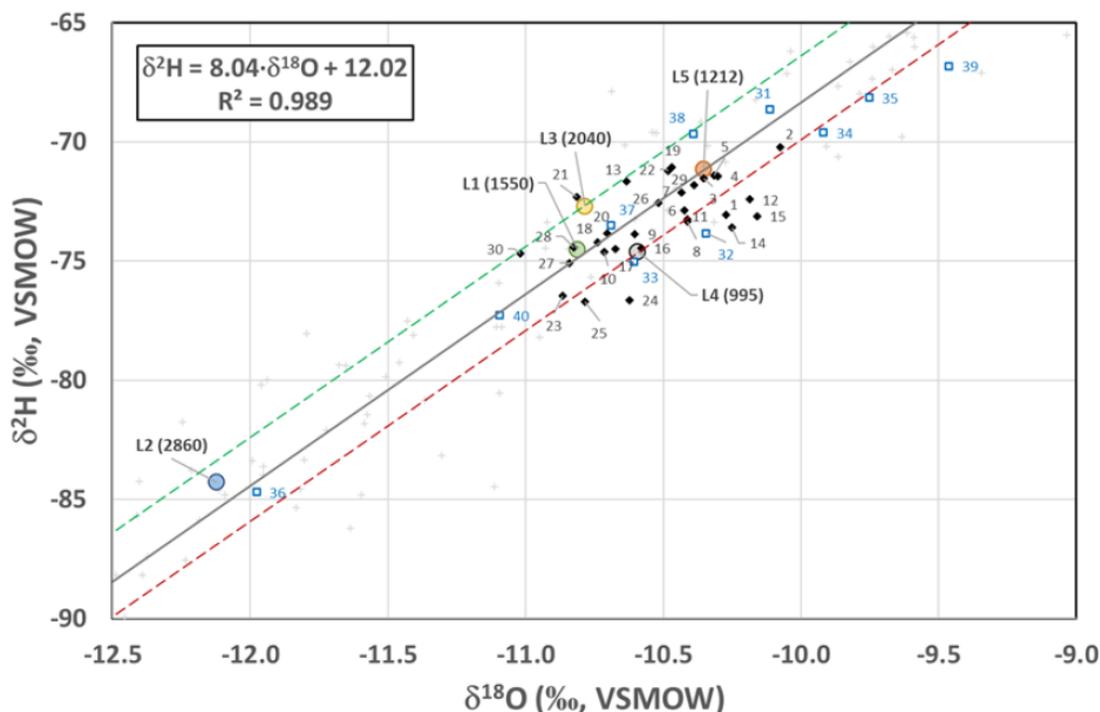


Figura 254. Oxígeno-18 vs deuterio. Agua subterránea. Campaña 2021.

A partir de la Figura 254, se puede plantear las siguientes observaciones:

- Los aljibes están más dispersos que los pozos: las condiciones ambientales imperantes en los procesos de recarga son más homogéneas en el acuífero profundo que en el somero.
- Todos los puntos al costado derecho de la recta roja indican que durante el proceso de recarga hubo una evaporación importante del agua que estaba en proceso de infiltración, siendo la evaporación más intensa entre más alejado esté el punto de agua de la recta roja.
- Los puntos ubicados entre las rectas roja y verde, y entre los puntos L1 y L5 posiblemente corresponden a aguas recargadas dentro del rango altitudinal 1212 - 1550 msnm. Sin embargo, las anomalías de las estaciones L3 y L4 abren la posibilidad de que el rango altitudinal se extienda a 995 - 2040 msnm. Con estas anomalías, no es posible obtener respuestas unívocas al tema de las cotas promedio de recarga de las aguas subterráneas dentro de dicho rango.
- Tres pozos y un aljibe captan aguas recargadas por encima de la cota 2040 msnm.

La Figura 255, muestra el exceso de deuterio únicamente para el acuífero confinado. Es evidente que existe una zonificación para este parámetro. Los mayores valores están al noreste del área de estudio, mientras que los menores se localizan al suroeste y oeste. Esta zonificación sugiere que la zona de recarga del acuífero confinado no se limita únicamente al contacto de las formaciones del Cretácico con el Abanico en la vertiente

oeste de la Cordillera Central. Esa zona de contacto tiene una mayor altitud que la cota promedio del Abanico. Si toda la recarga proviniera de esa zona, se debería esperar valores en el exceso de deuterio más homogéneos y sensiblemente superiores a lo observado para el acuífero somero. En cambio, se detecta una disminución paulatina de este parámetro en dirección a las zonas adyacentes al río La Vieja. La red QNIP indica que al oeste de la zona de estudio la lluvia local presenta un menor exceso de deuterio, fruto de evaporación secundaria. Por el momento, se especula que parte de la recarga del acuífero profundo procede del acuífero somero (recarga vertical), de tal forma que hacia el oeste el porcentaje de mezcla entre el agua recargada en la zona alta y el agua que se infiltra sobre el Abanico aumenta en el acuífero confinado. Esta hipótesis está en sintonía con concentraciones relativamente altas de nitrato en algunos pozos. El nitrato en esos pozos vendría del acuífero somero que está por encima del acuífero profundo.

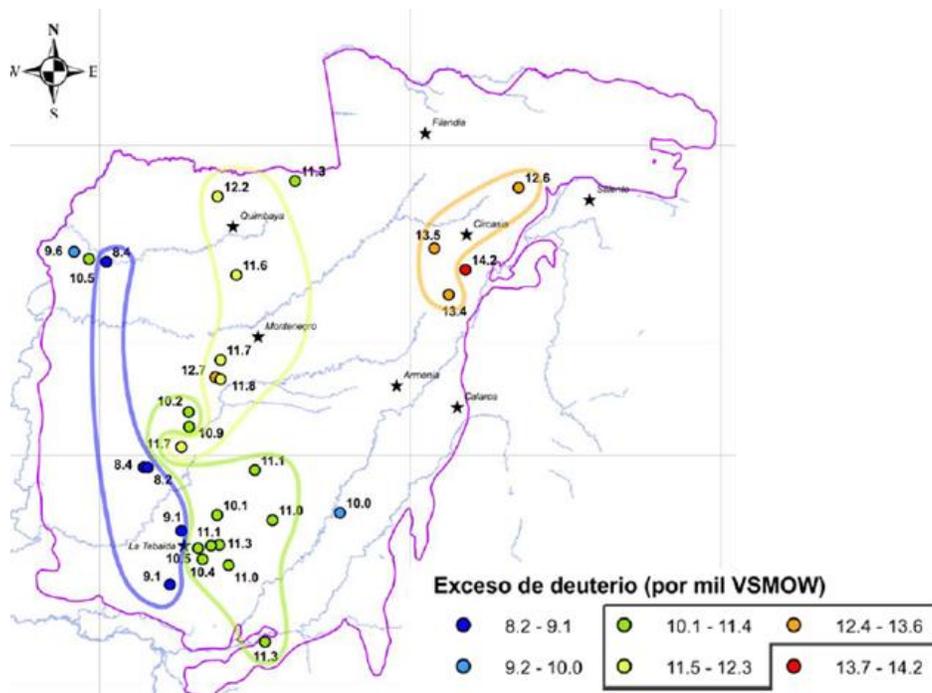


Figura 255. Zonificación exceso de deuterio. Acuífero confinado.

3.13.3. Contaminación con nitratos

Hay muchas fuentes de nitratos al agua subterránea, algunas naturales y otras antrópicas; algunas son fuentes puntuales y otras son difusas. Las fuentes de contaminación más frecuentes están relacionadas con el abuso en la aplicación de fertilizantes y en la disposición inadecuada de aguas residuales domésticas. Se estima que hasta el 75% de nitrógeno adicionado el ciclo hidrológico en el continente puede ser removido en forma natural antes que las aguas alcancen los ecosistemas marinos (Howarth et al., 1996). Las posibles transformaciones y eventual destino que el nitrógeno

(N) pueda tener a medida que los flujos de agua avanzan por el ciclo hidrológico son de especial interés para la comunidad científica y los tomadores de decisiones. La idea más aceptada es que la desaparición del N es principalmente ocasionada por transformaciones biológicas. Todas esas transformaciones están acompañadas por fraccionamientos isotópicos de los elementos que conforman las moléculas nitrogenadas. Por tal razón, la estimación de las concentraciones de ^{15}N y ^{18}O en nitratos es uno de los métodos más empleados para entender la dinámica del nitrógeno en el subsuelo.

Los resultados de ^{15}N y ^{18}O en nitrato están incluidos en la Figura 256. El punto negro corresponde a un pozo que capta el acuífero profundo. Los demás círculos representan al acuífero somero. Fácilmente se advierte que la mayoría de los puntos cae dentro del rango característico para aguas residuales domésticas o para fertilizantes derivados del estiércol. Algunos puntos también se encuentran dentro del rango característico para nitratos originados de manera natural en el suelo.

Es necesario aclarar que la Figura 256, comúnmente empleada en los estudios que intentan explicar el origen del nitrato en el agua subterránea sólo puede ser interpretada en forma cualitativa ya que la firma isotópica del nitrato no es un parámetro conservativo y, por tanto, una vez el nitrato está en la zona saturada, su composición isotópica puede ser modificada por procesos biológicos y probablemente también por procesos abióticos. El más conocido y de mayor relevancia es la desnitrificación.

Por el momento, y asumiendo que en la zona de estudio no hay procesos relevantes de transformación del nitrato, se puede decir a partir de la Figura 256, que en su mayoría el nitrato en el agua subterránea del acuífero somero procede de la aplicación de estiércol como fertilizante, o de la disposición de aguas residuales domésticas.

Se puede advertir en la Figura 256, algunas muestras también caen en la zona del nitrato originado en el suelo. El tamaño de los círculos en dicha figura es proporcional a la concentración de nitrato (expresado como NO_3). Para tener una idea, el único punto que corresponde al acuífero profundo (círculo oscuro) corresponde a una concentración de $4.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Esta concentración está en el rango del nitrato con posible origen natural (entre 0 y $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, como NO_3). El dato más enriquecido tanto en ^{15}N como en ^{18}O (extremo superior derecho) tiene una concentración en nitrato de $41.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ como NO_3 . El mayor círculo azul representa una concentración de $76.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Lo anterior significa que muchas de las muestras que caen en la zona gris (origen natural en el suelo) en realidad pertenecen a la zona amarilla (estiércol o aguas residuales domésticas) por su elevada concentración en nitrato ($> 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Las

muestras por debajo de $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (como NO_3) pueden ser explicadas por uno de esos dos orígenes.

Otra conclusión de los datos, extraída de la Figura 256, es que la aplicación de fertilizantes sintéticos, estén éstos basados en nitrato o amonio, parece no ser de importancia en relación con la calidad del agua subterránea.

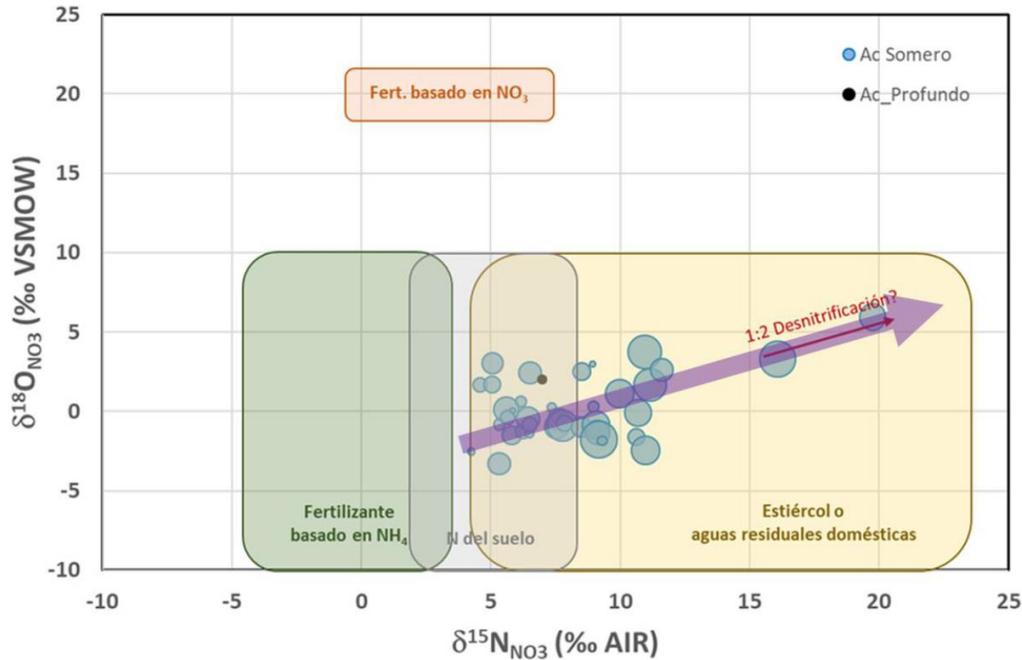


Figura 256. Rangos para la firma isotópica, diferentes fuentes de nitratos en el agua subterránea.

El promedio de oxígeno disuelto (OD) encontrado en el acuífero somero es $2.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($n = 81$). Infortunadamente, las mediciones de OD se hicieron sin utilizar una celda de flujo por lo que se sospecha que las concentraciones reales pueden estar por debajo de los valores obtenidos. Asumiendo que los valores reportados son una aproximación razonable a las condiciones reales, se concluye que casi toda la zona saturada, al menos aquella cercana a la tabla de agua, tiene condiciones aeróbicas y, por ende, no cumple con las condiciones adecuadas para favorecer una desnitrificación.

La evidencia más contundente de la ausencia de desnitrificación viene de la información proveída por los isótopos. Cuando el NO_3 se reduce a N_2 , este último se escapa ya que este gas es muy poco reactivo. En este proceso, ^{15}N tiende a concentrarse en el NO_3 mientras que el ^{14}N tiende a concentrarse en el N_2 . En otras palabras, para las bacterias es más fácil descomponer moléculas de $^{14}\text{NO}_3$ que moléculas de $^{15}\text{NO}_3$. El resultado de este fraccionamiento isotópico es que el NO_3 residual (el que todavía queda en el agua) se enriquece en el isótopo más pesado (^{15}N) mientras que la concentración de nitrato disminuye. La Figura 257 muestra la relación entre la concentración de nitrato y

el ^{15}N . De existir un proceso activo de desnitrificación, se debería esperar una correlación inversa entre ambas variables, pero la correlación que se observa es directa, aunque el coeficiente de correlación es bajo. En esta figura, los tres cuadrados son manantiales y el círculo negro es la muestra del acuífero profundo.

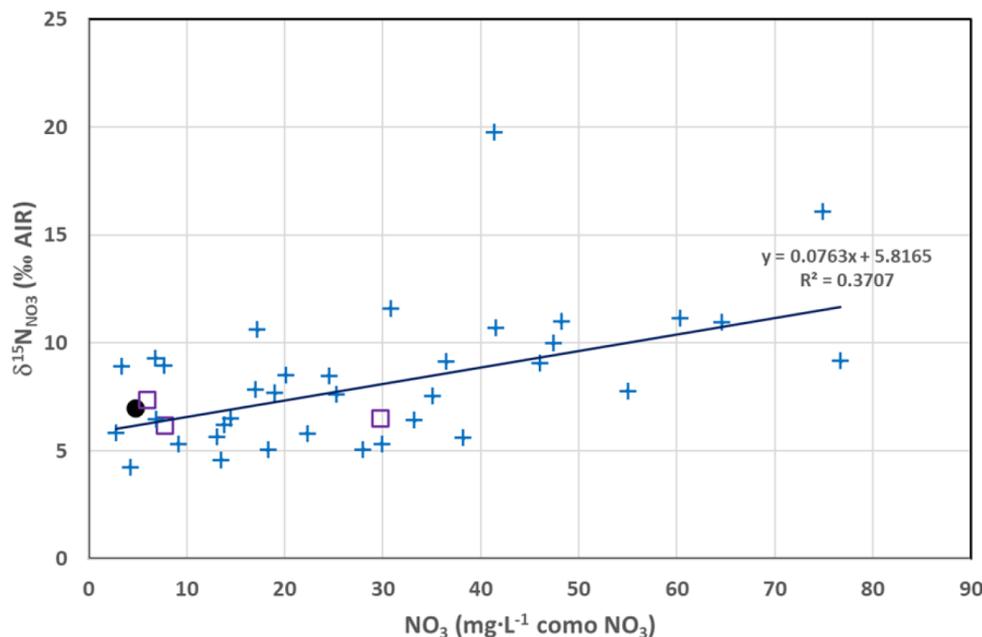


Figura 257. NO_3 vs ^{15}N , agua subterránea.

El oxígeno-18 en el nitrato también se enriquece en el proceso de desnitrificación. De acuerdo con Bottcher et al. (1990), el enriquecimiento de ^{15}N es casi el doble que el del ^{18}O . Por ende, en una gráfica dispersión para estas dos variables, como la Figura 256, la desnitrificación podría exhibirse a través de una correlación directa entre los dos isótopos pesados, con una línea de tendencia con pendiente 0.5 (sugerido por la flecha violeta), mientras la concentración de nitrato disminuye a medida que ambos isótopos se enriquecen. Esta conformación de datos no aparece en la Figura 256, salvo tal vez en las dos muestras más enriquecidas (ver flecha roja, Figura 256).

La evaluación de la posible ocurrencia de desnitrificación a mayores profundidades es fundamental para el manejo del acuífero somero ya que de detectarse una buena capacidad de remoción de nitrato a mayor profundidad, será necesario cambiar los aljibes por pequeños pozos, especialmente en las zonas que presentan concentraciones de nitrato por encima de $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, con el fin de evitar que la población ingiera agua con una alta carga de nitrato. Lamentablemente, la presencia de concentraciones altas en algunos pozos da a entender que el acuífero somero carece de capacidad de autodepuración (desnitrificación).

3.13.4. Datación del agua subterránea

Una de las variables más importantes en cualquier evaluación de acuíferos es el tiempo medio de residencia de las aguas subterráneas. Esta variable es muy importante porque está relacionada con la vulnerabilidad del acuífero a procesos de contaminación (entre menor es el tiempo de residencia, más susceptible es el agua subterránea a su contaminación) y de renovabilidad (aguas con edades muy altas indican que tienen una renovabilidad baja). Las herramientas isotópicas son los mejores instrumentos para estimar las edades del agua subterránea. Las primeras dataciones conocidas en el SAQ las realizó la CRQ en 2019 y estuvieron enfocadas en el acuífero somero. En el año 2021 se hizo una segunda campaña de datación, esta vez dando igual importancia a los dos acuíferos. Las herramientas que se han utilizado son tritio (adecuado para datar aguas modernas) y radiocarbono (adecuado para aguas sub-modernas y antiguas).

3.13.4.1. Tritio

La sola presencia de tritio en una muestra de agua subterránea indica que esa agua es moderna. Se dice que un agua subterránea es moderna si su recarga se produjo en los años 60's del siglo pasado o después. Entonces, la ausencia/presencia de tritio en una muestra es una manera cualitativa de indicar si el agua en cuestión es moderna o no. En 2019 se tomaron muestras para análisis de tritio en trece puntos, once del acuífero somero (diez aljibes y un manantial) y dos pozos (acuífero profundo). Los resultados se presentan en la Tabla 105.

En dos aljibes (A127 y A107) no se detectó tritio. El límite de detección del laboratorio encargado de analizar las muestras (Hydrosys en Hungría) fue 0.4 TU, el cual es un poco alto. Dada la incertidumbre de estos resultados, podría haber la posibilidad de que esas dos muestras tuvieran una edad aparente cercana a 60 años. Para el 2021 las muestras se enviaron a otro laboratorio que ofrece un límite de detección de 0.2 TU, más adecuado para las evaluaciones hidrogeológicas.

El pozo P004 es el que presenta un agua clorurada sódica. Como este pozo debe estar extrayendo una mezcla del agua del acuífero confinado (que puede tener una edad mayor que 60 años) y agua del basamento muy antigua, entonces la edad aparente de la muestra debe corresponder a un agua sub-moderna o antigua. La ausencia de tritio en esta muestra está en sintonía con esta apreciación.

Llama la atención que la muestra del pozo P011, también ubicado en el Parque Nacional del Café, tenga tritio. Este pozo tiene una profundidad de cien metros. Sin embargo, está muy cerca del trazo de la falla de Montenegro. Es bien conocido que muchas fallas geológicas (no todas) funcionan como zonas preferenciales de recarga ya

que las rocas cercanas a ellas están muy fracturadas. Este podría ser el caso para el pozo P011.

Las otras nueve muestras del acuífero somero reportaron tritio, lo cual confirma que el agua del acuífero somero es moderna.

Tabla 105. Resultados tritio muestras de agua subterránea. Campaña 2019.

Sitio	Cod_Muestra	Cod_Geol	Tipo	Profundidad	T	T_ERR
Finca La Rochela	A027	Qsomero	Aljibe	22	0.8	0.2
El Brillante	A130	Qsomero	Aljibe	21	0.8	0.2
Finca Terranova	A129	Qsomero	Aljibe	5	0.8	0.2
Parque Nal del Café Pozo 2	P011	Qprofundo	Pozo	100	0.9	0.2
Eco Hotel Santa Barbara	A015	Qsomero	Aljibe	10	0.9	0.2
Chaguala	M002	Qsomero	Manantial	0	0.9	0.2
Finca Maracaibo	A034	Qsomero	Aljibe	22	0.9	0.2
Predio Picaporte	A007	Qsomero	Aljibe	4	1.1	0.2
Conjunto Bosques de Sausalito	A026	Qsomero	Aljibe	5	1.5	0.2
Granja Avícola La Lotería	A024	Qsomero	Aljibe	3	2.1	0.3
Parque Nal del Café Pozo 1	P004	Qprofundo	Pozo	243	< 0.4	
Finca Las Mesetas	A127	Qsomero	Aljibe	37	< 0.4	
Granja Avícola El Bosque	A107	Qsomero	Aljibe	8	< 0.4	

Existe un procedimiento para datar de manera semi-cuantitativa la edad de las aguas subterráneas a partir de datos de tritio. Para ello se utilizan “modelos agregados”. Una descripción detallada sobre este método se puede encontrar en Maloszewski y Zuber (1982) y Maloszewski y Zuber (2000). Esta forma de datación requiere de varios supuestos, algunos de ellos difíciles de encontrar en campo. Por tanto, esta datación semi-cuantitativa sólo puede ser usada como una aproximación a la datación de las aguas subterráneas. La Tabla 106, muestra las edades aparentes obtenidas con este método. Los supuestos utilizados para esta datación fueron:

- El valor de tritio en la lluvia sobre el área de estudio ha sido constante en los últimos 20 años, y su valor es 1.5 unidades de tritio. La estación GNIP-Bogotá indica que a partir del año 2000 la actividad de tritio en la lluvia ha estado relativamente constante. El valor de 1.5 TU se obtiene de la medición de tritio a diez muestras compuestas mensuales de lluvia recolectadas en la estación Bremen (L3) de la red QNIP.

- El tiempo de residencia de los flujos no supera la ventana de tiempo de 20 años. Para aguas recargadas antes del año 2000, la suposición de una función de entrada constante para el tritio debe ser descartada.
- No se tiene en cuenta la posibilidad de que en un manantial puedan coexistir flujos de aguas recientes (con tritio) y flujos regionales con cero tritio.
- Se asume que el nivel de incertidumbre en cada medición de tritio es 0.2 TU (una desviación estándar), tal como ha sido reportado por el laboratorio Hydrosys de Hungría. La datación sólo se puede realizar en las diez muestras donde su valor estuvo por encima del límite de cuantificación.

Tabla 106. Edades aparentes estimadas con el método semi-cuantitativo (tritio). Campaña de 2019.

	TRITIO		RADIOCARBONO	Observaciones
	Cualitativo	Semicuantitativo		
P004	Submoderna a antigua		6000 años	Datación sin aplicar correcciones
P011	Reciente	Mínimo 12.3 años	Reciente	
M002	Reciente	Mínimo 12.3 años	Reciente	
A107	Submoderna		Reciente	Posible inconsistencia ^3H vs ^{14}C
A027	Reciente	5.8 a 17.7 años		
A127	Submoderna			Límite detección $3\text{H} = 0.4 \text{ TU}$
A015	Reciente	Mínimo 12.3 años		
A130	Reciente	5.8 a 17.7 años		
A007	Reciente	4.4 a 14.2 años		
A024	Reciente	1 a 6.8 años		
A026	Reciente	Mínimo 16.7 años		
A034	Reciente	Mínimo 12.3 años		
A129	Reciente	5.8 a 17.7 años		

3.13.4.2. Radiocarbono y carbono-13

La datación del agua subterránea mediante la medición del radiocarbono en el carbono inorgánico disuelto (DIC) fue inicialmente propuesta por Münnich (1957) y Münnich y Vogel (1962). El decrecimiento de la actividad del ^{14}C debido a la desintegración radiactiva depende del tiempo transcurrido desde que el agua ingresó a la zona saturada y se aisló del CO_2 de origen atmosférico presente en el suelo.

Debido a su capacidad para datar el agua subterránea en una ventana de tiempo que va desde el presente hasta 40000 años, y debido a la presencia ubicua de carbono

inorgánico disuelto (DIC) en el agua subterránea, el ^{14}C es la técnica de datación radiogénica más utilizada en acuíferos regionales. La actividad de ^{14}C ($a^{14}\text{C}$) es una medida de la abundancia de ^{14}C en relación con el C total, y la reducción de $a^{14}\text{C}$ con el tiempo se usa para estimar los tiempos de residencia de las aguas subterráneas.

La CRQ, a través de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) ejecutó una campaña de muestreo para radiocarbono y carbono-13 en julio de 2021. Quince pozos fueron evaluados. Las muestras fueron analizadas por el Centro de Investigación Isotópica de la Universidad de Groningen en Países Bajos. En la Tabla 107, se presenta los resultados de carbono-13 y carbono-14 y otra información relevante para los puntos de muestreo. Las últimas cuatro filas pertenecen a las muestras recolectadas en 2019.

Tabla 107. Resultados de radiocarbono campañas 2019 y 2021.

ID	C14 (pmc)	C13 (‰ VPDB)	O18 (‰ VSMOW)	H2 (‰ VSMOW)	d (‰ VSMOW)	Conductividad eléctrica	HCO ₃ (mg·L ⁻¹)
28	77.74	-19.48	-10.83	-74.4	12.2	242	159
8	82.10	-16.55	-10.41	-73.4	10.0	154	102
16	94.95	-14.90	-10.58	-74.5	10.2	203	128
11	95.49	-15.37	-10.41	-73.2	10.1	224	139
24	96.52	-13.46	-10.62	-76.6	8.4	199	133
29	97.09	-11.11	-10.39	-71.8	11.3	87	46
25	97.63	-12.97	-10.79	-76.7	9.6	266	178
6	97.78	-13.82	-10.42	-72.9	10.5	155	86
23	97.99	-11.63	-10.87	-76.5	10.5	242	154
1	98.24	-11.47	-10.27	-73.1	9.1	154	91
18	99.09	-12.25	-10.74	-74.2	11.7	180	103
15	100.59	-12.91	-10.16	-73.1	8.2	146	87
26	101.73	-9.27	-10.52	-72.5	11.6	138	72
21	103.46	-10.55	-10.81	-72.3	14.2	79	39
22	106.49	-8.94	-10.48	-71.2	12.6	72	40
P004	48.55	-16.07	-10.12	-71.0	9.9	815	151
P011	99.06	-13.17	-10.45	-73.4	10.1	178	115
A107	104.83	-5.14	-10.15	-69.1	12.1	127	37
M002	100.82	-13.51	-10.32	-71.6	10.9	74	27

NOTA: C14 : radiocarbono. C13 : carbono-13. Conductividad en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. HCO₃ : bicarbonato

La actividad del radiocarbono se mide en porcentaje de carbono moderno (pmc). Las aguas modernas tienen 100 pmc o más. Llama la atención que en cuatro pozos la actividad de radiocarbono esté en 100 pmc o más. Otros nueve pozos exhiben una actividad entre 94.95 pmc y 99.09 pmc, no muy alejado de 100 pmc. Si la edad de

radiocarbono en el carbono inorgánico disuelto en el agua subterránea fuera una función simple del decaimiento radiactivo del carbono-14, entonces se podría estimar la edad a partir de la medición de la actividad del radiocarbono en la muestra a datar, siempre y cuando se conociera la actividad del radiocarbono al momento de la recarga (Han et al., 2012), de acuerdo con la ecuación:

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{{}^{14}C}{{}^{14}C_0} \quad \text{Eq. 10}$$

Donde: C^{14} y ${}^{14}C_0$ son las actividades del radiocarbono medida e inicial, $t_{1/2}$ es la vida media del radiocarbono (5730 años), y t es la edad aparente del agua subterránea.

En la práctica, la estimación del término ${}^{14}C_0$ es el paso más complicado de realizar porque existen muchos procesos (físicos y químicos) distintos al decaimiento radiactivo que pueden alterar la actividad del radiocarbono. El proceso más recurrente es la disolución de carbonatos, principalmente de origen marino. La geología indica que, al menos en cercanías del Abanico, no existen carbonatos de origen marino. La hidrogeoquímica corrobora esta apreciación debido a la ausencia de aguas bicarbonatadas cálcicas.

Por lo anterior, a título de aproximación es posible estimar la edad aparente usando la ecuación (10) si se asume un valor para el término ${}^{14}C_0$. Como se asume que no hay dilución alguna del radiocarbono, entonces se puede adoptar un valor de 100 pmc. Nótese que estos cálculos sólo se pueden llevar a cabo si la actividad de radiocarbono medida en la muestra está por debajo del valor adoptado para ${}^{14}C_0$ (100 pmc). Si el valor medido de carbono-14 está por encima de ${}^{14}C_0$, la edad resultante será negativa, lo cual no tiene sentido. Por tanto, para todas las muestras con una actividad de carbono-14 por encima de 100 pmc, simplemente se dice que el agua es moderna. La Tabla 108, presenta las edades aparentes obtenidas a partir de la ecuación (8) (penúltima columna).

Con el fin de comprobar si las edades aparentes tienen sentido, en la última columna se ha colocado las concentraciones de nitrato para las muestras datadas. Si la muestra ostenta un valor relativamente alto de nitrato, entonces el agua debería ser moderna, porque las actividades potencialmente contaminadoras aparecen con mayor frecuencia en las últimas décadas. Si, por ejemplo, la edad aparente de una muestra es del orden de varios siglos, lo lógico sería no encontrar evidencias de contaminación en dicha muestra.

En la última columna de la Tabla 108, se han resaltado las tres concentraciones de nitrato que sugieren presencia de contaminación (10.2, 13.9 y 30.8 mg · L⁻¹). Para las dos últimas no hay duda de que el agua es reciente (carbono-14 > 100 pmc). Para la primera, se obtiene una edad aparente de 76 años, pero debido a la incertidumbre en la medición

del radiocarbono (para esta muestra es de 0.26 pmc), la muestra #18 puede considerarse como moderna.

Todas las muestras cuyas edades aparentes están alrededor de 300 años o más exhiben concentraciones bajas en nitrato ($\text{NO}_3 < 3.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Por lo anterior, se concluye que la datación por radiocarbono sin corrección ofrece edades aproximadas en sintonía con otras variables medidas en campo.

Tabla 108. Datación sin corrección.

ID	t1/2 (años)	^{14}C (pmc)	$^{14}\text{C}_0$ (pmc)	T (años)	NO_3 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
28	5730	77.74	100	2082	1.8
8	5730	82.10	100	1630	1.0
16	5730	94.95	100	428	3.8
11	5730	95.49	100	381	3.1
24	5730	96.52	100	293	3.1
29	5730	97.09	100	244	7.2
25	5730	97.63	100	198	0.9
6	5730	97.78	100	186	5.0
23	5730	97.99	100	168	1.1
1	5730	98.24	100	147	6.3
18	5730	99.09	100	76	10.2
15	5730	100.59	100	Reciente	6.5
26	5730	101.73	100	Reciente	13.9
21	5730	103.46	100	Reciente	7.2
22	5730	106.49	100	Reciente	2.9
P004	5730	48.55	100	5973	1.8
P011	5730	99.06	100	78	4.8
A107	5730	104.83	100	Reciente	30.8
M002	5730	100.82	100	Reciente	7.8

NOTA: T: edad aparente estimada para el agua subterránea.

3.14. Comportamiento Hidráulico del Sistema Acuífero del Quindío (SAQ)

Para determinar el comportamiento hidráulico en el SAQ, se utilizaron los resultados de los ensayos de bombeo realizados y recopilados sobre las unidades Qaint, Qadis (SGC, 2016). Para la unidad Qapr, la cual se encuentra localizada hacia el noreste (parte alta del SAQ, zona potencial de recarga), no se contaron con ensayos de bombeo sobre este sector para determinar las características hidráulicas tanto para el ASQ y como para el APQ.

En resumen, el ASQ presenta espesores en promedio entre 20 y 30 metros (CRQ, 2021), la transmisibilidad de este acuífero ronda los valores entre 26 y 456 m²/d. Respecto con la conductividad hidráulica presenta valores entre 0.12 y 7.7 m/d y muestra capacidades específicas entre 0.07 y 3.8 l/s/m. El APQ en la actualidad no tiene un espesor definido, pero se estima que el techo de este acuífero se localiza a 50 metros de profundidad con respecto a la superficie del terreno (CRQ, 2021). La transmisibilidad muestra valores entre 119 y 527 m²/d. En el APQ la conductividad hidráulica presenta valores entre 0.18 y 5.1 m/d y capacidades específicas entre 0.1 y 3.5 l/s/m. En relación con el coeficiente de almacenamiento (Ss) de este acuífero es casi nula la información, solo se cuentan con dos puntos de información, uno sobre la unidad Qaint; pozo la Bombona con un valor de 9×10^{-4} y otro localizado en la unidad Qadis; pozo Cicolsa el cual presenta un valor de 6.7×10^{-5} . Según Custodio y Llamas (2001) de acuerdo con los valores de Ss obtenidos, estos pozos captan aguas de acuíferos de tipo semiconfinado a confinado.

3.15. Modelo conceptual de Funcionamiento Hidrogeológico

Un esquema sobre el funcionamiento hidrogeológico del SAQ, se presenta en la Figura 258. De acuerdo con la información piezométrica y hidrogeoquímica, el sistema hidrogeológico del SAQ, se estaría recargando principalmente hacia el noreste, pero se presentan zonas de recarga local donde se encuentran ubicados los principales centros poblados del departamento del Quindío (Armenia, Calarcá, La Tebaida, Circasia, Montenegro, Quimbaya y Salento). El acuífero somero presenta espesores en promedio entre 20 y 30 m. La descarga del ASQ es de dos tipos: se presentan descargas de tipo local, que alimentan los sectores de la parte alta de los ríos Roble y Quindío y de la quebrada Buenavista y sobre las planicies de inundación de los ríos y quebradas que se encuentran dentro del SAQ. Se presentan descargas de tipo regional, una parte del flujo que se recarga fundamentalmente hacia el noreste se mueve hacia el noroeste ya que el flujo en esta zona no es afectado por la discontinuidad hidráulica de la falla Montenegro. Cuando el flujo de agua subterráneo regional en el ASQ, choca con el bloque levantado

de la falla Montenegro, cambia de dirección producto de este levantamiento y se mueve hacia el suroeste donde descarga fundamentalmente hacia el municipio de La Tebaida. Otro sistema de descarga que presenta el ASQ, es por evapotranspiración y la cual se produce sobre el todo es SAQ, pero presenta tasas más altas sobre la parte distal y media del abanico, debido a que esta zona presenta un relieve entre ondulado a plano, donde predominan los movimientos verticales de agua. En relación con el APQ no se obtuvo información discretizada espacialmente del nivel del agua en diferentes pozos para construir una piezometría y describir el sistema del flujo para este acuífero. Tampoco se encuentra muy claro su espesor, pero su techo posiblemente se encuentra a 50 metros de profundidad (CRQ, 2021). De acuerdo con la información recabada por SGC (2016), este acuífero se recarga esencialmente hacia noroeste del SAQ y descarga hacia el suroeste sobre el municipio de la Tebaida, por lo tanto, la falla Montenegro posiblemente también actúa como una discontinuidad hidráulica que modifica el flujo regional en el APQ. De acuerdo con la información litológica analizada de los pozos el SGC, el SAQ presenta un espesor aproximadamente de 300 m de profundidad en el Municipio de La Tebaida, hacia el municipio de Montenegro presenta un espesor aproximado de 127 m de profundidad y hacia el noreste en el pozo de la bombona presenta espesores >220 m, a escala general el SAQ presenta un espesor 200 m en promedio (SGC,2016)

En el SAQ se presenta una interacción importante entre aguas superficiales y aguas subterráneas (SW-GW). La descarga de agua subterránea en el ASQ mantiene los caudales de los principales ríos y quebradas que se encuentran localizadas dentro del sistema acuífero del Quindío. Los Ríos y/o Quebradas ubicadas hacia el noroeste se alimentan potencialmente de flujos de agua subterránea de tipo local, como hipótesis en este estudio, se expone que los flujos de tipo regional recargados hacia el noreste, debido al gradiente hidráulico que se presenta en dentro del SAQ y los cuales son influenciados por la discontinuidad hidráulica de la falla Montenegro, posiblemente genere que los Ríos localizados hacia el suroeste del SAQ, se alimenten potencialmente de flujos de agua subterránea de carácter regional y local. La firma química de las muestras tomadas en diferentes puntos de agua superficial fue muy similar a la firma química de las aguas en el ASQ, lo que sugiere una conexión importante entre estas dos componentes dentro del SAQ. La firma química de las aguas superficiales de las Quebradas Primavera y Cristales, indican que posiblemente en estos sistemas hídricos hay descarga del APQ, pero posiblemente estas concentraciones también puedan deberse a problemas de polución.

A medida que fluye el agua subterránea dentro del abanico, y tal como lo sugiere el análisis de la información hidroquímica, se observa una evolución química del agua en el ASQ, pasando de aguas menos mineralizadas en las áreas de recarga a aguas más mineralizadas hacia la zona de descarga, esencialmente hacia el municipio de la Tebaida. En la zona alta del SAQ, las aguas subterráneas del ASQ, presentan una evolución de

aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas producto de los procesos de disolución de silicatos y de intercambio catiónico a aguas bicarbonatadas-sódicas, cálcicas y/o magnésicas (contenido catiónico intermedio) producto de procesos de disolución de feldespatos y ferromagnesianos e intercambio catiónico con niveles arcillosos. Se observa un comportamiento en el ASQ, es que, a medida, que se va mineralizando el agua, producto de la hidrodinámica del ASQ, se va enriqueciendo con cloruros y nitratos, los cuales son de origen antrópico. Según los análisis de ^{15}N y ^{18}O realizados por CRQ (2021), la contaminación del ASQ, se debe fundamentalmente a aguas residuales domésticas, y sus fuentes básicamente, se observan en los centros poblados que se asientan dentro del SAQ (Filandia, Montenegro, Armenia, Circasia y La Tebaida). Se observa en los últimos monitoreos hidroquímicos realizados en el ASQ, como han aumentado de manera gradual espacial y temporalmente la concentración de NO_3 y Cl , como también la CE, indicando una degradación progresiva de la calidad del agua en el ASQ.

En relación con la caracterización química de las aguas en el APQ, se observa una mayor mineralización del agua con respecto al flujo de agua subterránea propuesto por el SGC (2016). En la parte media del SAQ se presentan aguas tipo bicarbonatadas, cálcicas, sódicas y/o magnésicas, producto de disolución de feldespatos, cuarzo, olivino, piroxenos, anfíboles y micas e intercambio catiónico con horizontes de arcilla. En la parte distal del SAQ hacia la falla de Montenegro, se presenta aguas de tipo bicarbonatadas y/o cloruradas, sódicas, cálcicas producto de disolución de silicatos de procedencia volcano-sedimentario. El aumento en las concentraciones de NaCl en el APQ se localiza a gran profundidad, fundamentalmente en los pozos del parque del café y calamar granja agrícola, debido a que extraen una mezcla de aguas que provienen del acuífero profundo con aguas salinas de formaciones profundas que pueden deberse a litologías que posee el basamento ígneo de corteza oceánica.

En relación con la caracterización química de los manantiales monitoreados, se encontró que estos presentan poco grado de mineralización y que la mayoría presentan aguas tipo bicarbonatadas cálcicas producto de procesos de disolución de silicatos primordialmente.

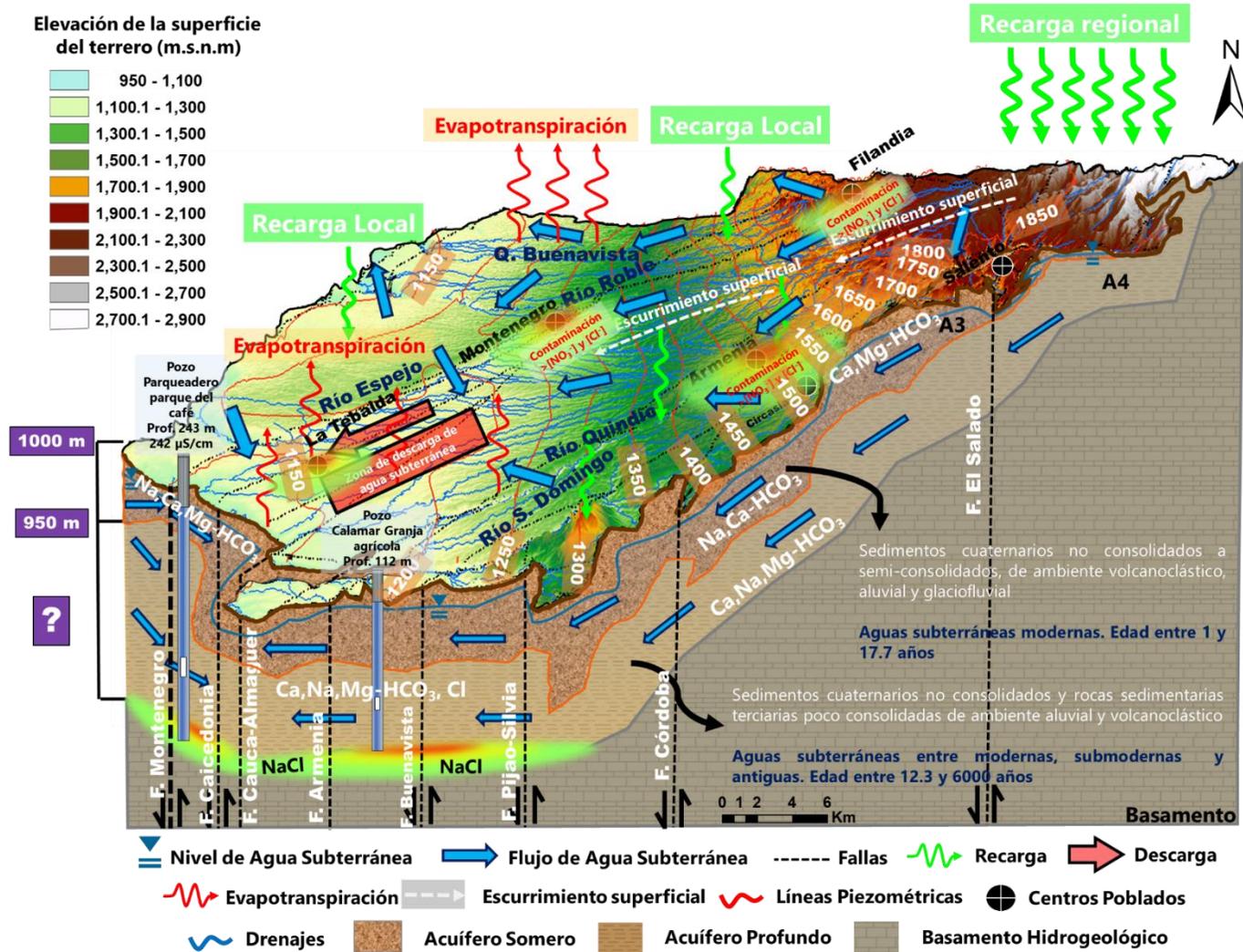


Figura 258. Modelo conceptual sobre el funcionamiento hidrogeológico del Sistema Acuífero del Quindío.

3.16. Recomendaciones en Futuros Estudios

Con el propósito de mejorar la cuantificación y caracterización de las aguas de los diferentes acuíferos que componen el SAQ en futuros estudios, se ha identificado la necesidad de fortalecer los siguientes aspectos de línea base.

1. Se recomienda hacer nuevos ensayos bombeo, como también reinterpretar ensayos de bombeo realizados en épocas anteriores; tanto en el ASQ como en APQ. A fin de caracterizar espacialmente los parámetros hidráulicos (T, Ss, Sy, Kx, Ky, Kz) en estos dos acuíferos, ya que en la actualidad no se conoce adecuadamente su variación espacial tanto horizontal como en profundidad.
2. Realizar una reinterpretación de la información geológica de subsuelo tanto, perfiles geológicos de las perforaciones, como sondeos eléctricos verticales, incorporando pozos estratigráficos y pozos paramétricos a fin de establecer el comportamiento geoelectrico de las diferentes unidades y variaciones internas. Se recomienda realizar tomografía 2D, para establecer las variaciones laterales de las unidades más profundas y realizar la integración de los perfiles geológicos de las perforaciones a través de secciones transversales. Esto permitirá establecer la continuidad y heterogeneidad de las diferentes unidades hidroestratigráficas.
3. Para una mejor interpretación de la interacción y/o conexión entre aguas superficiales y aguas subterráneas (SW-GW), se requiere analizar el comportamiento hidráulico espacial y temporal en diferentes tramos de Ríos y/o Quebradas, que presenten pozos someros en cercanías a zonas donde se mide el nivel del agua en el Río y/o Quebradas; a fin de caracterizar adecuadamente la interacción SW-GW en diferentes partes del SAQ.
4. Construcción de piezómetros automáticos, en el ASQ como en el APQ, con el fin de caracterizar adecuadamente la variación del volumen de agua dentro del SAQ a escala transitoria y comprender las variaciones en el nivel del agua subterránea en respuesta a diferentes tasas de recarga.
5. Se recomienda para mejorar la cuantificación del balance hídrico en el SAQ, implementar una modelación acoplada superficial-subterránea que contemple las extracciones por bombeo. Esto permitirá cuantificar adecuadamente la variación espacio-temporal de los niveles de agua subterránea y la interacción entre aguas superficiales y subterráneas dentro del SAQ.

6. Se requiere mejorar la información topográfica por medio de GPS diferencial, a fin de tomar adecuadamente la elevación del pozo y la boca de pozo y/o aljibe con respecto a la superficie del terreno. Esto permitirá mejorar y analizar de una manera adecuada las variaciones espacio-temporales en el volumen de agua subterránea para diferentes épocas y mejorar la discretización del movimiento del agua subterránea dentro del SAQ.
7. Se sugiere una medición adecuada de niveles en el APQ, que implemente varios pozos distribuidos dentro del SAQ, a fin de construir una piezometría que permita describir el movimiento de agua en este acuífero y su posible interacción con las aguas superficiales que se hallan inmersas dentro del SAQ.
8. Se aconseja en futuros estudios filtrar las imágenes satelitales GRACE con datos satelitales que realicen mediciones de la humedad en el suelo (P.ej. imágenes SMAP y/o SMOS), a fin de capturar adecuadamente la variación en el volumen de agua subterránea espacialmente dentro del SAQ. Ya que cuando se filtran las imágenes del satélite GRACE, con las imágenes satelitales Global Land Data Assimilation System (GLDAS), según diferentes estudios a nivel mundial muestran que se disminuye menos del 30%, el error en la cuantificación de la variabilidad del nivel de agua subterránea.

4. Demanda Hídrica

4.1. Introducción

La demanda hídrica se define como la extracción del recurso hídrico de las fuentes naturales para suplir los requerimientos de consumo humano, producción económica sectorial y ecosistemas naturales existentes, incluyendo el agua extraída consumida y el agua extraída no consumida. En la Figura 259 se relacionan los conceptos básicos que se deben tener en cuenta para definir la demanda hídrica.

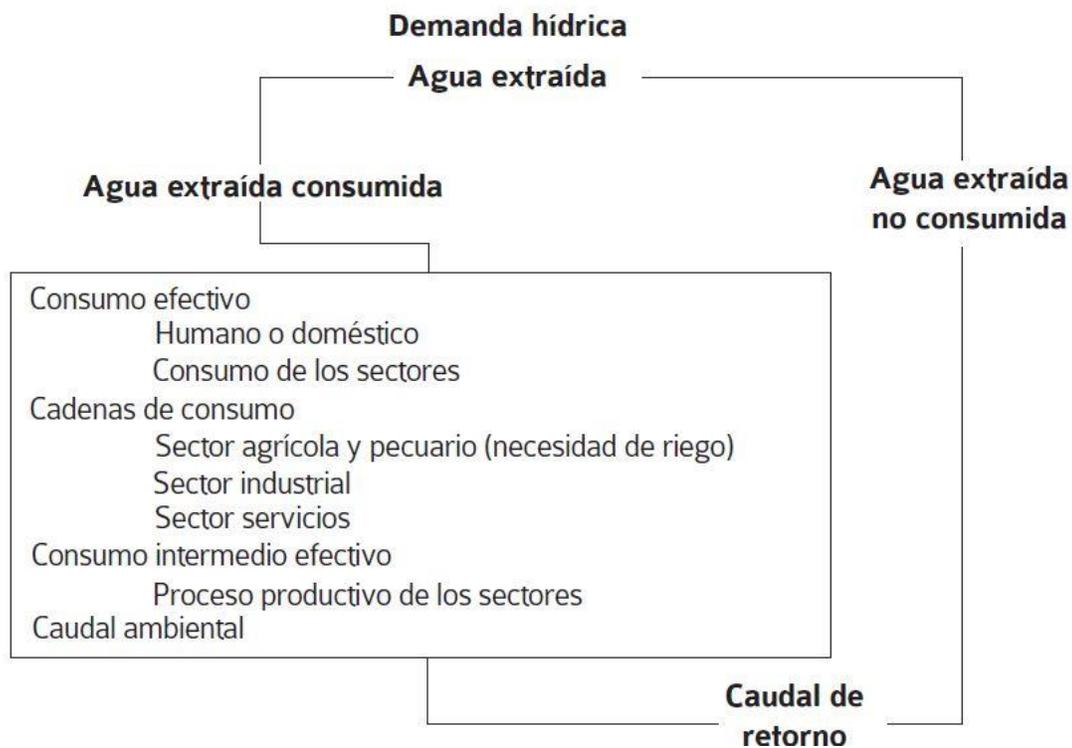


Figura 259. Conceptos básicos para definir la demanda hídrica a nivel regional. Fuente: (IDEAM, 2013)

El *Agua extraída* se refiere a la cantidad de agua que se sustrae del sistema natural para satisfacer las necesidades de consumo humano, producción sectorial y demandas fundamentales de los ecosistemas existentes, sean intervenidos o no (IDEAM, 2010). El *Consumo efectivo* es la cantidad real de agua que es incorporada en los procesos de producción de los diferentes sectores económicos, de servicios y comercio, así como en el consumo humano como satisfactor de las necesidades fundamentales de la población, durante un período de tiempo determinado (IDEAM, 2010). El *Consumo intermedio*

efectivo da cuenta de la cantidad de agua que es incorporada como consumo intermedio en los procesos de transformación y de servicios, ya sea como insumo o materia prima (IDEAM, 2010). *Cadena de consumo de agua* hace referencia a la cantidad de agua utilizada en cada una de las etapas de los procesos productivos sectoriales, tal como sucede en el sector pecuario, agrícola e industrial (IDEAM, 2010). El *Caudal ambiental*: se define como el volumen de agua requerida en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para la sostenibilidad de los diferentes ecosistemas y el desarrollo de las actividades socioeconómicas de las personas que dependen de tales ecosistemas (Decreto 3930 de 2010). El *Caudal de retorno* se refiere al volumen de agua que retorna a la red de drenaje de la cuenca como remanente de los volúmenes usados o aprovechados en los procesos productivos sectoriales y en el consumo humano (IDEAM, 2013). Finalmente, el *Agua extraída no consumida* corresponde al volumen de agua que es extraído del sistema natural y que no es utilizado efectivamente en ningún tipo de uso, retornando al sistema con variaciones en su calidad. En los sistemas de acueductos se entiende como pérdidas técnicas (IDEAM, 2010).

La demanda hídrica en la Evaluación Regional del Agua es el resultado del proceso de la revisión y valoración de la información disponible en las siguientes fuentes de información: bases de datos del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), Tasa por Uso del Agua (TUA), base de datos de acueductos municipales y veredales, y la base de datos de concesiones.

4.2. Sectores Usuarios

La estimación de la demanda hídrica parte de la identificación de los sectores usuarios establecidos en el artículo 9 del Decreto 3930 de 2010 (Tabla 109). En cada una de las unidades hidrográficas objeto de estudio se establecieron los sectores usuarios, de acuerdo con los usos concesionados reportados en los instrumentos de administración del recurso hídrico de la autoridad ambiental.

Tabla 109. Categorías de uso del agua (Fuente: Decreto 3930 de 2010)

Uso	Descripción
Consumo humano y doméstico	Uso del agua para actividades: bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato; satisfacción de necesidades domésticas, individuales y colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios; y preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración (Art. 10)
Preservación de flora y fauna	Uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos (Art. 11)

Uso	Descripción
Agrícola	Uso del agua para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias (Art. 13)
Pecuario	Uso del agua para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias (Art. 14)
Recreativo	Uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce (Art. 15): 1. Contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales. 2. Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca. Uso del agua en actividades tales como (Art. 16):
Industrial	1. Procesos manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexas y complementarios. 2. Generación de energía. 3. Minería. 4. Hidrocarburos. 5. Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares. 6. Elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.
Estético	Uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje (Art. 18)
Pesca, Maricultura y Acuicultura	Uso del agua en actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, sin causar alteraciones en los ecosistemas en los que se desarrollan estas actividades (Art. 12)
Navegación y Transporte Acuático	Uso del agua para transporte su utilización para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo (Art. 17)

4.3. Demanda Hídrica Superficial Concesionada

La demanda hídrica superficial en el departamento del Quindío se distribuye en nueve (9) tipos de uso (Figura 260). La mayor proporción de recurso hídrico se destina al sector de aprovechamiento energético con 10599 l/s que representan un 72.59%, seguido del uso doméstico con 3130 l/s equivalente a un 21.44%. En tercer lugar, el uso agrícola tiene una dotación de 421.4 l/s (2.89%) y en menor proporción se distribuye el agua para uso Pecuario (149.4 l/s, 1.02%), Industrial (139.6 l/s, 0.96%), Acuícola (104.1 l/s, 0.71%), Recreativo (49.9 l/s, 0.34%), Piscícola (7.54 l/s, 0.05%) y Riego (1.3 l/s, 0.01%). Esta demanda de agua superficial representa una dotación total de 14603.4 l/s en 37 unidades hidrológicas de análisis.

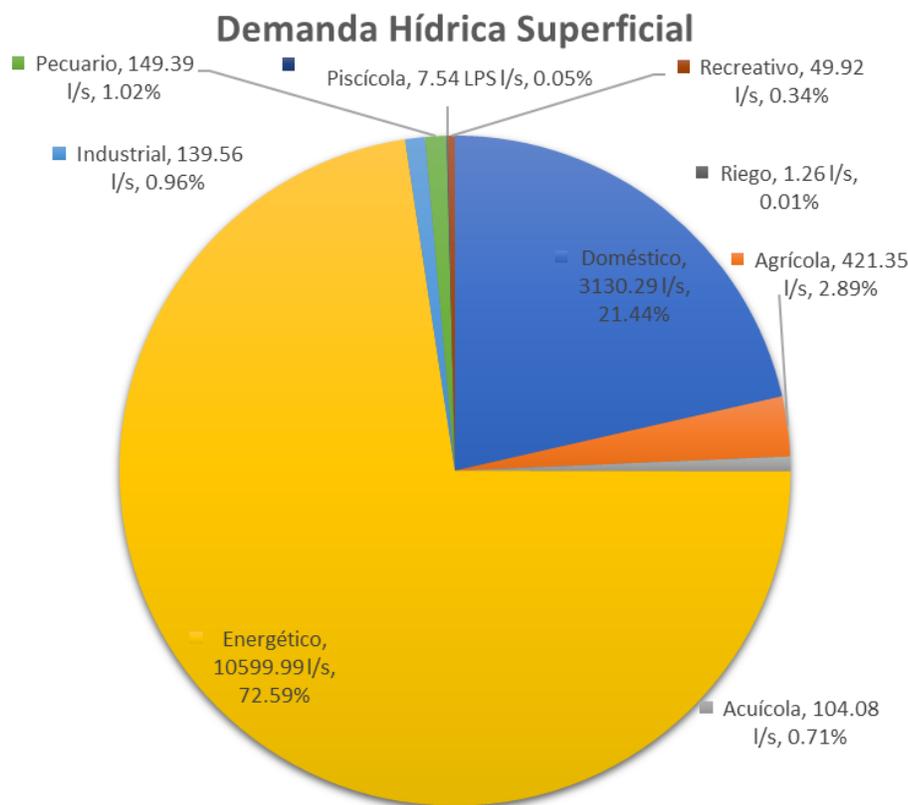


Figura 260. Distribución de la demanda hídrica superficial por sectores

4.3.1. Demanda Superficial para Uso Doméstico

La mayor proporción de volumen concesionado para uso doméstico se encuentra situada sobre el Río Quindío en los Tramos 3, 5 y 7 con 1442.83 l/s (46%), 417.2 l/s (13.3%) y 240.21 l/s (7.7%) respectivamente. Estas concesiones corresponden a las captaciones realizadas para los municipios de Armenia y La Tebaida (Figura 261). Otras concesiones de importancia son las realizadas sobre el Río Santo Domingo con 228.46 l/s (7.3%), Quebrada Buenavista en el Tramo 2 con 141 l/s (4.5%) y Río Roble en el Tramo 6 con 138.42 l/s (4.4%), de las cuales se resaltan las captaciones para el municipio de Calarcá, Quimbaya y Montenegro.

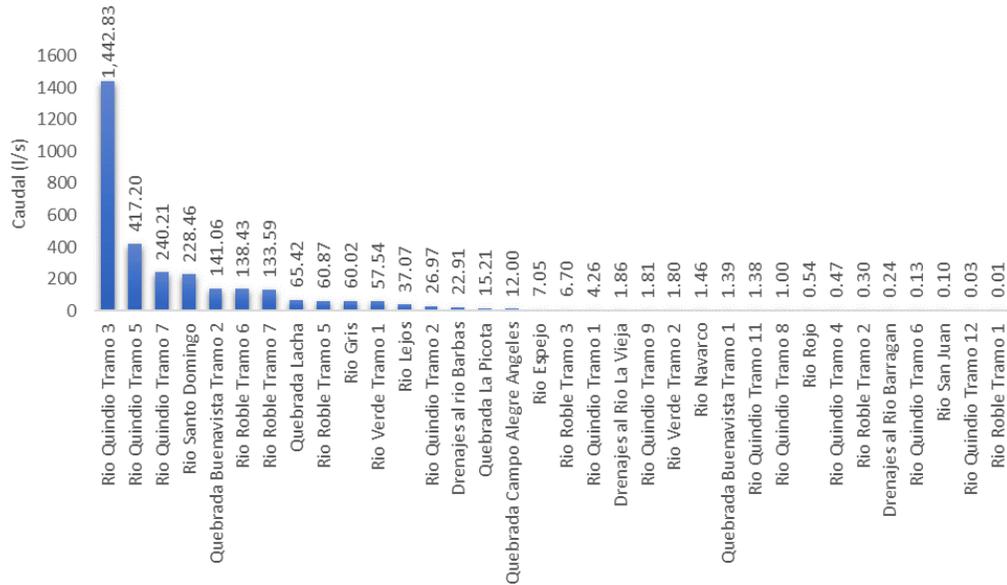


Figura 261. Distribución de la demanda hídrica superficial doméstica por unidades hidrológicas de análisis

4.3.2. Demanda Superficial para Uso Agrícola

Para el sector agrícola, las mayores concesiones hídricas se encuentran situadas sobre el Río Verde en el Tramo 1 con 124.26 l/s correspondientes al 28.5% del total concesionado para el sector (Figura 262). Esta demanda es destinada para el sector productivo de café, principalmente para los municipios de Córdoba y Pijao según registros de usuarios proporcionados por la autoridad ambiental. Otras corrientes con alta demanda para uso agrícola son la Quebrada Buenavista en el Tramo 2 con 44.12 l/s (10.47%), la unidad hidrológica Drenajes al Río Barbas con 42.49 l/s (10%) y el Río Roble en el Tramo 1 con 41.71 l/s (9.9%) destinadas al desarrollo productivo de actividades agrícolas para los municipios de Filandia y Quimbaya.

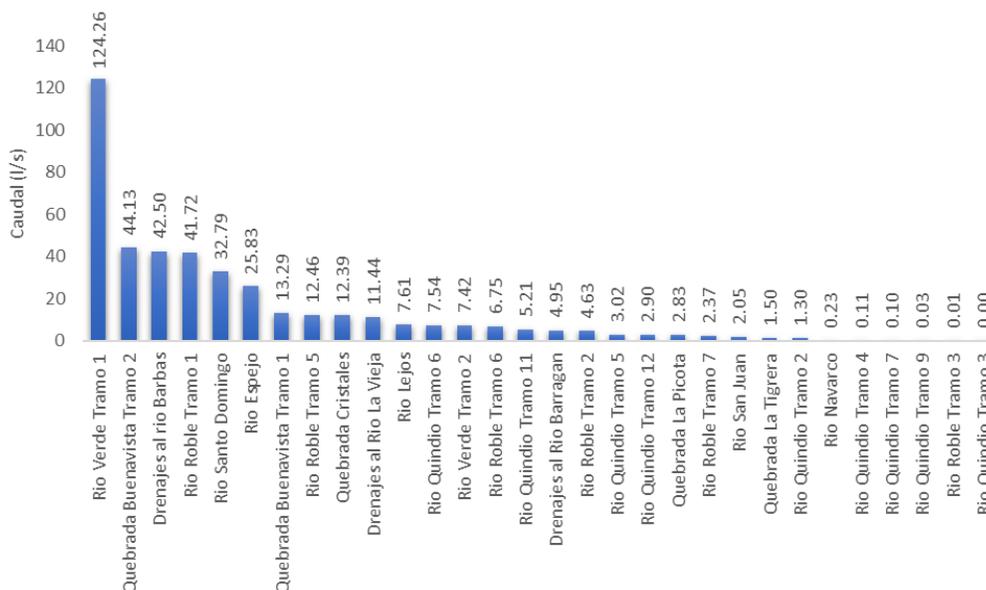


Figura 262. Distribución de la demanda hídrica superficial agrícola por unidades hidrológicas de análisis

4.3.3. Demanda Superficial para Uso Acuícola

En cuanto al sector acuícola, su demanda se encuentra situada principalmente sobre el Río Quindío en el Tramo 1 con 101 l/s correspondientes al 97% del volumen demandado por el sector (Figura 263). Este Tramo corresponde a la parte alta de la cuenca del Río Quindío a la altura del municipio de Salento. Otras demandas de menor magnitud se encuentran localizadas en los Ríos Santo Domingo, Verde y Espejo con 0.75 l/s (0.7%), 0.59 l/s (0.6%) y 0.57 l/s (0.5%) respectivamente.

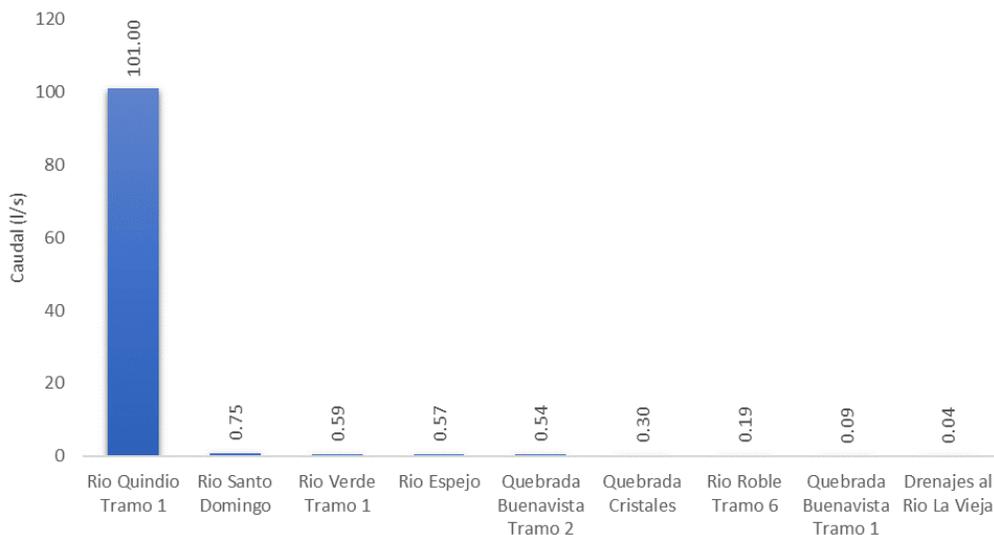


Figura 263. Distribución de la demanda hídrica superficial acuícola por unidades hidrológicas de análisis

4.3.4. Demanda Superficial para Uso Energético

La demanda para uso energético se encuentra distribuida en cuatro diferentes tramos o unidades hidrológicas de análisis sobre el Río Quindío, siendo el Tramo 10 el de mayor volumen con 2925 l/s el cual corresponde al 27.6 % del total concesionado (Figura 264). Los otros tres tramos con demanda para este sector son los Tramo 8, 7 y 6, cada uno con 2558.33 l/s concesionados, siendo el 72.4% (24.1% cada tramo) de la demanda energética actual.

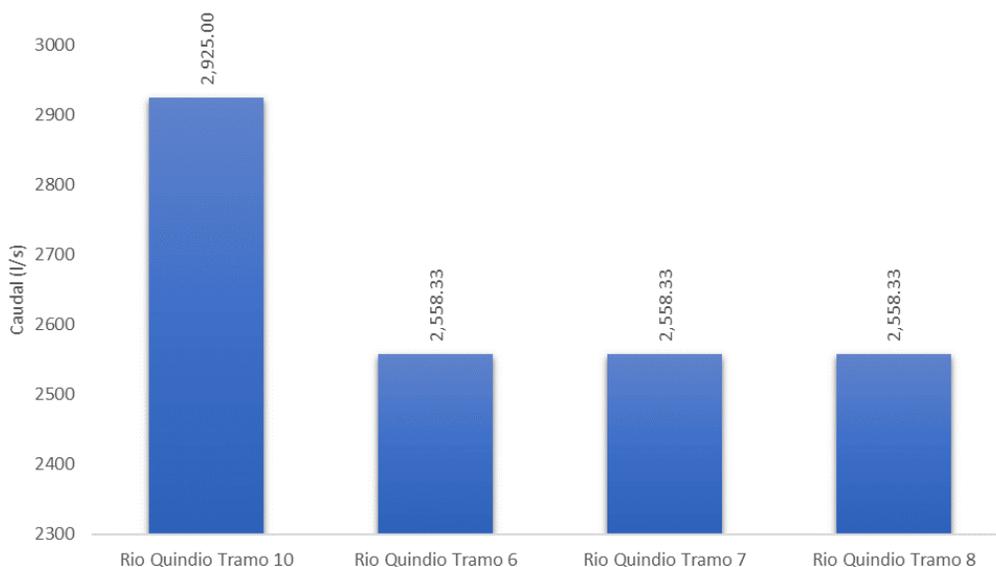


Figura 264. Distribución de la demanda hídrica superficial energética por unidades hidrológicas de análisis

4.3.5. Demanda Superficial para Uso Industrial

La demanda superficial para el sector industrial en el departamento del Quindío se sitúa principalmente en las corrientes de los Ríos Lejos y Santo Domingo (Figura 265). Para el Río Lejos, esta demanda corresponde a industrias localizadas en el municipio de Pijao con 91.8 l/s concesionados representados en el 65.8% del total de la demanda. En cuanto al Río Santo Domingo, corresponde a diferentes industrias localizadas en el municipio de Calarcá con 43.63 l/s representando el 31.3% para este sector. Otras corrientes como los Ríos Quindío y Verde presentan concesiones en menor magnitud, sumando 4.13 l/s siendo el 3% restante.

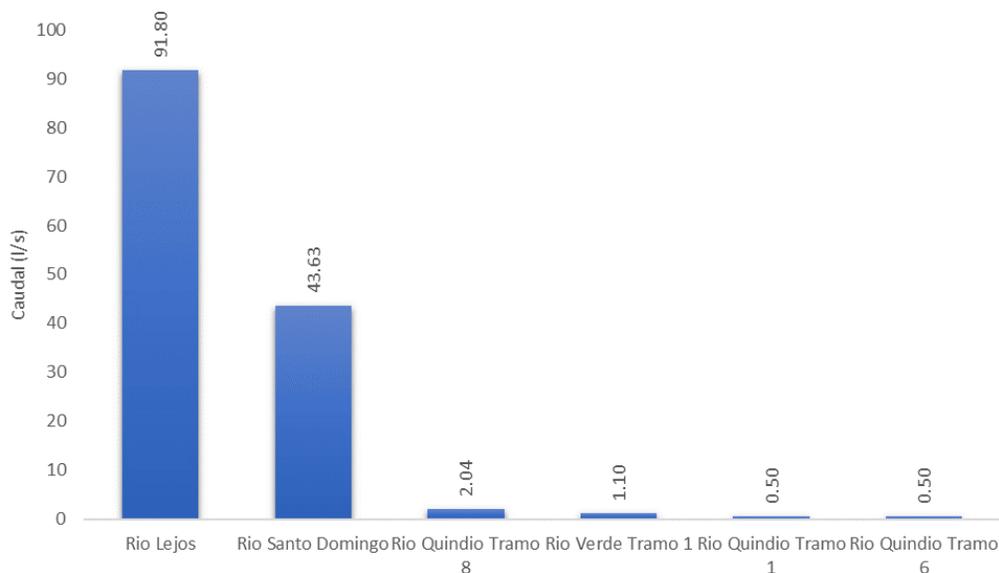


Figura 265. Distribución de la demanda hídrica superficial industrial por unidades hidrológicas de análisis

4.3.6. Demanda Superficial para Uso Pecuario

Las demandas superficiales para el uso pecuario se encuentran localizadas en mayor proporción sobre el Río Verde en el Tramo 1 tomado desde el nacimiento hasta aguas arriba de su confluencia con el río Santo Domingo (Figura 266). Estas demandas corresponden al 32.6% del total concesionado con 48.67 l/s destinados para actividades pecuarias en los municipios de Córdoba y Pijao. Otros tramos con volumen representativo para el sector son el Río Roble en el Tramo 1 con 15.64 l/s (10.5%), la Quebrada Buenavista en el Tramo 2 con 12.26 l/s (8.2%) y el Río Santo Domingo con 11.67 l/s (7.8%), recurso destinado para los municipios de Filandia, Quimbaya y Calarcá.

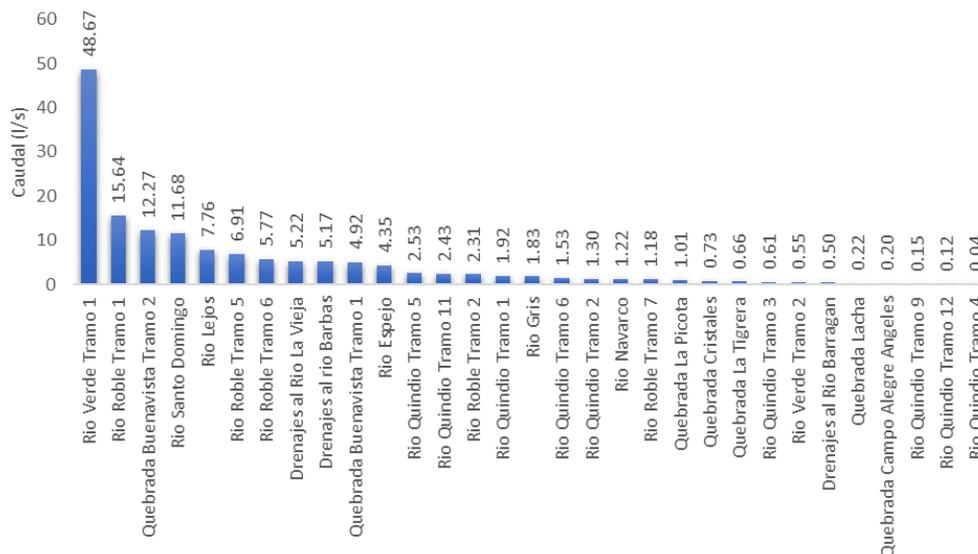


Figura 266. Distribución de la demanda hídrica superficial pecuaria por unidades hidrológicas de análisis

4.3.7. Demanda Superficial para Uso Piscícola

Para el sector piscícola, las mayores concesiones hídricas se encuentran situadas sobre el Río Lejos con 3 l/s representando el 39.8% del total concesionado para el sector (Figura 267). Esta demanda es destinada para los municipios de Córdoba y Pijao según registros de usuarios proporcionados por la autoridad ambiental. Otras corrientes demandadas para uso piscícola son la Quebrada Cristales con 1.7 l/s (22.5%), Río Quindío en los Tramos 2 y 7 con 1 l/s cada una (13.3% respectivamente) y el Rio Santo Domingo con 0.84 l/s (11.2%) destinadas para los municipios de Córdoba, La Tebaida, Calarcá y Salento.

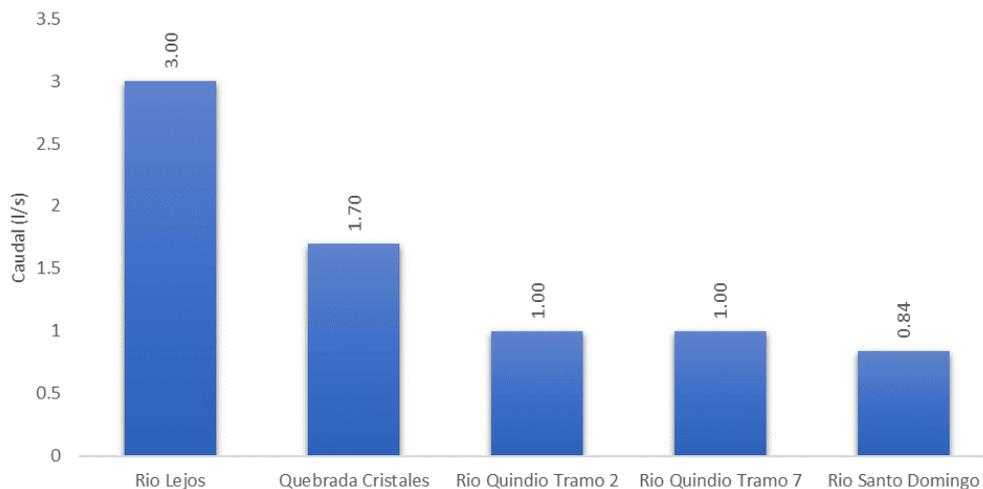


Figura 267. Distribución de la demanda hídrica superficial piscícola por unidades hidrológicas de análisis

4.3.8. Demanda Superficial para Uso Recreativo

En cuanto al sector recreativo, la totalidad de esta demanda se encuentra localizada sobre la Quebrada Cristales con 49.92 l/s para el municipio de Armenia según registros de usuarios proporcionados por la autoridad ambiental (Figura 268).

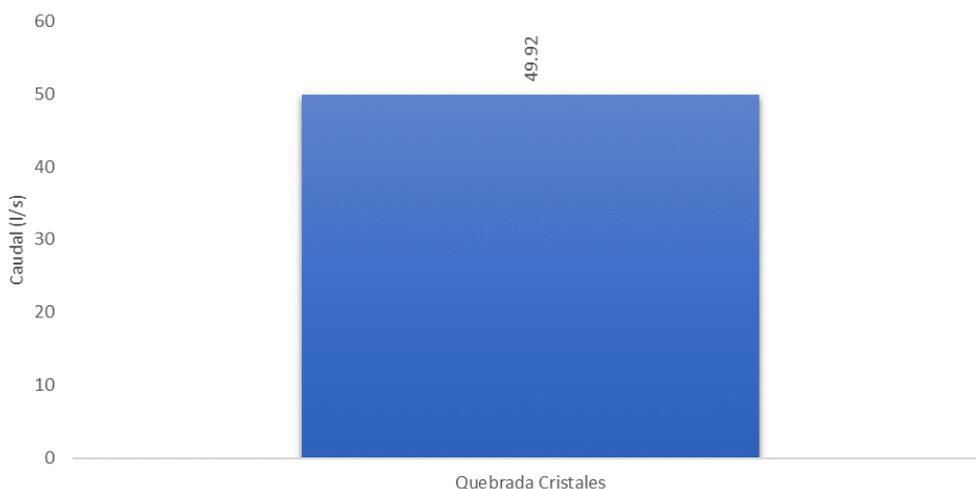


Figura 268. Distribución de la demanda hídrica superficial recreativa por unidades hidrológicas de análisis

4.3.9. Demanda Superficial para Uso de Riego

Las mayores proporciones en volumen concesionado para uso de riego se encuentran situadas sobre la unidad hidrológica definida como Drenajes directos al Río La Vieja con 0.52 l/s (41.4%) y el Río Roble en el Tramo 2 con 0.5 l/s (39.6%) destinadas para satisfacer las necesidades hídricas en los municipios de Montenegro, Quimbaya y Circasia (Figura 269). Otras concesiones de importancia son las realizadas sobre el Río Quindío en el Tramo 11 con 0.1 l/s (7.9%) para el municipio de Calarcá, el Río Lejos con 0.1 l/s (7.9%) y la Quebrada Cristales con 0.03 l/s (2.4%) para el municipio de Pijao.

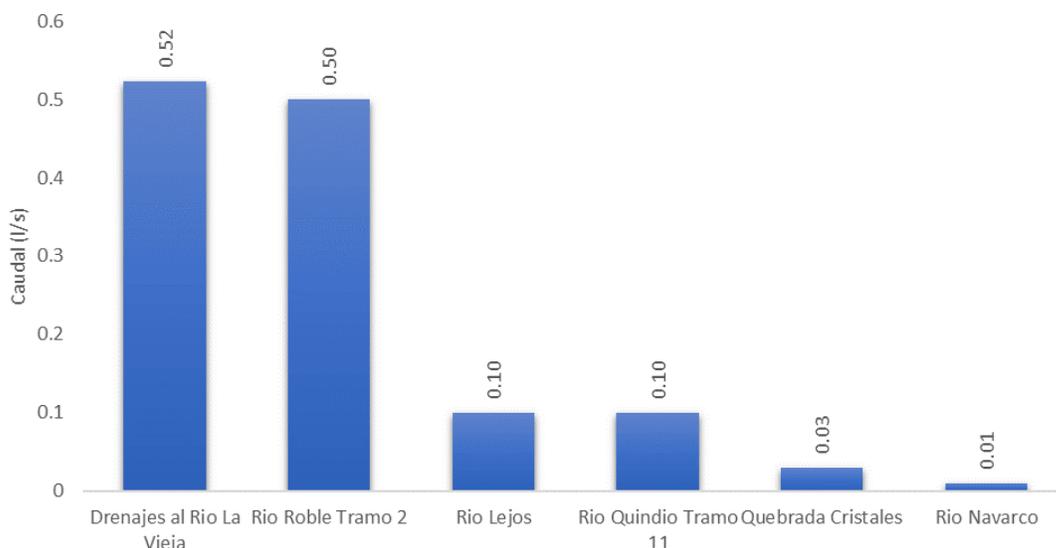


Figura 269. Distribución de la demanda hídrica superficial para riego por unidades hidrológicas de análisis

4.4. Demanda Hídrica Subterránea Concesionada

La demanda hídrica subterránea en el departamento del Quindío se distribuye en seis (6) tipos de uso. Las mayores proporciones del recurso hídrico subterráneo son destinadas para el uso doméstico con 84.28 l/s equivalente a un 35.84%, seguido del sector industrial con 53.89 l/s equivalente al 22.92%, el sector agrícola con 50.57 l/s equivalente al 21.50% y el sector pecuario con 44.93 l/s representando el 19.11% del total demandado. El sector recreativo y piscícola no tienen gran representatividad en la demanda subterránea con 1.4 l/s (0.6%) y 0.1 l/s (0.04%) respectivamente. Esta demanda de agua subterránea representa una dotación total de 235.17 l/s en 37 unidades hidrológicas de análisis.

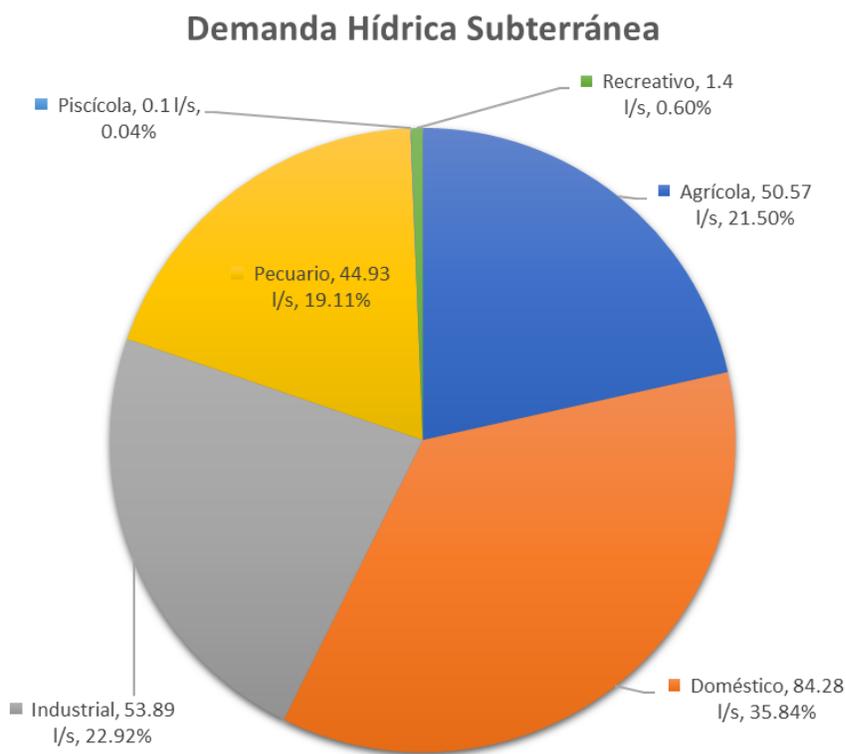


Figura 270. Distribución de la demanda hídrica subterránea por sectores

El análisis de la distribución por sector para la demanda hídrica subterránea se realiza en relación con la Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas en la Tabla 2 del presente documento.

4.4.1. Demanda Subterránea para Uso Doméstico

Para el sector doméstico, los volúmenes subterráneos concesionados de mayor magnitud se encuentran situados sobre la UHA Drenajes al Río La Vieja con 31.89 l/s (37.8%) destinadas a abastecer el municipio de Montenegro, la UHA de la Quebrada Cristales con 18.61 l/s (22.1%) para los municipios de La Tebaida y Armenia, y la UHA del Río Espejo con 13.75 l/s (16.3%) distribuida en los municipios de Montenegro, Circasia, Armenia y La Tebaida (Figura 271). Otros tramos con menor representatividad son la UHA Drenajes al Río Barbas con 5.4 l/s (6.4%), las UHA del Río Quindío en los Tramos 9 y 3 con 4.68 l/s (5.6%) y 2.73 l/s (3.2%) respectivamente, y la UHA del Río Verde en el Tramo 2 con 2.4 l/s (2.8%), en beneficio de los municipios de Filandia, Salento y Calarcá.

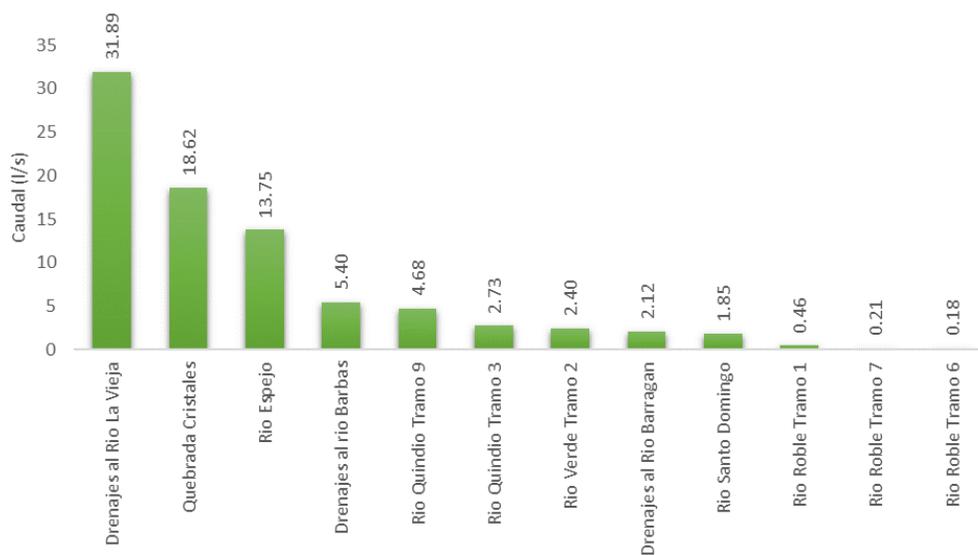


Figura 271. Distribución de la demanda hídrica subterránea doméstica por unidades hidrológicas de análisis

4.4.2. Demanda Subterránea para Uso Agrícola

Para el sector agrícola, las mayores concesiones hídricas subterráneas se encuentran situadas sobre la UHA del Río Espejo con 13.82 l/s (27.3%) principalmente para el cultivo de café en los municipios de Armenia y Montenegro, la UHA Drenajes Directos al Río La Vieja con 13.7 l/s. (27.7%) para el municipio de Montenegro, y en menor proporción sobre la UHA del Río Roble en el Tramo 6 con 10 l/s (19.8%), la UHA de la Quebrada Campo Alegre Ángeles con 8.3 l/s (1.4%) y UHA del Río Roble en el Tramo 7 con 4.75 l/s (9.4%) destinadas para actividades productivas en los municipios de Circasia, Filandia y Quimbaya respectivamente (Figura 272).

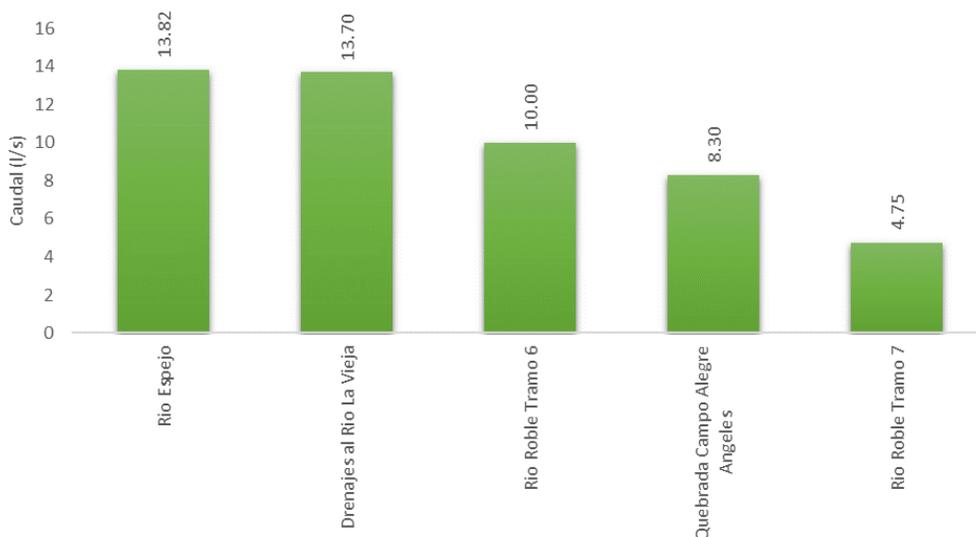


Figura 272. Distribución de la demanda hídrica subterránea agrícola por unidades hidrológicas de análisis

4.4.3. Demanda Subterránea para Uso Industrial

La demanda subterránea para el sector industrial se sitúa principalmente en las UHA de los Ríos Espejo, Quindío en el Tramo 8, y la Quebrada Cristales (Figura 273). Para la UHA del Río Espejo, esta demanda corresponde a industrias localizadas en jurisdicción de los municipios de Montenegro y Armenia con 22.34 l/s concesionados representados en un 41.5% del total de la demanda subterránea. Sobre la UHA del Río Quindío en el Tramo 8, corresponde a industrias del municipio de Calarcá con 14.93 l/s representando el 27.7%. Por último, para la UHA de la Quebrada Cristales corresponde a industrias situadas en los municipios de Armenia y La Tebaida con 14.4 l/s siendo este el 26.7% para el sector.

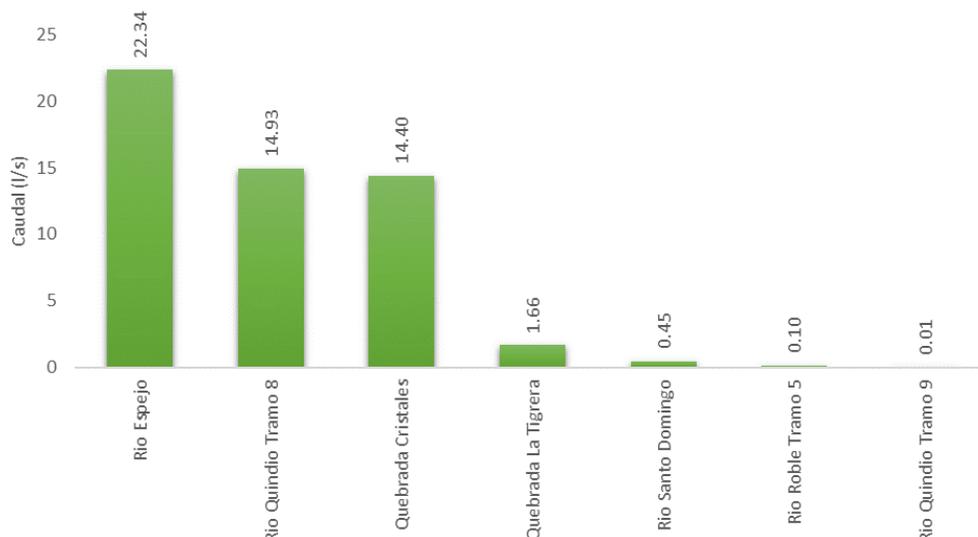


Figura 273. Distribución de la demanda hídrica subterránea industrial por unidades hidrológicas de análisis

4.4.4. Demanda Subterránea para Uso Pecuario

Las demandas subterráneas para el uso pecuario se encuentran localizadas en mayor proporción sobre la UHA de la Quebrada Buenavista en el Tramo 2 con 9.1 l/s (20.5%) para el desarrollo de actividades en los municipios de Quimbaya y Filandia, la UHA de la Quebrada Cristales con 8.9 l/s (19.8%) en actividades ubicadas principalmente en el municipio de Armenia y en menor proporción en el municipio de La Tebaida, la UHA Drenajes al Río La Vieja con 8.36 l/s (18.6%) para los municipios de Quimbaya, Montenegro y La Tebaida, y sobre la unidad hidrológica del Río Espejo con 6.76 l/s (15%) para los municipios de Montenegro y Armenia (Figura 274). Otros tramos con menor concesión para este sector son la UHA del Río Quindío en el Tramo 12 (3.3 l/s, 7.3%), UHA Drenajes al Río Barragán (2.6 l/s, 5.8%), UHA del Río Verde en el Tramo 2 (2.4 l/s, 5.3%), UHA del Río Roble en los Tramos 5 (1.87 l/s, 4.2%) y 6 (0.42 l/s, 0.9%), y la UHA de la Quebrada Campo Alegre Ángeles (1.11 l/s, 2.5%).

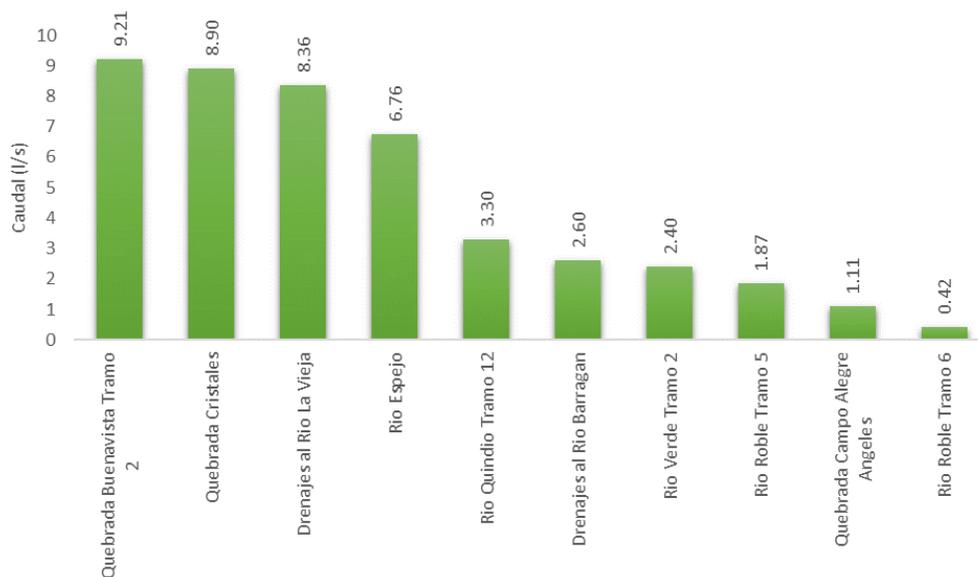


Figura 274. Distribución de la demanda hídrica subterránea pecuaria por unidades hidrológicas de análisis

4.4.5. Demanda Subterránea para Uso Piscícola

En cuanto al sector subterráneo piscícola, la totalidad de esta demanda se encuentra localizada sobre la UHA Drenajes directos al Río La Vieja con 0.1 l/s para el municipio de Montenegro según registros de usuarios proporcionados por la autoridad ambiental (Figura 275).

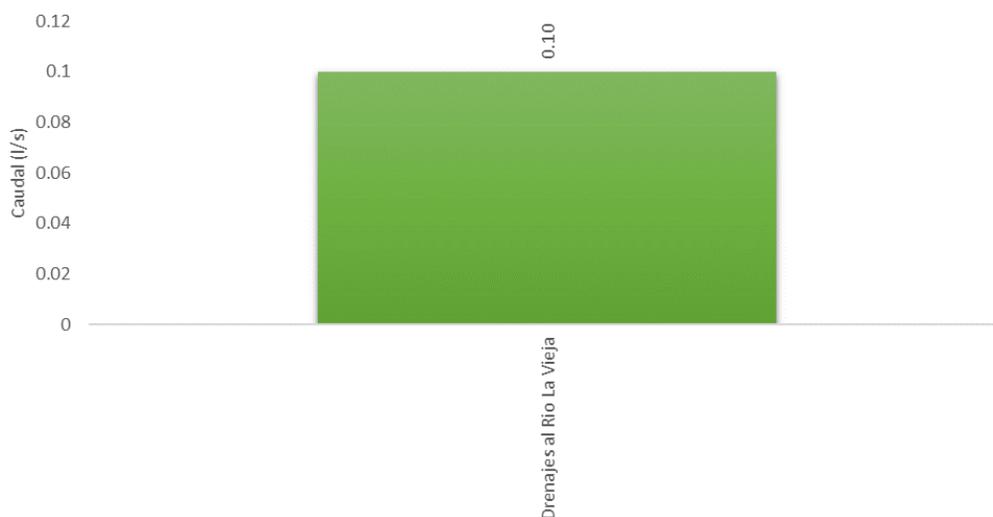


Figura 275. Distribución de la demanda hídrica subterránea piscícola por unidades hidrológicas de análisis

4.4.6. Demanda Subterránea para Uso Recreativo

Las mayores proporciones en volumen concesionado para uso recreativo se encuentran situadas sobre la UHA de la Quebrada Cristales con 1.2 l/s y la UHA del Río Roble en el Tramo 7 con 0.21 l/s destinadas para satisfacer las necesidades hídricas en los municipios de Armenia y Circasia respectivamente (Figura 276).

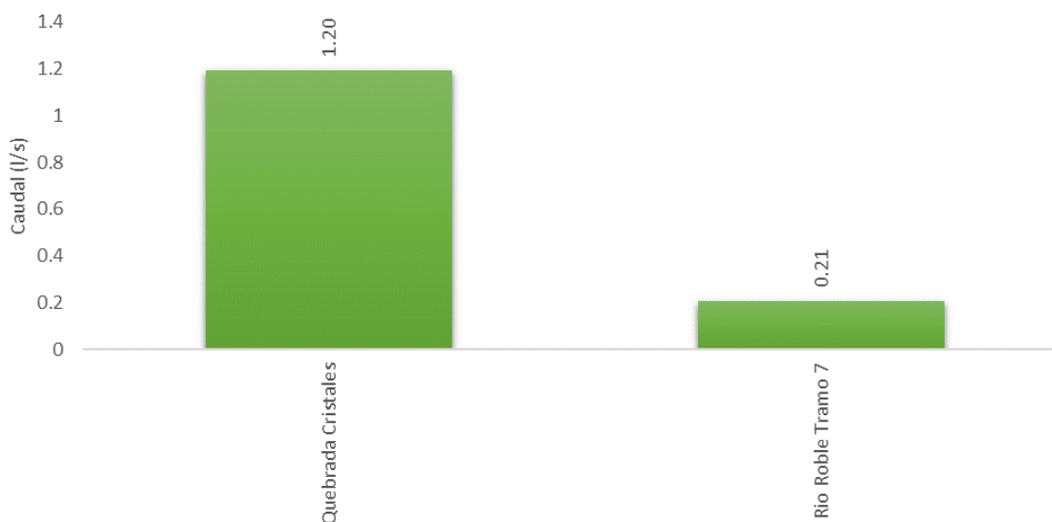


Figura 276. Distribución de la demanda hídrica subterránea para riego por unidades hidrológicas de análisis

5. Indicadores de Presión por Uso y Vulnerabilidad del Recurso Hídrico

5.1. Índice de Uso del Agua

Expresa la relación porcentual entre la demanda y la oferta hídrica total disponible (OHTD), en la ERA se calculó mediante la siguiente expresión aplicando la hoja metodológica versión 1.3 de IDEAM (2023):

$$IUA = \frac{DH}{OHTD} \times 100$$

IUA es el índice de uso del agua

DH es la demanda hídrica total

OHTD es la oferta hídrica total disponible

La presión por el uso del agua se categoriza de acuerdo con la Tabla 110.

Tabla 110. Categorías del índice de uso del agua. (Fuente: IDEAM, 2023)

Rango de categorías	Categoría	Clasificación	Presión de la demanda con respecto a la oferta disponible
$IUA > 100$		Crítico	Crítica
$50 < IUA \leq 100$		Muy Alto	Muy alta
$20 < IUA \leq 50$		Alto	Alta
$10 < IUA \leq 20$		Moderado	Moderada
$1 < IUA \leq 10$		Bajo	Baja
$IUA \leq 1$		Muy Bajo	No es significativa

La Oferta Hídrica Total Disponible (OHRD) se refiere al volumen de agua que resulta de extraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS) el caudal ambiental en la unidad de análisis. La demanda hídrica total se refiere al volumen de agua extraída para los usos sectoriales.

5.1.1. Índices de uso del agua anual para las unidades hidrológicas de análisis

La presión por el uso del agua en año medio es MUY ALTA en los tramos 6, 7, 8 y 10 del río Quindío, principalmente por demandas para uso Energético, igualmente, la quebrada Lacha presenta un índice de uso MUY ALTO en esta condición hidrológica. Las unidades río Quindío Tramo 3, quebrada Buenavista Tramo 2, río Roble tramo 1 y río Roble tramo 5 tienen una presión ALTA por uso debido a demandas para uso Doméstico. En esta misma condición hidrológica, el río Quindío Tramo 5, río Santo Domingo, río

Verde Tramo 1, quebrada Buenavista Tramo 1, río Roble Tramo 3 y río Roble Tramo 6 tiene una presión MODERADA por usos principalmente de tipo doméstico.

Tabla 111. Índice de uso del agua para año medio y seco en las unidades hidrológicas de análisis

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m ³ /s)	Año medio		Año seco	
		OHTD (m ³ /s)	IUA (%)	OHTD (m ³ /s)	IUA (%)
Quebrada La Picota	0.0190	0.6684	2.85	0.2877	6.62
Río Lejos	0.1473	4.0451	3.64	1.4446	10.20
Río Navarco	0.0029	0.9511	0.31	0.2716	1.07
Río Quindío Tramo 1	0.1077	1.9739	5.46	1.0939	9.84
Río Quindío Tramo 2	0.0306	2.8197	1.08	1.5458	1.98
Río Quindío Tramo 3	1.4434	2.8921	49.91	1.5835	91.15
Río Quindío Tramo 4	0.0006	3.7830	0.02	1.5777	0.04
Río Quindío Tramo 5	0.4227	3.9484	10.71	1.6420	25.75
Río Quindío Tramo 6	2.5680	3.9942	64.29	1.6445	156.16
Río Quindío Tramo 7	2.7996	4.0002	69.99	1.6422	170.48
Río Quindío Tramo 8	2.5614	4.0024	64.00	1.6407	156.12
Río Quindío Tramo 9	0.0020	4.0398	0.05	1.6331	0.12
Río Quindío Tramo 10	2.9250	4.0422	72.36	1.6309	179.35
Río Quindío Tramo 11	0.0091	4.1116	0.22	1.5969	0.57
Río Quindío Tramo 12	0.0030	7.4508	0.04	2.5523	0.12
Río Santo Domingo	0.3181	1.8741	16.98	0.6085	52.28
Río Verde Tramo 1	0.2322	1.6502	14.07	0.5758	40.32
Río Verde Tramo 2	0.0098	3.5778	0.27	1.2099	0.81
Río San Juan	0.0022	1.8812	0.11	1.1043	0.19
Río Gris	0.0618	0.6959	8.89	0.4000	15.46
Río Rojo	0.0005	3.9926	0.01	2.1708	0.02
Quebrada Buenavista T 1	0.0197	0.1822	10.81	0.0963	20.46
Quebrada Buenavista T 2	0.1980	0.5574	35.52	0.2531	78.23
Quebrada La Tigrera	0.0022	0.1036	2.08	0.0442	4.88
Quebrada Campo Alegre	0.0122	0.1532	7.96	0.0654	18.65
Río Roble Tramo 1	0.0574	0.1334	43.01	0.0805	71.27
Río Roble Tramo 2	0.0077	0.4545	1.70	0.2710	2.86
Río Roble Tramo 3	0.0067	0.0398	16.86	0.0245	27.35
Río Roble Tramo 4	0.0000	0.0704	0.00	0.0417	0.00
Río Roble Tramo 5	0.0802	0.3325	24.13	0.2286	35.11
Río Roble Tramo 6	0.1511	1.2115	12.47	0.7350	20.56
Río Roble Tramo 7	0.1371	1.6452	8.34	0.9125	15.03
Quebrada Lacha	0.0656	0.0891	73.65	0.0635	103.33
Drenajes al río Barbas	0.0706	0.8256	8.55	0.4920	14.35
Drenajes al Río Barragán	0.0057	0.9094	0.63	0.4030	1.41
Drenajes al Río La Vieja	0.0191	0.7835	2.43	0.3141	6.07
Quebrada Cristales	0.0651	0.6517	9.99	0.2244	29.00
Río Espejo	0.0378	1.5122	2.50	0.5751	6.57

En año seco se presenta una presión CRÍTICA por el uso del agua en los tramos 6, 7, 8 y 10 del río Quindío y quebrada Lacha. La categoría MUY ALTA se evidencia en río Quindío Tramo 3, río Santo Domingo, quebrada Buenavista Tramo 2 y río Roble Tramo 1. La presión por uso del agua es ALTO en río Quindío Tramo 5, río Verde Tramo 1, Quebrada Buenavista Tramo 1, río Roble Tramo 3, río Roble Tramo 5, río Roble Tramo 6 y quebrada Cristales. Las unidades río Lejos, río Gris, quebrada Campoalegre, río Roble Tramo 7, y drenajes al río Barbas evidencian una presión MODERADA por el uso en año seco.

Las quebradas Corozal, El Águila, El Naranjal, La Marina, La Paloma y el río Quindío en el sector de la bocatoma de La Tebaida presentan un IUA CRÍTICO en año hidrológico medio. Una presión MUY ALTA se evidencia en 11 fuentes abastecedoras y ALTA en 13 (Figura 281). Por lo anterior se identifican fuertes presiones por el uso del agua, principalmente de tipo doméstico en 30 de las 34 microcuencas evaluadas.

En año hidrológico seco la presión por el uso se incrementa, ya que 18 de las 34 fuentes abastecedoras presentan un IUA CRÍTICO, 7 fuentes MUY ALTO y 8 fuentes ALTO, es decir 33 fuentes hídricas tienen fuerte presión por el uso del agua (Figura 282).

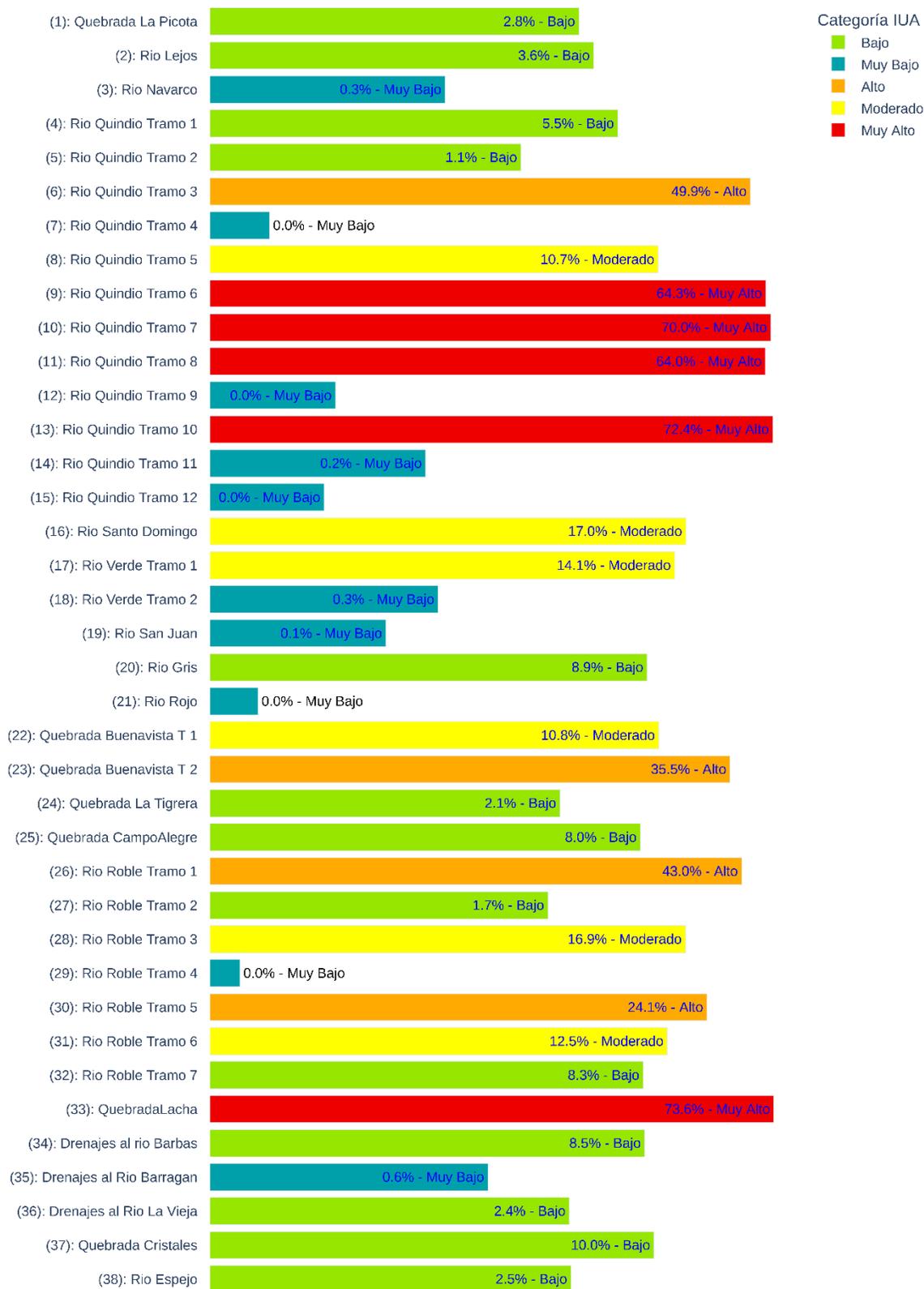


Figura 277. Índice de uso del agua para año medio en las unidades hidrológicas de análisis

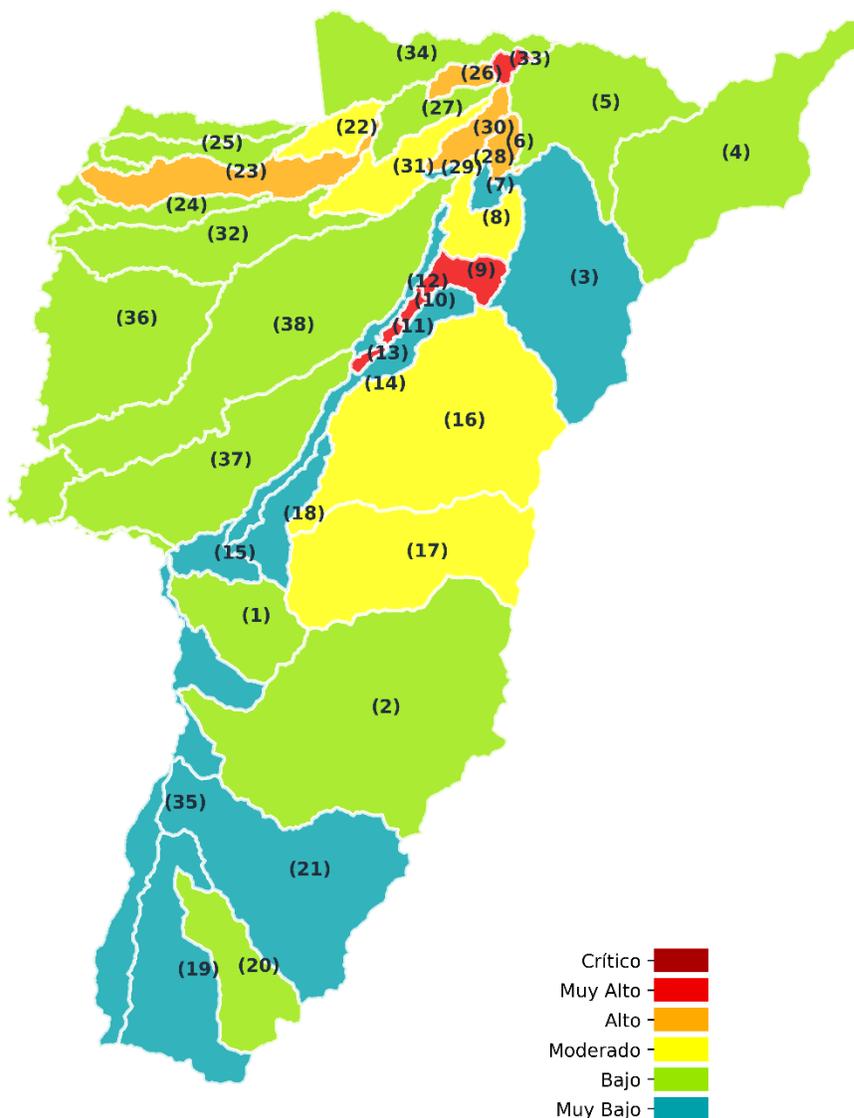


Figura 278. Mapa de distribución espacial del índice de uso del agua para año medio en las unidades hidrológicas de análisis

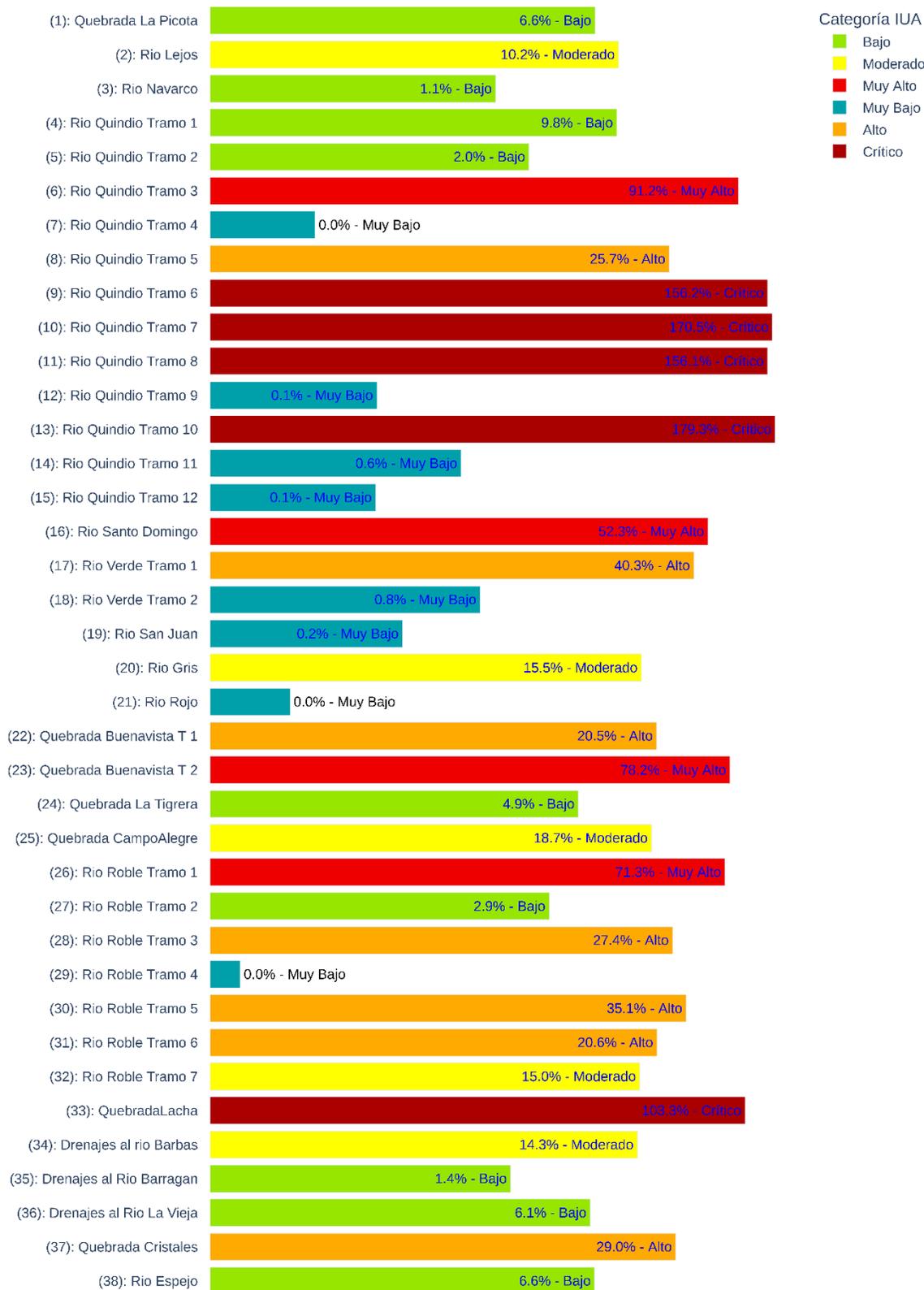


Figura 279. Índice de uso del agua para año seco en las unidades hidrológicas de análisis

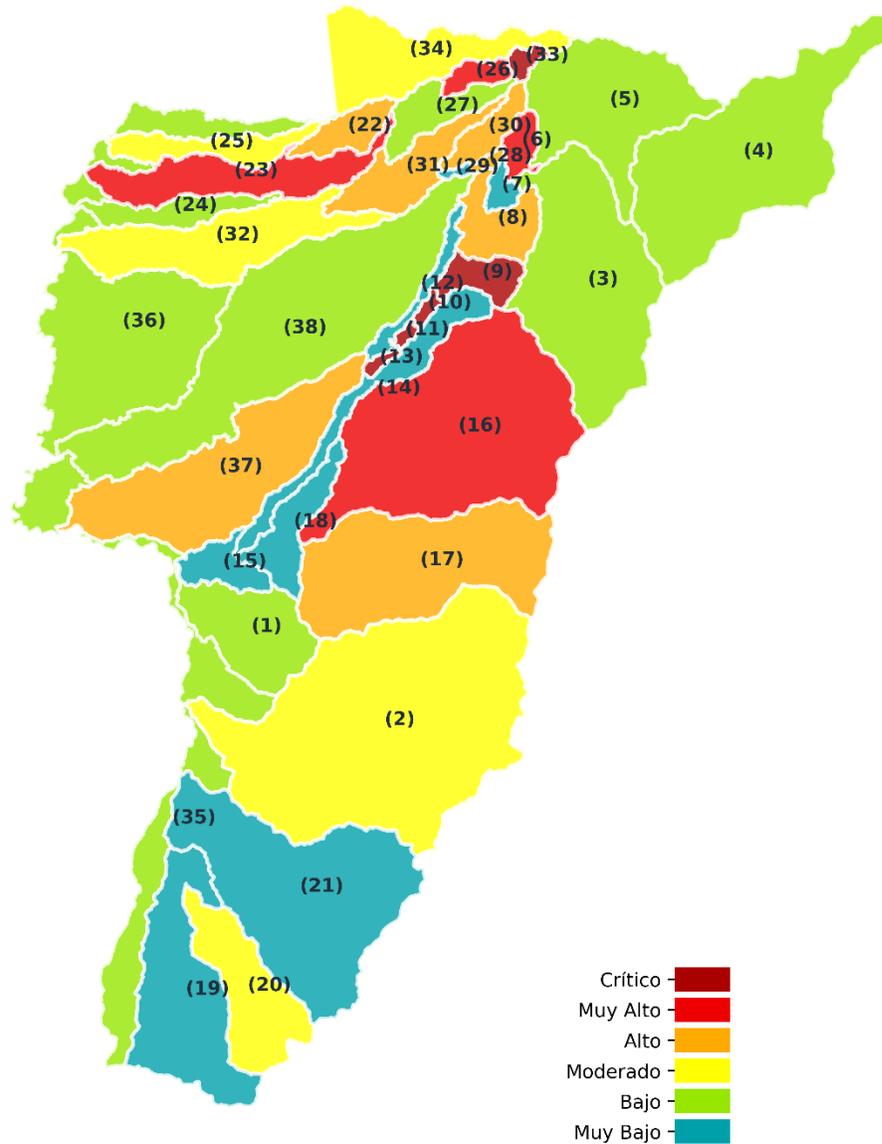


Figura 280. Mapa de distribución espacial del índice de uso del agua para año seco en las unidades hidrológicas de análisis

Tabla 112. Índice de uso del agua para año medio y seco en las fuentes abastecedoras de acueductos

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m ³ /s)	Año medio		Año seco	
		OHTD (m ³ /s)	IUA (%)	OHTD (m ³ /s)	IUA (%)
Quebrada Bolivia	0.0028	0.0029	95.0	0.002	138.2
Quebrada Corozal	0.0040	0.0017	233.9	0.001	721.1
Quebrada La Cristalina	0.0015	0.0023	64.7	0.002	96.8
Quebrada Cruz Gorda	0.0156	0.0633	24.7	0.031	50.0
Quebrada El Águila	0.0160	0.0069	233.3	0.002	719.4
Quebrada El Salado 2	0.0025	0.0075	33.4	0.003	82.7
Quebrada El Salado La Gata	0.1112	0.1244	89.4	0.040	275.2
Quebrada Diamantina	0.0120	0.0289	41.3	0.011	105.5
Quebrada La Llorona	0.0011	0.0096	11.5	0.003	35.4
Quebrada La Picota	0.0159	0.0358	44.5	0.017	95.4
Quebrada La víbora	0.0306	0.0308	99.3	0.010	306.3
Quebrada Las Pizarras	0.0225	0.1227	18.3	0.048	46.3
Quebrada El Naranjal	0.0150	0.0095	158.4	0.003	514.4
Quebrada El Roble Los Justos	0.0147	0.0413	35.7	0.014	108.8
Quebrada Pijao	0.0100	0.0204	48.9	0.009	110.1
Rio Gris	0.0618	0.6853	9.0	0.393	15.8
Rio Quindío EPA	1.5471	2.8188	54.9	1.545	100.1
Rio Quindío Tebaida	7.3757	4.0002	184.4	1.642	449.1
Rio Quindío Estación de Bombeo	2.0080	3.9479	50.9	1.642	122.3
Rio Verde	0.1344	0.6289	21.4	0.173	77.5
Quebrada San Rafael	0.0606	0.0727	83.4	0.023	260.8
Rio Santo Domingo	0.0785	0.6471	12.1	0.216	36.4
Quebrada Cajones	0.0067	0.0297	22.5	0.018	36.2
Quebrada El Bosque	0.0050	0.0175	28.6	0.015	34.2
Quebrada La Arenosa	0.0156	0.0271	57.5	0.017	93.5
Quebrada La Marina	0.0120	0.0057	209.5	0.004	270.8
Quebrada La Paloma	0.0080	0.0024	332.6	0.001	615.0
Quebrada La Soledad	0.0200	0.0271	73.9	0.012	169.7
Quebrada Lacha	0.0656	0.0881	74.5	0.064	103.3
Quebrada Las Lajas	0.0045	0.0161	27.9	0.007	65.9
Quebrada Buenavista	0.1497	0.1867	80.2	0.096	155.5
Rio Roble Circasia	0.0631	0.2092	30.2	0.155	40.6
Rio Roble Montenegro 1	0.4032	1.2108	33.3	0.735	54.9
Rio Roble Montenegro 2	0.2995	1.0533	28.4	0.657	45.6

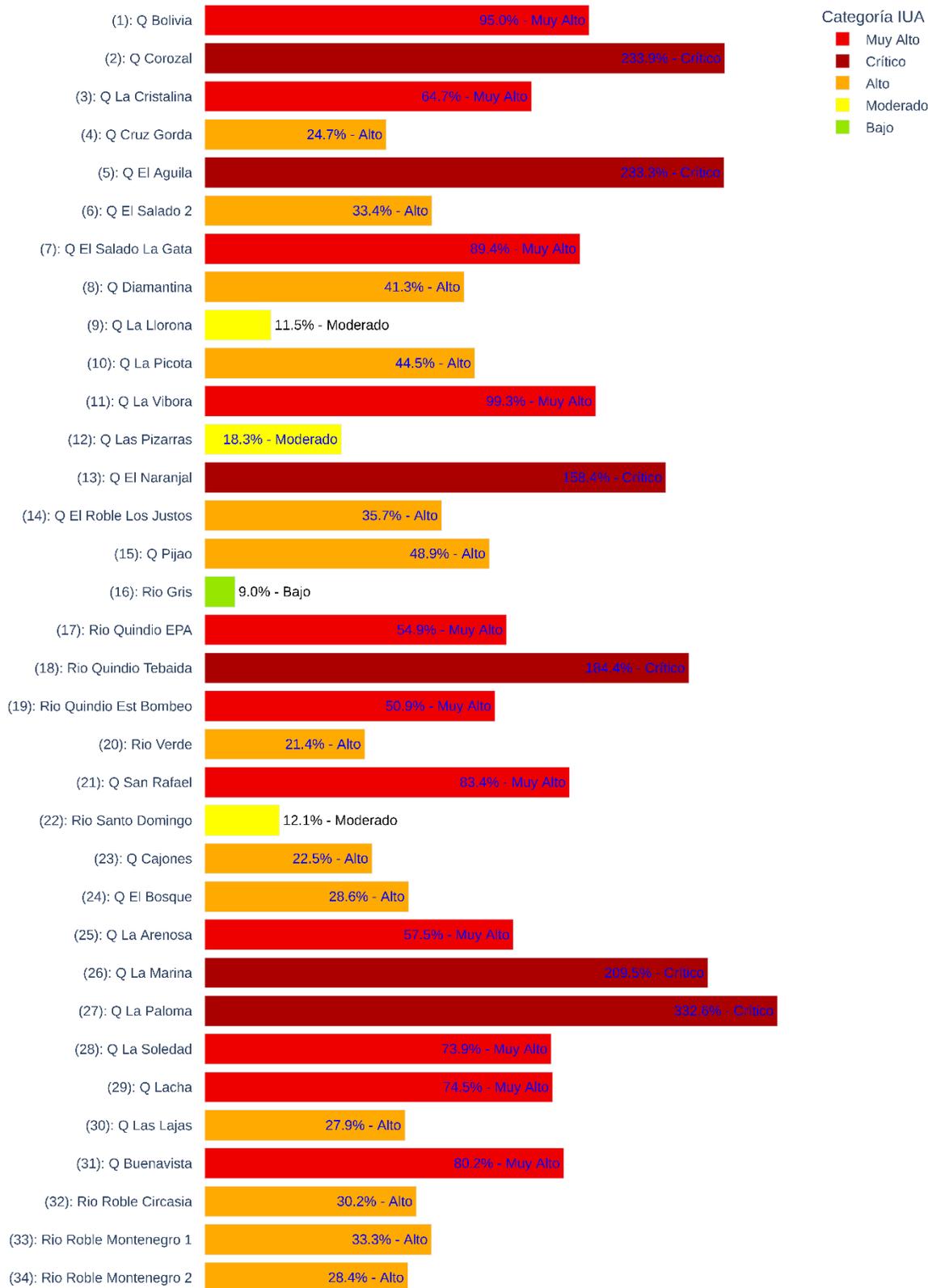


Figura 281. Índice de uso del agua para año medio en las fuentes abastecedoras de acueductos

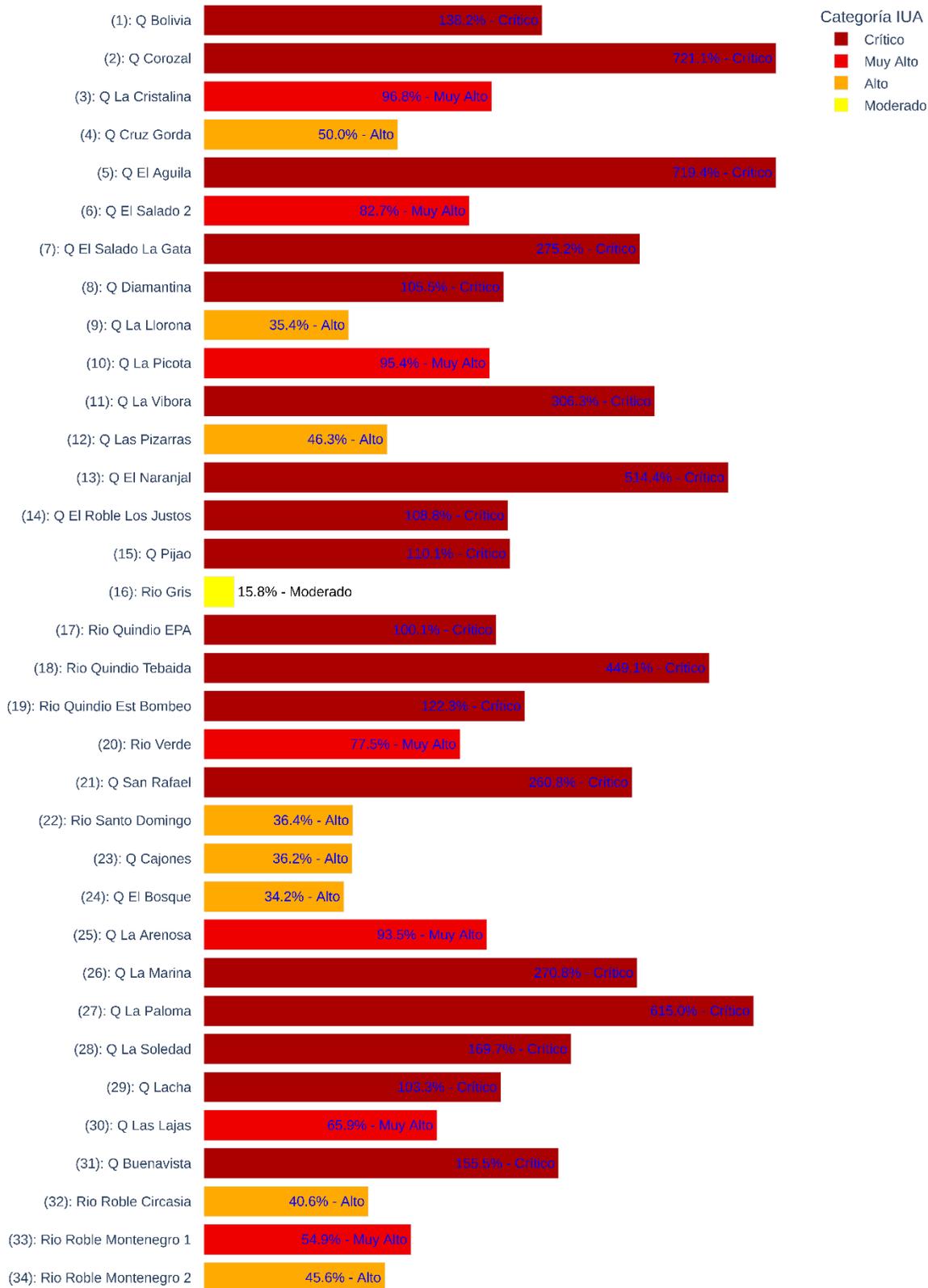


Figura 282. Índice de uso del agua para año seco en las fuentes abastecedoras de acueductos

5.1.2. Índices de uso del agua mensuales en las unidades hidrológicas de análisis

Unidad hidrográfica de la quebrada La Picota

Presenta una presión BAJA durante todo el año hidrológico neutro, valor que se incrementa a ALTA Y MUY ALTA durante los meses de febrero, julio, agosto y septiembre del año hidrológico seco.

Unidad hidrográfica del río Lejos

Presenta una presión BAJA durante todo el año hidrológico neutro y ALTA y MUY ALTA la mayor parte del año hidrológico seco

Unidad hidrográfica del río Quindío

Los tramos 1, 2, 4, 9, 11 y 12 del río Quindío tienen una presión MUY BAJA y BAJA durante la mayor parte del año hidrológico neutro (medio), el tramo 5 presenta una presión MODERADA, y los tramos 3, 6, 7, 8 y 10 tienen una presión MUY ALTA en la mayor parte del año, evidenciando una presión CRÍTICA por el uso del agua de julio a septiembre.

Para año hidrológico seco, se evidencia una presión CRÍTICA la mayor parte del año en los tramos 3, 5, 6, 7, 8 y 10 del río Quindío, río Santo Domingo y río Verde tramo 1.

Los tributarios río Navarco y río Verde tramo 2 tienen una presión MUY BAJA por el uso del agua en el año hidrológico neutro, en contraste las unidades de análisis río Santo Domingo y río Verde tramo 1 tienen una presión MODERADA a ALTA.

Unidad hidrográfica del río San Juan

Presenta una presión MUY BAJA durante todo el año hidrológico neutro, y BAJA y MUY BAJA durante el año hidrológico seco

Unidad hidrográfica del río Gris

Presenta una presión MODERADA durante los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre, la presión es BAJA en los meses marzo, abril, mayo y noviembre para el año hidrológico neutro. Durante el año hidrológico seco, la mayor parte del año se presenta una presión CRÍTICA y MUY ALTA

Unidad hidrográfica del río Rojo

Presenta una presión MUY BAJA durante todo el año hidrológico neutro y año hidrológico seco

Unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista

Se evidencia una presión ALTA por el uso del agua en los meses de agosto y septiembre, y MODERADA la mayor parte del año hidrológico neutro en el tramo 1. Para el tramo 2 se observa una presión MUY ALTA de julio a septiembre y ALTA durante el resto del año hidrológico neutro. En año hidrológico seco se presenta una presión CRÍTICA todos los meses en el tramo 2, y CRÍTICA, MUY ALTA y ALTA en el tramo 1.

Unidad hidrográfica de la quebrada La Tigre

Presenta una presión BAJA durante todo el año hidrológico neutro. Para el año hidrológico seco, la presión se incrementa en los meses julio, agosto, enero y febrero a la categoría ALTA.

Unidad hidrográfica de la quebrada Campoalegre

Presenta una presión MODERADA de julio a septiembre y BAJA el resto del año hidrológico neutro. En año hidrológico seco, se evidencia un incremento en la presión por uso a las categorías CRÍTICA, MUY ALTA, y ALTA.

Unidad hidrográfica del río Roble

El tramo 2 presenta una presión BAJA durante todo el año hidrológico neutro, los tramos 3, 6 y 7 tienen una presión MODERADA la mayoría de los meses, en el tramo 5 se observa una presión ALTA durante la mayor parte del año, mientras que el tramo 1 evidencia una presión MUY ALTA por uso de abril a octubre.

Para año hidrológico seco, se observa una presión CRÍTICA los meses de julio a septiembre en los tramos 1, 3, 5, 6 y 7, y ALTA en el tramo 2. En año seco el tramo 4 mantiene una presión MUY BAJA.

Unidad hidrográfica de la quebrada Lacha

Presenta una presión CRÍTICA de mayo a septiembre y MUY ALTA durante el resto del año hidrológico neutro. La presión por el uso del agua se incrementa a una condición CRÍTICA durante todo el año hidrológico seco.

Unidad de análisis drenajes al río Barbas

Presenta una presión MODERADA la mayor parte del año, y BAJA durante los meses de enero, marzo, noviembre y diciembre del año hidrológico neutro. La presión se incrementa a CRÍTICA en los meses de julio a septiembre del año hidrológico seco.

Unidad de análisis drenajes al río Barragán

Presenta una presión MUY BAJA durante la mayor parte del año hidrológico neutro. Para la mayor parte del año hidrológico seco la presión es BAJA.

Unidad de análisis drenajes al río La Vieja

Presenta una presión BAJA durante el año hidrológico neutro. La mayor parte del año hidrológico seco la presión se incrementa a las categorías ALTA y MUY ALTA.

Unidad hidrográfica de la quebrada Cristales

Presenta una presión MODERADA los meses de febrero y de julio a noviembre, durante el resto del año hidrológico neutro la presión es BAJA. La mayor parte del año hidrológico seco se observa una presión CRÍTICA y MUY ALTA.

Unidad hidrográfica del río Espejo

Presenta una presión BAJA durante todo el año hidrológico neutro, la cual se incrementa a ALTA en la mayor parte del año hidrológico seco.

A continuación, se presenta la distribución mensual de la oferta hídrica total, caudal ambiental, oferta hídrica total disponible, la demanda hídrica, así como su Índice de Uso del Agua mensual para cada unidad de análisis en estudio:

5.1.2.1. IUA mensual en la UHA Quebrada La Picota

Tabla 113. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Quebrada La Picota

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.4626	1.3285	1.4080	1.5193	1.4448	1.1398	0.7993	0.5957	0.5572	0.8974	1.5766	1.7318
CA (m3/s)	0.8756	0.7168	0.6673	0.8440	0.8522	0.6661	0.4612	0.3112	0.2761	0.4727	0.8694	1.0595
OHTD (m3/s)	0.5870	0.6117	0.7407	0.6753	0.5926	0.4737	0.3381	0.2845	0.2811	0.4247	0.7072	0.6723
IUA (%)	3.2	3.1	2.6	2.8	3.2	4.0	5.6	6.7	6.8	4.5	2.7	2.8
DH (m3/s)	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190

Tabla 114. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Quebrada La Picota

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.7066	0.4859	0.5179	0.6832	1.0814	0.6914	0.4654	0.3267	0.2336	0.5873	0.9993	0.7232
CA (m3/s)	0.5737	0.4274	0.3970	0.5717	0.8496	0.5895	0.4184	0.2804	0.2111	0.3304	0.7455	0.6136
OHTD (m3/s)	0.1329	0.0585	0.1209	0.1115	0.2318	0.1019	0.0470	0.0463	0.0225	0.2569	0.2538	0.1096
IUA (%)	14.3	32.5	15.8	17.1	8.2	18.7	40.6	41.2	84.6	7.4	7.5	17.4
DH (m3/s)	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190

5.1.2.2. IUA mensual en la UHA Rio Lejos

Tabla 115. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Lejos

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	9.8186	8.9684	9.2169	9.7382	9.5780	7.9247	5.8517	4.5170	3.9461	5.2089	9.2728	11.1999
CA (m3/s)	6.2001	5.1406	4.6240	5.7282	5.6890	4.7082	3.4876	2.5527	2.2671	3.0189	5.4192	6.9775
OHTD (m3/s)	3.6185	3.8278	4.5929	4.0100	3.8890	3.2165	2.3641	1.9643	1.6790	2.1900	3.8536	4.2224
IUA (%)	4.1	3.8	3.2	3.7	3.8	4.6	6.2	7.5	8.8	6.7	3.8	3.5
DH (m3/s)	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473

Tabla 116. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Lejos

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	4.5622	3.5561	3.3280	3.8922	5.3297	4.2186	3.2089	2.3985	1.7154	2.7378	5.4217	4.8445
CA (m3/s)	3.9712	3.2316	3.0201	3.6643	4.9414	3.7095	2.9921	2.1079	1.5345	2.0723	4.5858	4.2060
OHTD (m3/s)	0.5910	0.3246	0.3079	0.2279	0.3883	0.5091	0.2168	0.2906	0.1809	0.6655	0.8359	0.6385
IUA (%)	24.9	45.4	47.9	64.7	37.9	28.9	68.0	50.7	81.5	22.1	17.6	23.1
DH (m3/s)	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473	0.1473

5.1.2.3. IUA mensual en la UHA Rio Navarco

Tabla 117. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Navarco

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.4655	3.2135	3.2724	3.2950	3.2962	3.0391	2.6699	2.3685	2.2489	2.5799	3.4923	3.8866
CA (m3/s)	2.5012	2.2985	2.2148	2.4188	2.5161	2.2584	2.0211	1.8269	1.8151	1.9557	2.4715	2.7662
OHTD (m3/s)	0.9643	0.9150	1.0576	0.8762	0.7801	0.7807	0.6488	0.5416	0.4338	0.6242	1.0208	1.1204
IUA (%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.5	0.3	0.3
DH (m3/s)	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029

Tabla 118. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Navarco

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.2231	1.9672	2.0932	2.3640	2.3471	2.0550	2.3956	2.2092	1.9092	2.0817	2.7241	2.4041
CA (m3/s)	2.1122	1.9123	1.9146	2.2546	2.2059	1.9555	2.2796	2.0766	1.8283	1.9355	2.5999	2.2452
OHTD (m3/s)	0.1109	0.0549	0.1786	0.1094	0.1412	0.0995	0.1160	0.1326	0.0809	0.1462	0.1242	0.1589
IUA (%)	2.6	5.3	1.6	2.7	2.1	2.9	2.5	2.2	3.6	2.0	2.3	1.8
DH (m3/s)	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029

5.1.2.4. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 1

Tabla 119. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	5.1185	4.7135	4.8421	4.9359	4.8688	4.0710	3.2163	2.6895	2.6844	3.7668	5.4132	5.9147
CA (m3/s)	3.4161	2.9709	2.9514	3.2176	3.1857	2.6640	2.1004	1.6876	1.6559	2.1718	3.3822	4.0346
OHTD (m3/s)	1.7024	1.7426	1.8907	1.7183	1.6831	1.4070	1.1159	1.0019	1.0285	1.5950	2.0310	1.8801
IUA (%)	6.3	6.2	5.7	6.3	6.4	7.7	9.6	10.7	10.5	6.8	5.3	5.7
DH (m3/s)	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077

Tabla 120. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.2905	2.6015	3.4230	3.4558	3.7735	2.7439	2.1967	1.7500	1.6084	2.6105	4.3525	3.5412
CA (m3/s)	2.8098	2.3202	2.5534	2.9546	3.1167	2.4609	2.0377	1.5936	1.3324	1.9292	3.6065	3.0632
OHTD (m3/s)	0.4807	0.2813	0.8696	0.5012	0.6568	0.2830	0.1590	0.1564	0.2760	0.6813	0.7460	0.4780
IUA (%)	22.4	38.3	12.4	21.5	16.4	38.1	67.7	68.8	39.0	15.8	14.4	22.5
DH (m3/s)	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077	0.1077

5.1.2.5. IUA mensual en la UHA Río Quindío Tramo 2

Tabla 121. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Río Quindío Tramo 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	7.6168	6.9907	7.1225	7.2258	7.1319	6.0562	4.8292	4.0401	3.9605	5.4127	7.8274	8.6862
CA (m3/s)	5.2706	4.6388	4.4885	4.8073	4.7167	4.0222	3.1662	2.5463	2.4899	3.2714	5.0544	6.1162
OHTD (m3/s)	2.3462	2.3519	2.6340	2.4185	2.4152	2.0340	1.6630	1.4938	1.4706	2.1413	2.7730	2.5700
IUA (%)	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.5	1.8	2.0	2.1	1.4	1.1	1.2
DH (m3/s)	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306

Tabla 122. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Río Quindío Tramo 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	4.9186	3.9286	4.9314	4.9733	5.4485	4.1263	3.2521	2.6063	2.3183	3.6933	6.1804	5.3094
CA (m3/s)	4.3341	3.5978	3.8611	4.4110	4.6717	3.7449	3.0120	2.3881	2.0081	2.8125	5.3217	4.6713
OHTD (m3/s)	0.5845	0.3308	1.0703	0.5623	0.7768	0.3814	0.2401	0.2182	0.3102	0.8808	0.8587	0.6381
IUA (%)	5.2	9.2	2.9	5.4	3.9	8.0	12.7	14.0	9.9	3.5	3.6	4.8
DH (m3/s)	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306

5.1.2.6. IUA mensual en la UHA Río Quindío Tramo 3

Tabla 123. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Río Quindío Tramo 3

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	7.8018	7.1666	7.3116	7.4147	7.3087	6.2011	4.9536	4.1600	4.0923	5.6120	8.0824	8.9128
CA (m3/s)	5.4002	4.7494	4.6233	4.9260	4.8230	4.0966	3.2505	2.6281	2.5724	3.3903	5.2108	6.2570
OHTD (m3/s)	2.4016	2.4172	2.6883	2.4887	2.4857	2.1045	1.7031	1.5319	1.5199	2.2217	2.8716	2.6558
IUA (%)	60.1	59.7	53.7	58.0	58.1	68.6	84.8	94.2	95.0	65.0	50.3	54.4
DH (m3/s)	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434

Tabla 124. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Río Quindío Tramo 3

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	5.0545	4.0301	5.0733	5.1003	5.5938	4.2316	3.3437	2.6914	2.4001	3.8443	6.4018	5.4177
CA (m3/s)	4.4379	3.6944	3.9853	4.5100	4.7703	3.8380	3.1006	2.4715	2.0882	2.9194	5.4529	4.7744
OHTD (m3/s)	0.6166	0.3357	1.0880	0.5903	0.8235	0.3936	0.2431	0.2199	0.3119	0.9249	0.9489	0.6433
IUA (%)	234.1	430.0	132.7	244.5	175.3	366.8	593.8	656.3	462.8	156.1	152.1	224.4
DH (m3/s)	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434	1.4434

5.1.2.7. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 4

Tabla 125. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 4

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	11.3848	10.4937	10.6982	10.8230	10.7174	9.3491	7.7262	6.6264	6.4366	8.2921	11.6886	12.9203
CA (m3/s)	8.1022	7.2269	7.0389	7.5581	7.6059	6.5703	5.4463	4.5774	4.4400	5.4702	7.8578	9.3005
OHTD (m3/s)	3.2826	3.2668	3.6593	3.2649	3.1115	2.7788	2.2799	2.0490	1.9966	2.8219	3.8308	3.6198
IUA (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DH (m3/s)	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006

Tabla 126. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 4

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	7.3667	6.0824	7.2523	7.5494	8.0293	6.3724	5.8245	4.9823	4.3860	6.0076	9.2176	7.9115
CA (m3/s)	6.6389	5.7030	6.0437	6.8960	7.0628	5.8867	5.5635	4.6303	3.9954	5.0010	8.1138	7.1075
OHTD (m3/s)	0.7278	0.3794	1.2086	0.6534	0.9665	0.4857	0.2610	0.3520	0.3906	1.0066	1.1038	0.8040
IUA (%)	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
DH (m3/s)	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006

5.1.2.8. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 5

Tabla 127. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 5

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.2032	11.2723	11.4763	11.5975	11.4844	10.0759	8.3894	7.2379	7.0262	8.9321	12.4655	13.7788
CA (m3/s)	8.7518	7.8847	7.6596	8.1442	8.2025	7.1608	5.9948	5.0762	4.9259	6.0194	8.4801	10.0295
OHTD (m3/s)	3.4514	3.3876	3.8167	3.4533	3.2819	2.9151	2.3946	2.1617	2.1003	2.9127	3.9854	3.7493
IUA (%)	12.2	12.5	11.1	12.2	12.9	14.5	17.7	19.6	20.1	14.5	10.6	11.3
DH (m3/s)	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227

Tabla 128. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 5

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	7.9991	6.6691	7.8461	8.1547	8.6485	6.9589	6.3933	5.5107	4.8768	6.5520	9.8778	8.5715
CA (m3/s)	7.2622	6.2857	6.6364	7.5014	7.6707	6.4589	6.1191	5.1464	4.4815	5.5135	8.7725	7.7412
OHTD (m3/s)	0.7369	0.3834	1.2097	0.6533	0.9778	0.5000	0.2742	0.3643	0.3953	1.0385	1.1053	0.8303
IUA (%)	57.4	110.3	34.9	64.7	43.2	84.5	154.2	116.1	106.9	40.7	38.2	50.9
DH (m3/s)	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227	0.4227

5.1.2.9. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 6

Tabla 129. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 6

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.6339	11.6950	11.9010	12.0216	11.9078	10.4893	8.7852	7.6175	7.3954	9.3083	12.8830	14.2194
CA (m3/s)	9.1602	8.2618	8.0394	8.5310	8.5810	7.5438	6.3477	5.4243	5.2713	6.3684	8.8570	10.4449
OHTD (m3/s)	3.4737	3.4332	3.8616	3.4906	3.3268	2.9455	2.4375	2.1932	2.1241	2.9399	4.0260	3.7745
IUA (%)	73.9	74.8	66.5	73.6	77.2	87.2	105.4	117.1	120.9	87.4	63.8	68.0
DH (m3/s)	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680

Tabla 130. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 6

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.3407	7.0014	8.1763	8.4923	8.9891	7.2916	6.7502	5.8547	5.2042	6.8813	10.2266	8.9191
CA (m3/s)	7.6027	6.6182	6.9884	7.8384	8.0088	6.7877	6.4741	5.4864	4.8082	5.8332	9.1307	8.0841
OHTD (m3/s)	0.7380	0.3832	1.1879	0.6539	0.9803	0.5039	0.2761	0.3683	0.3960	1.0481	1.0959	0.8350
IUA (%)	348.0	670.1	216.2	392.8	262.0	509.7	930.2	697.3	648.6	245.0	234.3	307.6
DH (m3/s)	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680	2.5680

5.1.2.10. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 7

Tabla 131. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 7

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.6598	11.7192	11.9259	12.0465	11.9335	10.5148	8.8085	7.6386	7.4150	9.3269	12.9056	14.2462
CA (m3/s)	9.1839	8.2783	8.0613	8.5515	8.5913	7.5714	6.3622	5.4399	5.2848	6.4023	8.8838	10.4656
OHTD (m3/s)	3.4759	3.4409	3.8646	3.4950	3.3422	2.9434	2.4463	2.1987	2.1302	2.9246	4.0218	3.7806
IUA (%)	80.5	81.4	72.4	80.1	83.8	95.1	114.4	127.3	131.4	95.7	69.6	74.1
DH (m3/s)	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996

Tabla 132. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 7

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.3560	7.0150	8.1882	8.5048	9.0016	7.3037	6.7727	5.8758	5.2224	6.8993	10.2442	8.9364
CA (m3/s)	7.6181	6.6327	7.0150	7.8521	8.0216	6.7989	6.4971	5.5079	4.8282	5.8470	9.1564	8.1006
OHTD (m3/s)	0.7379	0.3824	1.1732	0.6527	0.9800	0.5048	0.2756	0.3679	0.3942	1.0523	1.0878	0.8358
IUA (%)	379.4	732.1	238.6	428.9	285.7	554.6	1015.8	761.0	710.1	266.0	257.4	335.0
DH (m3/s)	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996	2.7996

5.1.2.11. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 8

Tabla 133. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 8

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.6734	11.7318	11.9387	12.0591	11.9469	10.5286	8.8208	7.6492	7.4238	9.3336	12.9142	14.2589
CA (m3/s)	9.1972	8.2893	8.0654	8.5622	8.6028	7.5847	6.3703	5.4431	5.2927	6.4304	8.8923	10.4748
OHTD (m3/s)	3.4762	3.4425	3.8733	3.4969	3.3441	2.9439	2.4505	2.2061	2.1311	2.9032	4.0219	3.7841
IUA (%)	73.7	74.4	66.1	73.2	76.6	87.0	104.5	116.1	120.2	88.2	63.7	67.7
DH (m3/s)	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614

Tabla 134. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 8

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.3628	7.0213	8.1923	8.5086	9.0073	7.3104	6.7868	5.8883	5.2316	6.9076	10.2509	8.9450
CA (m3/s)	7.6256	6.6398	7.0365	7.8585	8.0281	6.8049	6.5117	5.5206	4.8392	5.8511	9.1726	8.1088
OHTD (m3/s)	0.7372	0.3815	1.1558	0.6501	0.9792	0.5055	0.2751	0.3677	0.3924	1.0565	1.0783	0.8362
IUA (%)	347.5	671.4	221.6	394.0	261.6	506.7	931.0	696.6	652.7	242.4	237.5	306.3
DH (m3/s)	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614	2.5614

5.1.2.12. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 9

Tabla 135. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 9

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.8273	11.8785	12.0872	12.2085	12.0981	10.6743	8.9529	7.7684	7.5364	9.4516	13.0558	14.4186
CA (m3/s)	9.3413	8.4084	8.1857	8.6733	8.7382	7.6885	6.4636	5.5284	5.3841	6.5206	9.0201	10.6225
OHTD (m3/s)	3.4860	3.4701	3.9015	3.5352	3.3599	2.9858	2.4893	2.2400	2.1523	2.9310	4.0357	3.7961
IUA (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
DH (m3/s)	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020

Tabla 136. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 9

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.4581	7.1088	8.2767	8.6017	9.1054	7.4020	6.9010	5.9904	5.3207	7.0021	10.3566	9.0442
CA (m3/s)	7.7204	6.7274	7.1331	7.9447	8.1246	6.8933	6.6227	5.6188	4.9281	5.9369	9.2891	8.2034
OHTD (m3/s)	0.7377	0.3814	1.1436	0.6570	0.9808	0.5087	0.2783	0.3716	0.3926	1.0652	1.0675	0.8408
IUA (%)	0.3	0.5	0.2	0.3	0.2	0.4	0.7	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
DH (m3/s)	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020

5.1.2.13. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 10

Tabla 137. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 10

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.8453	11.8957	12.1045	12.2258	12.1161	10.6924	8.9701	7.7847	7.5519	9.4663	13.0719	14.4366
CA (m3/s)	9.3554	8.4213	8.2054	8.6900	8.7547	7.6954	6.4810	5.5411	5.3941	6.5385	9.0353	10.6371
OHTD (m3/s)	3.4899	3.4744	3.8991	3.5358	3.3614	2.9970	2.4891	2.2436	2.1578	2.9278	4.0366	3.7995
IUA (%)	83.8	84.2	75.0	82.7	87.0	97.6	117.5	130.4	135.6	99.9	72.5	77.0
DH (m3/s)	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250

Tabla 138. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 10

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.4701	7.1202	8.2871	8.6120	9.1167	7.4135	6.9156	6.0044	5.3335	7.0151	10.3691	9.0574
CA (m3/s)	7.7326	6.7392	7.1504	7.9559	8.1362	6.9044	6.6375	5.6325	4.9419	5.9479	9.3058	8.2163
OHTD (m3/s)	0.7375	0.3810	1.1367	0.6561	0.9805	0.5091	0.2781	0.3719	0.3916	1.0672	1.0633	0.8411
IUA (%)	396.6	767.6	257.3	445.8	298.3	574.6	1051.7	786.5	747.0	274.1	275.1	347.7
DH (m3/s)	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250	2.9250

5.1.2.14. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 11

Tabla 139. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 11

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	13.1865	12.2085	12.4221	12.5507	12.4529	11.0170	9.2561	8.0354	7.7829	9.7018	13.3804	14.8004
CA (m3/s)	9.6043	8.6660	8.4644	8.9440	8.9756	7.9629	6.7026	5.7259	5.6003	6.7357	9.2712	10.9356
OHTD (m3/s)	3.5822	3.5425	3.9577	3.6067	3.4773	3.0541	2.5535	2.3095	2.1826	2.9661	4.1092	3.8648
IUA (%)	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
DH (m3/s)	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091

Tabla 140. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 11

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.6727	7.3021	8.4524	8.7956	9.3262	7.6104	7.1694	6.2328	5.5242	7.2245	10.6025	9.2889
CA (m3/s)	7.9343	6.9254	7.3283	8.1425	8.3467	7.0901	6.8874	5.8499	5.1441	6.1249	9.6071	8.4349
OHTD (m3/s)	0.7384	0.3767	1.1241	0.6531	0.9795	0.5203	0.2820	0.3829	0.3801	1.0996	0.9954	0.8540
IUA (%)	1.2	2.4	0.8	1.4	0.9	1.8	3.2	2.4	2.4	0.8	0.9	1.1
DH (m3/s)	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091

5.1.2.15. IUA mensual en la UHA Rio Quindío Tramo 12

Tabla 141. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Quindío Tramo 12

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	22.2396	20.2761	20.8212	21.5637	21.5076	18.9166	15.4075	12.7763	11.9380	14.8828	22.1780	25.2815
CA (m3/s)	15.8267	13.7604	13.1421	15.2554	15.9463	13.6616	10.8856	8.9107	8.4950	10.0286	14.8832	18.2000
OHTD (m3/s)	6.4129	6.5157	7.6791	6.3083	5.5613	5.2550	4.5219	3.8656	3.4430	4.8542	7.2948	7.0815
IUA (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
DH (m3/s)	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030

Tabla 142. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Quindío Tramo 12

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.6446	10.3442	11.7722	13.6449	15.3347	12.2572	12.6311	10.7213	8.7834	11.4475	16.5655	14.1254
CA (m3/s)	11.6273	9.8107	9.9817	12.7866	13.8620	11.3275	11.9637	9.7912	8.1898	9.7439	15.0872	12.6738
OHTD (m3/s)	1.0173	0.5335	1.7905	0.8583	1.4727	0.9297	0.6674	0.9301	0.5936	1.7036	1.4783	1.4516
IUA (%)	0.3	0.6	0.2	0.4	0.2	0.3	0.5	0.3	0.5	0.2	0.2	0.2
DH (m3/s)	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030

5.1.2.16. IUA mensual en la UHA Rio Santo Domingo

Tabla 143. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Santo Domingo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	4.5206	4.0153	4.2142	4.5190	4.5870	4.0628	3.2360	2.5241	2.2337	2.7591	4.5811	5.3583
CA (m3/s)	2.9644	2.2624	2.1303	2.7690	2.9992	2.5502	1.9081	1.4071	1.3256	1.6469	2.8815	3.6437
OHTD (m3/s)	1.5562	1.7529	2.0839	1.7500	1.5878	1.5126	1.3279	1.1170	0.9081	1.1122	1.6996	1.7146
IUA (%)	20.4	18.1	15.3	18.2	20.0	21.0	24.0	28.5	35.0	28.6	18.7	18.6
DH (m3/s)	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181

Tabla 144. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Santo Domingo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.8551	1.4199	1.6145	2.5246	2.9062	2.2218	3.0002	2.5770	1.8738	2.1734	3.0312	2.3484
CA (m3/s)	1.7080	1.3204	1.3620	2.2005	2.6680	1.9646	2.6872	2.2611	1.7279	1.8692	2.8640	2.0598
OHTD (m3/s)	0.1471	0.0995	0.2525	0.3241	0.2382	0.2572	0.3130	0.3159	0.1459	0.3042	0.1672	0.2886
IUA (%)	216.3	319.9	126.0	98.2	133.6	123.7	101.7	100.7	218.0	104.6	190.3	110.3
DH (m3/s)	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181	0.3181

5.1.2.17. IUA mensual en la UHA Rio Verde Tramo 1

Tabla 145. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Verde Tramo 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	4.0321	3.5946	3.7170	3.9992	3.9650	3.3723	2.5227	1.8860	1.6197	2.0931	3.7657	4.5953
CA (m3/s)	2.5913	2.0904	1.9114	2.2628	2.5007	2.0890	1.5316	1.0715	0.8946	1.2803	2.3479	3.0497
OHTD (m3/s)	1.4408	1.5042	1.8056	1.7364	1.4643	1.2833	0.9911	0.8145	0.7251	0.8128	1.4178	1.5456
IUA (%)	16.1	15.4	12.9	13.4	15.9	18.1	23.4	28.5	32.0	28.6	16.4	15.0
DH (m3/s)	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322

Tabla 146. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Verde Tramo 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.8268	1.3746	1.4586	2.0306	2.7220	2.0931	2.0870	1.5942	1.1218	1.7171	2.5683	2.1518
CA (m3/s)	1.6851	1.2303	1.1678	1.9141	2.4936	1.8313	1.9526	1.3851	1.0253	1.3255	2.3419	1.8678
OHTD (m3/s)	0.1417	0.1443	0.2908	0.1165	0.2284	0.2618	0.1344	0.2091	0.0965	0.3916	0.2264	0.2840
IUA (%)	163.8	160.9	79.8	199.4	101.7	88.7	172.7	111.0	240.5	59.3	102.5	81.7
DH (m3/s)	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322

5.1.2.18. IUA mensual en la UHA Rio Verde Tramo 2

Tabla 147. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Verde Tramo 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.9333	7.9574	8.2888	8.8993	8.9360	7.7856	6.0520	4.6550	4.0780	5.1045	8.6989	10.3591
CA (m3/s)	5.8815	4.5577	4.2672	5.3176	5.8692	5.0203	3.7292	2.7053	2.4136	3.1091	5.4785	7.1136
OHTD (m3/s)	3.0518	3.3997	4.0216	3.5817	3.0668	2.7653	2.3228	1.9497	1.6644	1.9954	3.2204	3.2455
IUA (%)	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3	0.3
DH (m3/s)	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098

Tabla 148. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Verde Tramo 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.9051	2.9826	3.2668	4.7884	5.9285	4.5683	5.3782	4.4158	3.1989	4.1552	5.8886	4.7596
CA (m3/s)	3.6267	2.7352	2.6705	4.3643	5.4944	4.0276	4.9726	3.8727	2.9506	3.4270	5.5293	4.1661
OHTD (m3/s)	0.2784	0.2474	0.5963	0.4241	0.4341	0.5407	0.4056	0.5431	0.2483	0.7282	0.3593	0.5935
IUA (%)	3.5	3.9	1.6	2.3	2.3	1.8	2.4	1.8	3.9	1.3	2.7	1.6
DH (m3/s)	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098

5.1.2.19. IUA mensual en la UHA Rio San Juan

Tabla 149. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio San Juan

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	4.8240	4.3466	4.5894	5.4089	5.6130	4.8955	3.8268	3.0802	2.7962	3.7068	5.1591	5.5786
CA (m3/s)	3.4887	2.9326	2.7235	3.5246	3.8899	3.3162	2.6395	2.0866	1.8244	2.2714	3.4098	4.0022
OHTD (m3/s)	1.3353	1.4140	1.8659	1.8843	1.7231	1.5793	1.1873	0.9936	0.9718	1.4354	1.7493	1.5764
IUA (%)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
DH (m3/s)	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022

Tabla 150. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio San Juan

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.2538	1.9949	2.4679	3.2540	4.6209	4.0886	1.8340	1.4681	1.1106	1.4010	2.4921	2.3234
CA (m3/s)	1.9655	1.7660	2.2810	3.0184	4.0912	3.7067	1.7318	1.3142	1.0278	1.0939	2.1355	2.0453
OHTD (m3/s)	0.2883	0.2289	0.1869	0.2356	0.5297	0.3819	0.1022	0.1539	0.0828	0.3071	0.3566	0.2781
IUA (%)	0.7	0.9	1.2	0.9	0.4	0.6	2.1	1.4	2.6	0.7	0.6	0.8
DH (m3/s)	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022

5.1.2.20. IUA mensual en la UHA Rio Gris

Tabla 151. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Gris

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.8009	1.6274	1.7136	2.0036	2.0757	1.8120	1.4167	1.1431	1.0339	1.3535	1.9001	2.0739
CA (m3/s)	1.3072	1.1093	1.0193	1.3033	1.4354	1.2284	0.9774	0.7770	0.6799	0.8352	1.2427	1.4893
OHTD (m3/s)	0.4937	0.5181	0.6943	0.7003	0.6403	0.5836	0.4393	0.3661	0.3540	0.5183	0.6574	0.5846
IUA (%)	12.5	11.9	8.9	8.8	9.7	10.6	14.1	16.9	17.5	11.9	9.4	10.6
DH (m3/s)	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618

Tabla 152. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Gris

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.8234	0.7208	0.8762	1.1482	1.6589	1.4670	0.6759	0.5363	0.4010	0.5023	0.9116	0.8518
CA (m3/s)	0.7235	0.6414	0.8159	1.0768	1.4398	1.3284	0.6402	0.4788	0.3695	0.3894	0.7849	0.7475
OHTD (m3/s)	0.0999	0.0794	0.0603	0.0714	0.2191	0.1386	0.0357	0.0575	0.0315	0.1129	0.1267	0.1043
IUA (%)	61.9	77.9	102.6	86.6	28.2	44.6	173.1	107.6	196.1	54.8	48.8	59.3
DH (m3/s)	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618

5.1.2.21. IUA mensual en la UHA Rio Rojo

Tabla 153. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Rojo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	10.0592	9.0638	9.5176	11.0089	11.3197	9.7739	7.5014	5.9625	5.3627	7.1801	10.4942	11.6376
CA (m3/s)	7.2094	6.0681	5.4475	6.9851	7.6311	6.5066	5.0432	3.9024	3.3906	4.3353	6.7881	8.3407
OHTD (m3/s)	2.8498	2.9957	4.0701	4.0238	3.6886	3.2673	2.4582	2.0601	1.9721	2.8448	3.7061	3.2969
IUA (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DH (m3/s)	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005

Tabla 154. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Rojo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	4.5674	3.9020	4.5492	5.9338	8.7573	7.6176	3.4574	2.6850	1.9903	2.6627	5.0945	4.7245
CA (m3/s)	3.9864	3.4572	4.2374	5.5210	7.4770	6.8273	3.2581	2.3875	1.8223	2.0163	4.3261	4.1220
OHTD (m3/s)	0.5810	0.4449	0.3118	0.4128	1.2803	0.7903	0.1993	0.2975	0.1680	0.6464	0.7684	0.6025
IUA (%)	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1
DH (m3/s)	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005

5.1.2.22. IUA mensual en la UHA Quebrada Buenavista T 1

Tabla 155. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Quebrada Buenavista T 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.5643	0.5030	0.5065	0.5174	0.5226	0.4691	0.3800	0.3212	0.3162	0.4155	0.5793	0.6445
CA (m3/s)	0.3980	0.3574	0.3283	0.3501	0.3680	0.3452	0.2779	0.2301	0.2261	0.2717	0.4083	0.4379
OHTD (m3/s)	0.1663	0.1456	0.1782	0.1673	0.1546	0.1239	0.1021	0.0911	0.0901	0.1438	0.1710	0.2066
IUA (%)	11.8	13.5	11.0	11.8	12.7	15.9	19.3	21.6	21.9	13.7	11.5	9.5
DH (m3/s)	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197

Tabla 156. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Quebrada Buenavista T 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.3567	0.3000	0.3508	0.3866	0.4547	0.3650	0.2714	0.2306	0.2002	0.2989	0.4317	0.3849
CA (m3/s)	0.3293	0.2842	0.2883	0.3486	0.4231	0.3262	0.2567	0.2177	0.1927	0.2504	0.4061	0.3448
OHTD (m3/s)	0.0274	0.0158	0.0625	0.0380	0.0316	0.0388	0.0147	0.0129	0.0075	0.0485	0.0256	0.0401
IUA (%)	71.8	124.6	31.5	51.9	62.3	50.8	134.2	152.9	261.4	40.6	76.9	49.1
DH (m3/s)	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197

5.1.2.23. IUA mensual en la UHA Quebrada Buenavista T 2

Tabla 157. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Quebrada Buenavista T 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.8953	1.7318	1.7619	1.8386	1.8749	1.7212	1.4528	1.2683	1.2385	1.5180	1.9861	2.1354
CA (m3/s)	1.3736	1.2730	1.1971	1.3125	1.3848	1.2951	1.0922	0.9325	0.9091	1.0499	1.4351	1.5074
OHTD (m3/s)	0.5217	0.4588	0.5648	0.5261	0.4901	0.4261	0.3606	0.3358	0.3294	0.4681	0.5510	0.6280
IUA (%)	37.9	43.1	35.1	37.6	40.4	46.5	54.9	59.0	60.1	42.3	35.9	31.5
DH (m3/s)	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980

Tabla 158. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Quebrada Buenavista T 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.1629	1.0119	1.1496	1.3136	1.6119	1.3329	1.0308	0.9069	0.8041	1.0688	1.4476	1.2809
CA (m3/s)	1.1063	0.9635	0.9819	1.1471	1.4833	1.2132	0.9964	0.8610	0.7772	0.9197	1.3812	1.1675
OHTD (m3/s)	0.0566	0.0484	0.1677	0.1665	0.1286	0.1197	0.0344	0.0459	0.0269	0.1491	0.0664	0.1134
IUA (%)	349.7	409.4	118.1	118.9	153.9	165.5	575.3	431.6	735.3	132.8	298.1	174.6
DH (m3/s)	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980

5.1.2.24. IUA mensual en la UHA Quebrada La Tigra

Tabla 159. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Quebrada La Tigra

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.4231	0.3952	0.4042	0.4247	0.4443	0.4277	0.3814	0.3469	0.3359	0.3701	0.4380	0.4623
CA (m3/s)	0.3169	0.2975	0.2945	0.3172	0.3397	0.3362	0.2958	0.2621	0.2535	0.2847	0.3222	0.3453
OHTD (m3/s)	0.1062	0.0977	0.1097	0.1075	0.1046	0.0915	0.0856	0.0848	0.0824	0.0854	0.1158	0.1170
IUA (%)	2.0	2.2	2.0	2.0	2.1	2.4	2.5	2.5	2.6	2.5	1.9	1.8
DH (m3/s)	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022

Tabla 160. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Quebrada La Tigra

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.2567	0.2331	0.2460	0.2866	0.3777	0.3410	0.2712	0.2506	0.2298	0.2623	0.3085	0.2890
CA (m3/s)	0.2478	0.2281	0.2287	0.2438	0.3523	0.3173	0.2658	0.2413	0.2267	0.2397	0.2904	0.2713
OHTD (m3/s)	0.0089	0.0050	0.0173	0.0428	0.0254	0.0237	0.0054	0.0093	0.0031	0.0226	0.0181	0.0177
IUA (%)	24.2	43.0	12.5	5.0	8.5	9.1	40.1	23.1	69.2	9.6	11.9	12.2
DH (m3/s)	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022

5.1.2.25. IUA mensual en la UHA Quebrada Campoalegre

Tabla 161. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Quebrada Campoalegre

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.5701	0.5319	0.5452	0.5761	0.5928	0.5525	0.4813	0.4335	0.4253	0.4978	0.6140	0.6368
CA (m3/s)	0.4211	0.3999	0.3871	0.4224	0.4394	0.4232	0.3646	0.3246	0.3174	0.3701	0.4502	0.4612
OHTD (m3/s)	0.1490	0.1320	0.1581	0.1537	0.1534	0.1293	0.1167	0.1089	0.1079	0.1277	0.1638	0.1756
IUA (%)	8.2	9.2	7.7	7.9	8.0	9.4	10.5	11.2	11.3	9.6	7.4	6.9
DH (m3/s)	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122

Tabla 162. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Quebrada Campoalegre

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.3512	0.3177	0.3603	0.4113	0.5139	0.4303	0.3487	0.3155	0.2863	0.3497	0.4388	0.3866
CA (m3/s)	0.3369	0.3016	0.3203	0.3564	0.4673	0.3962	0.3392	0.3021	0.2773	0.3096	0.4196	0.3583
OHTD (m3/s)	0.0143	0.0162	0.0400	0.0549	0.0466	0.0341	0.0095	0.0134	0.0090	0.0401	0.0192	0.0283
IUA (%)	85.2	75.5	30.5	22.2	26.2	35.7	128.1	90.9	135.2	30.4	63.7	43.1
DH (m3/s)	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122

5.1.2.26. IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 1

Tabla 163. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Roble Tramo 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.3850	0.3333	0.3304	0.3308	0.3218	0.2829	0.2256	0.1902	0.1912	0.2677	0.3859	0.4389
CA (m3/s)	0.2600	0.2183	0.2057	0.2195	0.2148	0.1891	0.1492	0.1226	0.1244	0.1627	0.2676	0.3169
OHTD (m3/s)	0.1250	0.1150	0.1247	0.1113	0.1070	0.0938	0.0764	0.0676	0.0668	0.1050	0.1183	0.1220
IUA (%)	45.9	49.9	46.0	51.6	53.6	61.2	75.1	84.9	85.9	54.6	48.5	47.0
DH (m3/s)	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574

Tabla 164. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Roble Tramo 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.2499	0.1942	0.2170	0.2245	0.2427	0.2059	0.1470	0.1229	0.1076	0.1888	0.3152	0.2829
CA (m3/s)	0.2230	0.1767	0.1657	0.2103	0.2251	0.1831	0.1368	0.1163	0.1036	0.1480	0.2848	0.2427
OHTD (m3/s)	0.0269	0.0175	0.0513	0.0142	0.0176	0.0228	0.0102	0.0066	0.0040	0.0408	0.0304	0.0402
IUA (%)	213.3	327.8	111.9	404.1	325.1	251.8	560.1	865.4	1442.7	140.4	188.7	142.6
DH (m3/s)	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574

5.1.2.27. IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 2

Tabla 165. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Roble Tramo 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.3463	1.1879	1.1795	1.1806	1.1522	1.0167	0.8219	0.6953	0.6932	0.9535	1.3499	1.5190
CA (m3/s)	0.9301	0.7970	0.7439	0.7994	0.7950	0.7054	0.5642	0.4675	0.4715	0.5975	0.9376	1.0938
OHTD (m3/s)	0.4162	0.3909	0.4356	0.3812	0.3572	0.3113	0.2577	0.2278	0.2217	0.3560	0.4123	0.4252
IUA (%)	1.9	2.0	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	3.4	3.5	2.2	1.9	1.8
DH (m3/s)	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077

Tabla 166. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Roble Tramo 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.8917	0.7081	0.7927	0.8214	0.9010	0.7544	0.5523	0.4628	0.4042	0.6785	1.0945	0.9776
CA (m3/s)	0.8025	0.6582	0.6257	0.7730	0.8282	0.6785	0.5144	0.4373	0.3885	0.5379	1.0063	0.8555
OHTD (m3/s)	0.0892	0.0499	0.1670	0.0484	0.0728	0.0759	0.0379	0.0255	0.0157	0.1406	0.0882	0.1221
IUA (%)	8.7	15.5	4.6	16.0	10.6	10.2	20.4	30.3	49.3	5.5	8.8	6.3
DH (m3/s)	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077

5.1.2.28. IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 3

Tabla 167. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Roble Tramo 3

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1122	0.1019	0.1036	0.1040	0.1005	0.0875	0.0714	0.0612	0.0619	0.0886	0.1251	0.1307
CA (m3/s)	0.0777	0.0680	0.0649	0.0704	0.0704	0.0622	0.0504	0.0419	0.0425	0.0526	0.0790	0.0894
OHTD (m3/s)	0.0345	0.0339	0.0387	0.0336	0.0301	0.0253	0.0210	0.0193	0.0194	0.0360	0.0461	0.0413
IUA (%)	19.4	19.8	17.4	20.0	22.3	26.5	32.0	34.8	34.6	18.6	14.6	16.3
DH (m3/s)	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067

Tabla 168. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Roble Tramo 3

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0795	0.0617	0.0707	0.0749	0.0820	0.0674	0.0483	0.0407	0.0344	0.0591	0.1022	0.0807
CA (m3/s)	0.0672	0.0576	0.0558	0.0681	0.0719	0.0608	0.0452	0.0381	0.0327	0.0447	0.0858	0.0707
OHTD (m3/s)	0.0123	0.0041	0.0149	0.0068	0.0101	0.0066	0.0031	0.0026	0.0017	0.0144	0.0164	0.0100
IUA (%)	54.4	164.1	45.1	98.2	66.2	102.4	215.8	262.3	389.4	46.7	40.9	67.3
DH (m3/s)	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067

5.1.2.29. IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 4

Tabla 169. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Roble Tramo 4

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1767	0.1634	0.1699	0.1727	0.1647	0.1374	0.1117	0.0974	0.1028	0.1590	0.2168	0.2108
CA (m3/s)	0.1140	0.1013	0.0989	0.1068	0.1080	0.0942	0.0773	0.0649	0.0658	0.0807	0.1199	0.1322
OHTD (m3/s)	0.0627	0.0621	0.0710	0.0659	0.0567	0.0432	0.0344	0.0325	0.0370	0.0783	0.0969	0.0786
IUA (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DH (m3/s)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 170. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Roble Tramo 4

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1271	0.0916	0.1191	0.1209	0.1394	0.1016	0.0750	0.0632	0.0543	0.1079	0.1785	0.1157
CA (m3/s)	0.0978	0.0844	0.0826	0.0994	0.1063	0.0917	0.0697	0.0587	0.0501	0.0675	0.1249	0.1026
OHTD (m3/s)	0.0293	0.0073	0.0365	0.0215	0.0331	0.0099	0.0053	0.0045	0.0042	0.0404	0.0536	0.0131
IUA (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DH (m3/s)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

5.1.2.30. IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 5

Tabla 171. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Roble Tramo 5

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.9145	0.8041	0.8021	0.8016	0.7713	0.6704	0.5304	0.4415	0.4466	0.6571	0.9492	1.0479
CA (m3/s)	0.6065	0.5131	0.4777	0.5253	0.5226	0.4519	0.3508	0.2821	0.2955	0.3758	0.6082	0.7140
OHTD (m3/s)	0.3080	0.2910	0.3244	0.2763	0.2487	0.2185	0.1796	0.1594	0.1511	0.2813	0.3410	0.3339
IUA (%)	26.1	27.6	24.7	29.0	32.3	36.7	44.7	50.3	53.1	28.5	23.5	24.0
DH (m3/s)	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802

Tabla 172. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Roble Tramo 5

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.6248	0.4737	0.5408	0.5729	0.6261	0.5214	0.3309	0.2688	0.2271	0.4660	0.7978	0.6731
CA (m3/s)	0.5373	0.4339	0.4121	0.5249	0.5593	0.4620	0.3050	0.2501	0.2152	0.3296	0.6983	0.5786
OHTD (m3/s)	0.0875	0.0398	0.1287	0.0480	0.0668	0.0594	0.0259	0.0187	0.0119	0.1364	0.0995	0.0945
IUA (%)	91.7	201.6	62.3	167.1	120.1	135.2	310.1	428.9	673.4	58.8	80.7	84.9
DH (m3/s)	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802	0.0802

5.1.2.31. IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 6

Tabla 173. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Roble Tramo 6

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.5354	3.1143	3.0954	3.1020	3.0343	2.6758	2.1437	1.7906	1.7760	2.4727	3.5579	4.0083
CA (m3/s)	2.4152	2.0773	1.9044	2.0683	2.0880	1.8624	1.4567	1.1881	1.2050	1.5118	2.4027	2.8302
OHTD (m3/s)	1.1202	1.0370	1.1910	1.0337	0.9463	0.8134	0.6870	0.6025	0.5710	0.9609	1.1552	1.1781
IUA (%)	13.5	14.6	12.7	14.6	16.0	18.6	22.0	25.1	26.5	15.7	13.1	12.8
DH (m3/s)	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511

Tabla 174. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Roble Tramo 6

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.3023	1.8236	2.0430	2.1697	2.4279	2.0171	1.4096	1.1651	0.9984	1.7414	2.8387	2.5127
CA (m3/s)	2.0575	1.7006	1.6179	2.0020	2.2222	1.8080	1.3086	1.0930	0.9553	1.3449	2.5922	2.1967
OHTD (m3/s)	0.2448	0.1230	0.4251	0.1677	0.2057	0.2091	0.1010	0.0721	0.0431	0.3965	0.2465	0.3160
IUA (%)	61.7	122.9	35.5	90.1	73.5	72.3	149.6	209.5	350.6	38.1	61.3	47.8
DH (m3/s)	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511

5.1.2.32. IUA mensual en la UHA Rio Roble Tramo 7

Tabla 175. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Roble Tramo 7

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	5.1727	4.5846	4.6096	4.7191	4.7306	4.2460	3.4513	2.9155	2.8658	3.7808	5.3004	5.8929
CA (m3/s)	3.6081	3.2232	3.0126	3.2589	3.3803	3.1075	2.4843	2.0331	2.0340	2.4362	3.7900	4.1605
OHTD (m3/s)	1.5646	1.3614	1.5970	1.4602	1.3503	1.1385	0.9670	0.8824	0.8318	1.3446	1.5104	1.7324
IUA (%)	8.8	10.1	8.6	9.4	10.2	12.0	14.2	15.5	16.5	10.2	9.1	7.9
DH (m3/s)	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371

Tabla 176. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Roble Tramo 7

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.2306	2.6316	2.8868	3.2717	3.9599	3.2999	2.3252	1.9751	1.7342	2.7013	4.0694	3.6056
CA (m3/s)	2.9950	2.4803	2.4004	2.8540	3.7175	2.9656	2.2043	1.8593	1.6931	2.1682	3.7900	3.1914
OHTD (m3/s)	0.2356	0.1513	0.4864	0.4177	0.2424	0.3343	0.1209	0.1158	0.0411	0.5331	0.2794	0.4142
IUA (%)	58.2	90.6	28.2	32.8	56.6	41.0	113.5	118.4	333.6	25.7	49.1	33.1
DH (m3/s)	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371	0.1371

5.1.2.33. IUA mensual en la UHA Quebrada Lacha

Tabla 177. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Quebrada Lacha

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.2285	0.1897	0.1926	0.1943	0.1881	0.1586	0.1175	0.0966	0.1049	0.1699	0.2525	0.2787
CA (m3/s)	0.1417	0.1182	0.1079	0.1254	0.1249	0.1044	0.0755	0.0603	0.0630	0.0948	0.1652	0.1910
OHTD (m3/s)	0.0868	0.0715	0.0847	0.0689	0.0632	0.0542	0.0420	0.0363	0.0419	0.0751	0.0873	0.0877
IUA (%)	75.6	91.8	77.5	95.2	103.8	121.1	156.4	181.0	156.5	87.4	75.2	74.8
DH (m3/s)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656

Tabla 178. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Quebrada Lacha

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1487	0.1045	0.1364	0.1437	0.1570	0.1211	0.0721	0.0588	0.0516	0.1246	0.2080	0.1709
CA (m3/s)	0.1220	0.0935	0.0873	0.1298	0.1382	0.1012	0.0665	0.0554	0.0498	0.0933	0.1904	0.1364
OHTD (m3/s)	0.0267	0.0110	0.0491	0.0139	0.0188	0.0199	0.0056	0.0034	0.0018	0.0313	0.0176	0.0345
IUA (%)	245.8	595.4	133.6	471.3	349.3	330.0	1180.3	1928.8	3554.5	209.6	372.6	190.5
DH (m3/s)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656

5.1.2.34. IUA mensual en la UHA Drenajes al río Barbas

Tabla 179. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Drenajes al río Barbas

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.5491	2.2568	2.2882	2.3194	2.2849	2.0159	1.6472	1.4375	1.4742	2.0116	2.7232	2.9489
CA (m3/s)	1.7770	1.5521	1.4908	1.6179	1.5980	1.4375	1.1795	1.0134	1.0285	1.3430	1.9589	2.1482
OHTD (m3/s)	0.7721	0.7048	0.7973	0.7015	0.6869	0.5784	0.4677	0.4241	0.4457	0.6686	0.7643	0.8007
IUA (%)	9.1	10.0	8.9	10.1	10.3	12.2	15.1	16.6	15.8	10.6	9.2	8.8
DH (m3/s)	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706

Tabla 180. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Drenajes al río Barbas

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.7198	1.3601	1.6601	1.7178	1.8796	1.5014	1.1629	1.0115	0.9134	1.4680	2.1764	1.8585
CA (m3/s)	1.5157	1.2778	1.2516	1.6067	1.6956	1.3407	1.1011	0.9677	0.8859	1.2038	2.0383	1.6067
OHTD (m3/s)	0.2040	0.0823	0.4085	0.1111	0.1840	0.1606	0.0617	0.0439	0.0275	0.2642	0.1382	0.2517
IUA (%)	34.6	85.8	17.3	63.5	38.4	43.9	114.3	160.9	256.7	26.7	51.1	28.0
DH (m3/s)	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706

5.1.2.35. IUA mensual en la UHA Drenajes al Río Barragán

Tabla 181. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Drenajes al Río Barragán

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.2956	2.1124	2.2334	2.5113	2.4921	2.0728	1.5793	1.2687	1.1697	1.6072	2.4285	2.6709
CA (m3/s)	1.5798	1.3384	1.2253	1.5271	1.5784	1.3426	1.0548	0.8143	0.7488	0.9273	1.5195	1.8118
OHTD (m3/s)	0.7158	0.7740	1.0082	0.9842	0.9138	0.7302	0.5245	0.4544	0.4209	0.6799	0.9089	0.8592
IUA (%)	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	1.1	1.3	1.4	0.8	0.6	0.7
DH (m3/s)	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057

Tabla 182. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Drenajes al Río Barragán

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.0892	0.9123	0.9817	1.2484	1.7681	1.4020	0.8310	0.6540	0.5064	0.7266	1.2833	1.1083
CA (m3/s)	0.9391	0.8175	0.8993	1.1013	1.5031	1.2463	0.7787	0.5898	0.4660	0.5388	1.0716	0.9764
OHTD (m3/s)	0.1501	0.0948	0.0824	0.1471	0.2650	0.1557	0.0523	0.0641	0.0404	0.1877	0.2117	0.1319
IUA (%)	3.8	6.0	6.9	3.9	2.1	3.7	10.9	8.9	14.1	3.0	2.7	4.3
DH (m3/s)	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057

5.1.2.36. IUA mensual en la UHA Drenajes al Río La Vieja

Tabla 183. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Drenajes al Río La Vieja

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.7512	3.6025	3.6441	3.7979	3.9317	3.8941	3.6574	3.4281	3.3178	3.4408	3.7601	3.9133
CA (m3/s)	2.8030	2.7381	2.8265	2.8691	3.0812	3.0790	2.9175	2.6828	2.6115	2.7356	2.9520	3.0498
OHTD (m3/s)	0.9482	0.8644	0.8176	0.9288	0.8505	0.8151	0.7399	0.7453	0.7063	0.7052	0.8082	0.8635
IUA (%)	2.0	2.2	2.3	2.1	2.2	2.3	2.6	2.6	2.7	2.7	2.4	2.2
DH (m3/s)	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191

Tabla 184. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Drenajes al Río La Vieja

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.3965	2.2208	2.1688	2.4447	2.9554	2.9385	2.5663	2.4420	2.3473	2.5050	2.7184	2.6268
CA (m3/s)	2.3278	2.1730	2.1408	2.1112	2.7634	2.8286	2.5365	2.3765	2.2802	2.3802	2.6360	2.5297
OHTD (m3/s)	0.0687	0.0478	0.0280	0.3334	0.1920	0.1099	0.0298	0.0656	0.0672	0.1248	0.0824	0.0972
IUA (%)	27.8	39.9	68.2	5.7	9.9	17.4	64.0	29.1	28.4	15.3	23.2	19.6
DH (m3/s)	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191

5.1.2.37. IUA mensual en la UHA Quebrada Cristales

Tabla 185. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Quebrada Cristales

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.8597	2.7555	2.7829	2.9186	2.9942	2.9280	2.7244	2.5280	2.4594	2.5770	2.8871	2.9992
CA (m3/s)	2.1554	2.1540	2.0793	2.2206	2.3400	2.2713	2.1050	1.9141	1.8926	2.0175	2.2760	2.2936
OHTD (m3/s)	0.7043	0.6015	0.7036	0.6980	0.6542	0.6567	0.6194	0.6139	0.5668	0.5595	0.6111	0.7056
IUA (%)	9.2	10.8	9.2	9.3	9.9	9.9	10.5	10.6	11.5	11.6	10.6	9.2
DH (m3/s)	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651

Tabla 186. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Quebrada Cristales

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.8677	1.7360	1.6871	1.8789	2.1737	2.1063	1.9605	1.8577	1.8213	2.0079	2.1719	2.0442
CA (m3/s)	1.8058	1.6875	1.6548	1.6421	2.0829	2.0224	1.9309	1.7915	1.7146	1.8254	2.1042	1.9657
OHTD (m3/s)	0.0619	0.0485	0.0323	0.2368	0.0908	0.0839	0.0296	0.0662	0.1067	0.1825	0.0677	0.0785
IUA (%)	105.1	134.1	201.8	27.5	71.6	77.6	219.8	98.3	61.0	35.7	96.1	82.9
DH (m3/s)	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651	0.0651

5.1.2.38. IUA mensual en la UHA Rio Espejo

Tabla 187. Índice de uso del agua mensual para año medio en la UHA Rio Espejo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	6.0901	5.6342	5.7253	5.9610	6.0676	5.6751	4.9870	4.4593	4.3904	5.0638	6.3530	6.7743
CA (m3/s)	4.7265	4.3849	4.2071	4.6005	4.8343	4.4211	3.8406	3.4079	3.3492	3.8196	4.9405	5.3518
OHTD (m3/s)	1.3636	1.2493	1.5182	1.3605	1.2333	1.2540	1.1464	1.0514	1.0412	1.2442	1.4125	1.4225
IUA (%)	2.8	3.0	2.5	2.8	3.1	3.0	3.3	3.6	3.6	3.0	2.7	2.7
DH (m3/s)	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378

Tabla 188. Índice de uso del agua mensual para año seco en la UHA Rio Espejo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.8889	3.4567	3.5189	4.0056	4.8125	4.2821	3.7557	3.4439	3.2581	4.0725	4.8408	4.2738
CA (m3/s)	3.7403	3.3302	3.2995	3.4729	4.5587	3.9896	3.6508	3.2995	3.1226	3.5343	4.7176	3.9838
OHTD (m3/s)	0.1486	0.1265	0.2194	0.5327	0.2538	0.2925	0.1049	0.1444	0.1355	0.5382	0.1232	0.2900
IUA (%)	25.4	29.9	17.2	7.1	14.9	12.9	36.0	26.2	27.9	7.0	30.7	13.0
DH (m3/s)	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378

5.1.3. Índices de uso del agua mensuales en las fuentes abastecedoras de acueductos

5.1.3.1. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Bolivia

Tabla 189. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Bolivia

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0061	0.0049	0.0049	0.0050	0.0049	0.0039	0.0026	0.0017	0.0018	0.0035	0.0063	0.0075
CA (m3/s)	0.0036	0.0028	0.0023	0.0027	0.0028	0.0021	0.0012	0.0007	0.0008	0.0014	0.0035	0.0050
OHTD (m3/s)	0.0025	0.0021	0.0026	0.0023	0.0021	0.0018	0.0014	0.0010	0.0010	0.0021	0.0028	0.0025
IUA (%)	112.0	131.3	105.8	120.9	132.2	151.3	204.5	266.8	291.0	135.0	99.2	111.4
DH (m3/s)	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028

Tabla 190. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Bolivia

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0035	0.0023	0.0031	0.0031	0.0036	0.0025	0.0011	0.0006	0.0003	0.0023	0.0052	0.0046
CA (m3/s)	0.0030	0.0020	0.0018	0.0028	0.0032	0.0020	0.0008	0.0004	0.0003	0.0014	0.0043	0.0036
OHTD (m3/s)	0.0005	0.0003	0.0013	0.0003	0.0004	0.0005	0.0003	0.0002	0.0000	0.0009	0.0009	0.0010
IUA (%)	557.6	1043.2	221.3	1093.4	715.6	557.7	1073.4	1683.7	41550.0	298.2	292.6	278.8
DH (m3/s)	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028

5.1.3.2. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Corozal

Tabla 191. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Corozal

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0052	0.0050	0.0052	0.0052	0.0050	0.0044	0.0041	0.0040	0.0041	0.0051	0.0064	0.0060
CA (m3/s)	0.0035	0.0034	0.0034	0.0033	0.0034	0.0032	0.0030	0.0030	0.0030	0.0032	0.0038	0.0036
OHTD (m3/s)	0.0017	0.0016	0.0019	0.0019	0.0016	0.0012	0.0011	0.0009	0.0011	0.0019	0.0026	0.0024
IUA (%)	229.0	250.5	213.9	213.6	255.8	335.2	369.2	422.4	361.8	207.2	151.2	169.3
DH (m3/s)	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040

Tabla 192. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Corozal

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0039	0.0033	0.0039	0.0035	0.0038	0.0032	0.0032	0.0031	0.0030	0.0041	0.0050	0.0034
CA (m3/s)	0.0033	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0030	0.0031	0.0030	0.0030	0.0030	0.0035	0.0034
OHTD (m3/s)	0.0005	0.0001	0.0007	0.0003	0.0007	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0015	0.0001
IUA (%)	736.6	6277.7	582.1	1224.8	599.3	2473.4	8750.2	13523.0	12409.8	379.1	272.2	4871.8
DH (m3/s)	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040

5.1.3.3. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Cristalina

Tabla 193. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Cristalina

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0048	0.0039	0.0039	0.0040	0.0039	0.0032	0.0021	0.0015	0.0014	0.0027	0.0049	0.0058
CA (m3/s)	0.0029	0.0022	0.0019	0.0022	0.0022	0.0017	0.0010	0.0006	0.0005	0.0011	0.0028	0.0039
OHTD (m3/s)	0.0019	0.0017	0.0020	0.0018	0.0017	0.0015	0.0011	0.0009	0.0009	0.0016	0.0021	0.0019
IUA (%)	79.7	86.6	73.2	82.8	86.7	101.5	135.1	174.3	158.3	92.8	72.0	78.2
DH (m3/s)	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015

Tabla 194. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Cristalina

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0028	0.0019	0.0025	0.0025	0.0029	0.0020	0.0009	0.0005	0.0003	0.0018	0.0041	0.0036
CA (m3/s)	0.0024	0.0017	0.0015	0.0023	0.0026	0.0017	0.0007	0.0004	0.0002	0.0011	0.0034	0.0029
OHTD (m3/s)	0.0004	0.0002	0.0010	0.0002	0.0003	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0007	0.0007	0.0007
IUA (%)	369.0	674.4	154.5	957.4	528.4	445.5	704.5	1328.6	1666.7	206.7	214.3	207.6
DH (m3/s)	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015

5.1.3.4. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Cruz Gorda

Tabla 195. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Cruz Gorda

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1459	0.1249	0.1248	0.1247	0.1219	0.1018	0.0746	0.0557	0.0513	0.0798	0.1425	0.1717
CA (m3/s)	0.0894	0.0728	0.0640	0.0717	0.0741	0.0582	0.0403	0.0274	0.0237	0.0368	0.0770	0.1118
OHTD (m3/s)	0.0565	0.0521	0.0608	0.0530	0.0478	0.0436	0.0343	0.0283	0.0276	0.0430	0.0655	0.0599
IUA (%)	27.6	30.0	25.7	29.5	32.7	35.8	45.5	55.1	56.5	36.3	23.8	26.1
DH (m3/s)	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156

Tabla 196. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Cruz Gorda

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0807	0.0584	0.0673	0.0713	0.0778	0.0597	0.0418	0.0284	0.0183	0.0487	0.1049	0.0972
CA (m3/s)	0.0723	0.0529	0.0492	0.0661	0.0702	0.0516	0.0375	0.0240	0.0157	0.0340	0.0883	0.0826
OHTD (m3/s)	0.0084	0.0055	0.0181	0.0052	0.0076	0.0081	0.0043	0.0044	0.0026	0.0147	0.0166	0.0146
IUA (%)	186.5	281.5	86.1	302.5	205.6	193.4	360.0	354.2	591.3	106.0	94.1	106.9
DH (m3/s)	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156

5.1.3.5. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Águila

Tabla 197. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada El Águila

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0210	0.0200	0.0210	0.0209	0.0200	0.0177	0.0164	0.0159	0.0163	0.0206	0.0256	0.0241
CA (m3/s)	0.0140	0.0136	0.0135	0.0134	0.0137	0.0129	0.0120	0.0121	0.0119	0.0129	0.0150	0.0146
OHTD (m3/s)	0.0070	0.0064	0.0075	0.0075	0.0063	0.0048	0.0043	0.0038	0.0044	0.0077	0.0106	0.0095
IUA (%)	228.4	249.9	213.4	213.1	255.2	334.4	368.3	421.4	360.9	206.7	150.8	168.9
DH (m3/s)	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160

Tabla 198. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada El Águila

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0155	0.0132	0.0155	0.0141	0.0153	0.0128	0.0127	0.0123	0.0120	0.0164	0.0200	0.0138
CA (m3/s)	0.0133	0.0130	0.0127	0.0127	0.0126	0.0122	0.0125	0.0122	0.0118	0.0122	0.0141	0.0135
OHTD (m3/s)	0.0022	0.0003	0.0028	0.0013	0.0027	0.0006	0.0002	0.0001	0.0001	0.0042	0.0059	0.0003
IUA (%)	734.8	6262.2	580.7	1221.8	597.8	2467.3	8728.5	13489.5	12379.2	378.1	271.5	4859.8
DH (m3/s)	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160

5.1.3.6. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Salado 2

Tabla 199. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada El Salado 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0161	0.0140	0.0147	0.0157	0.0164	0.0150	0.0121	0.0094	0.0081	0.0093	0.0156	0.0189
CA (m3/s)	0.0101	0.0075	0.0065	0.0086	0.0091	0.0077	0.0056	0.0041	0.0040	0.0046	0.0094	0.0123
OHTD (m3/s)	0.0060	0.0065	0.0082	0.0071	0.0073	0.0073	0.0065	0.0053	0.0041	0.0047	0.0062	0.0066
IUA (%)	41.9	38.3	30.6	35.0	34.1	34.3	38.5	47.0	61.7	52.8	40.4	37.8
DH (m3/s)	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025

Tabla 200. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada El Salado 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0052	0.0038	0.0037	0.0071	0.0081	0.0059	0.0119	0.0101	0.0073	0.0068	0.0097	0.0071
CA (m3/s)	0.0047	0.0034	0.0033	0.0055	0.0073	0.0052	0.0109	0.0089	0.0065	0.0062	0.0092	0.0062
OHTD (m3/s)	0.0005	0.0004	0.0004	0.0016	0.0008	0.0007	0.0010	0.0012	0.0008	0.0006	0.0005	0.0009
IUA (%)	506.5	580.0	711.0	158.6	308.8	353.8	248.4	208.3	319.1	428.2	503.4	270.0
DH (m3/s)	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025

5.1.3.7. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Salado La Gata

Tabla 201. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada El Salado La Gata

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.2671	0.2349	0.2456	0.2549	0.2620	0.2359	0.1920	0.1486	0.1271	0.1550	0.2701	0.3233
CA (m3/s)	0.1522	0.1137	0.0996	0.1400	0.1354	0.1067	0.0847	0.0573	0.0610	0.0714	0.1407	0.1839
OHTD (m3/s)	0.1149	0.1212	0.1460	0.1149	0.1266	0.1292	0.1073	0.0913	0.0661	0.0836	0.1294	0.1394
IUA (%)	96.8	91.7	76.2	96.8	87.8	86.0	103.6	121.8	168.1	133.0	85.9	79.8
DH (m3/s)	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112

Tabla 202. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada El Salado La Gata

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0892	0.0651	0.0782	0.1391	0.1264	0.0902	0.1881	0.1686	0.1129	0.1006	0.1629	0.1182
CA (m3/s)	0.0808	0.0596	0.0690	0.1217	0.1132	0.0792	0.1595	0.1448	0.0986	0.0943	0.1505	0.1024
OHTD (m3/s)	0.0084	0.0055	0.0092	0.0174	0.0132	0.0110	0.0286	0.0238	0.0143	0.0063	0.0124	0.0158
IUA (%)	1319.3	2021.2	1210.4	637.4	839.8	1006.7	389.0	467.9	778.4	1756.1	893.7	703.1
DH (m3/s)	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112	0.1112

5.1.3.8. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Diamantina

Tabla 203. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Diamantina

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0636	0.0572	0.0588	0.0613	0.0592	0.0457	0.0314	0.0236	0.0209	0.0317	0.0655	0.0765
CA (m3/s)	0.0353	0.0284	0.0250	0.0329	0.0319	0.0251	0.0177	0.0124	0.0103	0.0164	0.0319	0.0414
OHTD (m3/s)	0.0283	0.0288	0.0338	0.0284	0.0273	0.0206	0.0137	0.0112	0.0106	0.0153	0.0336	0.0351
IUA (%)	42.2	41.6	35.4	42.2	43.9	58.1	87.2	107.3	112.4	78.3	35.6	34.1
DH (m3/s)	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120

Tabla 204. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Diamantina

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0310	0.0226	0.0197	0.0221	0.0305	0.0229	0.0148	0.0104	0.0069	0.0154	0.0371	0.0324
CA (m3/s)	0.0252	0.0198	0.0173	0.0205	0.0279	0.0197	0.0135	0.0089	0.0059	0.0105	0.0302	0.0270
OHTD (m3/s)	0.0058	0.0028	0.0024	0.0016	0.0026	0.0032	0.0013	0.0015	0.0010	0.0049	0.0069	0.0054
IUA (%)	206.0	422.2	505.4	749.5	460.3	369.7	927.4	799.5	1250.9	245.8	173.6	220.8
DH (m3/s)	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120

5.1.3.9. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Llorona

Tabla 205. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Llorona

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0294	0.0280	0.0294	0.0292	0.0279	0.0248	0.0229	0.0222	0.0228	0.0288	0.0359	0.0337
CA (m3/s)	0.0196	0.0190	0.0189	0.0187	0.0192	0.0181	0.0168	0.0169	0.0166	0.0180	0.0210	0.0204
OHTD (m3/s)	0.0098	0.0090	0.0105	0.0105	0.0088	0.0067	0.0061	0.0053	0.0062	0.0108	0.0148	0.0132
IUA (%)	11.2	12.3	10.5	10.5	12.5	16.4	18.1	20.7	17.7	10.2	7.4	8.3
DH (m3/s)	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011

Tabla 206. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Llorona

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0217	0.0185	0.0216	0.0197	0.0214	0.0179	0.0178	0.0172	0.0167	0.0230	0.0280	0.0193
CA (m3/s)	0.0186	0.0181	0.0178	0.0178	0.0177	0.0170	0.0175	0.0170	0.0165	0.0171	0.0197	0.0189
OHTD (m3/s)	0.0030	0.0004	0.0039	0.0018	0.0037	0.0009	0.0003	0.0002	0.0002	0.0059	0.0082	0.0005
IUA (%)	36.1	307.9	28.6	60.1	29.4	121.3	429.2	663.3	608.7	18.6	13.4	239.0
DH (m3/s)	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011

5.1.3.10. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Picota

Tabla 207. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Picota

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0847	0.0757	0.0783	0.0828	0.0813	0.0665	0.0470	0.0346	0.0303	0.0436	0.0801	0.0989
CA (m3/s)	0.0523	0.0436	0.0388	0.0489	0.0485	0.0399	0.0269	0.0180	0.0151	0.0251	0.0474	0.0594
OHTD (m3/s)	0.0324	0.0321	0.0395	0.0339	0.0328	0.0266	0.0201	0.0166	0.0152	0.0185	0.0327	0.0395
IUA (%)	49.1	49.5	40.3	46.9	48.4	59.9	79.0	95.7	104.7	85.9	48.6	40.2
DH (m3/s)	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159

Tabla 208. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Picota

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0439	0.0320	0.0292	0.0354	0.0484	0.0370	0.0231	0.0157	0.0101	0.0233	0.0546	0.0468
CA (m3/s)	0.0364	0.0274	0.0251	0.0329	0.0440	0.0314	0.0209	0.0132	0.0087	0.0165	0.0463	0.0392
OHTD (m3/s)	0.0075	0.0046	0.0041	0.0025	0.0044	0.0056	0.0022	0.0025	0.0014	0.0068	0.0083	0.0076
IUA (%)	211.4	347.2	383.8	635.9	360.0	282.5	725.8	627.0	1154.8	235.1	191.8	209.4
DH (m3/s)	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159

5.1.3.11. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Víbora

Tabla 209. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Víbora

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0942	0.0898	0.0943	0.0938	0.0896	0.0795	0.0734	0.0713	0.0733	0.0924	0.1151	0.1081
CA (m3/s)	0.0628	0.0611	0.0606	0.0601	0.0615	0.0580	0.0539	0.0543	0.0534	0.0577	0.0675	0.0656
OHTD (m3/s)	0.0314	0.0287	0.0337	0.0337	0.0281	0.0215	0.0195	0.0170	0.0199	0.0347	0.0476	0.0425
IUA (%)	97.2	106.4	90.8	90.7	108.6	142.4	156.8	179.4	153.7	88.0	64.2	71.9
DH (m3/s)	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306

Tabla 210. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Víbora

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0696	0.0593	0.0695	0.0631	0.0687	0.0575	0.0570	0.0551	0.0537	0.0738	0.0897	0.0620
CA (m3/s)	0.0598	0.0582	0.0571	0.0572	0.0567	0.0546	0.0562	0.0546	0.0531	0.0548	0.0633	0.0605
OHTD (m3/s)	0.0098	0.0011	0.0124	0.0059	0.0120	0.0029	0.0008	0.0005	0.0006	0.0190	0.0264	0.0015
IUA (%)	312.9	2666.2	247.2	520.2	254.5	1050.5	3716.2	5743.3	5270.5	161.0	115.6	2069.1
DH (m3/s)	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306

5.1.3.12. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Las Pizarras

Tabla 211. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Las Pizarras

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.2735	0.2485	0.2560	0.2673	0.2571	0.1992	0.1393	0.1060	0.0948	0.1413	0.2839	0.3248
CA (m3/s)	0.1533	0.1254	0.1111	0.1445	0.1400	0.1116	0.0801	0.0568	0.0488	0.0748	0.1399	0.1761
OHTD (m3/s)	0.1202	0.1231	0.1449	0.1228	0.1171	0.0876	0.0592	0.0492	0.0460	0.0665	0.1440	0.1487
IUA (%)	18.7	18.3	15.5	18.3	19.2	25.6	38.0	45.7	48.8	33.8	15.6	15.1
DH (m3/s)	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225

Tabla 212. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Las Pizarras

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1353	0.0991	0.0887	0.1010	0.1353	0.1007	0.0661	0.0476	0.0324	0.0708	0.1607	0.1381
CA (m3/s)	0.1087	0.0870	0.0782	0.0928	0.1209	0.0865	0.0610	0.0410	0.0287	0.0488	0.1308	0.1164
OHTD (m3/s)	0.0266	0.0121	0.0105	0.0082	0.0144	0.0142	0.0051	0.0066	0.0037	0.0220	0.0299	0.0217
IUA (%)	84.6	185.8	213.4	273.9	155.7	158.1	438.0	342.2	604.0	102.1	75.1	103.3
DH (m3/s)	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225

5.1.3.13. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Naranjal

Tabla 213. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada El Naranjal

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0240	0.0217	0.0223	0.0231	0.0231	0.0206	0.0168	0.0134	0.0119	0.0149	0.0244	0.0281
CA (m3/s)	0.0153	0.0128	0.0118	0.0144	0.0155	0.0130	0.0097	0.0076	0.0068	0.0088	0.0144	0.0172
OHTD (m3/s)	0.0087	0.0089	0.0105	0.0087	0.0076	0.0076	0.0071	0.0058	0.0051	0.0061	0.0100	0.0109
IUA (%)	171.9	168.1	142.8	171.8	196.1	196.9	211.5	259.2	292.0	245.6	150.4	137.8
DH (m3/s)	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150

Tabla 214. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada El Naranjal

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0117	0.0093	0.0106	0.0141	0.0145	0.0114	0.0147	0.0125	0.0089	0.0107	0.0163	0.0137
CA (m3/s)	0.0110	0.0088	0.0090	0.0130	0.0134	0.0102	0.0134	0.0110	0.0079	0.0093	0.0156	0.0123
OHTD (m3/s)	0.0007	0.0005	0.0016	0.0011	0.0011	0.0012	0.0013	0.0015	0.0010	0.0014	0.0007	0.0014
IUA (%)	2021.7	2727.3	962.7	1351.4	1317.3	1226.2	1120.5	981.0	1562.5	1052.0	2045.5	1047.3
DH (m3/s)	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150

5.1.3.14. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Roble Los Justos

Tabla 215. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada El Roble Los Justos

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0966	0.0865	0.0875	0.0922	0.0922	0.0782	0.0570	0.0415	0.0338	0.0434	0.0829	0.1065
CA (m3/s)	0.0608	0.0490	0.0432	0.0493	0.0547	0.0433	0.0304	0.0208	0.0164	0.0223	0.0481	0.0668
OHTD (m3/s)	0.0358	0.0375	0.0443	0.0429	0.0375	0.0349	0.0266	0.0207	0.0174	0.0211	0.0348	0.0397
IUA (%)	41.1	39.3	33.2	34.3	39.2	42.2	55.3	71.0	84.5	69.9	42.3	37.1
DH (m3/s)	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147

Tabla 216. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada El Roble Los Justos

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0440	0.0337	0.0313	0.0374	0.0529	0.0408	0.0362	0.0255	0.0170	0.0283	0.0543	0.0497
CA (m3/s)	0.0392	0.0296	0.0271	0.0360	0.0481	0.0356	0.0330	0.0219	0.0147	0.0202	0.0460	0.0431
OHTD (m3/s)	0.0048	0.0041	0.0042	0.0014	0.0048	0.0052	0.0032	0.0036	0.0023	0.0081	0.0083	0.0066
IUA (%)	306.5	361.2	354.3	1043.3	304.4	285.1	461.1	405.0	640.5	181.4	177.4	222.3
DH (m3/s)	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147

5.1.3.15. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Pijao

Tabla 217. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Pijao

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0477	0.0433	0.0437	0.0447	0.0437	0.0366	0.0263	0.0192	0.0161	0.0219	0.0406	0.0533
CA (m3/s)	0.0285	0.0242	0.0205	0.0258	0.0254	0.0192	0.0134	0.0089	0.0074	0.0122	0.0231	0.0309
OHTD (m3/s)	0.0192	0.0191	0.0232	0.0189	0.0183	0.0174	0.0129	0.0103	0.0087	0.0097	0.0175	0.0224
IUA (%)	52.2	52.4	43.0	52.8	54.6	57.6	77.6	97.0	114.8	103.0	57.2	44.6
DH (m3/s)	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100

Tabla 218. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Pijao

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0235	0.0180	0.0150	0.0164	0.0208	0.0167	0.0100	0.0068	0.0042	0.0093	0.0260	0.0244
CA (m3/s)	0.0193	0.0157	0.0130	0.0152	0.0177	0.0145	0.0091	0.0057	0.0036	0.0067	0.0213	0.0211
OHTD (m3/s)	0.0042	0.0023	0.0020	0.0012	0.0031	0.0022	0.0009	0.0011	0.0006	0.0026	0.0047	0.0033
IUA (%)	235.6	430.9	492.1	810.8	317.9	445.1	1065.3	945.1	1570.7	386.1	213.8	300.1
DH (m3/s)	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100

5.1.3.16. IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Gris

Tabla 219. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Rio Gris

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.7738	1.6031	1.6881	1.9735	2.0443	1.7843	1.3951	1.1262	1.0187	1.3332	1.8719	2.0429
CA (m3/s)	1.2883	1.0934	1.0040	1.2847	1.4136	1.2091	0.9630	0.7658	0.6697	0.8229	1.2257	1.4674
OHTD (m3/s)	0.4855	0.5097	0.6841	0.6888	0.6307	0.5752	0.4321	0.3604	0.3490	0.5103	0.6462	0.5755
IUA (%)	12.7	12.1	9.0	9.0	9.8	10.8	14.3	17.2	17.7	12.1	9.6	10.7
DH (m3/s)	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618

Tabla 220. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Rio Gris

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.8107	0.7093	0.8613	1.1284	1.6316	1.4421	0.6669	0.5296	0.3964	0.4952	0.8976	0.8391
CA (m3/s)	0.7122	0.6317	0.8034	1.0589	1.4144	1.3057	0.6317	0.4731	0.3654	0.3849	0.7736	0.7363
OHTD (m3/s)	0.0985	0.0776	0.0579	0.0695	0.2172	0.1364	0.0352	0.0565	0.0310	0.1103	0.1240	0.1028
IUA (%)	62.8	79.7	106.7	89.0	28.5	45.3	175.8	109.5	199.4	56.1	49.9	60.2
DH (m3/s)	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618	0.0618

5.1.3.17. IUA mensual en la fuente abastecedora Río Quindío EPA

Tabla 221. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Río Quindío EPA

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	7.6145	6.9885	7.1203	7.2237	7.1298	6.0544	4.8278	4.0389	3.9594	5.4114	7.8253	8.6836
CA (m3/s)	5.2689	4.6373	4.4871	4.8058	4.7158	4.0210	3.1652	2.5456	2.4895	3.2707	5.0529	6.1148
OHTD (m3/s)	2.3456	2.3512	2.6332	2.4179	2.4140	2.0334	1.6626	1.4933	1.4699	2.1407	2.7724	2.5688
IUA (%)	66.0	65.8	58.8	64.0	64.1	76.1	93.1	103.6	105.3	72.3	55.8	60.2
DH (m3/s)	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471

Tabla 222. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Río Quindío EPA

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	4.9171	3.9273	4.9301	4.9719	5.4471	4.1250	3.2512	2.6057	2.3178	3.6926	6.1790	5.3078
CA (m3/s)	4.3326	3.5965	3.8597	4.4096	4.6703	3.7436	3.0112	2.3875	2.0077	2.8120	5.3203	4.6699
OHTD (m3/s)	0.5845	0.3308	1.0704	0.5623	0.7768	0.3814	0.2400	0.2182	0.3101	0.8806	0.8587	0.6379
IUA (%)	264.7	467.7	144.5	275.1	199.2	405.7	644.7	709.1	498.8	175.7	180.2	242.5
DH (m3/s)	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471	1.5471

5.1.3.18. IUA mensual en la fuente abastecedora Río Quindío Tebaida

Tabla 223. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Río Quindío Tebaida

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.6596	11.7191	11.9257	12.0464	11.9334	10.5146	8.8084	7.6385	7.4149	9.3269	12.9055	14.2460
CA (m3/s)	9.1838	8.2782	8.0612	8.5514	8.5911	7.5712	6.3621	5.4399	5.2845	6.4011	8.8836	10.4653
OHTD (m3/s)	3.4758	3.4409	3.8645	3.4950	3.3423	2.9434	2.4463	2.1986	2.1304	2.9258	4.0219	3.7807
IUA (%)	212.2	214.4	190.9	211.0	220.7	250.6	301.5	335.5	346.2	252.1	183.4	195.1
DH (m3/s)	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757

Tabla 224. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Río Quindío Tebaida

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	8.3559	7.0149	8.1881	8.5048	9.0015	7.3035	6.7726	5.8757	5.2224	6.8993	10.2442	8.9363
CA (m3/s)	7.6180	6.6325	7.0142	7.8519	8.0214	6.7988	6.4969	5.5078	4.8281	5.8472	9.1560	8.1006
OHTD (m3/s)	0.7379	0.3825	1.1739	0.6529	0.9801	0.5047	0.2757	0.3679	0.3943	1.0521	1.0882	0.8357
IUA (%)	999.6	1928.3	628.3	1129.8	752.6	1461.3	2675.2	2004.7	1870.5	701.0	677.8	882.6
DH (m3/s)	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757	7.3757

5.1.3.19. IUA mensual en la fuente abastecedora Río Quindío Estación de Bombeo

Tabla 225. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Río Quindío Estación de Bombeo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	12.1728	11.2420	11.4460	11.5674	11.4543	10.0459	8.3598	7.2084	6.9968	8.9027	12.4354	13.7482
CA (m3/s)	8.7233	7.8527	7.6303	8.1207	8.1756	7.1356	5.9663	5.0490	4.8975	5.9889	8.4455	10.0013
OHTD (m3/s)	3.4495	3.3893	3.8157	3.4467	3.2787	2.9103	2.3935	2.1594	2.0993	2.9138	3.9899	3.7469
IUA (%)	58.2	59.2	52.6	58.3	61.2	69.0	83.9	93.0	95.6	68.9	50.3	53.6
DH (m3/s)	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080

Tabla 226. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Río Quindío Estación de Bombeo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	7.9677	6.6379	7.8150	8.1238	8.6175	6.9280	6.3616	5.4791	4.8456	6.5206	9.8464	8.5401
CA (m3/s)	7.2308	6.2544	6.6039	7.4702	7.6397	6.4282	6.0874	5.1149	4.4501	5.4826	8.7405	7.7100
OHTD (m3/s)	0.7369	0.3835	1.2111	0.6536	0.9778	0.4998	0.2742	0.3642	0.3955	1.0380	1.1059	0.8301
IUA (%)	272.5	523.6	165.8	307.2	205.4	401.7	732.3	551.3	507.7	193.4	181.6	241.9
DH (m3/s)	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080	2.0080

5.1.3.20. IUA mensual en la fuente abastecedora Río Verde

Tabla 227. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Río Verde

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.4565	1.2945	1.3287	1.4061	1.4084	1.2091	0.9093	0.6789	0.5694	0.7138	1.3287	1.6766
CA (m3/s)	0.9134	0.6821	0.6119	0.8108	0.8810	0.7320	0.5171	0.3526	0.2949	0.3828	0.7741	1.0696
OHTD (m3/s)	0.5431	0.6124	0.7168	0.5953	0.5274	0.4771	0.3922	0.3263	0.2745	0.3310	0.5546	0.6070
IUA (%)	24.7	21.9	18.8	22.6	25.5	28.2	34.3	41.2	49.0	40.6	24.2	22.1
DH (m3/s)	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344

Tabla 228. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Río Verde

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.5245	0.3928	0.4040	0.6235	0.7710	0.5814	0.7632	0.5991	0.4051	0.5093	0.8072	0.6543
CA (m3/s)	0.4878	0.3578	0.3363	0.5863	0.7003	0.5096	0.7150	0.5170	0.3507	0.4129	0.7556	0.5668
OHTD (m3/s)	0.0367	0.0350	0.0677	0.0372	0.0707	0.0718	0.0482	0.0821	0.0544	0.0964	0.0516	0.0875
IUA (%)	366.4	384.0	198.6	361.8	190.0	187.3	279.1	163.7	247.2	139.4	260.4	153.6
DH (m3/s)	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344	0.1344

5.1.3.21. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada San Rafael

Tabla 229. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada San Rafael

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1690	0.1483	0.1544	0.1611	0.1625	0.1426	0.1125	0.0867	0.0774	0.1034	0.1822	0.2089
CA (m3/s)	0.1049	0.0815	0.0756	0.0977	0.1032	0.0835	0.0586	0.0446	0.0396	0.0570	0.1000	0.1269
OHTD (m3/s)	0.0641	0.0668	0.0788	0.0634	0.0593	0.0591	0.0539	0.0421	0.0378	0.0464	0.0822	0.0820
IUA (%)	94.4	90.7	76.9	95.6	102.1	102.4	112.3	144.0	160.2	130.6	73.7	73.8
DH (m3/s)	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606

Tabla 230. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada San Rafael

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0746	0.0560	0.0677	0.1006	0.1003	0.0735	0.0962	0.0842	0.0554	0.0689	0.1166	0.0919
CA (m3/s)	0.0692	0.0518	0.0548	0.0912	0.0899	0.0640	0.0828	0.0719	0.0479	0.0579	0.1127	0.0792
OHTD (m3/s)	0.0054	0.0042	0.0129	0.0094	0.0104	0.0095	0.0134	0.0123	0.0075	0.0110	0.0039	0.0127
IUA (%)	1121.9	1433.0	471.4	643.6	585.0	635.5	450.7	494.1	808.1	551.9	1542.8	475.9
DH (m3/s)	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	0.0606

5.1.3.22. IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Santo Domingo

Tabla 231. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Rio Santo Domingo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	1.4083	1.2429	1.3094	1.3827	1.4182	1.2645	1.0129	0.7791	0.6686	0.8200	1.4322	1.7127
CA (m3/s)	0.8279	0.6032	0.5363	0.8006	0.7858	0.6447	0.4972	0.3319	0.3441	0.4039	0.7761	1.0148
OHTD (m3/s)	0.5804	0.6397	0.7731	0.5821	0.6324	0.6198	0.5157	0.4472	0.3245	0.4161	0.6561	0.6979
IUA (%)	13.5	12.3	10.1	13.5	12.4	12.7	15.2	17.5	24.2	18.9	12.0	11.2
DH (m3/s)	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785

Tabla 232. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Rio Santo Domingo

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.4686	0.3442	0.4085	0.7282	0.6996	0.5026	0.9940	0.8810	0.5942	0.5430	0.8597	0.6193
CA (m3/s)	0.4248	0.3175	0.3614	0.6338	0.6283	0.4406	0.8450	0.7573	0.5211	0.5129	0.8012	0.5347
OHTD (m3/s)	0.0438	0.0267	0.0471	0.0944	0.0713	0.0620	0.1490	0.1237	0.0731	0.0301	0.0585	0.0846
IUA (%)	179.0	293.7	166.4	83.1	110.0	126.5	52.6	63.4	107.4	260.9	134.0	92.7
DH (m3/s)	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785

5.1.3.23. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Cajones

Tabla 233. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Cajones

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0869	0.0790	0.0797	0.0796	0.0771	0.0682	0.0559	0.0480	0.0481	0.0666	0.0934	0.1006
CA (m3/s)	0.0596	0.0524	0.0517	0.0555	0.0551	0.0488	0.0396	0.0328	0.0344	0.0423	0.0623	0.0704
OHTD (m3/s)	0.0273	0.0266	0.0280	0.0241	0.0220	0.0194	0.0163	0.0152	0.0137	0.0243	0.0311	0.0302
IUA (%)	24.4	25.1	23.9	27.6	30.3	34.3	40.8	43.9	48.6	27.5	21.5	22.1
DH (m3/s)	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067

Tabla 234. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Cajones

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0618	0.0493	0.0550	0.0581	0.0622	0.0528	0.0382	0.0323	0.0276	0.0457	0.0763	0.0641
CA (m3/s)	0.0537	0.0462	0.0448	0.0539	0.0564	0.0477	0.0358	0.0304	0.0263	0.0359	0.0666	0.0565
OHTD (m3/s)	0.0081	0.0032	0.0102	0.0042	0.0058	0.0051	0.0024	0.0019	0.0013	0.0098	0.0097	0.0076
IUA (%)	81.9	209.0	65.3	158.9	114.4	131.8	280.6	359.0	506.6	68.3	68.5	87.2
DH (m3/s)	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067

5.1.3.24. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada El Bosque

Tabla 235. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada El Bosque

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0405	0.0343	0.0334	0.0328	0.0309	0.0261	0.0183	0.0132	0.0131	0.0235	0.0395	0.0471
CA (m3/s)	0.0226	0.0184	0.0159	0.0179	0.0189	0.0144	0.0098	0.0063	0.0056	0.0099	0.0209	0.0282
OHTD (m3/s)	0.0179	0.0159	0.0175	0.0149	0.0120	0.0117	0.0085	0.0069	0.0075	0.0136	0.0186	0.0189
IUA (%)	28.0	31.5	28.6	33.6	41.5	42.6	58.5	73.0	66.7	36.6	26.9	26.4
DH (m3/s)	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050

Tabla 236. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada El Bosque

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0269	0.0192	0.0220	0.0252	0.0270	0.0230	0.0077	0.0045	0.0025	0.0158	0.0332	0.0298
CA (m3/s)	0.0219	0.0166	0.0151	0.0227	0.0244	0.0194	0.0064	0.0036	0.0020	0.0092	0.0300	0.0245
OHTD (m3/s)	0.0050	0.0026	0.0069	0.0025	0.0026	0.0036	0.0013	0.0009	0.0005	0.0066	0.0032	0.0053
IUA (%)	99.5	194.4	72.3	202.2	194.2	137.9	374.4	587.1	1013.5	75.8	158.7	94.4
DH (m3/s)	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050

5.1.3.25. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Arenosa

Tabla 237. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Arenosa

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0827	0.0748	0.0742	0.0737	0.0716	0.0643	0.0528	0.0447	0.0438	0.0582	0.0813	0.0918
CA (m3/s)	0.0570	0.0497	0.0469	0.0499	0.0510	0.0453	0.0365	0.0306	0.0296	0.0368	0.0546	0.0639
OHTD (m3/s)	0.0257	0.0251	0.0273	0.0238	0.0206	0.0190	0.0163	0.0141	0.0142	0.0214	0.0267	0.0279
IUA (%)	60.6	62.2	57.1	65.6	75.8	82.3	95.6	110.4	109.6	72.9	58.5	55.8
DH (m3/s)	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156

Tabla 238. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Arenosa

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0573	0.0474	0.0512	0.0533	0.0574	0.0498	0.0360	0.0302	0.0259	0.0411	0.0664	0.0608
CA (m3/s)	0.0512	0.0447	0.0431	0.0501	0.0534	0.0452	0.0337	0.0284	0.0247	0.0325	0.0607	0.0542
OHTD (m3/s)	0.0061	0.0028	0.0081	0.0032	0.0040	0.0046	0.0023	0.0018	0.0012	0.0086	0.0057	0.0066
IUA (%)	253.7	559.2	192.6	489.3	385.1	340.9	675.0	883.6	1355.7	180.7	271.8	234.5
DH (m3/s)	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156

5.1.3.26. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Marina

Tabla 239. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Marina

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0128	0.0107	0.0104	0.0102	0.0096	0.0080	0.0055	0.0038	0.0039	0.0076	0.0129	0.0153
CA (m3/s)	0.0071	0.0056	0.0047	0.0055	0.0058	0.0044	0.0029	0.0017	0.0015	0.0028	0.0070	0.0091
OHTD (m3/s)	0.0057	0.0051	0.0057	0.0047	0.0038	0.0036	0.0026	0.0021	0.0024	0.0048	0.0059	0.0062
IUA (%)	208.9	235.7	210.7	254.0	314.9	331.0	464.7	563.8	490.6	250.8	204.7	194.9
DH (m3/s)	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120

Tabla 240. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Marina

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0083	0.0059	0.0063	0.0072	0.0081	0.0068	0.0024	0.0013	0.0007	0.0043	0.0104	0.0094
CA (m3/s)	0.0067	0.0052	0.0048	0.0064	0.0073	0.0056	0.0020	0.0011	0.0006	0.0016	0.0094	0.0076
OHTD (m3/s)	0.0016	0.0007	0.0015	0.0008	0.0008	0.0012	0.0004	0.0002	0.0001	0.0027	0.0010	0.0018
IUA (%)	742.5	1740.0	783.2	1506.3	1500.0	1008.4	3152.5	5095.9	8571.4	445.0	1165.0	675.1
DH (m3/s)	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120

5.1.3.27. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Paloma

Tabla 241. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Paloma

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0044	0.0034	0.0035	0.0038	0.0040	0.0031	0.0018	0.0011	0.0013	0.0029	0.0054	0.0062
CA (m3/s)	0.0024	0.0017	0.0013	0.0016	0.0019	0.0014	0.0007	0.0004	0.0004	0.0010	0.0025	0.0034
OHTD (m3/s)	0.0020	0.0017	0.0022	0.0022	0.0021	0.0017	0.0011	0.0007	0.0009	0.0019	0.0029	0.0028
IUA (%)	391.5	480.4	360.3	368.9	390.2	467.1	718.9	1118.6	908.8	426.3	271.3	289.0
DH (m3/s)	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080

Tabla 242. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Paloma

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0016	0.0010	0.0014	0.0024	0.0037	0.0022	0.0007	0.0003	0.0001	0.0018	0.0033	0.0020
CA (m3/s)	0.0012	0.0008	0.0007	0.0013	0.0032	0.0016	0.0005	0.0002	0.0001	0.0007	0.0030	0.0015
OHTD (m3/s)	0.0004	0.0002	0.0007	0.0011	0.0005	0.0006	0.0002	0.0001	0.0000	0.0011	0.0003	0.0005
IUA (%)	2275.2	5155.6	1083.0	727.3	1610.4	1428.6	3936.5	6702.7	20000.0	735.9	2790.7	1698.6
DH (m3/s)	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080

5.1.3.28. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada La Soledad

Tabla 243. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada La Soledad

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0787	0.0676	0.0683	0.0703	0.0716	0.0637	0.0507	0.0425	0.0425	0.0572	0.0830	0.0924
CA (m3/s)	0.0542	0.0468	0.0417	0.0463	0.0489	0.0441	0.0363	0.0307	0.0296	0.0358	0.0552	0.0633
OHTD (m3/s)	0.0245	0.0208	0.0266	0.0240	0.0227	0.0196	0.0144	0.0118	0.0129	0.0214	0.0278	0.0291
IUA (%)	81.7	96.2	75.3	83.4	88.3	101.9	139.2	169.3	155.5	93.6	72.0	68.8
DH (m3/s)	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200

Tabla 244. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada La Soledad

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0457	0.0382	0.0420	0.0499	0.0625	0.0493	0.0375	0.0324	0.0286	0.0440	0.0621	0.0513
CA (m3/s)	0.0424	0.0363	0.0356	0.0413	0.0583	0.0440	0.0358	0.0307	0.0276	0.0351	0.0597	0.0454
OHTD (m3/s)	0.0033	0.0019	0.0064	0.0086	0.0042	0.0053	0.0017	0.0017	0.0010	0.0089	0.0024	0.0059
IUA (%)	601.4	1040.4	314.9	233.5	476.2	375.5	1154.6	1196.9	1973.7	224.7	832.2	341.8
DH (m3/s)	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200

5.1.3.29. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Lacha

Tabla 245. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Lacha

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.2282	0.1897	0.1929	0.1948	0.1886	0.1592	0.1182	0.0973	0.1058	0.1708	0.2534	0.2796
CA (m3/s)	0.1432	0.1182	0.1095	0.1284	0.1269	0.1044	0.0762	0.0608	0.0644	0.0974	0.1668	0.1921
OHTD (m3/s)	0.0850	0.0715	0.0834	0.0664	0.0617	0.0548	0.0420	0.0365	0.0414	0.0734	0.0866	0.0875
IUA (%)	77.2	91.8	78.7	98.9	106.3	119.8	156.4	179.7	158.7	89.4	75.8	75.0
DH (m3/s)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656

Tabla 246. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Lacha

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.1487	0.1045	0.1364	0.1437	0.1570	0.1211	0.0721	0.0588	0.0516	0.1246	0.2080	0.1709
CA (m3/s)	0.1220	0.0935	0.0873	0.1298	0.1382	0.1012	0.0665	0.0554	0.0498	0.0933	0.1904	0.1364
OHTD (m3/s)	0.0267	0.0110	0.0491	0.0139	0.0188	0.0199	0.0056	0.0034	0.0018	0.0313	0.0176	0.0345
IUA (%)	245.8	595.4	133.6	471.3	349.2	330.0	1180.3	1928.8	3554.5	209.5	372.5	190.5
DH (m3/s)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656	0.0656

5.1.3.30. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Las Lajas

Tabla 247. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Las Lajas

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0476	0.0411	0.0419	0.0436	0.0448	0.0402	0.0320	0.0270	0.0271	0.0360	0.0513	0.0563
CA (m3/s)	0.0332	0.0286	0.0266	0.0294	0.0311	0.0291	0.0244	0.0202	0.0194	0.0240	0.0343	0.0385
OHTD (m3/s)	0.0144	0.0125	0.0153	0.0142	0.0137	0.0111	0.0076	0.0068	0.0077	0.0120	0.0170	0.0178
IUA (%)	31.2	36.1	29.4	31.7	32.9	40.5	58.8	66.3	58.5	37.5	26.4	25.3
DH (m3/s)	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045

Tabla 248. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Las Lajas

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.0289	0.0247	0.0266	0.0332	0.0422	0.0338	0.0254	0.0223	0.0199	0.0296	0.0393	0.0321
CA (m3/s)	0.0270	0.0237	0.0235	0.0263	0.0395	0.0301	0.0245	0.0212	0.0193	0.0240	0.0378	0.0287
OHTD (m3/s)	0.0019	0.0010	0.0031	0.0069	0.0027	0.0037	0.0009	0.0011	0.0006	0.0056	0.0015	0.0034
IUA (%)	242.6	434.3	143.5	65.0	167.1	120.5	509.1	402.0	798.8	80.5	297.4	132.4
DH (m3/s)	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045

5.1.3.31. IUA mensual en la fuente abastecedora quebrada Buenavista

Tabla 249. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora quebrada Buenavista

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.5699	0.5047	0.5059	0.5152	0.5197	0.4660	0.3769	0.3182	0.3134	0.4128	0.5771	0.6426
CA (m3/s)	0.3980	0.3533	0.3211	0.3452	0.3638	0.3347	0.2734	0.2283	0.2213	0.2627	0.3977	0.4370
OHTD (m3/s)	0.1719	0.1514	0.1848	0.1700	0.1559	0.1313	0.1035	0.0899	0.0921	0.1501	0.1794	0.2056
IUA (%)	87.1	98.9	81.0	88.0	96.0	114.0	144.7	166.5	162.6	99.7	83.5	72.8
DH (m3/s)	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497

Tabla 250. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora quebrada Buenavista

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.3567	0.3000	0.3508	0.3866	0.4547	0.3650	0.2714	0.2306	0.2002	0.2989	0.4317	0.3849
CA (m3/s)	0.3292	0.2842	0.2883	0.3486	0.4231	0.3262	0.2567	0.2177	0.1927	0.2504	0.4061	0.3448
OHTD (m3/s)	0.0275	0.0158	0.0625	0.0380	0.0316	0.0388	0.0147	0.0129	0.0075	0.0485	0.0256	0.0401
IUA (%)	544.9	948.7	239.5	394.4	473.5	385.7	1021.2	1163.0	1987.1	308.7	585.0	373.3
DH (m3/s)	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497	0.1497

5.1.3.32. IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Roble Circasia

Tabla 251. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Rio Roble Circasia

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.5806	0.5003	0.4933	0.4906	0.4721	0.4134	0.3216	0.2629	0.2649	0.3912	0.5807	0.6656
CA (m3/s)	0.3806	0.3193	0.2890	0.3236	0.3198	0.2724	0.2073	0.1637	0.1752	0.2308	0.3786	0.4596
OHTD (m3/s)	0.2000	0.1810	0.2043	0.1670	0.1523	0.1410	0.1143	0.0992	0.0897	0.1604	0.2021	0.2060
IUA (%)	31.5	34.9	30.9	37.8	41.4	44.7	55.2	63.6	70.3	39.3	31.2	30.6
DH (m3/s)	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631

Tabla 252. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Rio Roble Circasia

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	0.3945	0.2984	0.3307	0.3570	0.3812	0.3310	0.1926	0.1534	0.1291	0.2842	0.4982	0.4484
CA (m3/s)	0.3445	0.2704	0.2518	0.3297	0.3506	0.2896	0.1765	0.1426	0.1231	0.2031	0.4540	0.3794
OHTD (m3/s)	0.0500	0.0280	0.0789	0.0273	0.0306	0.0414	0.0161	0.0108	0.0060	0.0811	0.0442	0.0690
IUA (%)	126.3	225.3	80.0	231.2	206.1	152.3	391.0	583.6	1057.2	77.8	142.7	91.4
DH (m3/s)	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631

5.1.3.33. IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 1

Tabla 253. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.5413	3.1180	3.0989	3.1036	3.0347	2.6753	2.1426	1.7893	1.7747	2.4713	3.5570	4.0079
CA (m3/s)	2.4151	2.0823	1.8852	2.0585	2.0953	1.8647	1.4646	1.1881	1.2140	1.5203	2.3782	2.7961
OHTD (m3/s)	1.1262	1.0357	1.2137	1.0451	0.9394	0.8106	0.6780	0.6012	0.5607	0.9510	1.1788	1.2118
IUA (%)	35.8	38.9	33.2	38.6	42.9	49.7	59.5	67.1	71.9	42.4	34.2	33.3
DH (m3/s)	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032

Tabla 254. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 1

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.3021	1.8234	2.0429	2.1696	2.4279	2.0171	1.4096	1.1651	0.9984	1.7414	2.8385	2.5126
CA (m3/s)	2.0574	1.7005	1.6178	2.0019	2.2221	1.8080	1.3086	1.0930	0.9552	1.3449	2.5921	2.1966
OHTD (m3/s)	0.2447	0.1230	0.4251	0.1677	0.2058	0.2091	0.1010	0.0721	0.0432	0.3965	0.2464	0.3160
IUA (%)	164.8	327.8	94.8	240.5	195.9	192.8	399.3	559.1	933.6	101.7	163.6	127.6
DH (m3/s)	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032	0.4032

5.1.3.34. IUA mensual en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 2

Tabla 255. Índice de uso del agua mensual para año medio en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	3.0467	2.6851	2.6672	2.6654	2.5947	2.2822	1.8266	1.5255	1.5164	2.1263	3.0580	3.4450
CA (m3/s)	2.0782	1.7782	1.6184	1.7644	1.7739	1.5781	1.2363	1.0065	1.0339	1.2976	2.0388	2.4035
OHTD (m3/s)	0.9685	0.9069	1.0488	0.9010	0.8208	0.7041	0.5903	0.5190	0.4825	0.8287	1.0192	1.0415
IUA (%)	30.9	33.0	28.6	33.2	36.5	42.5	50.7	57.7	62.1	36.1	29.4	28.8
DH (m3/s)	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995

Tabla 256. Índice de uso del agua mensual para año seco en la fuente abastecedora Rio Roble Montenegro 2

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OHTS (m3/s)	2.0117	1.5836	1.7759	1.8675	2.0612	1.7225	1.1912	0.9808	0.8393	1.4975	2.4742	2.1940
CA (m3/s)	1.7898	1.4707	1.3974	1.7371	1.8812	1.5428	1.1034	0.9193	0.8022	1.1478	2.2462	1.9132
OHTD (m3/s)	0.2219	0.1129	0.3785	0.1304	0.1800	0.1797	0.0878	0.0615	0.0371	0.3497	0.2280	0.2808
IUA (%)	134.9	265.4	79.1	229.7	166.4	166.7	341.2	487.4	806.4	85.6	131.3	106.7
DH (m3/s)	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995	0.2995

5.2. Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVH)

Determina la susceptibilidad del sistema hídrico en mantener una oferta para el abastecimiento de agua. Se calcula a través de una matriz de relación (Tabla 257) entre el índice de retención y regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA).

Tabla 257. Matriz de clasificación del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico.
Fuente: (IDEAM, 2020c)

Matriz de Asociación IVH					
Índice de Uso del Agua - IUA	Índice de Retención y Regulación Hídrica - IRH				
	Muy Alta	Alta	Moderada	Baja	Muy Baja
Categoría					
Muy Bajo	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Media	Media
Bajo	Baja	Baja	Baja	Media	Media
Moderado	Media	Media	Media	Alta	Alta
Alto	Media	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Muy Alto	Media	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Crítico	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

El cauce principal del río Quindío presenta una vulnerabilidad MEDIA al desabastecimiento hídrico, específicamente los tramos desde río Quindío 3, 5, 6, 7, 8 Y 10 en año medio (Tabla 259). La presión aumenta en año seco para los tramos río Quindío 6, 7, 8, 10 y quebrada Lacha a una categoría MUY ALTA (Tabla 258).

Las unidades de análisis río Santo Domingo, río Verde Tramo 1, quebrada Buenavista tramos 1 y 2, río Roble Tramos 1, 3, 5, y 6, y la quebrada Lacha presentan una vulnerabilidad MEDIA al desabastecimiento en año medio. río Roble Tramos 1, 3, 5, 6 y 7, y quebrada Buenavista Tramos 1 y 2 tienen una vulnerabilidad MEDIA al desabastecimiento hídrico en condición hidrológica seca.

Las unidades quebrada Corozal, quebrada El Águila, quebrada El Naranjal, río Quindío La Tebaida, quebrada La Marina, y quebrada La Paloma tienen una vulnerabilidad MUY ALTA al desabastecimiento en año medio como se evidencia en la Tabla 260. Para año seco 18 fuentes abastecedoras se identifican con vulnerabilidad MUY ALTA por desabastecimiento hídrico (Tabla 261).

Tabla 258. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en las unidades hidrológicas de análisis

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Quebrada La Picota	Alta	Bajo	Baja
Rio Lejos	Alta	Bajo	Baja
Rio Navarco	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Quindío Tramo 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Quindío Tramo 2	Alta	Bajo	Baja
Rio Quindío Tramo 3	Alta	Alto	Media
Rio Quindío Tramo 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Quindío Tramo 5	Muy Alta	Moderado	Media
Rio Quindío Tramo 6	Muy Alta	Muy Alto	Media
Rio Quindío Tramo 7	Muy Alta	Muy Alto	Media
Rio Quindío Tramo 8	Muy Alta	Muy Alto	Media
Rio Quindío Tramo 9	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Quindío Tramo 10	Muy Alta	Muy Alto	Media
Rio Quindío Tramo 11	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Quindío Tramo 12	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Santo Domingo	Alta	Moderado	Media
Rio Verde Tramo 1	Alta	Moderado	Media
Rio Verde Tramo 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio San Juan	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Gris	Alta	Bajo	Baja
Rio Rojo	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Buenavista T 1	Muy Alta	Moderado	Media
Quebrada Buenavista T 2	Muy Alta	Alto	Media
Quebrada La Tigra	Muy Alta	Bajo	Baja
Quebrada Campoalegre	Muy Alta	Bajo	Baja
Rio Roble Tramo 1	Alta	Alto	Media
Rio Roble Tramo 2	Alta	Bajo	Baja
Rio Roble Tramo 3	Alta	Moderado	Media
Rio Roble Tramo 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Roble Tramo 5	Alta	Alto	Media
Rio Roble Tramo 6	Alta	Moderado	Media
Rio Roble Tramo 7	Muy Alta	Bajo	Baja
Quebrada Lacha	Alta	Muy Alto	Media
Drenajes al rio Barbas	Muy Alta	Bajo	Baja
Drenajes al Rio Barragán	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Drenajes al Rio La Vieja	Muy Alta	Bajo	Baja
Quebrada Cristales	Muy Alta	Bajo	Baja
Rio Espejo	Muy Alta	Bajo	Baja

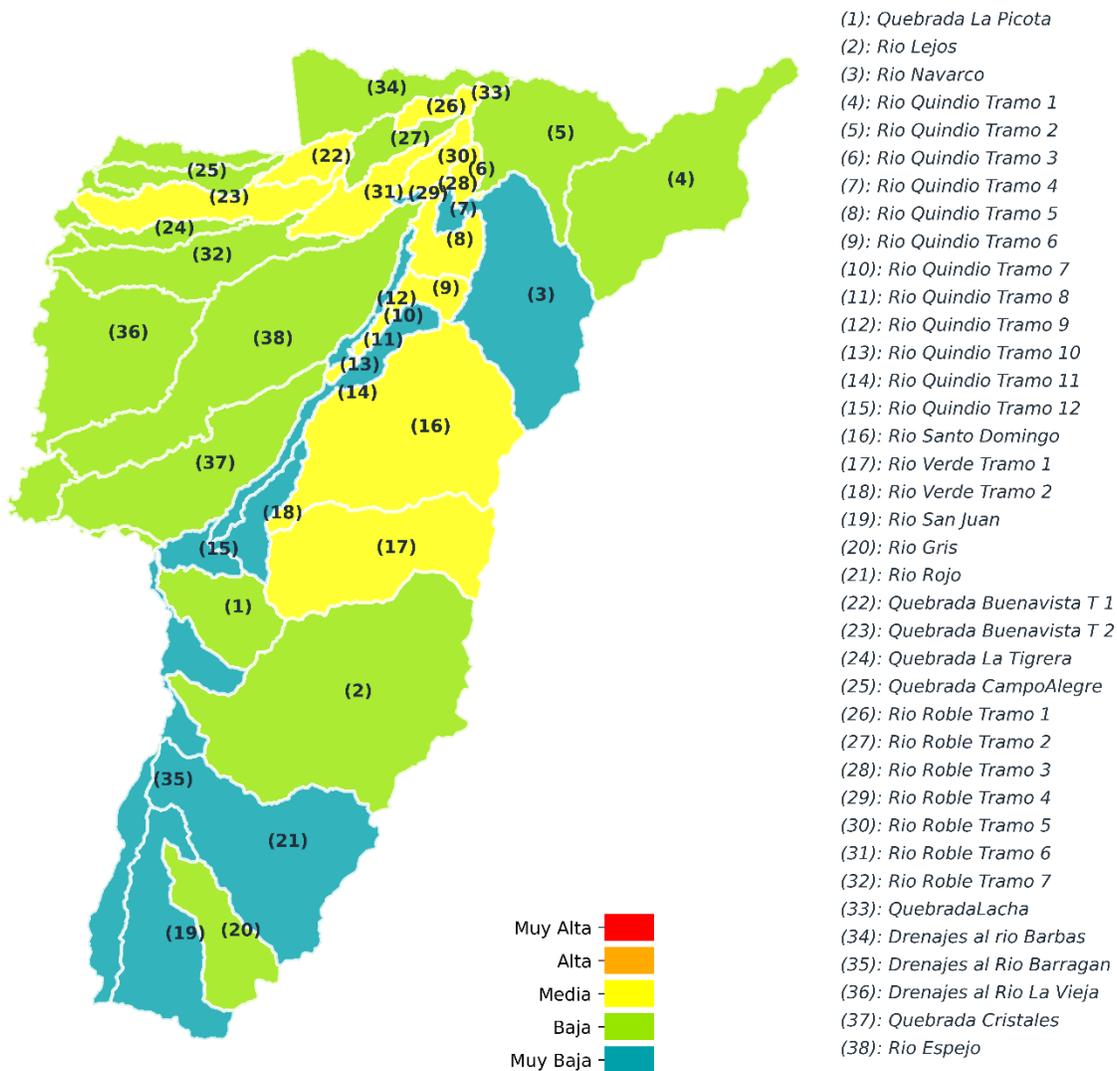


Figura 283. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en las unidades hidrológicas de análisis

Tabla 259 Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en las unidades hidrológicas de análisis

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Quebrada La Picota	Alta	Bajo	Baja
Rio Lejos	Alta	Moderado	Media
Rio Navarco	Muy Alta	Bajo	Baja
Rio Quindío Tramo 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Quindío Tramo 2	Alta	Bajo	Baja
Rio Quindío Tramo 3	Alta	Muy Alto	Media
Rio Quindío Tramo 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Quindío Tramo 5	Muy Alta	Alto	Media
Rio Quindío Tramo 6	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Quindío Tramo 7	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Quindío Tramo 8	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Quindío Tramo 9	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Quindío Tramo 10	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Quindío Tramo 11	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Quindío Tramo 12	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Santo Domingo	Alta	Muy Alto	Media
Rio Verde Tramo 1	Alta	Alto	Media
Rio Verde Tramo 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio San Juan	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Gris	Alta	Moderado	Media
Rio Rojo	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Buenavista T 1	Muy Alta	Alto	Media
Quebrada Buenavista T 2	Muy Alta	Muy Alto	Media
Quebrada La Tigra	Muy Alta	Bajo	Baja
Quebrada Campo Alegre	Muy Alta	Moderado	Media
Rio Roble Tramo 1	Alta	Muy Alto	Media
Rio Roble Tramo 2	Alta	Bajo	Baja
Rio Roble Tramo 3	Alta	Alto	Media
Rio Roble Tramo 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Roble Tramo 5	Alta	Alto	Media
Rio Roble Tramo 6	Alta	Alto	Media
Rio Roble Tramo 7	Muy Alta	Moderado	Media
Quebrada Lacha	Alta	Crítico	Muy Alta
Drenajes al rio Barbas	Muy Alta	Moderado	Media
Drenajes al Rio Barragán	Alta	Bajo	Baja
Drenajes al Rio La Vieja	Muy Alta	Bajo	Baja
Quebrada Cristales	Muy Alta	Alto	Media
Rio Espejo	Muy Alta	Bajo	Baja

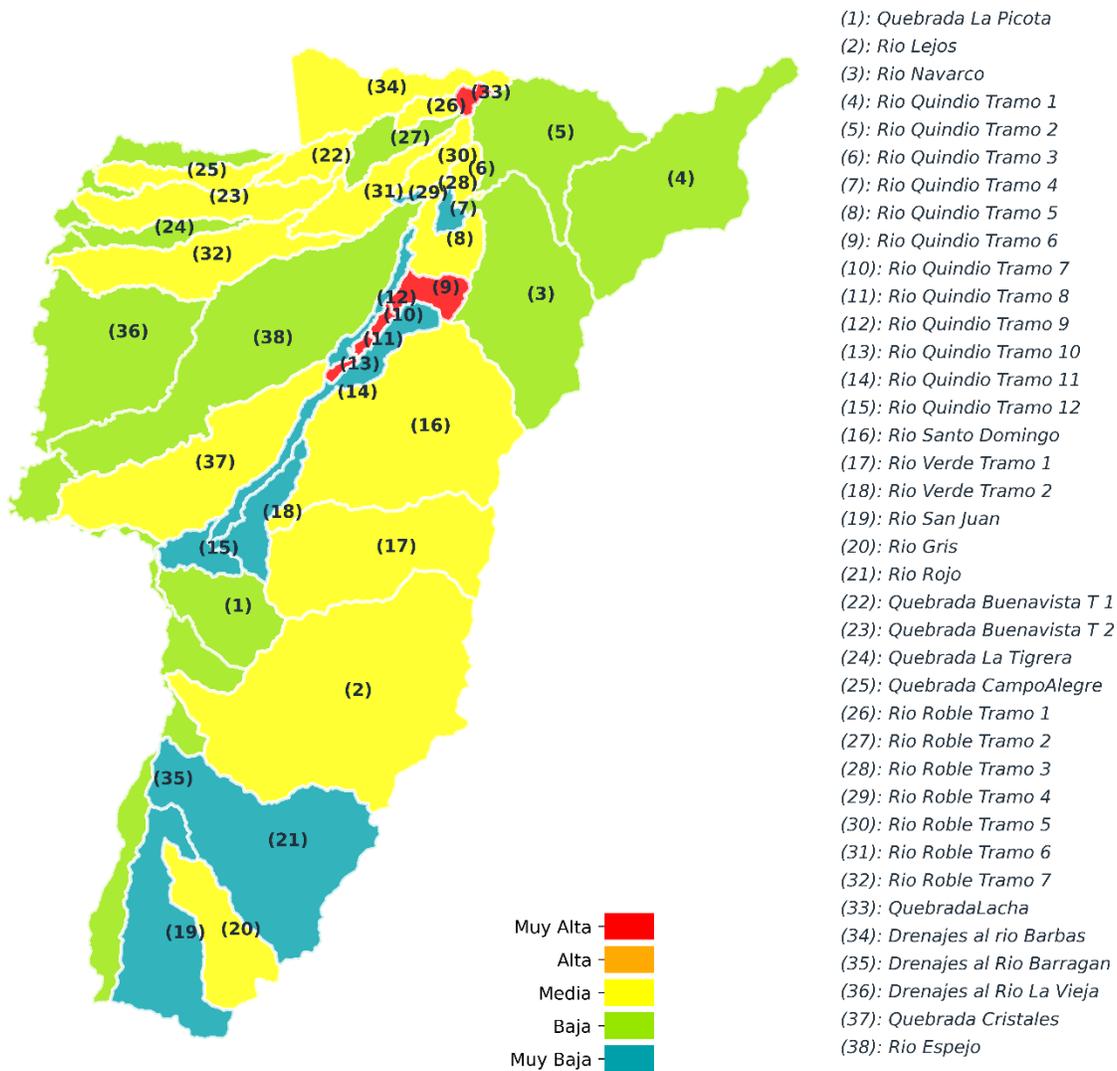


Figura 284. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en las unidades hidrológicas de análisis

Tabla 260. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en las fuentes abastecedoras de acueductos

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Quebrada Bolivia	Moderada	Muy Alto	Alta
Quebrada Corozal	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Cristalina	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada Cruz Gorda	Alta	Alto	Media
Quebrada El Águila	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada El Salado 2	Alta	Alto	Media
Quebrada El Salado La Gata	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada Diamantina	Alta	Alto	Media
Quebrada La Llorona	Alta	Moderado	Media
Quebrada La Picota	Alta	Alto	Media
Quebrada La Víbora	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada Las Pizarras	Alta	Moderado	Media
Quebrada El Naranja	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada El Roble Los Justos	Alta	Alto	Media
Quebrada Pijao	Alta	Alto	Media
Rio Gris	Alta	Bajo	Baja
Rio Quindío EPA	Alta	Muy Alto	Media
Rio Quindío - La Tebaida	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Quindío Estación de Bombeo	Muy Alta	Muy Alto	Media
Rio Verde	Alta	Alto	Media
Quebrada San Rafael	Alta	Muy Alto	Media
Rio Santo Domingo	Alta	Moderado	Media
Quebrada Cajones	Alta	Alto	Media
Quebrada El Bosque	Alta	Alto	Media
Quebrada La Arenosa	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada La Marina	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Paloma	Moderada	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Soledad	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada Lacha	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada Las Lajas	Alta	Alto	Media
Quebrada Buenavista	Alta	Muy Alto	Media
Rio Roble Circasia	Alta	Alto	Media
Rio Roble Montenegro 1	Alta	Alto	Media
Rio Roble Montenegro 2	Alta	Alto	Media

Tabla 261. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en las fuentes abastecedoras de acueductos

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Quebrada Bolivia	Moderada	Crítico	Muy Alta
Quebrada Corozal	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Cristalina	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada Cruz Gorda	Alta	Alto	Media
Quebrada El Aguila	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada El Salado 2	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada El Salado La Gata	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Diamantina	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Llorona	Alta	Alto	Media
Quebrada La Picota	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada La Vibora	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Las Pizarras	Alta	Alto	Media
Quebrada El Naranja	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada El Roble Los Justos	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Pijao	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Gris	Alta	Moderado	Media
Rio Quindío EPA	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Quindío - La Tebaida	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Quindío Estación de Bombeo	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Verde	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada San Rafael	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Santo Domingo	Alta	Alto	Media
Quebrada Cajones	Alta	Alto	Media
Quebrada El Bosque	Alta	Alto	Media
Quebrada La Arenosa	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada La Marina	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Paloma	Moderada	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Soledad	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Lacha	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Las Lajas	Alta	Muy Alto	Media
Quebrada Buenavista	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Roble Circasia	Alta	Alto	Media
Rio Roble Montenegro 1	Alta	Muy Alto	Media
Rio Roble Montenegro 2	Alta	Alto	Media

5.3. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) se calculó a través de la relación entre el índice morfométrico de torrencialidad y el índice de variabilidad de los caudales, cuya clasificación se presenta en la Tabla 262.

Tabla 262. Categorías del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales. (Fuente: IDEAM, 2013)

Categoría índice de variabilidad de caudales	Categoría del índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

El índice de variabilidad se definió a partir de la curva de duración de caudales (CDC), en el caso de la ERA se emplearon las series de caudales medios diarios. El valor del índice se obtiene como la pendiente de la CDC entre dos caudales característicos representativos de caudales extremos (mínimos y máximos) a través de la siguiente expresión:

$$IV = \frac{\log(Q_i) - \log(Q_f)}{\log(t_i) - \log(t_f)}$$

En la Evaluación Regional del Agua Q_i y Q_f se definen como los caudales característicos Q_5 y Q_{95} , ya que estos valores son indicativos de la frecuencia de valores extremos de caudal, t_i y t_f son el respectivo porcentaje del tiempo en el que es excedido el respectivo caudal característico. La Tabla 263 presenta la clasificación del índice de variabilidad de los caudales.

Tabla 263. Clasificación del índice de vulnerabilidad torrencial por variabilidad de caudales. Fuente: IDEAM, 2013

Índice de Variabilidad (Grados)	Categoría	Vulnerabilidad
<10		Muy baja
10.1 - 37		Baja
37.1 - 47		Media
47.1 - 55		Alta
>55		Muy Alta

El índice morfométrico de torrencialidad se calculó a partir del coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje de acuerdo con la metodología presentada a continuación: inicialmente se establecieron las categorías para cada parámetro morfométrico a través de la aplicación de los criterios presentados en la Tabla 264. Y posteriormente, se calculó el índice morfométrico mediante la aplicación de la Tabla 265.

Tabla 264. Criterios para categorizar el índice morfométrico

Parámetro morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km ²)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km ²)	1:10.000	<15	<1.5	1.51-2.00	2.01-2.50	2.51-3.00	>3
	1:25:000	16 a 50	<1.20	1.21-1.80	1.81-2.00	2.01-2.50	>2.5
	1:100.000	>50	>1.00	1.01-1.50	1.51-2.00	2.01-2.50	>2.5
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21-35	36-50	51-75	>75
	1:100.000	>15	<15	16-30	30-45	46-65	>65
Coeficiente de compacidad			>1.5	1.375-1.500	1.251-1.375	1.126-1.250	1.00-1.125

Tabla 265. Matriz de clasificación del índice morfométrico (fuente: IDEAM, 2013)

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4
		315	325	335	345	355	5
	4	411	421	431	441	451	1
		412	422	432	442	452	2
		413	423	433	443	453	3
		414	424	434	444	454	4
		415	425	435	445	455	5
	5	511	521	531	541	551	1
		512	522	532	542	552	2
		513	523	533	543	553	3
		514	524	534	544	554	4
		515	525	535	545	555	5



Las unidades hidrológicas de análisis presentan una vulnerabilidad a eventos torrenciales Media, a excepción de la unidad quebrada Lacha cuya categoría es Baja (Tabla 266). Esto se debe principalmente a que a pesar de tener en algunas unidades un índice morfométrico de susceptibilidad Moderada a las avenidas torrenciales, en todos los casos la categoría de variabilidad es Baja. Lo cual se explica en que el índice es sensible al tamaño de la unidad hidrográfica analizada, siendo más apropiada su utilización en unidades hidrográficas de menor extensión.

En relación con las fuentes abastecedoras de acueductos, se evidenció que las microcuencas de las quebradas Bolivia, Corozal, El Águila, Diamantina, La Llorona, La Víbora, Las Pizarras, El Roble (Los Justos), El Bosque, La Marina, La Paloma, Buenavista , y los ríos Gris, Quindío, Verde, río Roble, y río Santo Domingo presentan una vulnerabilidad Alta frente a eventos torrenciales (Tabla 267) debido principalmente a su Alto índice morfométrico de susceptibilidad a avenidas torrenciales.

Tabla 266. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en las unidades hidrológicas de análisis en el periodo 1990 a 2022

Unidad de Análisis	Categoría de Índice Morfométrico	Categoría de Variabilidad	IVET
Quebrada La Picota	Baja	Baja	Media
Rio Lejos	Moderada	Baja	Media
Rio Navarco	Moderada	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 1	Moderada	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 2	Moderada	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 3	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 4	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 5	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 6	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 7	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 8	Moderada	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 9	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 10	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 11	Baja	Baja	Media
Rio Quindío Tramo 12	Baja	Baja	Media
Rio Santo Domingo	Moderada	Baja	Media
Rio Verde Tramo 1	Moderada	Baja	Media
Rio Verde Tramo 2	Moderada	Baja	Media
Rio San Juan	Baja	Baja	Media
Rio Gris	Moderada	Baja	Media
Rio Rojo	Moderada	Baja	Media
Quebrada Buenavista T 1	Baja	Baja	Media
Quebrada Buenavista T 2	Moderada	Baja	Media
Quebrada La Tigra	Moderada	Baja	Media
Quebrada Campo Alegre	Moderada	Baja	Media
Rio Roble Tramo 1	Baja	Baja	Media
Rio Roble Tramo 2	Baja	Baja	Media
Rio Roble Tramo 3	Moderada	Baja	Media
Rio Roble Tramo 4	Moderada	Baja	Media
Rio Roble Tramo 5	Baja	Baja	Media
Rio Roble Tramo 6	Moderada	Baja	Media
Rio Roble Tramo 7	Moderada	Baja	Media
Quebrada Lacha	Muy Baja	Baja	Baja
Drenajes al rio Barbas	Moderada	Baja	Media
Drenajes al Rio Barragán	Moderada	Baja	Media
Drenajes al Rio La Vieja	Moderada	Baja	Media
Quebrada Cristales	Moderada	Baja	Media
Rio Espejo	Moderada	Baja	Media

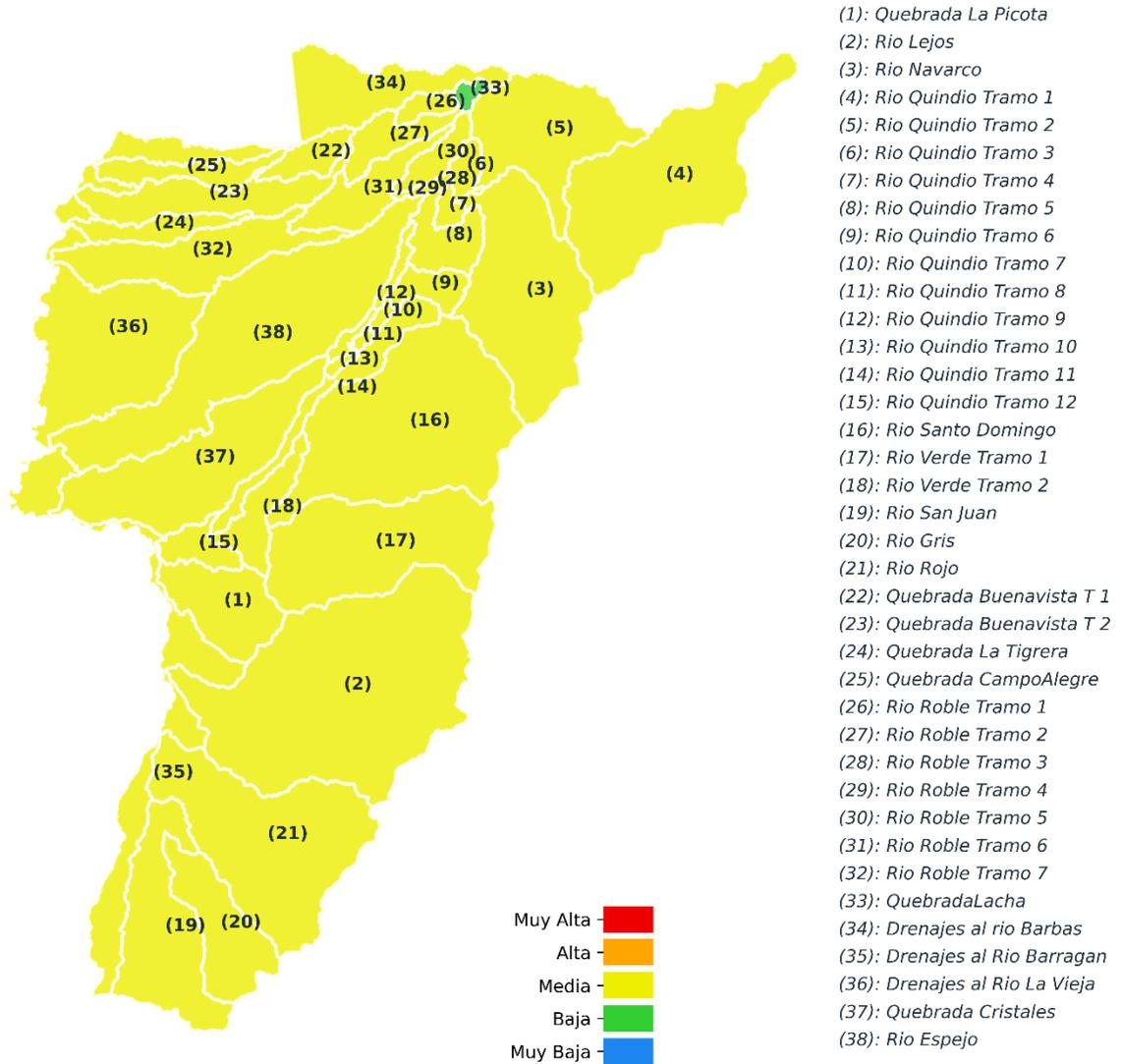


Figura 285. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en las unidades hidrológicas de análisis para el periodo 1990 a 2022

Tabla 267. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en las fuentes abastecedoras de acueductos en el periodo 1990 a 2022

Unidad de Análisis	Categoría de Índice Morfométrico	Categoría de Variabilidad	IVET
Quebrada Bolivia	Alta	Media	Alta
Quebrada Corozal	Alta	Baja	Alta
Quebrada La Cristalina	Baja	Media	Media
Quebrada Cruz Gorda	Moderada	Baja	Media
Quebrada El Águila	Alta	Baja	Alta
Quebrada El Salado 2	Moderada	Baja	Media
Quebrada El Salado La Gata	Moderada	Baja	Media
Quebrada Diamantina	Alta	Baja	Alta
Quebrada La Llorona	Alta	Baja	Alta
Quebrada La Picota	Moderada	Baja	Media
Quebrada La Víbora	Alta	Baja	Alta
Quebrada Las Pizarras	Alta	Baja	Alta
Quebrada El Naranjal	Moderada	Baja	Media
Quebrada El Roble Los Justos	Alta	Baja	Alta
Quebrada Pijao	Moderada	Baja	Media
Rio Gris	Alta	Baja	Alta
Rio Quindío EPA	Alta	Baja	Alta
Rio Quindío Tebaida	Alta	Baja	Alta
Rio Quindío Est Bombeo	Alta	Baja	Alta
Rio Verde	Alta	Baja	Alta
Quebrada San Rafael	Moderada	Baja	Media
Rio Santo Domingo	Alta	Baja	Alta
Quebrada Cajones	Moderada	Baja	Media
Quebrada El Bosque	Moderada	Media	Alta
Quebrada La Arenosa	Moderada	Baja	Media
Quebrada La Marina	Moderada	Media	Alta
Quebrada La Paloma	Moderada	Media	Alta
Quebrada La Soledad	Moderada	Baja	Media
Quebrada Lacha	Moderada	Baja	Media
Quebrada Las Lajas	Moderada	Baja	Media
Quebrada Buenavista	Alta	Baja	Alta
Rio Roble Circasia	Moderada	Baja	Media
Rio Roble Montenegro 1	Alta	Baja	Alta
Rio Roble Montenegro 2	Alta	Baja	Alta

6. Calidad del Agua: Caracterización Físicoquímica

6.1. Introducción

A partir de los resultados de la evaluación regional del agua -ERA- del departamento del Quindío (CRQ y UT, 2017) se definieron los objetivos de calidad del recurso hídrico en diez unidades de análisis o unidades hidrográficas. De manera que este informe presenta la actualización del ERA del departamento del Quindío. Para tal fin, se describe la metodología implementada para la estimación de los índices de calidad del agua, que este caso corresponden a: Índice de Calidad del Agua - ICA; y el Índice de Alteración Potencial a la Calidad de Agua - IACAL.

Para la estimación de dichos índices, se realizaron campañas de monitoreo de la calidad del agua en 130 sitios de muestreo, de los cuales 34 corresponden a sitios de captación de agua y los demás, puntos de monitoreo de corrientes superficiales establecidos en la ERA (2017). Los reportes de calidad del agua estuvieron a cargo del laboratorio ChemiLab, el cual cuenta con acreditación y reconocimiento por parte del IDEAM, de manera que se aplicaron los protocolos establecidos para el proceso de toma, custodia y análisis de calidad del agua, lo cual da cuenta de la confiabilidad de dicha información. De manera que, a partir del reporte de calidad de agua, fue posible determinar el Índice de Calidad del Agua -ICA- como componente principal de este informe.

Así mismo, dentro del proceso de análisis fueron consideradas las cargas aportadas por sector productivo sobre 124 Unidades Hidrológicas de Análisis de Calidad de Agua (UHACA) definidas. Lo anterior es insumo base, al igual que la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS), para la obtención de IACAL, determinando así el riesgo por contaminación de las fuentes hídricas en la región. Los resultados se agruparon en doce unidades hidrográficas para los dos índices, siendo las conclusiones y recomendaciones específicas consideradas igualmente para cada una de ellas.

El documento cuenta con la descripción metodológica del proceso de estimación del ICA, y se presentan gráficos y tablas que describen los principales resultados. Así mismo, se dispone de anexos que corresponden a la Geodatabase y el reporte de los análisis de calidad del agua por parte del laboratorio ChemiLab.

6.2. Metodología para la Determinación de Cargas Contaminantes

En este informe está disponible la metodología propuesta para realizar el análisis de cargas contaminantes en vertimientos líquidos que afectan la calidad del agua en las unidades hidrográficas de los Ríos: San Juan, Gris, Lejos, Espejo y las quebradas: Buenavista, Cristales y La Picota, como parte del proceso de actualización de la Evaluación Regional del Agua del departamento del Quindío.

El documento presenta la metodología para el cálculo de cargas contaminantes, lo cual se relaciona con el proceso de estimación de índices de calidad del agua como el ICA y particularmente el IACAL, definidos por el Instituto de Meteorología Hidrología y Estudios Ambientales IDEAM en Colombia.

6.2.1. Factores de Contaminación

El proceso de cálculo de cargas contaminantes hace parte del proceso de determinación de metas de descontaminación de corrientes hídricas superficiales en diferentes tramos de análisis y monitoreo, y se relaciona con el programa de tasa retributiva, y la estimación del índice de alteración potencial de la calidad del agua - IACAL-. La estimación del IACAL se realiza bajo dos consideraciones de carga: 1) la meta individual de carga proyectada por cada tramo para el periodo de análisis 2029 definido, según lo establecido por la Corporación Autónoma Regional del Quindío -CRQ- en el marco de los Objetivos de Calidad del Agua (CRQ, 2019) y 2) las cargas registradas por CRQ dentro del proceso de seguimiento del programa de metas para el año 2022, mediante medición directa de caudales y realización de análisis de calidad del agua para obtener concentraciones y cargas contaminantes en las principales corrientes hídricas superficiales del departamento del Quindío.

6.2.1.1. Tasa Retributiva

De acuerdo con el artículo 2.2.9.7.2.5. del (Decreto 1076 de 2015, 2021), la tasa retributiva por vertimientos puntuales se define como *“aquella que cobrará la autoridad ambiental competente a los usuarios por la utilización directa o indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos e indirectos y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas o propiciados por el hombre y actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas...”*. De manera que según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, la Tasa Retributiva tiene objetivo el de promover acciones que conduzcan al mejoramiento de las condiciones ambientales y que permitan generar cambios en los sistemas productivos que reduzcan los efectos de agentes contaminantes sobre los ecosistemas. Para tal fin, se recaudan recursos

económicos que se invierten en proyectos que contribuyen con la descontaminación y mejoramiento de la calidad del agua de fuentes receptoras de vertimientos.

En este contexto, es necesario calcular la carga contaminante de cada sustancia, elemento o parámetro contaminante objeto del cobro de la tasa retributiva por vertimientos, lo cual se descuenta a la carga presente en el vertimiento puntual, las mediciones de carga contaminante en cada punto de captación, siempre y cuando se realice una extracción para atender demandas hídricas en el mismo cuerpo de agua receptor de la descarga objeto del pago de la tasa retributiva.

6.2.1.2. Estimación de Cargas Contaminantes

Las cargas contaminantes aportadas por cada usuario se estiman a partir de la medición de los parámetros DBO₅, SST, DQO, Nitrógeno total y Fósforo Total, los cuales sufren transformaciones en el sentido aguas abajo de cada tramo de análisis, de manera que es posible calcular el IACAL en los puntos de evaluación definidos en cada unidad de análisis.

Para la estimación de la carga contaminante se calcula el producto de la concentración másica de una sustancia por el caudal volumétrico del líquido que la contiene, lo cual se determina en el sitio de medición y puede ser expresada en unidades de masa sobre tiempo, tal como lo establece el Decreto 1076 de 2015.

Por otra parte, la carga contaminante diaria C_c se calcula como el producto entre el caudal medio y la concentración de una sustancia, elemento o parámetro contaminante. Así mismo, dicho producto se multiplica por un factor de conversión de unidades y el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas por día (Decreto 1076 de 2015).

$$C_c = Q \times C \times 0.0036 \times t$$

Dónde:

C_c , es la carga contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q , el caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (l/s)

C , la concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (mg/l)

0.0036, factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

t = Tiempo de Vertimiento del usuario en horas por día (h).

En este caso, la tasa no se expresa para fines de cobro, en su lugar, la tasa es expresada en toneladas año, y según el Decreto 1076 de 2015, se multiplica por un factor de 0.365 (kg/día a t/año).

Para este estudio se consideran cuatro tipos de cargas contaminantes: i) aguas residuales domésticas, ii) aguas residuales industriales, comerciales y turismo, iii) aguas residuales producto de actividades porcícolas y avícolas, y iv) carga difusa producto de actividades agrícolas como el beneficio del café, siendo este uno de los sistemas productivos más representativos de la región.

6.2.1.2.1. Aguas Residuales Domésticas

La estimación de la carga contaminante producidas por aguas residuales domésticas se determina mediante la estimación de la demanda del servicio de acueducto mediante la aplicación de la metodología establecida por el Reglamento del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS-(MINAMBIENTE, 2015; MINDESARROLLO, 2000; MINVIVIENDA, 2017). Para tal fin, es necesario contar con una base de datos que registre las pérdidas técnicas de cada uno de los sistemas de acueducto municipal dentro del área de estudio, de manera que las cargas domésticas son estimadas tal como indica el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, Título D (MINVIVIENDA, 2016), la Resolución 0330 de 2017 (MINVIVIENDA, 2017) y la Resolución 799 de 2021 (MINVIVIENDA, 2021). Por lo tanto, cuando se proyecta la población al periodo de diseño, se delimitan las áreas aferentes que generan aguas residuales con respecto a un punto de vertimiento proporcional a la población municipal que ocupa dicha área aferente.

$$\frac{P_m}{A_m} = \frac{P_v}{A_v}$$

$$Q_v = F * \{ [C_R * D_{Neta} * A_v] + Q_{Ind} + Q_{com} \} + [C_i * \phi * L] + \left[0.2 \frac{L}{ha} \right]$$

Donde:

P_m es la población municipal proyectada a 25 años más la población flotante

A_m área municipal

P_v población asociada al vertimiento

A_v área aferente al vertimiento

Q_v caudal del vertimiento

F factor de mayoración calculado con la ecuación de Flores (RAS, 2016), $F = 3.5/P_m^{0.1}$

$C_R = 0.85$

$D_{Neta} = 120$ L/hab*d cuando la elevación (E) de la población es mayor de 2000 m.s.n.m.,
130 L/hab*d cuando 1000 m.s.n.m. < E < 2000 m.s.n.m., 140 L/hab*d cuando E < 1000 m.s.n.m.

Q_{Ind} es el caudal industrial

Q_{com} corresponde al caudal comercial

C_i es el coeficiente de infiltración;

ϕ y L indican el diámetro y longitud de la tubería respectivamente.

Así mismo, las conexiones erradas tienen una magnitud de 0.2 litros / área sanitaria en hectáreas, tal como lo precisa el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, Título D (MINVIVIENDA, 2016), la Resolución 0330 de 2017 (MINVIVIENDA, 2017) y la Resolución 799 de 2021 (MINVIVIENDA, 2021).

Tabla 268. Valores adoptados para la estimación de cargas

Parámetro	DBO ₅	SST	NO ₃ -N	N-Kjendahl total como N	Coliformes Totales (# d ⁻¹)
Valor recomendado P*(g d ⁻¹)	50	30	8.4	12	2.0E12

Tal como se definió en la evaluación regional del agua en el departamento del Quindío en 2019, los valores adoptados para el cálculo de cargas se basaron en los valores per cápita recomendados por la Resolución 0330 de 2017 (MINVIVIENDA, 2017) y la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales (MADS, 2018), los cuales se presentan en la Tabla 268.

6.2.1.2.2. Aguas Industriales, Comerciales y Turismo

El proceso de cálculo de aguas industriales, comerciales y relacionadas con el turismo corresponde al indicado para vertimientos de aguas residuales para estos sectores de acuerdo con el Reglamento Técnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS Título D (2016). Así mismo, es necesaria la revisión de los valores reportados en el PSMV de cada municipio, dada la naturaleza específica de sus vertimientos.

6.2.1.2.3. Cargas Aportadas por el Beneficio del Café

El beneficio del café consiste en el proceso de transformación del grano de café cereza en pergamino seco. En el proceso se separan las partes del fruto y se seca el grano para su conservación (CENICAFÉ, 2015). En la actualidad, existen en Colombia tres tipos de beneficio para el fruto, los cuales se describen a continuación:

Beneficio convencional: Con este nombre se conoce al proceso que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia para transformar el fruto en semilla y en el cual se utiliza agua en las etapas de despulpado, lavado y transporte (del fruto, del café despulpado y

del café lavado), con un consumo global cercano a los 40 litros de agua por cada kilogramo de beneficio tradicional de café pergamino seco (cps) y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos.

Beneficio Ecológico: un proceso de beneficio de café amigable con el ambiente, que permite obtener café con la calidad física y de taza característico del café de Colombia. Se define como “El conjunto de operaciones realizadas para transformar la café cereza en café pergamino seco, conservando la calidad exigida por las normas de comercialización, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios, lográndose además el aprovechamiento de los subproductos, lo cual representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del agua estrictamente necesaria en el beneficio”

Beneficio Ecológico sin Vertimientos: aquel beneficio en el cual se hace un uso racional del agua y se tratan los subproductos como pulpa, mucílago y aguas residuales, de forma que no se generen vertimientos en el proceso. Para ello, los lixiviados generados en el proceso de descomposición de la pulpa se recirculan permanentemente sobre el mismo material, hasta lograr su incorporación completa, y las aguas tratadas, provenientes de los sistemas de tratamiento, son utilizadas en el riego de los cultivos de la zona, en las condiciones establecidas en la Resolución MADS 1207 del 2014.

Tabla 269. Rendimiento de café verde equivalente por municipio

Municipio	Rendimiento (Ton café verde equivalente/ha/año)
Calarcá	1.05
Génova	1.12
Quimbaya	1.29
Circasia	1.29
Armenia	1.06
Filandia	0.86
Pijao	1.08
Córdoba	0.86
Montenegro	1.03
Buenavista	1.05
Salento	1.12
La Tebaida	1.04

A partir de la Base histórica de los años 2007 a 2018 de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA, se determinó el rendimiento de los cultivos de café por cada municipio (Tabla 269), en unidades de toneladas de café verde

equivalente/hectárea/año. A partir de la espacialización de las áreas de café sembradas en el área de estudio según el mapa de coberturas a escala 1:25.000 para el departamento del Quindío, fue posible determinar la producción de café verde equivalente para las diferentes zonas de interés.

El Café en pergamino se refiere a los granos de café beneficiados por vía húmeda antes de descerezarlos, secados hasta alcanzar un contenido de humedad de alrededor de 12%, antes de que se haya retirado su cubierta exterior dura (el endocarpio/ pergamino) al descascararlos. También corresponden a granos elaborados en húmedo después del despulpe, secados hasta alcanzar un contenido de humedad de alrededor de 12%, pero antes de que con el descascarado se haya extraído su cubierta exterior dura (el endocarpio o pergamino). Mientras que el café en verde es el término genérico para el grano seco sin cáscara exclusivamente. Puede hallarse en cualquiera de los distintos momentos de la elaboración, desde la cosecha hasta la eliminación de todos los granos defectuosos. El café se exporta en este estado, listo para la torrefacción.

Tabla 270. Factores para determinación de la Carga de DBO5 y SST para el Beneficio de Café

Tipo de Beneficio	DBO5	SST
	kg/@ de cps	
Convencional 1	3,59	3,5
Convencional 2	2,87	0,7
Convencional 3	2,51	0,24
Convencional 4	1,79	0,05
En transición con reducción de Agua	3,58	3,47
Promedio Convencional	2,87	1,59
Ecológico 1	1,375	0,21
Ecológico 2	1,02	0,12
Ecológico 3	1,02	0,12
Ecológico 4	0,335	0,015
Ecológico 5	0,335	0,02
Promedio Ecológico	0,82	0,10
30% Ecológico 70% convencional	2,25	1,14
Factor conversión 1 arroba de CPS = 12,5 kg		
Ton / Ton cps	0,180	0,091

Fuente: Universidad del Tolima adaptado de CENICAFÉ (2015)

Las toneladas de café verde equivalente obtenidas por las áreas aportantes de los tramos de interés fueron transformadas a unidades de café pergamino seco,

considerando para esto el valor presentado por la Organización Internacional del Café - OIC de 0,8 kg Café Verde Equivalente por 1 kg de Café pergamino seco. Para la determinación de los factores de Café se utilizó el promedio de los presentados por CENICAFÉ (2015), para el beneficio convencional y el beneficio ecológico (Tabla 270). Se determinó un único factor considerando la estadística nacional presentada por la Federación, considerando un 30% de beneficio ecológico y un 70% de Beneficio convencional. Estos factores corresponden a los kg de DBO5 y SST generados por el beneficio de una (1) arroba (12,5 kg) de café verde equivalente. Al multiplicar el área de cultivo, por el rendimiento y el uso de los factores de la Tabla 270 se obtuvieron las cargas de DBO5 y SST para el beneficio del café.

A partir de datos experimentales obtenidos para el beneficio del café en el departamento del Quindío por Torres et al. (2019), se obtuvieron factores para las relaciones NT/DQO y PT/DQO (Tabla 271). La relación DQO/DBO5 se obtuvo del documento denominado El Beneficio del Café en Colombia (CENICAFÉ, 2015). Así mismo, en la Tabla 271 se relacionan los factores de conversión de concentración por tipo de actividad generadora de residuos.

Tabla 271. Factores de conversión para el cálculo de concentraciones por tipo de actividad

Tipo	Factor de Conversión de la Carga	Valor	Fuente
ARD	ARD DQO/DBO5	2	Metcalfe and Eddy (1991), OMS (1993) y Resolución MADS 0631 de 2015
	ARD NT/DBO5	0.2	Metcalfe and Eddy (1991)
	ARD PT/DBO5	0.04	
PBA (Bovinos - Porcinos)	PBA 631 DQO/DBO5	1.78	Resolución MADS 0631 de 2015
	PBA OMS N/DBO5	0.27	OMS (1993)
	PBA OMS PT/DBO5	0.07	
PBA (Avícola)	AVICOLA 631 DQO/DBO5	2.17	Resolución MADS 0631 de 2015
	Pavos OMS PT/NT	0.83	OMS (1993)
	Avícola OMS N/DBO5	2.24	
PBA (Piscícola)	Sacrif Peces CORANTIOQUIA DQO/DBO5	4.26	CORANTIOQUIA (2016)
	Sacrif Peces CORANTIOQUIA N/DBO5	0.2	
	Sacrif Peces CORANTIOQUIA PT/DBO5	0.03	
Industria Textil	Textiles 631 DQO/DBO5	2	Resolución MADS 0631 de 2015
	PRAXEDIS Trat DQO/DBO5	2.17	Reportes de laboratorio usuario Praxedis
	PRAXEDIS Trat NT/DBO5	0.01	
	PRAXEDIS Trat PT/DBO5	0.11	
Beneficio del Café	CAFÉ Soluble 631 DQO/DBO5	1.67	Resolución MADS 0631 de 2015
	kg cps/kg café verde	1.25	Organización Internacional del Café - OIC
	Ton DBO5/Ton cps	0.18	CENICAFE, 2015. 30%ecol 70%conv
	Ton SST/Ton cps	0.091	CENICAFE, 2015. 30%ecol 70%conv
	Café DQO/ DBO5	2.07	CENICAFE, 2015
	Café NT/DQO	0.07	Di-Torres et al (2019)
	Café PT/NT	0.1	
	Café DQO/NT	15	
	Café NT/PT	9.74	
Minería de Oro	Min_Oro_PORVENIR_DQO/DBO5	2.53	Reportes de laboratorio para el Mina El Gran Porvenir (Líbano Tolima)
	Min_Oro_PORVENIR_NT/DBO5	0.15	
	Min_Oro_PORVENIR_PT/DBO5	0.005	

6.2.1.3. Metas de Carga Proyectada

En este caso, el Decreto 1076 de 2015 (MINAMBIENTE, 2015) indica que cada cinco años, las autoridades ambientales, debe definir una meta global de cargas contaminantes para cada cuerpo de agua o tramo de este, el cual corresponde a la suma de las metas quinquenales individuales y grupales. Dicha meta tiene por objeto que los vertimientos contaminantes por los usuarios de los diferentes usos del agua conduzcan a reducir su carga contaminante en cumplimiento de los objetivos de calidad definidos por la Autoridad Ambiental.

Así mismo, en el marco de los Objetivos de Calidad para el Departamento del Quindío (CRQ, 2019), se establecen las metas por determinante de calidad en 37 tramos de análisis para los escenarios 2019 y 2029-PSMV, siendo este último el escenario proyectado al cumplirse las metas de descontaminación de las fuentes hídricas planteado en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) por parte de las empresas prestadoras de servicios público y de alcantarillado municipales.

El presente estudio, considera como referencia para el seguimiento al cumplimiento de las metas de saneamiento a las fuentes hídricas superficiales para el departamento del Quindío los objetivos de calidad definidos para el periodo 2019 - 2029 (Tabla 272), los cuales se presentan a continuación:

Tabla 272. Objetivos de calidad del agua para los 37 tramos según los resultados del escenario 2029

Tramo	Descripción	DBO ₅ [mg/L O ₂]	SST [mg/L]	Nitrógeno Amoniacal [mg/L N - NH ₃]	DQO [mg/L O ₂]
1	Quebrada La Florida	20	30	1	25
2	Quebrada El Pescador	30	50	5	30
3	Quebrada El Naranjal	10	20	1	15
4	Río Santo Domingo	10	20	1	15
5	Río Verde	10	20	1	15
6	Quebrada La Picota	10	20	1	15
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	10	20	1	30
8	Quebrada Cristales	30	50	5	30
9	Quebrada San Nicolas	30	50	5	30
10	Quebrada Santa Rita	5	20	1	10
11	Quebrada Hojas Anchas	30	50	5	30
12	Quebrada Armenia	10	20	1	15
13	Quebrada La Camelia	10	20	1	15

Tramo	Descripción	DBO ₅ [mg/L O ₂]	SST [mg/L]	Nitrógeno Amoniacal [mg/L N - NH ₃]	DQO [mg/L O ₂]
14	Quebrada Los Quindos	10	20	1	15
15	Río Espejo	30	50	5	30
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	30	50	5	30
17	Quebrada Buenavista	10	20	1	15
18	Río Grís	5	20	1	10
19	Río San Juan	10	20	1	15
20	Río Rojo	5	20	1	10
21	Quebrada San José	10	20	1	15
22	Río Lejos	10	20	1	15
23	Quebrada El Inglés	10	20	1	15
24	Quebrada Agua Bonita	10	20	1	15
25	Quebrada La Congala	20	30	1	25
26	Quebrada La Española	10	20	1	15
27	Quebrada La Siberia	20	30	1	25
28	Quebrada la Tulia	20	30	1	25
29	Quebrada La Jaramilla	20	30	1	25
30	Quebrada Mina Rica	30	50	5	30
31	Quebrada Agua Linda	30	50	5	30
32	Quebrada La Aldana	30	50	5	30
33	Quebrada Yeguas	10	20	1	15
34	Quebrada El Mudo	30	50	5	30
35	Quebrada La Calzada	30	50	5	30
36	Río Boquerón	20	30	1	25
37	Quebrada El Reposo	30	50	5	30

Fuente: Objetivos de Calidad del Agua para el Departamento del Quindío (CRQ, 2019)

6.3. Diseño de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua

Para conocer el estado actual de la calidad del agua en las unidades hidrológicas de los ríos: Gris, San Juan, Rojo, Roble, Quindío, Lejos, Espejo, y las quebradas: La Picota, Cristales y Buenavista en el departamento del Quindío, es necesario realizar campañas de monitoreo de calidad del agua, la cuales permitan evaluar el grado de contaminación y determinar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la autoridad ambiental.

La definición de los sitios objeto de monitoreo para el presente estudio se relacionó con los definidos en la ERA para el departamento del Quindío (ERA, 2017) considerando primordial el seguimiento sistemático del estado del recurso con el paso del tiempo para así determinar su grado de recuperación o en el peor de los escenarios de degradación. A continuación, se presentan los criterios definidos para la selección de los sitios de monitoreo:

- Puntos de cierre de las corrientes principales y algunos afluentes de mayor importancia en las cuencas de interés.
- Puntos de monitoreo en las zonas altas de algunas corrientes, como referentes de zonas con baja intervención antrópica.
- Captaciones de agua destinadas al consumo humano y doméstico (previo tratamiento) de sistemas de abastecimiento municipal o de centros poblados.
- Puntos de monitoreo históricos medidos por la CRQ o incluidos en los diferentes instrumentos de planificación del recurso hídrico disponibles.
- Aguas arriba y aguas abajo de la influencia de cascos urbanos de municipios o de sus centros poblados.
- Cambios morfométricos en el cauce de las principales corrientes.

Por lo anterior, se definieron 130 sitios para el monitoreo de agua superficial de los cuales 34 corresponden a captaciones para consumo humano por parte de acueductos municipales, veredales y regionales (Tabla 273). En la Tabla 274 se relaciona cada sitio de monitoreo de acuerdo con su descripción del sitio de toma de muestra y localización geográfica según corresponda.

Tabla 273. Sitios de monitoreo por Unidad Hidrológica

Unidad Hidrográfica	Tipo de Monitoreo		Total
	Superficial	Bocatoma	
Quebrada Campoalegre (Quebrada Agua Linda)	1		1
Quebrada Barro Blanco	1		1
Quebrada Buenavista	6	1	7
Quebrada Chorrobolillos	1		1
Quebrada Cristales	8		8
Quebrada La Picota	4	1	5
Quebrada Lacha		1	1
Quebrada San José	1		1
Río Espejo	15		15
Río Gris	1	1	2
Río Lejos	7	2	9
Río Quindío	39	18	57
Río Roble	9	10	19
Río Rojo	1		1
Río San Juan	2		2
Total	96	34	130

Tabla 274. Puntos de monitoreo de calidad de agua superficial definidos

Unidad Hidrográfica	Tipo Monitoreo	Municipio	Código	Descripción del Sitio	Latitud	Longitud
Quebrada Agua Linda	Superficial	Quimbaya	BUE-06	Q. Agua Linda A. Abajo Centro Poblado Quimbaya	4.629978	-75.771078
Quebrada Barro Blanco	Superficial	Filandia	BLA-01	Q. Barro Blanco	4.699708	-75.601748
Quebrada Buenavista	Bocatoma	Filandia	BUE-01	Q. Buenavista (Bocatoma Quimbaya)	4.631826	-75.735873
	Superficial	Quimbaya	BUE-02	Q. Armenia (Buenavista)	4.618409	-75.747365
	Superficial	Quimbaya	BUE-03	Q. Buenavista A. Arriba Vertimiento Carmelitas	4.618972	-75.760478
	Superficial	Quimbaya	BUE-04	Q. Buenavista A. Abajo Quimbaya	4.612465	-75.773488
	Superficial	Quimbaya	BUE-05	Q. La Silenciosa	4.610348	-75.815298
	Superficial	Quimbaya	BUE-07	Q. Mina Rica	4.622628	-75.812165
	Superficial	Quimbaya	BUE-08	Q. Buenavista A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4.622821	-75.851474

Unidad Hidrográfica	Tipo Monitoreo	Municipio	Código	Descripción del Sitio	Latitud	Longitud
Quebrada Chorrobolillos	Superficial	Filandia	CHO-01	Q. Chorrobolillos	4.692287	-75.604611
	Superficial	Armenia	CRI-01	Q. Cristales (Bodega)	4.515284	-75.692318
Quebrada Cristales	Superficial	Armenia	CRI-02	Q. Cristales A. Abajo Vertimiento Don Pollo	4.507367	-75.708493
	Superficial	Armenia	CRI-03	Q. Cristales A. Abajo Parque Recreativo	4.499433	-75.717075
	Superficial	Armenia	CRI-04	Q. Los Ángeles Marmato	4.465459	-75.750795
	Superficial	Armenia	CRI-05	Q. Cristales (Villa Sonia)	4.424563	-75.763071
	Superficial	La Tebaida	CRI-06	Q. Cristales (Hacienda Maravelez)	4.405477	-75.791595
	Superficial	La Tebaida	CRI-07	Q. La Jaramilla	4.421046	-75.829598
	Superficial	La Tebaida	CRI-08	Q. Cristales (Pisamal)	4.41573	-75.839754
	Quebrada La Picota	Bocatoma	Buenavista	PIC-01	Q. La Picota (Bocatoma Buenavista)	4.358963
Superficial		Buenavista	PIC-02	Q. La Picota A. Abajo Centro Poblado Buenavista	4.374884	-75.759662
Superficial		Buenavista	PIC-03	Q. Picota A. Arriba confluencia de la Q. Los Juanes	4.36544	-75.772284
Superficial		Buenavista	PIC-04	Q. Los Juanes Afluente Q. La Picota	4.365272	-75.772679
Superficial		Buenavista	PIC-05	Q. La Picota A. Arriba confluencia al R. Barragán	4.366556	-75.775435
Quebrada Lacha	Bocatoma	Filandia	LAC-01	Q. Lacha	4.692053	-75.603728
Quebrada San José	Superficial	Filandia	SJO-01	Q. San José A. Abajo Centro Poblado Filandia	4.679492	-75.677475
Río Espejo	Superficial	Circasia	ESP-01	Q. Yeguas	4.613561	-75.642659
	Superficial	Circasia	ESP-02	Q. Hojas Anchas A. Arriba de la Q. La Roca	4.588468	-75.65292
	Superficial	Circasia	ESP-03	Q. La Roca	4.589925	-75.647734
	Superficial	Armenia	ESP-04	Q. Hojas Anchas A. Abajo de la Q. Santa Helena	4.552468	-75.673021
	Superficial	Circasia	ESP-05	Q. Hojas Anchas A. Arriba confluencia Q. Zanjón Hondo	4.547211	-75.711191
	Superficial	Armenia	ESP-06	Q. Zanjón Hondo	4.543235	-75.708966
	Superficial	Montenegro	ESP-07	R. Espejo A. Arriba confluencia de la Q. Armenia	4.539295	-75.740905
	Superficial	Armenia	ESP-08	Q. Armenia	4.538695	-75.740792
	Superficial	Montenegro	ESP-09	Q. Cajones A. Abajo Centro Poblado Montenegro	4.559234	-75.758758
	Superficial	Armenia	ESP-10	R. Espejo A. Arriba confluencia de la Q. Carmelita	4.529523	-75.769009
	Superficial	Armenia	ESP-11	Q. Carmelita	4.528055	-75.766818
	Superficial	Armenia	ESP-12	R. Espejo (Pueblo Tapao)	4.511321	-75.777496
	Superficial	Armenia	ESP-13	Q. El Reposo	4.491089	-75.780421

Unidad Hidrográfica	Tipo Monitoreo	Municipio	Código	Descripción del Sitio	Latitud	Longitud
	Superficial	Armenia	ESP-14	Q. La Argelia	4.490936	-75.780322
	Superficial	Montenegro	ESP-15	R. Espejo A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4.451892	-75.832046
Río Gris	Bocatoma	Génova	GRI-01	R. Gris (Génova)	4.196079	-75.790086
	Superficial	Génova	GRI-02	R. Gris A. Arriba confluencia al R. San Juan	4.207461	-75.79201
Río Lejos	Bocatoma	Pijao	LEJ-01	Q. Las Pizarras (Pijao)	4.33312	-75.688986
	Superficial	Pijao	LEJ-02	R. Lejos A. Abajo de la Q. Pizarras	4.337209	-75.69967
	Superficial	Pijao	LEJ-03	R. Lejos A. Abajo de la Q. Pijao	4.331082	-75.705363
	Bocatoma	Pijao	LEJ-05	Q. La Cascada (Q. Pijao)	4.339615	-75.711645
	Superficial	Pijao	LEJ-06	Q. El Inglés	4.331601	-75.705243
	Superficial	Pijao	LEJ-07	R. Lejos A. Arriba confluencia del R. Azul	4.312593	-75.721676
	Superficial	Pijao	LEJ-08	R. Azul A. Arriba confluencia al R. Lejos	4.291579	-75.734395
	Superficial	Pijao	LEJ-09	Q. La Maizena	4.270193	-75.742987
	Superficial	Génova	LEJ-10	R. Lejos A. Arriba confluencia al R. Barragán	4.297557	-75.774995
	Río Quindío	Superficial	Salento	QUI-01	R. Quindío A. Arriba de La Truchera	4.636867
Superficial		Salento	QUI-02	R. Quindío A. Abajo de La Truchera	4.633317	-75.49344
Superficial		Salento	QUI-03	Q. Cárdenas	4.643662	-75.479494
Superficial		Salento	QUI-04	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. Cárdenas	4.631879	-75.504894
Superficial		Salento	QUI-05	R. Quindío (El Escobal)	4.637908	-75.530801
Bocatoma		Salento	QUI-06	Q. Cruz Gorda	4.627412	-75.539731
Bocatoma		Salento	QUI-07	Q. Cristalina	4.6285	-75.541532
Bocatoma		Salento	QUI-08	Q. Bolivia	4.631755	-75.543833
Superficial		Salento	QUI-09	R. Quindío (Final Valle del Cocora)	4.642488	-75.558032
Superficial		Salento	QUI-10	Q. Boquía	4.63579	-75.588322
Bocatoma		Salento	QUI-11	R. Quindío (Salento Bocatoma Armenia)	4.627899	-75.595047
Bocatoma		Salento	QUI-12	Q. La Víbora (Bocatoma Armenia)	4.628371	-75.595111
Superficial		Salento	QUI-13	R. Quindío A. Arriba confluencia del R. Navarco	4.618417	-75.605087
Bocatoma		Salento	QUI-14	Q. Corozal	4.616308	-75.550817
Superficial		Salento	QUI-15	Q. La Calzada	4.632608	-75.572645
Superficial		Salento	QUI-16	R. Boquerón	4.623153	-75.58187

Unidad Hidrográfica	Tipo Monitoreo	Municipio	Código	Descripción del Sitio	Latitud	Longitud
	Superficial	Salento	QUI-17	R. Navarco	4.617832	-75.603938
	Superficial	Salento	QUI-18	R. Quindío A. Arriba de la Q. Cusumbo	4.599818	-75.620548
	Bocatoma	Salento	QUI-19	Q. Las Águilas	4.608812	-75.62554
	Bocatoma	Salento	QUI-20	Q. Llorona	4.610859	-75.622459
	Bocatoma	Salento	QUI-21	R. Quindío (Bocatoma Armenia Estación Bombeo)	4.574725	-75.631583
	Superficial	Armenia	QUI-22	R. Quindío A. Arriba Captación Tebaida	4.533741	-75.660332
	Bocatoma	Armenia	QUI-23	Bocatoma Tebaida (R. Quindío)	4.533557	-75.660874
	Bocatoma	Armenia	QUI-24	Retorno Bayona R. Quindío (Bocatoma La Tebaida)	4.533549	-75.661181
	Superficial	Armenia	QUI-25	R. Quindío A. Abajo Vertimiento Frigocafé	4.530215	-75.665096
	Superficial	Armenia	QUI-27	Q. La Florida	4.524967	-75.676016
	Superficial	Armenia	QUI-28	Q. San Nicolas (El Cafetero)	4.524398	-75.679898
	Superficial	Armenia	QUI-29	R. Quindío A. Arriba confluencia de la Q. El Pescador	4.505174	-75.686419
	Superficial	Calarcá	QUI-30	Q. El Pescador	4.501138	-75.686524
	Superficial	Armenia	QUI-31	R. Quindío A. Arriba confluencia del R. Verde	4.397302	-75.763277
	Superficial	Córdoba	QUI-32	R. Verde (Parte Alta)	4.407509	-75.673679
	Bocatoma	Córdoba	QUI-33	Q. El Roble (Córdoba)	4.373357	-75.676529
	Superficial	Córdoba	QUI-34	Q. La Española	4.403726	-75.690034
	Superficial	Córdoba	QUI-35	Q. La Siberia	4.40588	-75.691984
	Superficial	Córdoba	QUI-36	R. Verde A. Arriba Centro de la Guadua	4.404145	-75.715074
	Superficial	Buenavista	QUI-37	Q. Sardineros (R. Verde)	4.40327	-75.725181
	Superficial	Córdoba	QUI-38	R. Verde A. Arriba confluencia del R. Santo Domingo	4.405114	-75.727014
	Bocatoma	Calarcá	QUI-39	R. Santo Domingo (Calarcá)	4.509033	-75.613585
	Bocatoma	Calarcá	QUI-40	Q. La Gata A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	4.509454	-75.613324
	Superficial	Calarcá	QUI-41	Q. El Oso	4.512267	-75.613271
	Superficial	Calarcá	QUI-42	Q. El Salado (Bocatoma)	4.529736	-75.614561
	Bocatoma	Calarcá	QUI-43	Q. San Rafael	4.523278	-75.61393
	Superficial	Calarcá	QUI-44	R. Santo Domingo (San Rafael)	4.521107	-75.621074
	Bocatoma	Calarcá	QUI-45	Q. El Naranjal (Bocatoma Calarcá)	4.530862	-75.627462
	Superficial	Calarcá	QUI-46	Q. Naranjal A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	4.511651	-75.643179

Unidad Hidrográfica	Tipo Monitoreo	Municipio	Código	Descripción del Sitio	Latitud	Longitud
	Bocatoma	Calarcá	QUI-47	Q. El Salado (Bocatoma Corregimiento La Virginia)	4.487326	-75.635136
	Superficial	Calarcá	QUI-48	R. Santo Domingo A. Arriba confluencia de la Q. Las Marías	4.487065	-75.66316
	Superficial	Calarcá	QUI-49	Q. Las Marías	4.487424	-75.66333
	Superficial	Calarcá	QUI-50	R. Santo Domingo A. Arriba confluencia de la Q. Negra	4.451382	-75.689318
	Superficial	Calarcá	QUI-51	Q. Negra	4.450948	-75.688662
	Superficial	Calarcá	QUI-52	Q. La Pitala	4.451395	-75.690115
	Superficial	Calarcá	QUI-53	R. Santo Domingo A. Arriba confluencia al R. Verde	4.4057	-75.727673
	Bocatoma	Córdoba	QUI-54	R. Verde (Bocatoma Barcelona)	4.411441	-75.657395
	Superficial	Calarcá	QUI-55	Q. La Congala (R. Verde)	4.408601	-75.743924
	Superficial	Calarcá	QUI-56	R. Verde A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.396203	-75.762811
	Superficial	La Tebaida	QUI-57	R. Quindío A. Arriba confluencia al R. Barragán	4.395248	-75.797602
	Superficial	Salento	QUI-58	Bocatoma EPQ Circasia - Sobrante EPA	4.606485	-75.623779
	Bocatoma	Circasia	ROB-01	Q. El Bosque	4.644481	-75.618983
	Bocatoma	Circasia	ROB-02	Q. La Marina	4.641987	-75.617792
	Bocatoma	Circasia	ROB-03	R. Roble (Bocatoma Circasia)	4.632373	-75.634362
	Bocatoma	Circasia	ROB-04	Q. La Arenosa (Circasia)	4.630811	-75.634291
	Bocatoma	Circasia	ROB-05	Q. Cajones	4.626276	-75.623277
	Superficial	Circasia	ROB-06	Q. Cajones A. Arriba confluencia al R. Roble	4.624373	-75.646337
	Superficial	Circasia	ROB-07	R. Roble A. Arriba confluencia de la Q. Portachuelo	4.627635	-75.674756
	Superficial	Filandia	ROB-08	Q. Portachuelo A. Abajo Centro Poblado Filandia	4.653027	-75.657709
Río Roble	Superficial	Circasia	ROB-09	Q. Portachuelo A. Arriba confluencia al R. Roble	4.627587	-75.67506
	Bocatoma	Circasia	ROB-10	R. Roble (Bocatoma 2 Montenegro)	4.612498	-75.694224
	Bocatoma	Circasia	ROB-11	R. Roble (Bocatoma Montenegro)	4.596888	-75.713538
	Bocatoma	Circasia	ROB-12	Q. La Soledad (Bocatoma Montenegro)	4.597105	-75.708616
	Bocatoma	Circasia	ROB-13	Q. La Paloma (Bocatoma Montenegro)	4.595153	-75.7098
	Bocatoma	Circasia	ROB-14	Q. Las Lajas (Bocatoma Montenegro)	4.587058	-75.720536
	Superficial	Quimbaya	ROB-15	R. Roble A. Arriba Vertimiento La Isabela	4.573118	-75.746869
	Superficial	Filandia	ROB-16	Q. Las Cruces A. Arriba confluencia a la Q. Portachuelo	4.652696	-75.65759
	Superficial	Montenegro	ROB-17	R. Roble (Puente Montenegro Quimbaya)	4.569725	-75.757505

Unidad Hidrográfica	Tipo Monitoreo	Municipio	Código	Descripción del Sitio	Latitud	Longitud
	Superficial	Montenegro	ROB-18	R. Roble (La Española)	4.576504	-75.85031
	Superficial	Circasia	ROB-19	R. Roble A. Arriba confluencia de la Q. Cajones	4.624626	-75.646101
Río Rojo	Superficial	Génova	ROJ-01	R. Rojo A. Arriba confluencia del R. San Juan	4.218604	-75.778759
Río San Juan	Superficial	Génova	SJ-01	R. San Juan	4.201728	-75.797185
	Superficial	Génova	SJ-03	R. San Juan A. Arriba confluencia al R. Rojo	4.216372	-75.781427

6.3.1. Definición de los Determinantes de Calidad de Agua

Para la definición de los determinantes de calidad según los lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las ERA (IDEAM, 2013a), se presentan diferentes enfoques para su clasificación. En el presente estudio de actualización de la ERA para el departamento del Quindío, se considera una clasificación basada en su naturaleza, la cual considera dos tipos de grupos. El primero denominado “Superficial Básico”, que incluye determinantes relacionados con materia orgánica, sólidos, nutrientes y pH. El segundo grupo, denominado “Superficial Microbiológico”, incluye parámetros adicionales importantes para cuantificar el posible grado de contaminación microbiológica por presencia de coliformes (Tabla 275).

Tabla 275. Determinantes de calidad a medir según tipo de muestreo

Tipo de muestreo	Tipo de muestreo	
	Superficial Microbiológico	Superficial Básico
Parámetros		
Caudal (molinete)	✓	✓
pH	✓	✓
Conductividad eléctrica	✓	✓
Oxígeno disuelto	✓	✓
Temperatura del agua	✓	✓
Alcalinidad	✓	✓
DBO5 Total	✓	✓
DQO Total	✓	✓
Sólidos suspendidos totales	✓	✓
Sólidos disueltos totales	✓	✓
Turbiedad	✓	✓
Nitrógeno total	✓	✓
Nitritos	✓	✓
Nitratos	✓	✓
Fósforo total	✓	✓
Ortofosfatos	✓	✓
Coliformes termotolerantes	✓	
Coliformes totales	✓	
Macroinvertebrados	✓	

Debido a la prioridad del recurso para el consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural, establecido en el Decreto 1076 de 2015 (MINAMBIENTE, 2015) se establece los muestreos de tipo “Superficial Microbiológico” para las fuentes hídricas

superficiales abastecedoras del recurso por parte de las empresas prestadoras del servicio, permitiendo así determinar su calidad y el cumplimiento los parámetros mínimos para su uso. Por otro lado, los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo de calidad de agua son insumo para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) para los 130 sitios de muestro definidos para el presente estudio (Figura 286)

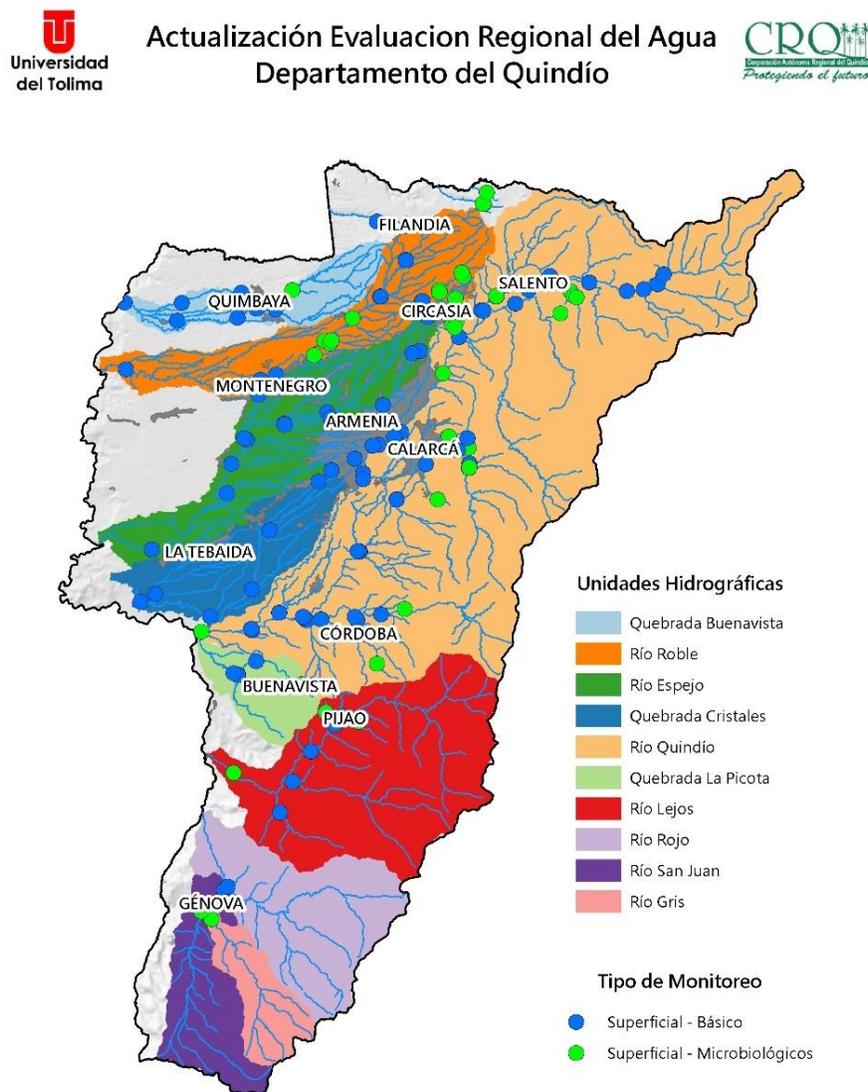


Figura 286. Localización de sitios de muestro superficiales microbiológico y básico

Los muestreos de calidad del agua para este estudio son realizados por el Laboratorio ChemiLab, el cual se encuentra acreditado según Resolución 0288 del 19 de marzo de 2019 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y acreditado ante la Organización Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC). De manera que es posible asegurar los protocolos de toma y custodia de muestras, así como la verificación de los equipos de campo, los cuales hacen parte del listado maestro de equipos de laboratorio contando con un programa de mantenimiento y calibración (FOR 04 103) según lo establece la Norma NTC-ISO/IEC 17025:2005.

6.4. Metodología para el Cálculo de Índices de Calidad del Agua

La evaluación de la calidad del agua en el marco de la Evaluación Regional del Agua (ERA) para el Departamento de Quindío se fundamenta en el análisis de indicadores regionales de calidad, específicamente el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL). Dichos indicadores proporcionan una evaluación exhaustiva de la situación actual del recurso hídrico, basada en la inspección de sus propiedades físicas, químicas, biológicas y ecológicas (IDEAM, 2014, 2019). Este análisis, en conjunción con los instrumentos de planificación, regulación e información establecidos en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), como son los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), Planes de Ordenación de los Recursos Hídricos (PORH), Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), Permisos de Vertimientos, concesiones de agua, Tasas Retributivas y el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), definen las condiciones para mantener el equilibrio ecosistémico de acuerdo con los objetivos de calidad establecidos por la Autoridad Ambiental (MAVDT, 2010).

Este capítulo presenta los fundamentos conceptuales y metodológicos para la estimación del ICA, determinados a través de campañas de monitoreo desarrolladas como parte de la vigilancia sistemática de la calidad del agua en lugares de interés. Además, se aborda el cálculo del IACAL, que se establece en tramos y/o Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) descritos en el numeral 6.4.2.2 del presente documento, para corrientes que presentan variaciones en la alteración potencial de su estado natural.

6.4.1. Índice de Calidad del Agua (ICA)

El ICA es un indicativo de las condiciones de calidad física, química y biológica de los cuerpos de agua, permitiendo identificar problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Así mismo, permite representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables representativas (IDEAM, 2010).

Se presenta como un valor numérico que califica en una de cinco categorías (muy mala, mala, regular, aceptable y buena) la calidad del agua de un cuerpo de agua o tramo de análisis, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco (5) a siete (7) variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (IDEAM, 2013b), En tal sentido, el ICA es una expresión agregada y simplificada, sumatoria aritmética equiponderada de varias variables.

Metodológicamente la determinación del ICA con cinco (5) variables considera variables representativas tales como demanda química de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (PSOD), conductividad eléctrica del agua (CE) y pH (IDEAM, 2010). Igualmente, para la implementación de seis (6) variables se añade una variable más como lo es la relación nitrógeno total y fósforo total NT/PT, y para siete (7) variables se adicionan los coliformes termotolerantes/fecales como indicadores de contaminación bacteriológica.

Para el presente estudio se realiza el cálculo del ICA utilizando las metodologías que involucran seis (6) y siete (7) variables de acuerdo con la disponibilidad de determinantes de calidad por sitio de monitoreo. Debido a la no documentación por parte del IDEAM para la determinación del ICA de siete (7) variables y por ende la no adopción del indicador de contaminación bacteriológica se toma como referencia para el cálculo del subíndice de coliformes termotolerantes/fecales el propuesto por (Cude, 2001).

En la Tabla 276, se relaciona la ponderación de las variables físicas, químicas y microbiológicas variando en función de la relevancia para análisis específicos de condiciones de calidad de Aguas y el número de variables consideradas.

Tabla 276. Pesos para las variables del ICA

Variable	Unidad	Número de Variables		
		5	6	7
		Peso	Peso	Peso
Oxígeno disuelto - OD	% saturación	0,2	0,17	0,16
Sólidos Suspendidos Totales - SST	mg/L	0,2	0,17	0,14
Demanda Química de Oxígeno - DQO	mg/L	0,2	0,17	0,14
Conductividad eléctrica	μ S/cm	0,2	0,17	0,14
pH	Unidades de pH	0,2	0,15	0,14
Relación N total/P total	(mg/L)/(mg/L)		0,17	0,14
Coliformes termotolerantes/fecales	UFC/100 mL*			0,14

*IDEAM (2013) asignan como unidades de los coliformes fecales las UFC/100 ml, el subíndice de los coliformes fecales se expresa en NMP/100ml.

6.4.1.1. Construcción de las Curvas Funcionales

De acuerdo con IDEAM (2010), para los parámetros de calidad del agua seleccionados se construyen relaciones o curvas funcionales (ecuaciones), en las que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico y los distintos niveles (o intensidades) de cada variable en las abscisas, generando curvas representativas de la variación de la calidad del agua con respecto a la magnitud de cada contaminante.

La aplicación de las curvas funcionales o ecuaciones expresan el subíndice para cada parámetro, los cuales se utilizan para transformar las variables a una escala adimensional, ya que éstas se expresan en diferentes unidades ($\mu\text{S}/\text{cm}$, mg/L , porcentaje, unidades, etc.), para permitir su posterior agregación. A continuación, se muestran las ecuaciones de referencia para cada una de las variables involucradas en el cálculo del ICA a nivel regional.

6.4.1.1.1. Oxígeno Disuelto (OD):

El oxígeno gaseoso disuelto en el agua es vital para la existencia de la mayoría de biota acuática. La concentración de oxígeno disuelto (OD) es un indicador de la calidad ecológica del agua, y condiciona la presencia o ausencia de biota en el ecosistema acuático. El nivel de saturación de oxígeno corresponde al nivel máximo esperado para ciertas condiciones de temperatura, salinidad y presión. Este nivel puede estimarse debido a que existe una relación entre la concentración en la atmósfera y en el cuerpo de agua (Ley de Henry).

El porcentaje de saturación consiste en dividir la concentración en $\text{mg}/\text{L O}_2$, sobre el nivel de saturación de dicho cuerpo de agua, a la misma salinidad, y temperatura y presión del aire. Considerando que los cuerpos analizados son de agua dulce, se presentan las siguientes ecuaciones que permiten determinar el nivel de saturación de oxígeno, a partir de la temperatura del aire expresada en $^{\circ}\text{C}$ (USEPA, 1995; Cole & Wells, 2013) y con la presión, la cual, a su vez, está relacionada con la elevación sobre el nivel del mar.

Corrección por temperatura:

$$DO_{ST} = \frac{468}{31.57 + T}$$

Corrección por Presión:

$$DO_{SP} = O_s(1 - 0,1148 \times E)$$

Oxígeno de Saturación:

$$\%SatOD = \frac{OD (medido)}{DOD_{STP}} \times 100$$

Donde:

DO_{ST} , es el oxígeno de saturación corregido por Temperatura del aire.

T , es la temperatura del aire expresada en °C.

DO_{SP} , es el oxígeno de saturación corregido por la presión parcial en el aire, o por la elevación.

E , es la elevación expresada en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

$\%SatOD$, porcentaje de saturación del oxígeno disuelto, relación entre el oxígeno disuelto medido y el nivel de saturación corregido por presión y temperatura.

Para calcular el Subíndice del porcentaje de saturación de oxígeno se aplica la siguiente ecuación:

$$I_{\%satOD} = 1 - (1 - 0.01 * \%SatOD)$$

En los casos que el porcentaje de saturación de OD sea mayor a 100%, se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{\%satOD} = 1 - (1 - 0.01 * \%SatOD - 1)$$

6.4.1.1.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua puede deberse a condiciones naturales propias de los procesos del ciclo de sedimentos o puede corresponder a la ocurrencia de alteraciones de dicho ciclo por procesos erosivos inducidos, extracción o disposición de materiales, vertimientos industriales, entre otros. Esta variable tiene una relación directa con la turbiedad. El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones (ENA, 2010):

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 * SST \text{ mg/L})$$

$$\text{Si } SST \leq 4.5, \text{ entonces } I_{SST} = 1$$

$$\text{Si } SST \geq 320, \text{ entonces } I_{SST} = 0$$

6.4.1.1.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Esta variable refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica. El subíndice para DQO se estima siguiendo las siguientes expresiones:

$$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.91$$

$$\text{Si } 20 < DQO \leq 25, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.71$$

$$\text{Si } 25 < DQO \leq 40, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.51$$

$$\text{Si } 40 < DQO \leq 80, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.26$$

$$\text{Si } DQO > 80, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.125$$

6.4.1.1.4. Conductividad Eléctrica (C.E.):

Esta variable refleja la mineralización, presencia de sales, conjugando cationes y aniones disueltos. Incrementos en la misma pueden darse por vertimientos domésticos de grandes asentamientos humanos, tratamiento químico de aguas, vertimientos de corredores industriales, empleo de fertilizantes en la actividad agrícola, influencia volcánica o por la composición natural del suelo (IDEAM, 2010). El subíndice para C.E. se estima siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 * \log_{10} CE)}$$

$$\text{Si } I_{CE} < 0, \text{ entonces } I_{CE} = 0$$

6.4.1.1.5. Nitrógeno Total/Fósforo Total (NT/PT)

Esta variable refleja niveles de intervención antrópica que pueden estar degradando el ecosistema acuático, expresada como una forma de aplicar el concepto de saprobiedad. Es decir, la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica. Las fórmulas para calcular el subíndice de calidad para NT/PT son:

$$\text{Si } NT/PT \geq 15, \text{ entonces } I_{N/P} = 0.8$$

$$\text{Si } 10 < NT/PT < 15, \text{ entonces } I_{N/P} = 0.6$$

$$\text{Si } 5 < NT/PT \leq 10, \text{ entonces } I_{N/P} = 0.35$$

Si $NT/PT \leq 5$, entonces $I_{N/P} = 0.15$

6.4.1.1.6. pH

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua. Valores extremos de acidez pueden afectar la biota acuática. El subíndice se puede estimar de acuerdo con la hoja metodológica del IDEAM de la siguiente forma:

Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0.1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$

Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 * e^{((pH-8)-0.5187742)}$

Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0.1$

6.4.1.1.7. Coliformes Termotolerantes/Fecales

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en el suelo y seres vivos (aves silvestres y heces fecales de seres de sangre caliente). Su presencia puede ser un reflejo de aguas contaminadas por aguas residuales o presencia de desechos en descomposición. Generalmente, las coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos de fondo de los cuerpos de agua (Munn, 2004).

El grupo de bacterias coliformes totales comprende todos los bacilos Gramnegativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Este grupo está conformado por 4 géneros principalmente: Enterobacter, Escherichia, Citrobacter y Klebsiella. El grupo de coliformes fecales, está constituido por bacterias Gramnegativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 h de incubación a $44,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, los coliformes termotolerantes son bacterias coliformes que pueden sobrevivir y crecer en altas temperaturas. Este grupo incluye a la bacteria *Escherichia coli* (E. coli), que es un subconjunto de coliformes fecales.

En resumen, todos los coliformes termotolerantes son coliformes fecales, pero no todos los coliformes fecales son termotolerantes. La detección de coliformes termotolerantes es más preocupante desde el punto de vista de la salud pública, ya que es más probable que estos indiquen la presencia de patógenos fecales potencialmente

daños. Por lo anterior, el subíndice de coliformes fecales adopta los coliformes termotolerantes tal como se expresa en Cude (2001) de la siguiente manera:

$$\text{Si } CF < 50/100 \text{ mL, entonces } I_{CF} = 0.98$$

$$\text{Si } 50/100 \text{ mL} < CF < 1600/100 \text{ mL, entonces } I_{CF} = 0.98 * e^{((CF-50)*-9.917754E-4)}$$

$$\text{Si } CF \geq 1600/100 \text{ mL, entonces } I_{CF} = 0.1$$

6.4.1.2. Metodología para el Cálculo del ICA

Para calcular el ICA se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (I_i) de cada una de las variables. Estas agregaciones se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde,

ICA_{njt} , es el índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t , evaluado con base en n variables.

W_i , es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i .

I_{ikjt} , es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j , registrado durante la medición realizada en el trimestre k , del período de tiempo t .

n , es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 7 a nivel regional

La solución de la anterior sumatoria es como sigue:

$$ICA_{njt} = (W_{i\%satOD} * I_{\%satOD}) + (W_{iSST} * I_{SST}) + (W_{iDQO} * I_{DQO}) + (W_{iCE} * I_{CE}) + (W_{iN/P} * I_{N/P}) \\ + (W_{iPH} * I_{PH}) + (W_{iCF} * I_{CF})$$

De acuerdo con IDEAM (2010), el ICA define una clasificación descriptiva de la calidad del agua en cinco (5) categorías: buena, aceptable, regular, mala o muy mala (Tabla 277), las cuales se representan gráfica o espacialmente en una escala de colores determinada.

Tabla 277. Descriptores de la calidad del agua a partir del ámbito numérico del ICA

Descriptores	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0 – 0,25	
Malo	0,26 – 0,50	
Regular	0,51 – 0,70	
Aceptable	0,71 – 0,90	
Bueno	0,91 – 1,00	

Fuente IDEAM (2010)

6.4.2. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL)

El IACAL es un indicador de presión de los sistemas hídricos dada la carga contaminante vertida en los cuerpos de agua por los diferentes sectores socioeconómicos, determinando amenazas potenciales por alteración de la calidad en los tramos y/o unidades de análisis definidas (IDEAM, 2013). Este indicador depende principalmente de la información disponible para obtener las cargas presuntivas para cada sector o desde la proyección de información observada mediante los monitoreos.

6.4.2.1. Metodología para el Cálculo del IACAL

Este indicador corresponde al valor numérico que califica en una de cinco categorías (baja, moderada, media-alta, alta y muy alta), la razón existente entre la carga contaminante que se estima recibe una unidad hidrográfica anualmente y la oferta hídrica superficial para las condiciones hidrológicas de año medio y seco de esta misma unidad estimada para una serie de tiempo.

La fórmula general de cálculo del indicador es la siguiente:

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n catiacal_{ijt-añomed}}{n}$$

Donde:

$IACAL_{jt-añomed}$, es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una unidad hidrográfica j durante el período de tiempo t , evaluado para un escenario de oferta hídrica dado.

$Catiacal_{ijt-añomed}$, es la categoría de clasificación de la amenaza por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la estimación de la carga de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la unidad hidrográfica j durante

el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un escenario hidrológico dado.

n , Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

El cálculo de cada uno de los $iactal_{ijt}$ se realiza mediante la siguiente fórmula general:

$$iactal_{ijt} = \frac{C_{ijt}}{O}$$

Donde:

$iactal_{ijt}$, son las estimaciones de las cargas de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la unidad hidrográfica j durante el período de tiempo t ponderado por la oferta hídrica estimada para un escenario hidrológico dado.

C_{ijt} , es la carga de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la unidad hidrográfica j durante el período de tiempo t .

O , es la oferta hídrica estimada para un escenario hidrológico dado.

Como una forma de expresar la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua, el IACAL puede estimarse considerando el cociente entre las cargas contaminantes a escala anual con la oferta hídrica total para año medio y año seco. En la Tabla 278 se registran los rangos de los valores del IACAL, la categoría de clasificación que se le asigna a cada uno de ellos, la calificación del nivel de presión al que corresponde y el color que la representa. Esta información presentada inicialmente en el Estudio Nacional del Agua - ENA 2010, fue actualizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2020), mediante la Hoja Metodológica Versión 1,1., la cual a su vez tomó como insumo el ENA 2018. Dentro de los cambios realizados se encuentra el ajuste de los valores límites que definen los rangos. Nótese que para los percentiles de SST se redondean los valores del rango a una (1) cifra decimal, para el fósforo tres (3) cifras, mientras que, para las demás variables, se redondea a dos (2) cifras decimales.

De acuerdo con la anterior, el IACAL tendrá un valor numérico el cual tiene asociada una categoría de presión con los respectivos rangos que se asignarán a cada variable se muestran en la Tabla 279.

Tabla 278 Rangos de los Catiacales

Categoría de presión	Descriptor de presión	Percentiles DBO	Percentiles DQO - DBO	Percentiles SST	Percentiles NT	Percentiles PT
1	Baja	<0,14	<0,14	<0,4	<0,03	<0,005
2	Moderada	0,14 a 0,39	0,14 a 0,35	0,4 a 0,7	0,03 a 0,05	0,005 a 0,013
3	Media	0,40 a 1,20	0,36 a 1,16	0,8 a 1,8	0,06 a 0,13	0,014 a 0,035
4	Alta	1,21 a 4,85	1,17 a 6,77	1,9 a 7,6	0,14 a 0,55	0,036 a 0,134
5	Muy Alta	≥4,86	≥6,78	≥7,7	≥0,56	≥0,135

Fuente: ENA 2010 - IDEAM y actualizado con Ficha Metodológica IDEAM V 1.1

Tabla 279 Categorización IACAL.

Rangos	Categoría de clasificación	Calificación de la presión
1,0 a 1,5	1	Baja
1,6 a 2,5	2	Moderada
2,6 a 3,5	3	Media-Alta
3,6 a 4,4	4	Alta
4,5 a 5,0	5	Muy Alta

Fuente: ENA 2010 - IDEAM

Para la estimación del IACAL, en este estudio fueron incorporadas los lineamientos definidos en el Estudio Nacional del Agua (ENA, 2010), así como en las actualizaciones de los años 2014 y 2018, correspondientes al sector municipal, industrial, plantas de beneficio animal (PBA), y Beneficio del Café. Así mismo, es importante aclarar que la presión sobre los cuerpos de agua superficiales y su relación con la calidad del agua está relacionada con aportes puntuales y difusos de los vertimientos (2010, 2014 y 2018). Por lo tanto, en este estudio se centró en la determinación de las cargas puntuales, dada la dificultad actual para obtener para Colombia datos confiables de los aportes difusos o de los factores para su determinación indirecta.

Por otra parte, en el estudio de Objetivos de Calidad del Agua (2019-2029) (UT & CRQ, 2019) se definieron tres escenarios de simulación de la calidad Tabla 280 los cuales se asocian a las acciones proyectadas en los Planes Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV de los municipios localizados dentro de las unidades hidrológicas de los ríos: Gris, San Juan, Rojo, Roble, Quindío, Lejos, Espejo, y las quebradas: La Picota, Cristales y Buenavista en el departamento del Quindío durante los años 2020, 2025 y 2029. De manera que, en este caso se evaluará la condición actual de la calidad del agua y el escenario 2 (E-2025) para la estimación del IACAL.

Tabla 280. Escenarios de simulación planteados

Escenario	Código	Descripción
1	E-2020	Descripción del comportamiento actual (año 2019-2020) de la calidad del agua en las corrientes objeto de análisis, a partir del modelo implementado en la ERA de 2019. Eliminación de vertimientos dispersos para ser interceptados y dirigidos hacia un colector municipal principal que transporte el flujo hacia una PTAR proyectada.
2	E-2025	En los casos en los que la PTAR existe, se propone mejorar la eficiencia de tratamiento a un mínimo de remoción del 80% en DBO, SST y Coliformes Totales, según eficiencias de remoción recomendadas por el (Reglamento Técnico Del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Título E, 2000). (Resolución 0330 de 2017, 2017)(Reglamento Técnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título B., 2010)
3	E-2029	Involucra las acciones descritas en el escenario 2025 y realizar el tratamiento de las aguas residuales en una PTAR con una eficiencia del 80% en remoción de DBO, SST, Coliformes Totales y 20% del ciclo del nitrógeno.

6.4.2.2. Unidades Hidrológicas y Tramos Objeto de Estudio para Análisis de la Calidad del Agua

Uno de los mecanismos para evaluar la presión ejercida por vertimientos puntuales en las corrientes hídricas es la implementación de Unidades Hidrológicas de Análisis de Calidad del Agua (UHACA), correspondiendo estas a áreas drenantes de los cuerpos receptores de vertimientos domésticos u otros, producto de la implementación de actividades productivas. A partir de ellas, es posible establecer el impacto por descarga de vertimientos en los diferentes tramos de la corriente a analizar dependiendo de factores como la localización de los vertimientos, los procesos de asimilación de los contaminantes y los flujos de los diferentes afluentes (IDEAM, 2013a).

La definición de las unidades hidrológicas consideró los siguientes criterios:

- Puntos en zonas altas de algunas corrientes, como referentes de zonas con baja intervención antrópica.
- Puntos de cierre de las corrientes principales.
- Puntos de cierre de afluentes con presencia de vertimientos (domésticos, industriales, comerciales – servicios, turísticos, agropecuarios) para determinar la carga contaminante vertida al final del tramo.
- Aguas arriba y aguas abajo de la influencia de centros poblados, a fin de determinar la posible degradación del recurso hídrico a causa de vertimientos domésticos.

A partir de lo anterior, se adoptaron 124 unidades hidrológicas o tramos para el análisis de calidad los cuales son insumo en la determinación del Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) para cada unidad hidrográfica abordada en el presente estudio (Tabla 281).

En la Figura 287 se presenta la distribución espacial de los 124 sitios definidos para la determinación del IACAL, los cuales corresponden al punto al final de cada UHACA o tramo de análisis. En términos generales sobre las unidades hidrográficas el número de tramos establecidos son los siguientes: Quebrada Buenavista (9), Quebrada Cristales (9), Quebrada La Picota (4), Río Espejo (25), Río Gris (2), Río Lejos (8), Río Quindío (43), Río Roble (15), Río Rojo (2), Río San Juan (3), Quebrada Agua Linda (1), Quebrada San José (1), Quebrada Lacha (1) y Quebrada Barro Blanco (1)

Tabla 281. Tramos - Unidades de Hidrológicas definidas para el análisis de la alteración potencial a la calidad del agua

Unidad Hidrográfica	Código	Descripción	Puntos de Cierre	
			Latitud	Longitud
Quebrada Buenavista	QB1	Divisoria de aguas Q. Buenavista - A. Arriba Bocatoma Quimbaya	4.63222	-75.735913
	QB2	Q. Buenavista A. Abajo Bocatoma Quimbaya - A. Arriba CP Quimbaya	4.617363	-75.756385
	QB3	Q. Buenavista A. Arriba CP Quimbaya - A. Abajo CP Quimbaya	4.61328	-75.774353
	QB4	Q. Buenavista A. Abajo CP Quimbaya - A. Arriba confluencia de la Q. La Silenciosa	4.611552	-75.839613
	QB5	Divisoria de aguas Q. La Silenciosa - A. Arriba confluencia a la Q. Buenavista	4.613976	-75.835774
	QB6	Q. Buenavista A. Abajo confluencia de la Q. La Silenciosa - A. Arriba confluencia de la Q. Mina Rica	4.615637	-75.84071
	QB7	Divisoria de aguas Q. Mina Rica - A. Abajo CP Quimbaya	4.631328	-75.780097
	QB8	Q. Mina Rica A. Abajo CP Quimbaya - A. Arriba confluencia a la Q. Buenavista	4.617911	-75.84029
	QB9	Q. Buenavista A. Abajo confluencia de la Q. Mina Rica - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4.622999	-75.851598
Quebrada Cristales	QC1	Divisoria de aguas Q. Cristales - A. Arriba confluencia de la Q. Los Ángeles	4.467189	-75.759201
	QC2	Divisoria de aguas Q. Los Ángeles - A. Arriba confluencia a la Q. Cristales	4.465112	-75.755023
	QC3	Q. Cristales A. Abajo confluencia de la Q. Los Ángeles - A. Arriba confluencia de la Q. Las Tatabras	4.427563	-75.762182
	QC4	Divisoria de aguas Q. Las Tatabras - A. Arriba confluencia a la Q. Cristales	4.426981	-75.758009
	QC5	Q. Cristales A. Abajo confluencia de la Q. Las Tatabras - A. Arriba confluencia de la Q. La Jaramilla	4.41329	-75.830375
	QC6	Divisoria de aguas Q. La Jaramilla - A. Arriba confluencia de la Q. La Julia (La Tulia)	4.44215	-75.811524
	QC7	Divisoria de aguas Q. La Julia (La Tulia) - A. Arriba confluencia a la Q. La Jaramilla	4.440062	-75.810473
	QC8	Q. La Jaramilla A. Abajo confluencia de la Q. La Julia (La Tulia) - A. Arriba confluencia a la Q. Cristales	4.417734	-75.831393
	QC9	Q. Cristales A. Abajo confluencia de la Q. La Jaramilla - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4.416035	-75.839126
Quebrada La Picota	QP1	Divisoria de aguas Q. La Picota - A. Arriba CP Buenavista (Bocatoma Buenavista)	4.358826	-75.728485
	QP2	Q. La Picota A. Arriba Buenavista - A. Arriba confluencia Q. Los Juanes	4.366281	-75.771515
	QP3	Divisoria de agua Q. Los Juanes - A. Arriba confluencia a la Q. La Picota	4.36469	-75.77255
	QP4	Q. La Picota A. Abajo confluencia de la Q. Los Juanes - A. Arriba confluencia al R. Barragán	4.390677	-75.798138
Río Espejo	RE1	Divisoria aguas Q. Hojas Anchas - A. Arriba confluencia de la Q. Yeguas	4.606326	-75.652403
	RE2	Divisoria aguas Q. Yeguas - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	4.605408	-75.650687
	RE3	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Yeguas - A. Arriba confluencia de la Q. Paujil	4.563049	-75.664219
	RE4	Divisoria de aguas Q. Paujil - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	4.56188	-75.663101

Unidad Hidrográfica	Código	Descripción	Puntos de Cierre	
			Latitud	Longitud
	RE5	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Paujil - A. Arriba confluencia de la Q. Laureles	4.558283	-75.667503
	RE6	Divisoria de aguas Q. Laureles - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	4.557512	-75.66709
	RE7	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Laureles - A. Arriba confluencia de la Q. La Aldana	4.554322	-75.669753
	RE8	Divisoria de aguas Q. La Aldana - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	4.553804	-75.669885
	RE9	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. La Aldana - A. Arriba confluencia de la Q. Santa Helena	4.553518	-75.672104
	RE10	Divisoria de aguas Q. Santa Helena - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	4.552889	-75.672078
	RE11	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Santa Helena - A. Arriba confluencia de la Q. Naranjal	4.551853	-75.694442
	RE12	Divisoria de aguas Q. Naranjal - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	4.554557	-75.693473
	RE13	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Naranjal - A. Arriba confluencia de la Q. Zanjón Hondo	4.543944	-75.724849
	RE14	Divisoria de aguas Q. Zanjón Hondo - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	4.540928	-75.725909
	RE15	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. Hojas Anchas - A. Arriba confluencia de la Q. Armenia	4.539211	-75.740708
	RE16	Divisoria de aguas Q. Armenia - A. Arriba confluencia al R. Espejo	4.538608	-75.739918
	RE17	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. Armenia - A. Arriba confluencia de la Q. Cajones (Montenegro)	4.535246	-75.767175
	RE18	Divisoria de aguas Q. Cajones (Montenegro) - A. Arriba confluencia Q. La Soledad	4.544105	-75.766126
	RE19	Divisoria de aguas Q. La Soledad - A. Arriba confluencia Q. Cajones (Montenegro)	4.544017	-75.764124
	RE20	Q. Cajones (Montenegro) A. Abajo confluencia de la Q. La Soledad - A. Arriba confluencia al R. Espejo	4.535462	-75.768766
	RE21	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. Cajones (Montenegro) - A. Arriba confluencia de la Q. La Carmelita	4.528651	-75.766693
	RE22	Divisoria de aguas Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia al R. Espejo	4.527988	-75.764975
	RE23	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia de la Q. El Reposo	4.488515	-75.786498
	RE24	Divisoria de aguas Q. El Reposo - A. Arriba confluencia al R. Espejo	4.488405	-75.782464
	RE25	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. El Reposo - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4.46222	-75.864503
Río Lejos	RL1	Divisoria de aguas R. Lejos - A. Arriba Pijao	4.337209	-75.69967
	RL2	R. Lejos A. Arriba Pijao - A. Arriba confluencia de la Q. El Inglés	4.331082	-75.705363
	RL3	Divisoria de aguas Q. El Inglés - A. Arriba confluencia al R. Lejos	4.330795	-75.705965
	RL4	R. Lejos A. Abajo confluencia Q. El Inglés - A. Arriba confluencia del R. Azul	4.294911	-75.739099
	RL5	Divisoria de aguas R. Azul - A. Arriba confluencia al R. Lejos	4.291579	-75.734395

Unidad Hidrográfica	Código	Descripción	Puntos de Cierre	
			Latitud	Longitud
Río Quindío	RL6	R. Lejos A. Abajo confluencia del R. Azul - A. Arriba de la Q. La Maizena	4.284477	-75.74479
	RL7	Divisoria de aguas Q. La Maizena - A. Arriba confluencia al R. Lejos	4.282015	-75.745403
	RL8	R. Lejos A. Abajo confluencia Q. La Maizena - A. Arriba confluencia al R. Barragán	4.309244	-75.79162
	RQ1	Divisoria de aguas R. Quindío - A. Arriba confluencia de la Q. Boquía	4.633767	-75.493071
	RQ2	Divisoria de aguas Q. Cárdenas - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.634326	-75.497109
	RQ3	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. Boquía - A. Arriba confluencia de la Q. Cruz Gorda	4.639729	-75.544219
	RQ4	Divisoria de aguas Q. Cruz Gorda - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.639067	-75.545468
	RQ5	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. Cruz Gorda - A. Arriba confluencia de la Q. Boquía	4.63388	-75.588804
	RQ6	Divisoria de aguas Q. Boquía - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.63579	-75.588322
	RQ7	R. Quindío A. Abajo confluencia Q. Boquía - A. Arriba confluencia de la Q. La Víbora	4.628005	-75.594807
	RQ8	Divisoria de aguas Q. La Víbora - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.62901	-75.594854
	RQ9	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. La Víbora - A. Arriba confluencia del R. Navarco	4.618417	-75.605087
	RQ10	Divisoria de aguas R. Navarco - A. Arriba confluencia del R. Boquerón	4.619498	-75.588652
	RQ11	Divisoria de aguas R. Boquerón - A. Arriba confluencia de la Q. El Mudo	4.627406	-75.567034
	RQ12	R. Boquerón A. Arriba confluencia de la Q. El Mudo - A. Arriba confluencia al R. Navarco	4.620857	-75.588502
	RQ13	R. Navarco A. Abajo confluencia del R. Boquerón - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.617393	-75.603395
	RQ14	R. Quindío A. Abajo confluencia R. Navarco - A. Arriba confluencia Q. El Águila	4.599818	-75.620548
	RQ15	Divisoria de aguas Q. El Águila - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.601967	-75.622584
	RQ16	R. Quindío A. Abajo confluencia Q. El Águila - A. Arriba Bocatoma Armenia	4.573794	-75.631888
	RQ17	R. Quindío A. Abajo Bocatoma Armenia - A. Arriba Bocatoma La Tebaida	4.533867	-75.660236
	RQ18	R. Quindío A. Abajo Bocatoma La Tebaida - A. Arriba confluencia de la Q. La Florida	4.523863	-75.674916
	RQ19	Divisoria de aguas Q. La Florida - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.525122	-75.676027
	RQ20	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. La Florida - A. Arriba confluencia de la Q. San Nicolás	4.524512	-75.679299
	RQ21	Divisoria de aguas Q. San Nicolás - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.524725	-75.679827
	RQ22	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. San Nicolás - A. Arriba confluencia de la Q. El Pescador	4.505174	-75.686419
	RQ23	Divisoria de aguas Q. El Pescador - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.500562	-75.686034
RQ24	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. El Pescador - A. Arriba confluencia del R. Verde	4.399339	-75.763016	
RQ25	Divisoria de aguas R. Verde - A. Arriba confluencia de la Q. El Jardín	4.408503	-75.693059	
RQ26	Divisoria de aguas Q. El Jardín - A. Arriba confluencia al R. Verde	4.407447	-75.694176	

Unidad Hidrográfica	Código	Descripción	Puntos de Cierre	
			Latitud	Longitud
	RQ27	R. Verde A. Abajo Quebrada El Jardín - A. Arriba confluencia del R. Santo Domingo	4.404564	-75.725488
	RQ28	R. Verde A. Abajo Quebrada El Jardín - A. Arriba confluencia del R. Santo Domingo	4.509257	-75.613485
	RQ29	Divisoria de aguas Q. La Gata - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo (Bocatoma Calarcá)	4.509316	-75.613043
	RQ30	R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. La Gata - A. Arriba Calarcá (Sector San Rafael)	4.521092	-75.621842
	RQ31	R. Santo Domingo A. Arriba Calarcá (Sector San Rafael) - A. Arriba confluencia de la Q. El Naranjal	4.512486	-75.641983
	RQ32	Divisoria de aguas Q. El Naranjal - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	4.51226	-75.643121
	RQ33	R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. El Naranjal - A. Arriba confluencia de la Q. Las Marías	4.487622	-75.662424
	RQ34	Divisoria de aguas Q. Las Marías - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	4.488188	-75.663189
	RQ35	R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. Las Marías - A. Arriba confluencia de la Q. Negra	4.452559	-75.688471
	RQ36	Divisoria de aguas Q. Negra - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	4.450469	-75.687629
	RQ37	R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. Negra - A. Arriba confluencia al R. Verde	4.406573	-75.723921
	RQ38	R. Verde A. Abajo confluencia de la Q. Santo Domingo - A. Arriba confluencia de la Q. La Congala	4.404074	-75.745465
	RQ39	Divisoria de aguas Q. La Congala - A. Arriba confluencia de la Q. Agua Bonita (A. Abajo Barcelona)	4.413794	-75.736489
	RQ40	Divisoria de aguas Q. Agua Bonita - A. Arriba confluencia a la Q. La Congala (A. Abajo Barcelona)	4.41364	-75.739371
	RQ41	Q. La Congala A. Abajo confluencia de la Q. Agua Bonita - A. Arriba confluencia al R. Verde	4.406614	-75.745484
	RQ42	R. Verde A. Abajo confluencia de la Q. La Congala - A. Arriba confluencia al R. Quindío	4.396379	-75.761384
	RQ43	R. Quindío A. Abajo confluencia del R. Verde - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4.394678	-75.79431
	RRob1	Divisoria de aguas R. Roble - A. Arriba confluencia de la Q. Cajones (Circasia)	4.625077	-75.645237
	RRob2	Divisoria de aguas Q. Cajones (Circasia) - A. Arriba confluencia al R. Roble	4.624095	-75.646083
	RRob3	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. Cajones (Circasia) - A. Arriba confluencia de la Q. Portachuelo	4.627959	-75.673883
	RRob4	Divisoria de aguas Q. Portachuelo - A. Arriba confluencia de la Q. Las Cruces	4.65475	-75.656986
	RRob5	Divisoria de aguas Q. Las Cruces - A. Arriba confluencia a la Q. Portachuelo	4.652572	-75.655011
Río Roble	RRob6	Q. Portachuelo A. Abajo confluencia de la Q. Las Cruces - A. Arriba confluencia al R. Roble	4.627749	-75.675706
	RRob7	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. Portachuelo - A. Arriba Bocatoma Montenegro 1	4.612486	-75.693545
	RRob8	R. Roble A. Abajo Bocatoma Montenegro 1 - A. Arriba Bocatoma Montenegro 2	4.596932	-75.713198
	RRob9	R. Roble A. Abajo Bocatoma Montenegro 2 - A. Arriba Montenegro	4.576193	-75.741553
	RRob10	R. Roble A. Arriba Montenegro - A. Abajo Montenegro	4.569222	-75.76061
	RRob11	R. Roble A. Abajo Montenegro - A. Arriba confluencia Q. La Carmelita	4.56855	-75.800613

Unidad Hidrográfica	Código	Descripción	Puntos de Cierre	
			Latitud	Longitud
	RRob12	Divisoria de aguas Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia al R. Roble	4.572289	-75.80018
	RRob13	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia de la Q. La Paloma	4.576777	-75.849993
	RRob14	Divisoria de aguas Q. La Paloma - A. Arriba confluencia al R. Roble	4.580468	-75.848625
	RRob15	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. La Paloma - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4.578769	-75.862322
Río Rojo	RRoj1	Divisoria de aguas R. Rojo - A. Arriba confluencia del R. San Juan	4.218604	-75.778759
	RRoj2	R. Rojo A. Abajo confluencia del R. San Juan - A. Arriba confluencia al R. Barragán	4.265702	-75.794756
Río Gris	RG1	Divisoria de aguas R. Gris - A. Arriba Génova (Bocatoma Génova)	4.196368	-75.789909
	RG2	R. Gris A. Arriba Génova - A. Arriba confluencia al R. San Juan	4.207414	-75.791844
Río San Juan	RS1	Divisoria de aguas R. San Juan - A. Arriba Génova	4.201905	-75.797076
	RS2	R. San Juan A. Arriba Génova - A. Arriba confluencia del R. Gris	4.207757	-75.792609
	RS3	R. San Juan A. Abajo confluencia del R. Gris - A. Arriba confluencia al R. Rojo	4.216647	-75.781358
Quebrada Campoalegre	QAL1	Divisoria de aguas Q. Agua Linda - A. Abajo Quimbaya	4.631095	-75.772132
Quebrada San José	QSJ1	Divisoria de aguas Q. San José - A. Abajo Filandia	4.680329	-75.679417
Río Barbas	QBLA1	Divisoria de aguas Q. Barro Blanco - A. Arriba Bocatoma Barro Blanco Filandia	4.699599	-75.601281
Río Barbas	QLAC1	Divisoria de aguas Q. Lacha - A. Abajo confluencia de la Q. Chorrobolillos	4.69289	-75.604879

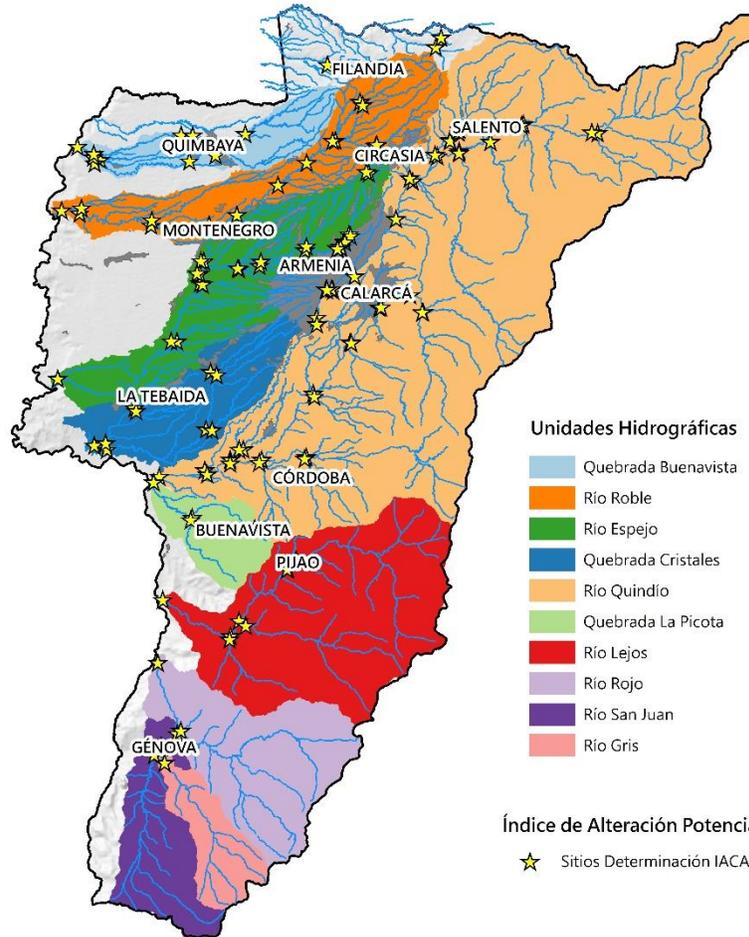


Figura 287. Distribución espacial de los sitios definidos para la determinación del IACAL

6.4.2.3. Determinación de la Oferta Hídrica

EL IACAL se define a partir de la relación entre la carga aportada por un área específica, y la oferta hídrica de esta. Para el presente estudio, se obtendrá el valor del IACAL para una determinada zona, considerando la Oferta Hídrica Total - OHT para año Seco y la OHT para año medio. La metodología para la determinación de estos volúmenes se desarrolla ampliamente en el componente de Oferta Hídrica del presente estudio.

6.5. Resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA)

A partir del reporte de calidad del agua en cada uno de los sitios de muestreo que hacen parte de este estudio, se estimó el índice de calidad del agua -ICA- considerando aspectos como el área que contribuye con aguas residuales, la discretización de las aguas residuales en las siguientes categorías: doméstico, comercial, industrial, turístico, agrícola (específicamente cultivos de café). De manera que a continuación se presenta el reporte de la clasificación de la calidad del agua, según el ICA, para las unidades y puntos de muestreo definidos en este estudio.

6.5.1. Unidad Hidrográfica de la quebrada Campoalegre (Quebrada Agua Linda)

Para el caso de la Quebrada Agua Linda fue estimado el ICA en un punto de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, y el pH. De manera que este punto fue clasificado con nivel de calidad "Malo", tal como se presenta en la Figura 288.



Figura 288. Descriptor del ICA por tramo Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya)

La incidencia de esta mala calidad del agua sobre la Quebrada Agua Linda es debido a vertimientos domésticos por parte de la cabecera municipal de Quimbaya, lo cual degrada la corriente aportando una gran cantidad de materia orgánica al ecosistema (IDQO=0.125), disminuyendo así los niveles de oxígeno disuelto (IsatOD=0.36) a causa del alto consumo por parte de bacterias existentes y elevando los valores de conductividad eléctrica (ICE=0) debido a altas concentraciones de iones disueltos en el agua (Tabla 282).

Tabla 282. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre la Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya)

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. Agua Linda A. Abajo Centro Poblado Quimbaya	BUE-06	4.630	-75.771	0.36	0.94	0.125	0	0.35	1	-	0.45	MALO

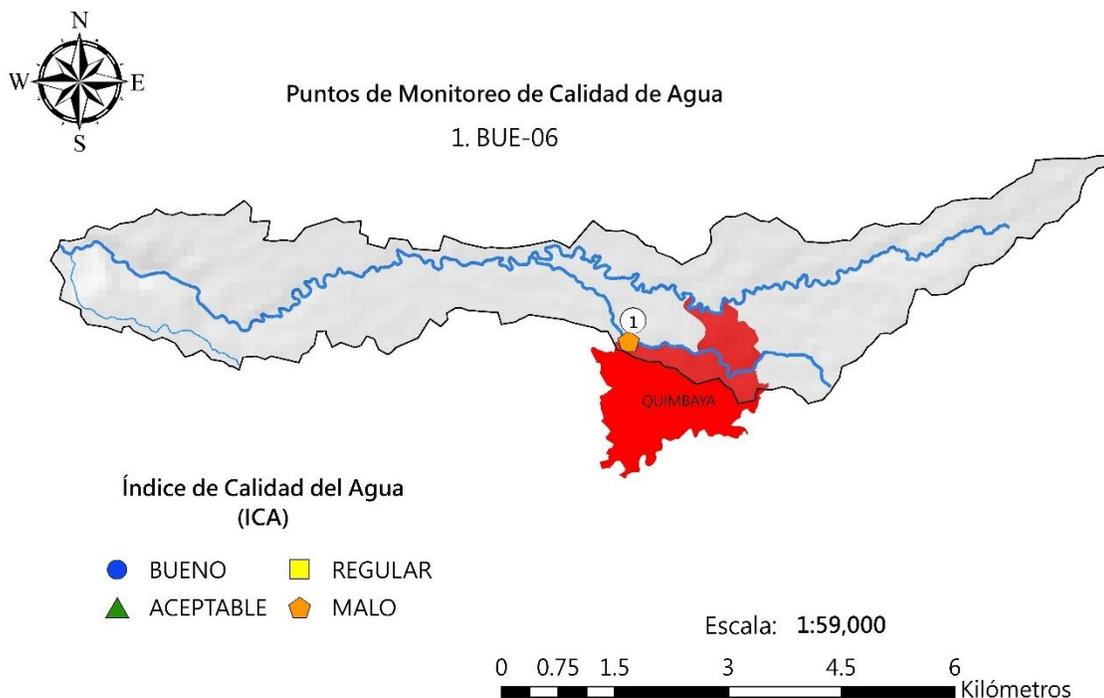


Figura 289. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya)

6.5.2. Unidad Hidrográfica de las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha

Para el caso de las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha fue estimado el ICA en tres de puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, el pH y los coliformes fecales -CF-. De manera que se clasificaron dos puntos con calidad en la categoría “Bueno”, y uno como “Aceptable”, tal como se presenta en la Tabla 283.

En términos generales, las tres bocatomas destinadas para el abastecimiento del municipio de Filandia presentan una buena calidad del recurso. Aun así, sobre la Quebrada Lacha se evidencia una eutrofización del cuerpo de agua (INP=0.6) por presencia de nitrógeno y fosforo, esto debido a una posible influencia de actividades agrícolas o en su defecto, por procesos naturales como la descomposición de materia orgánica o la erosión del suelo (ICE=0.88).

Tabla 283. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha (Municipio de Filandia)

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. Barro Blanco	BLA-01	4.700	-75.602	1	0.99	0.91	0.96	0.6	1	0.96	0.92	BUENO
Q. Chorrobolillos	CHO-01	4.692	-75.605	0.97	0.99	0.91	0.95	0.8	0.9	0.98	0.93	BUENO
Q. Lacha	LAC-01	4.692	-75.604	0.99	0.99	0.91	0.88	0.6	0.86	0.96	0.89	ACEPTABLE

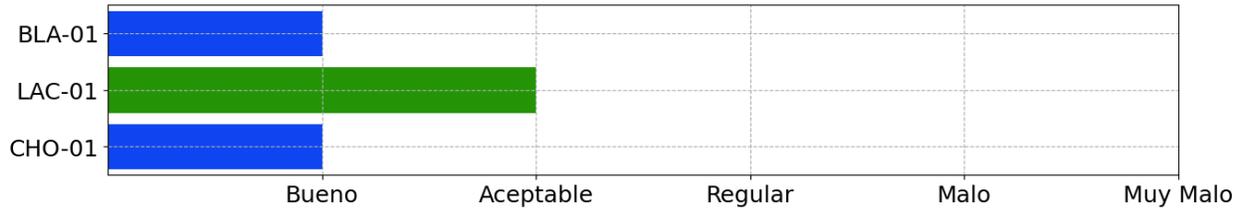


Figura 290. Descriptor del ICA por tramo Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha (Municipio de Filandia)

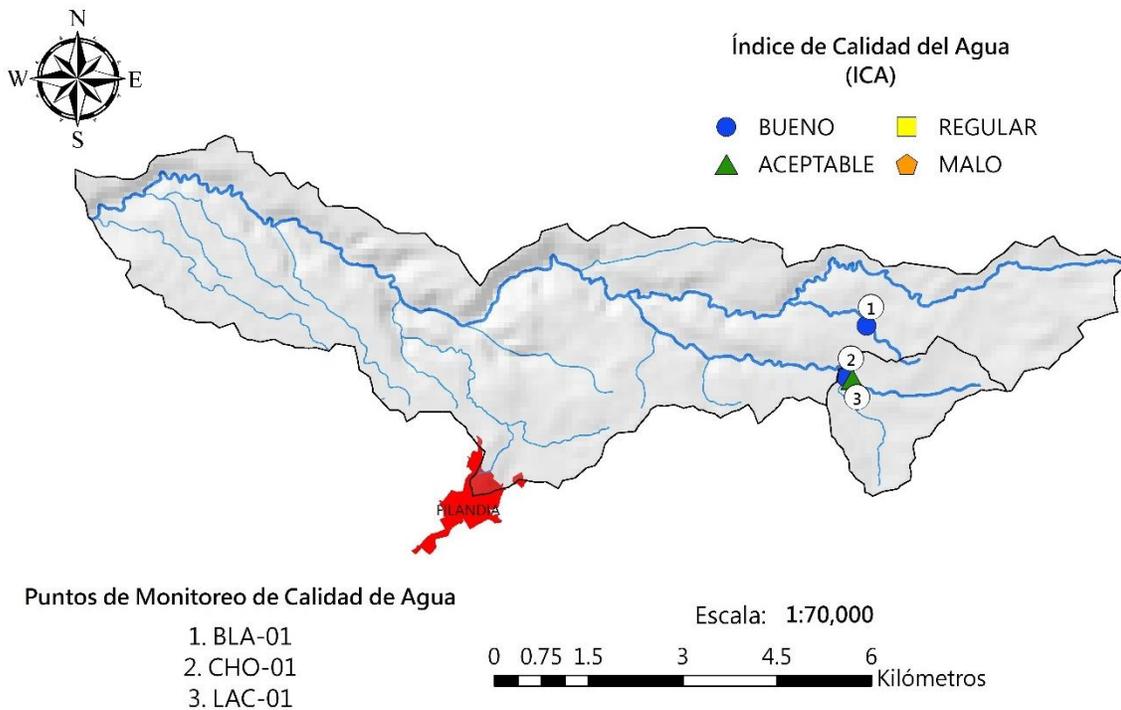


Figura 291. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha (Municipio de Filandia)

6.5.3. Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

Para el caso de la Quebrada Buenavista fue estimado el ICA en cinco puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, el pH y los coliformes fecales -CF-. De manera que se clasificaron dos puntos con calidad en la categoría “Bueno”, y cinco como “Aceptable”, tal como se presenta en la Tabla 284.

Los descriptores de calidad para la Quebrada Buenavista en general muestran una calidad “Aceptable”. Dentro de los subíndices de calidad a destacar es el alto valor de demanda química de oxígeno (IDQO=0.26) a la altura de la bocatoma para abastecimiento del municipio de Quimbaya, lo cual indica una alta presencia de materia orgánica e inorgánica posiblemente provocada por el desarrollo de actividades agrícolas aguas arriba del sistema de captación, lo cual por efecto de escorrentía directa aporta a la corriente nutrientes como nitrógeno y fosforo (INP=0.6) producto de la aplicación de fertilizantes.

Tabla 284. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre la Quebrada Buenavista

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. Buenavista (Bocatoma Quimbaya)	BUE-01	4.632	-75.736	0.93	0.99	0.26	0.87	0.6	1	0.98	0.81	ACEPTABLE
Q. Armenia (Buenavista)	BUE-02	4.618	-75.747	0.94	0.99	0.91	0.88	0.8	1	-	0.92	BUENO
Q. Buenavista A. Arriba Vertimiento Carmelitas	BUE-03	4.619	-75.760	0.94	0.99	0.91	0.88	0.8	1	-	0.92	BUENO
Q. Buenavista A. Abajo Quimbaya	BUE-04	4.612	-75.773	0.98	0.99	0.91	0.85	0.8	1	-	0.92	ACEPTABLE
Q. La Silenciosa	BUE-05	4.610	-75.815	0.94	0.99	0.91	0.7	0.8	0.93	-	0.88	ACEPTABLE
Q. Mina Rica	BUE-07	4.623	-75.812	0.69	0.99	0.91	0.65	0.8	0.88	-	0.82	ACEPTABLE
Q. Buenavista A. Arriba confluencia al R. La Vieja	BUE-08	4.623	-75.851	0.94	0.99	0.91	0.79	0.8	1	-	0.9	ACEPTABLE

Otro determinante para resaltar es el alto valor de conductividad eléctrica (ICE=0) presente en la Quebrada Buenavista aguas abajo del centro poblado de Quimbaya, indicando una posible afectación por efecto de vertimientos domésticos por parte de esta cabecera municipal. De igual manera, se evidencia conductividades medias sobre las quebradas La Silenciosa (ICE=0.7) y Mina Rica (ICE=0.65), siendo estas afectadas por descargas de tipo doméstico a lo largo de sus tramos mostrando una leve recuperación del sistema hídrico.

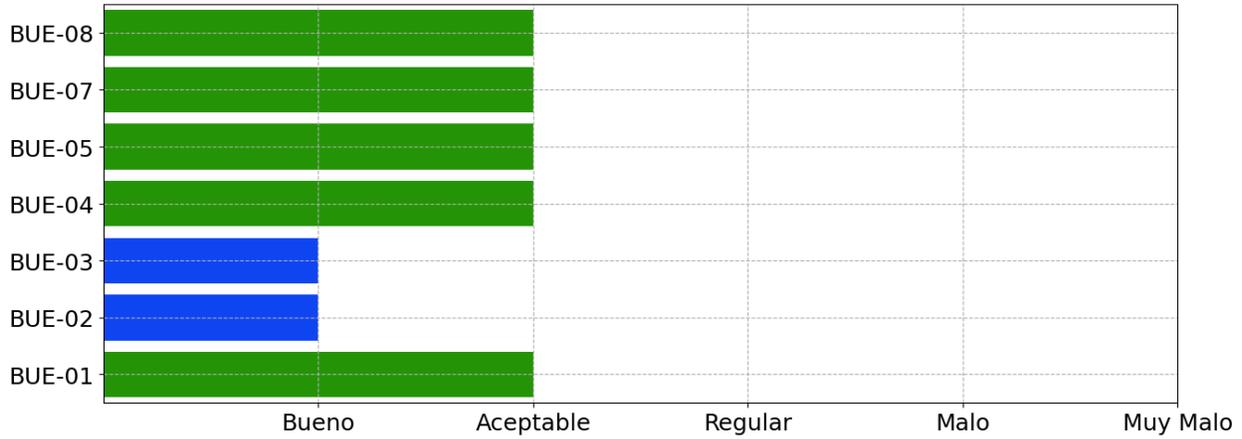


Figura 292. Descriptor del ICA por tramo Quebrada Buenavista

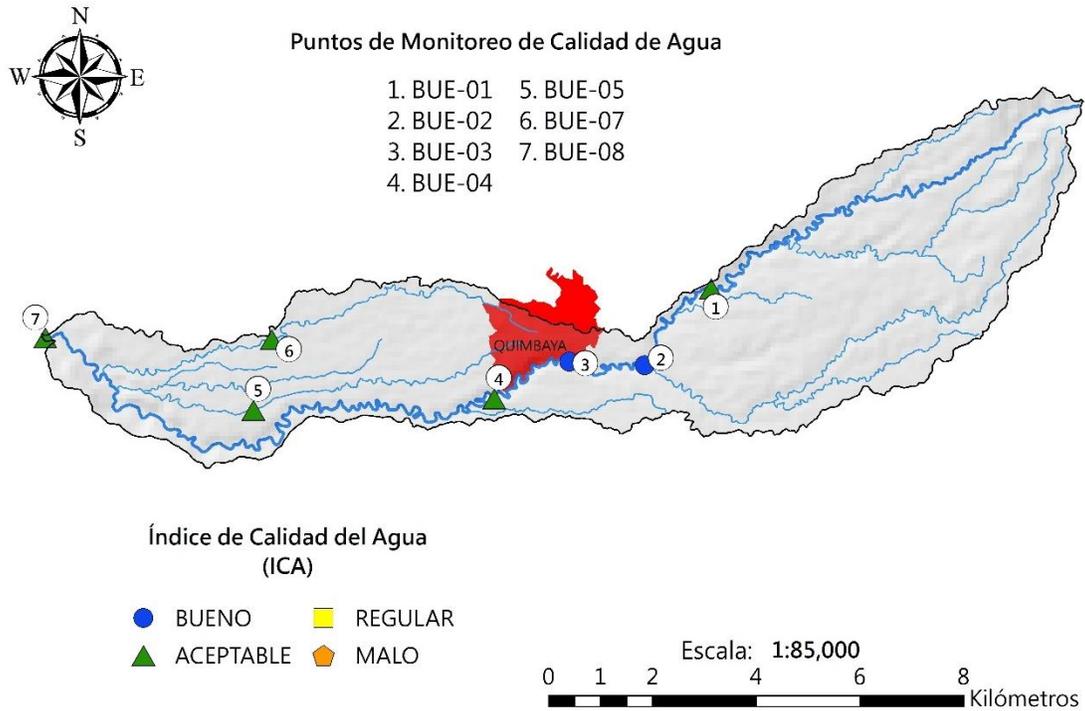


Figura 293. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

6.5.4. Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

Para el caso de la quebrada Cristales fue estimado el ICA en ocho puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -ISST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, y el pH. De manera que dos se clasificaron con calidad en la categoría "Bueno", cuatro como "Aceptable", uno "Regular", y uno como "Malo", tal como se presenta en la Tabla 285.

El análisis de la calidad de agua para la Quebrada Cristales parte de una condición "Aceptable" en la parte alta a la altura de su nacimiento en cercana al casco urbano de Armenia, con valor de conductividad alto (ICE=0.46) indicando iones disueltos en el agua producto de la posible escorrentía urbana a la corriente. Aguas abajo, la calidad del agua se degrada a "Regular" producto de descargas de tipo industrial por parte de la Planta de Beneficio Animal (PBA) Don Pollo la cual produce gran cantidad de materia orgánica (IDQO=0.125) llevando a niveles bajo de oxígeno disuelto (IsatOD=0.65), altas cantidades de iones disueltos en el agua (ICE=0) y la acidificación de la corriente (IpH=0.75).

Tabla 285. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre la Quebrada Cristales

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. Cristales (Bodega)	CRI-01	4.515	-75.692	0.93	0.99	0.91	0.46	0.8	1	-	0.85	ACEPTABLE
Q. Cristales A. Abajo Vertimiento Don Pollo	CRI-02	4.507	-75.708	0.65	0.83	0.125	0	0.8	0.75	-	0.52	REGULAR
Q. Cristales A. Abajo Parque Recreativo	CRI-03	4.499	-75.717	0.29	0.91	0.125	0.48	0.15	0.76	-	0.45	MALO
Q. Los Ángeles Marmato	CRI-04	4.465	-75.751	0.98	0.97	0.91	0.79	0.8	1	-	0.91	BUENO
Q. Cristales (Villa Sonia)	CRI-05	4.425	-75.763	1	0.98	0.91	0.79	0.8	1	-	0.91	BUENO
Q. Cristales (Hacienda Maravelez)	CRI-06	4.405	-75.792	0.96	0.98	0.91	0.77	0.8	1	-	0.9	ACEPTABLE
Q. La Jaramilla	CRI-07	4.421	-75.830	0.75	0.98	0.91	0.5	0.6	1	-	0.79	ACEPTABLE
Q. Cristales (Pisamal)	CRI-08	4.416	-75.840	0.91	0.99	0.91	0.68	0.8	1	-	0.88	ACEPTABLE

Esta degradación continúa aguas abajo sobre la Quebrada Cristales en la categoría "Malo" con la eutrofización del cuerpo de agua (INP=0.15) en nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, una alta presencia de materia orgánica (IDQO=0.125) en descomposición, bajos niveles de oxígeno disuelto (IsatOD=0.29) y altas conductividades (ICE=0.48) a causa de la continuada influencia de las descargas residuales de origen industrial.

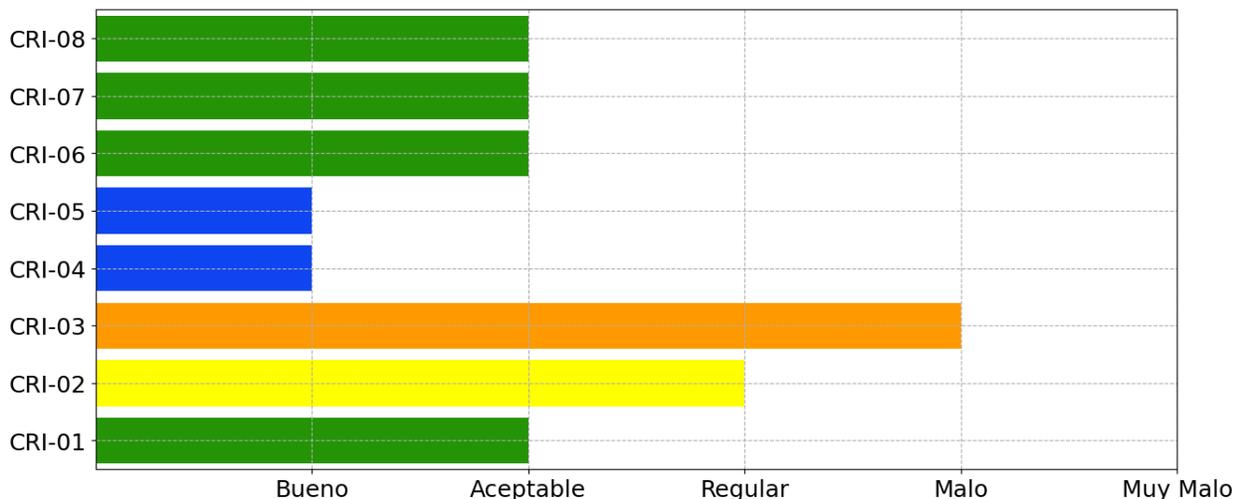


Figura 294. Descriptor del ICA por tramo Quebrada Cristales

Tanto en la parte media como en la parte baja de la Quebrada Cristales la calidad del agua sufre un proceso de recuperación al ecosistema, esto debido a la capacidad de asimilación de la corriente y el flujo de afluentes en la categoría “Bueno” como la Quebrada Los Ángeles Marmato y Cristales (sector Villa Sonia). Otro afluente es la Quebrada La Jaramilla con presencia de iones disueltos en el agua (ICE=0.5) y nutrientes (INP=0.6), lo cual disminuye la disponibilidad de oxígeno disuelto (IsatOD=0.75). Lo anterior es provocado por la leve asimilación de la Quebrada La Jaramilla a los vertimientos de tipo doméstico del centro poblado La Tebaida y la presencia de actividades agrícolas en la zona. Al final del tramo, la Quebrada Cristales antes de su confluencia al Río La Vieja, presenta una calidad “Aceptable”, evidenciándose su recuperación aunque con leves presiones por parte de posibles actividades de origen agropecuario (ICE=0.68 y INP=0.8).

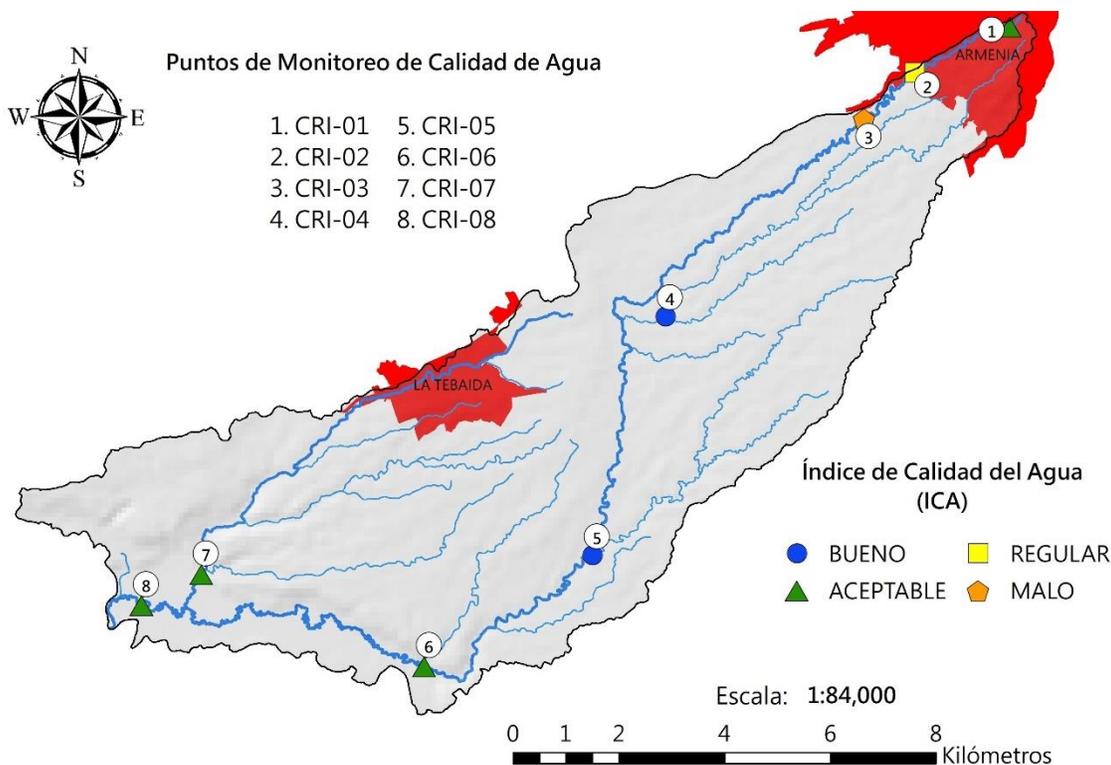


Figura 295. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

6.5.5. Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

Para el caso de la quebrada La Picota fue estimado el ICA en cinco puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -ISST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, el pH y los coliformes fecales -CF-. De manera que los cinco puntos se clasificaron con calidad "Aceptable", tal como se presenta en la Tabla 286.

En términos generales, las condiciones de calidad de agua para la Quebrada La Picota presentan una condición "Aceptable" resaltando la Quebrada La Picota a la altura de la captación para abastecimiento del casco urbano de Buenavista, si bien presentan una condición "Aceptable" es de resaltar el bajo ICA (0.72). Esto se debe principalmente a presencia de coliformes fecales o termotolerantes (ICF=0.31) y nutrientes en el cuerpo hídrico (INP=0.35) a causa de una posible afectación aguas arriba por la presencia de actividades agropecuarias no identificadas, alterando las condiciones naturales del ecosistema.

Tabla 286. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre la Quebrada La Picota

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. La Picota (Bocatoma Buenavista)	PIC-01	4.359	-75.729	0.96	0.99	0.91	0.77	0.35	0.72	0.31	0.72	ACEPTABLE
Q. La Picota A. Abajo Centro Poblado Buenavista	PIC-02	4.375	-75.760	0.93	0.99	0.91	0.65	0.8	1	-	0.88	ACEPTABLE
Q. Picota A. Arriba confluencia de la Q. Los Juanes	PIC-03	4.365	-75.772	0.97	0.99	0.91	0.65	0.8	1	-	0.88	ACEPTABLE
Q. Los Juanes Afluente Q. La Picota	PIC-04	4.365	-75.773	0.91	0.99	0.91	0.65	0.6	0.84	-	0.82	ACEPTABLE
Q. La Picota A. Arriba confluencia al R. Barragán	PIC-05	4.367	-75.775	0.94	0.99	0.91	0.62	0.8	0.82	-	0.85	ACEPTABLE

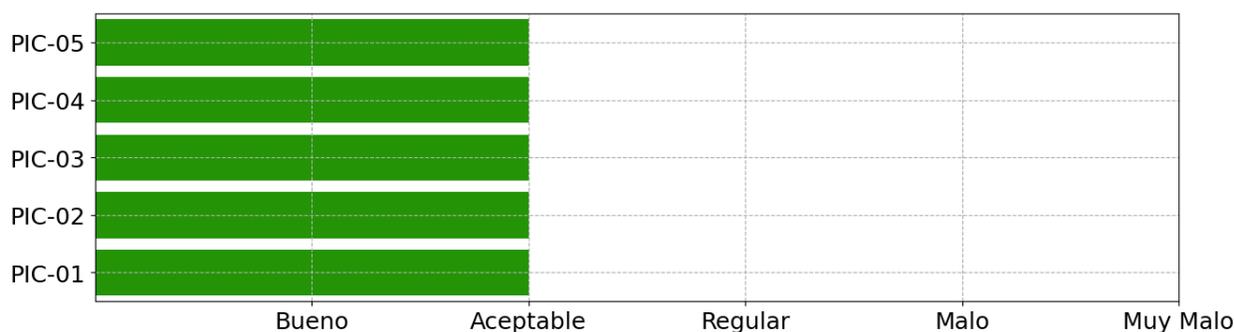


Figura 296. Descriptor del ICA por tramo Quebrada La Picota

Igualmente, sobre la Quebrada Los Juanes, la relación INP de 0.6 está asociada a posibles procesos de escorrentía de campos agrícolas fertilizados lo cual genera gran cantidad de iones disueltos en el agua tales como sodio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, bicarbonato y nitrato, provocando una alta mineralización o salinidad en la corriente, que al contrastar con los resultados de pH se evidencia una alcalinidad en el agua (IpH=0.84) producto de posibles altas concentraciones de sodio.

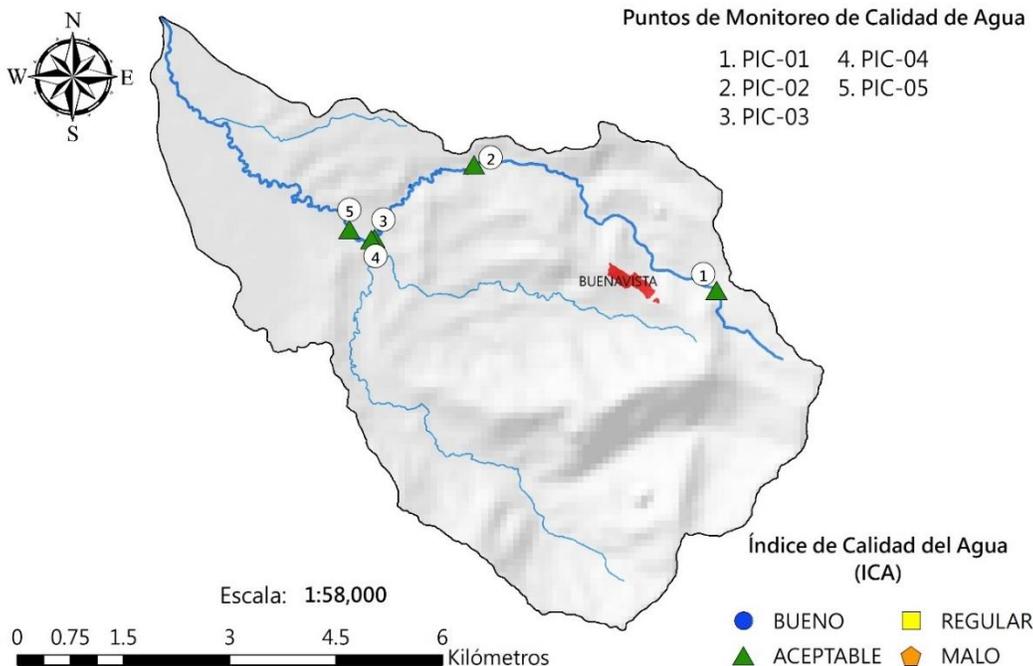


Figura 297. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

6.5.6. Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José

Para el caso de la quebrada San José fue estimado el ICA en un punto de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -ISST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, y el pH. De manera que dicho punto se clasificó como "Aceptable", tal como se presenta en la Tabla 287.

Tabla 287. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre la Quebrada San José (Municipio de Filandia)

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. San José A. Abajo Centro Poblado Filandia	SJO-01	4.679	-75.677	0.89	0.99	0.91	0.81	0.8	0.91	-	0.88	ACEPTABLE

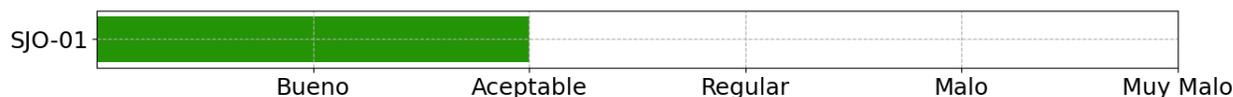


Figura 298. Descriptor del ICA por tramo Quebrada San José (Municipio de Filandia)

Sobre la Quebrada San José aguas abajo del casco urbano de Filandia, se presenta una condición de calidad “Aceptable” sobre esta corriente. Si bien se cuenta con un ICA en condiciones óptimas, es importante considerar un seguimiento constante al cuerpo hídrico debido a posibles alteraciones al ecosistema natural por cuenta de vertimientos domésticos e industriales provenientes de la cabecera municipal, de tal forma que se garantice su calidad.

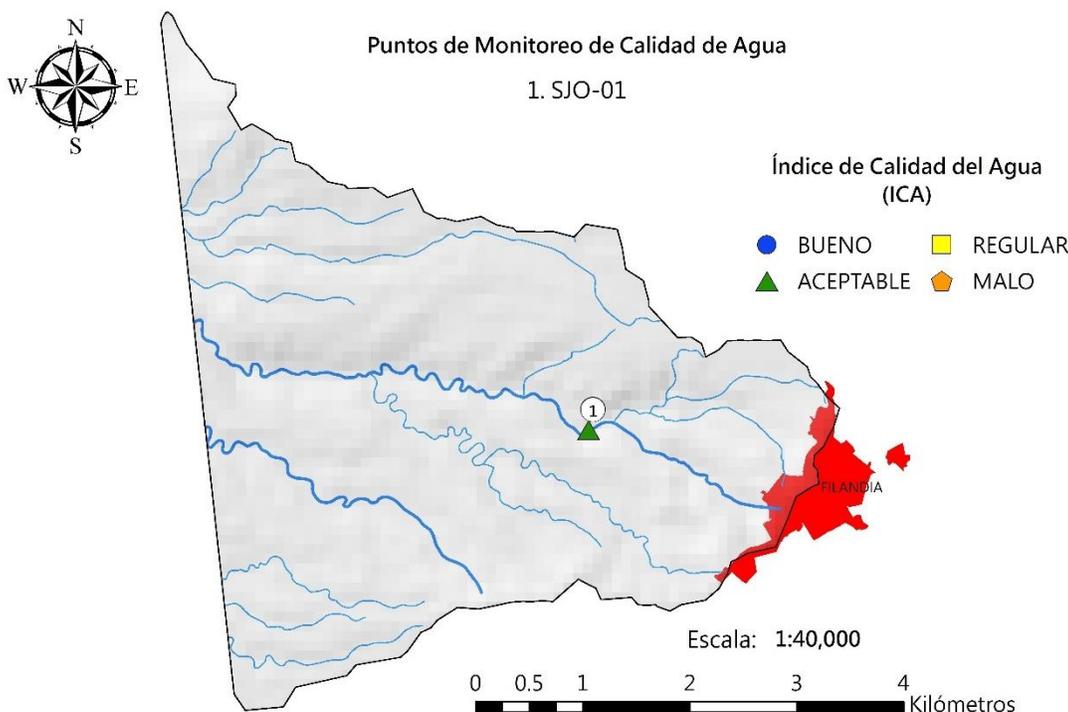


Figura 299. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José (Municipio de Filandia)

6.5.7. Unidad Hidrográfica del Río Espejo

Para el caso del Río Espejo fue estimado el ICA en 15 de puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -ISST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, y el pH. De manera que se clasificaron ocho puntos con calidad en la categoría “Aceptable”, seis como “Regular”, y uno “Malo”, tal como se presenta en la Tabla 288.

Tabla 288. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre el Río Espejo

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. Yeguas	ESP-01	4.614	-75.643	0.23	0.97	0.125	0	0.6	1	-	0.48	MALO
Q. Hojas Anchas A. Arriba de la Q. La Roca	ESP-02	4.588	-75.653	0.9	0.99	0.71	0.44	0.6	1	-	0.77	ACEPTABLE
Q. La Roca	ESP-03	4.590	-75.648	0.99	0.99	0.91	0.87	0.6	1	-	0.89	ACEPTABLE
Q. Hojas Anchas A. Abajo de la Q. Santa Helena	ESP-04	4.552	-75.673	0.82	0.94	0.26	0.48	0.6	1	-	0.68	REGULAR
Q. Hojas Anchas A. Arriba confluencia Q. Zanjón Hondo	ESP-05	4.547	-75.711	0.96	0.99	0.91	0.68	0.6	1	-	0.85	ACEPTABLE
Q. Zanjón Hondo	ESP-06	4.543	-75.709	0.68	0.93	0.26	0.06	0.6	1	-	0.58	REGULAR
R. Espejo A. Arriba confluencia de la Q. Armenia	ESP-07	4.539	-75.741	1	0.88	0.26	0.75	0.6	1	-	0.74	ACEPTABLE
Q. Armenia	ESP-08	4.539	-75.741	0.68	0.98	0.26	0	0.35	1	-	0.54	REGULAR
Q. Cajones A. Abajo Centro Poblado Montenegro	ESP-09	4.559	-75.759	0.47	0.97	0.26	0.44	0.35	1	-	0.57	REGULAR
R. Espejo A. Arriba confluencia de la Q. Carmelita	ESP-10	4.530	-75.769	0.67	0.69	0.26	0.69	0.35	1	-	0.6	REGULAR
Q. Carmelita	ESP-11	4.528	-75.767	0.65	0.87	0.26	0.58	0.6	1	-	0.65	REGULAR
R. Espejo (Pueblo Tapao)	ESP-12	4.511	-75.777	0.56	0.99	0.91	0.55	0.6	1	-	0.76	ACEPTABLE
Q. El Reposo	ESP-13	4.491	-75.780	0.93	0.99	0.91	0.83	0.35	1	-	0.83	ACEPTABLE
Q. La Argelia	ESP-14	4.491	-75.780	0.8	0.99	0.91	0.4	0.35	1	-	0.74	ACEPTABLE
R. Espejo A. Arriba confluencia al R. La Vieja	ESP-15	4.452	-75.832	0.98	0.94	0.91	0.64	0.6	1	-	0.84	ACEPTABLE



Figura 300. Descriptor del ICA por tramo Río Espejo

En la parte alta del Río Espejo a la altura del casco urbano del municipio de Circasia, se cuenta con la Quebrada Yeguas, la cual presenta un descriptivo de calidad "Malo" debido principalmente a vertimientos de tipo doméstico por parte de la cabecera de esta municipalidad aportando altas concentraciones de iones disueltos en el agua ($ICE=0$), gran cantidad de materia orgánica en descomposición ($IDQO=0.125$) y bajos niveles de oxígeno disuelto ($IsatOD=0.23$). Aguas abajo sobre la Quebrada Hojas Anchas antes de la desembocadura de la Quebrada La Roca, se observa un proceso de recuperación de la corriente al presentar una calidad "Aceptable" en el sistema hídrico bajando los niveles de iones disueltos en el agua ($ICE=0.44$), disminuyendo la cantidad de materia orgánica ($IDQO=0.71$) y elevando los niveles de oxígeno disuelto ($IsatOD=0.9$). Continuado a esto, el aporte al sistema de afluentes como la Quebrada La Roca en condiciones de calidad "Aceptable" ayudan aún más a su proceso de recuperación.

La Quebrada Hojas Anchas a su paso por el casco urbano de Armenia empieza un proceso de degradación en su condición de calidad pasando a "Regular" a causa de vertimientos domésticos sobre la corriente, reflejado principalmente en su alto contenido de materia orgánica ($IDQO=0.26$) y los altos niveles de iones disueltos en el agua ($ICE=0.48$), provocando una leve reducción en el oxígeno disuelto ($IsatOD=0.82$). Antes de su confluencia con la Quebrada Zanjón Hondo, la Quebrada Hojas Anchas de nuevo presenta una recuperación en calidad al ser "Aceptable", disminuyendo el contenido de materia orgánica ($IDQO=0.91$) y aumentando los niveles de oxígeno disuelto ($IsatOD=0.96$). Así mismo, la Quebrada Zanjón Hondo presenta una calidad "Regular" en su sistema al disponer de altos niveles de iones disueltos ($ICE=0.06$) y alto contenido de materia orgánica en descomposición ($IDQO=0.26$) producto de vertimientos domésticos provenientes del casco urbano de Armenia y de la presencia de cultivos al margen de la ronda hídrica, provocando bajos niveles de oxígeno disuelto ($IsatOD=0.68$).

Aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada Hojas Anchas y la Quebrada Zanjón Hondo se forma el Río Espejo. Este río aguas arriba de la confluencia de la Quebrada Armenia, presenta una recuperación moderada en calidad, manteniendo niveles altos de materia orgánica ($IDQO=0.26$) producto del aporte en carga de la Quebrada Zanjón Hondo y la presencia de cultivos en la zona, pero reduciendo los niveles de iones disueltos en el agua ($ICE=0.75$). Otro aspecto importante, es la presencia de sólidos disueltos ($ISST=0.88$) debido a la extracción permanente de material tanto aguas arriba como aguas abajo del sitio de muestreo.

Por otra parte, la Quebrada Armenia antes de su confluencia al Río Espejo presenta una calidad "Regular" con altos niveles de materia orgánica en descomposición

(IDQO=0.26), niveles altos de iones disueltos en el agua (ICE=0) y la eutrofización de la corriente por nitrógeno y fosforo (INP=0.35). Lo anterior se presenta a consecuencia de los vertimientos domésticos por parte del casco urbano de Armenia y el posible arrastre de nutrientes producto de fertilizantes en sistemas agrícolas.

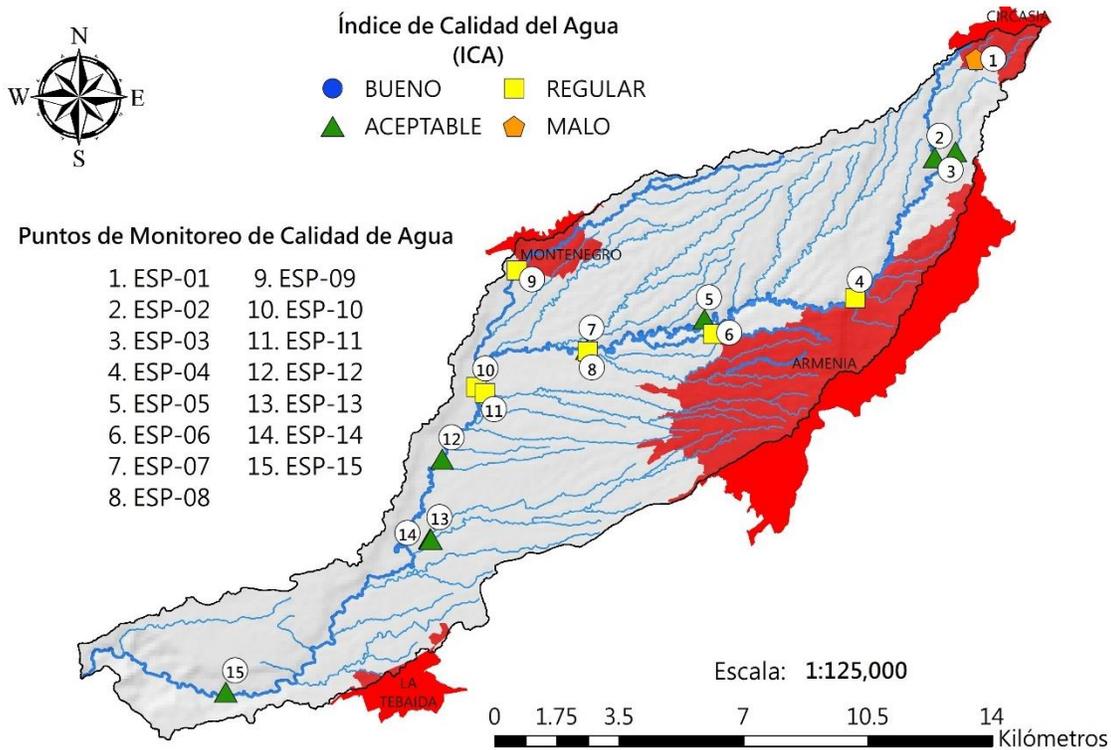


Figura 301. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Río Espejo

Otro afluente importante del Río Espejo es la Quebrada Cajones. Esta corriente presenta una calidad “Regular” aguas abajo del casco urbano de Montenegro producto de las descargas domésticas por parte de este centro poblado viéndose reflejado en los altos niveles de conductividad eléctrica (ICE=0.44), la presencia de materia orgánica en descomposición (IDQO=0.26) y los bajos niveles de oxígeno disuelto en la corriente hídrica (IsatOD=0.47). Al confluir la Quebrada Cajones al Río Espejo, se evidencia una afectación en la calidad de este cuerpo de agua que, aunado a la presencia de actividades agropecuarias en la zona, genera una degradación al ecosistema con una calidad “Regular”, tal como se evidencia aguas arriba de la confluencia de la Quebrada Carmelita reflejando la presencia de materia orgánica (IDQO=0.26) y altos niveles de nutrientes en el agua (INP=0.35). De igual manera, la Quebrada Carmelita antes de su confluencia al Río Espejo, presenta una calidad “Regular” debido a vertimientos domésticos provenientes del casco urbano de Armenia.

Por último, el Río Espejo en su parte media-baja hasta su desembocadura al Río La Vieja, recupera su condición de calidad en “Aceptable”, pero resaltando algunos focos de atención por contaminación provenientes de afluentes como la Quebrada La Argelia, debido a una posible afectación por vertimientos domésticos del casco urbano de Armenia, esto corroborado por los altos niveles de conductividad eléctrica (ICE=0.4) y la alta presencia de nutrientes (INP=0.35) en estas corrientes hídricas.

6.5.8. Unidad Hidrográfica del Río Gris

Para el caso del Río Gris fue estimado el ICA en dos puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, el pH y los coliformes fecales -CF-. De manera que se clasificaron un punto con calidad en la categoría “Aceptable” y otro punto en la categoría “Regular”, tal como se presenta en la Tabla 289.

Tabla 289. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre el Río Gris

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
R. Gris (Génova)	GRI-01	4.196	-75.790	0.94	0.99	0.91	0.42	0.35	0.89	0.1	0.66	REGULAR
R. Gris A. Arriba confluencia al R. San Juan	GRI-02	4.207	-75.792	0.93	0.96	0.91	0.42	0.35	1	-	0.76	ACEPTABLE

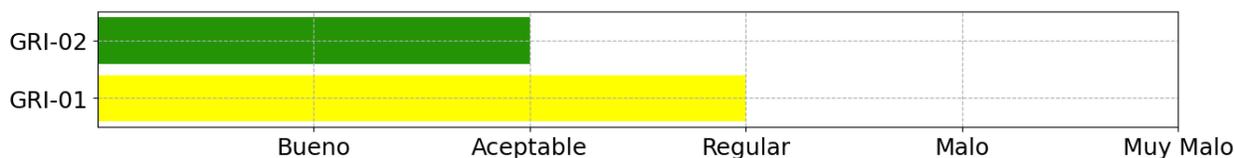


Figura 302. Descriptor del ICA por tramo Río Gris

Sobre el Río Gris aguas arriba de la cabecera municipal de Génova se encuentra la captación para abastecimiento humano de este centro poblado, el cual presenta una condición de calidad “Regular”. Esto debido principalmente a una alta presencia de coliformes fecales (ICF=0.1), altos niveles de nutrientes (INP=0.35) e iones disueltos en el agua (ICE=0.42) producto de una posible afectación por actividades agropecuarias aguas arriba del sistema de captación. Antes de su confluencia al Río San Juan, el Río Gris presenta una mejora en su calidad hídrica a “Aceptable”, aun así, es importante señalar la presencia de vertimientos directos de tipo doméstico sobre este cuerpo de agua.

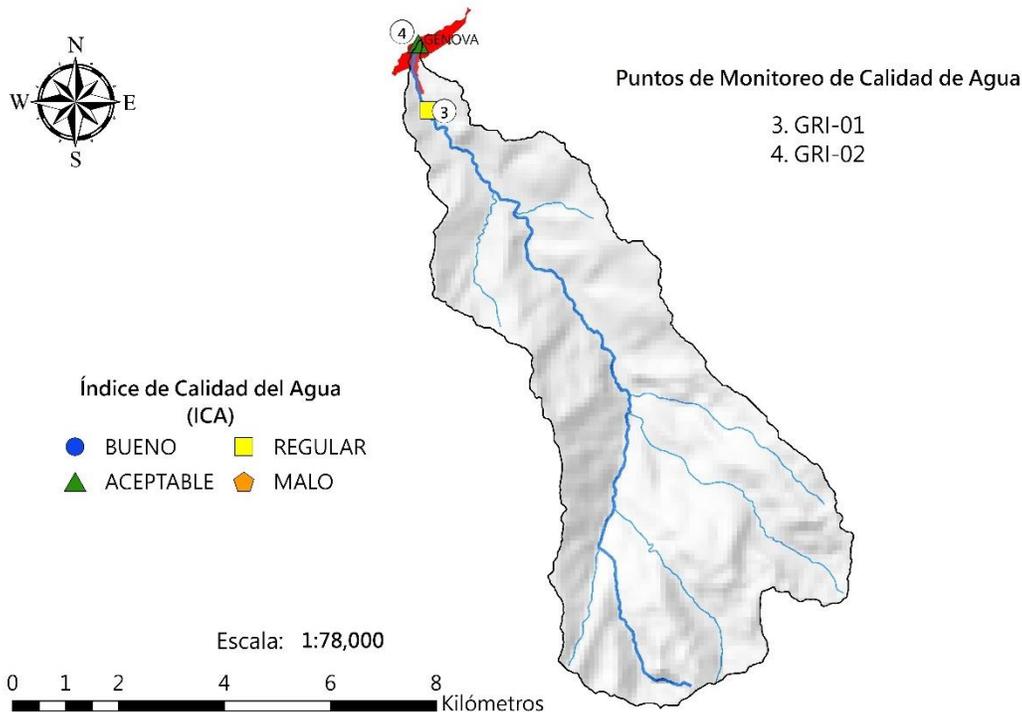


Figura 303. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Río Gris

6.5.9. Unidad Hidrográfica del Río San Juan

Para el caso del Río San Juan fue estimado el ICA en dos puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, y el pH. De manera que un punto fue clasificado como Aceptable y uno como Regular, tal como se presenta en la Tabla 290.

Tabla 290. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre el Río San Juan

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
R. San Juan	SJ-01	4.202	-75.797	0.95	0.99	0.91	0.8	0.35	1	0.77	0.83	ACEPTABLE
R. Gris (Génova)	GRI-01	4.196	-75.790	0.94	0.99	0.91	0.42	0.35	0.89	0.1	0.66	REGULAR
R. Gris A. Arriba confluencia al R. San Juan	GRI-02	4.207	-75.792	0.93	0.96	0.91	0.42	0.35	1	-	0.76	ACEPTABLE
R. San Juan A. Arriba confluencia al R. Rojo	SJ-03	4.216	-75.781	0.95	0.37	0.91	0.65	0.15	0.94	-	0.66	REGULAR

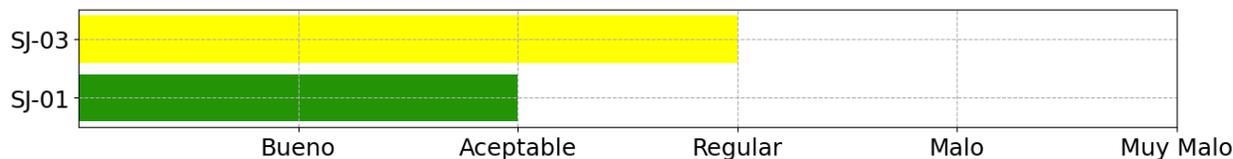


Figura 304. Descriptor del ICA por tramo Río San Juan

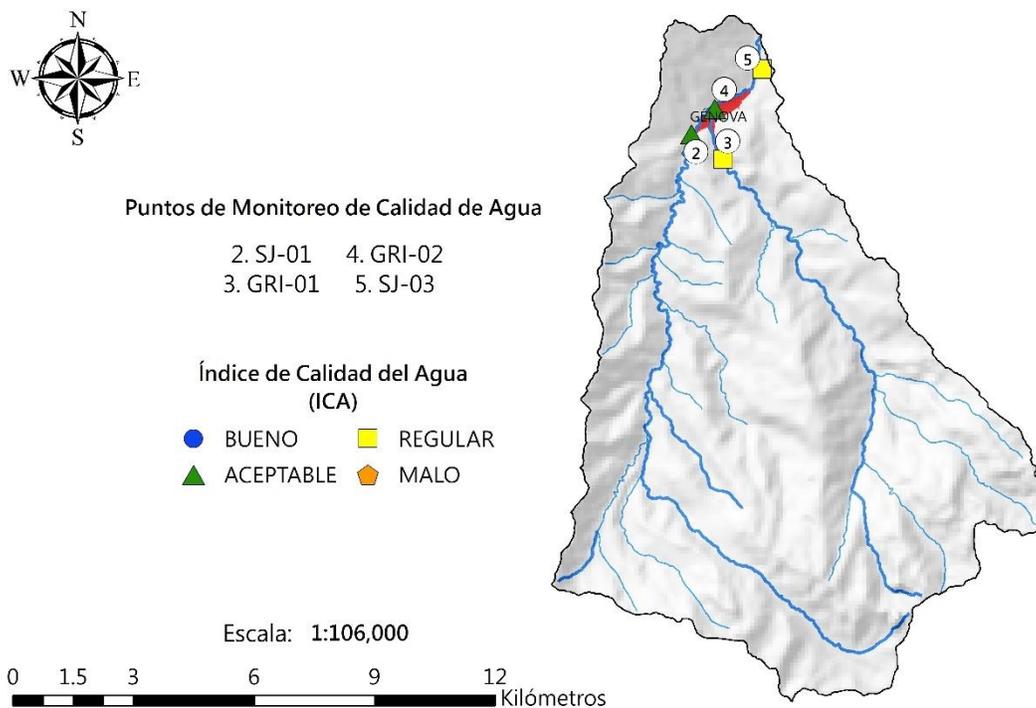


Figura 305. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Río San Juan

Por su parte, el Río San Juan presenta dos condiciones de calidad a lo largo de su tramo antes de su confluencia al Río Rojo. La primera condición es "Aceptable" aguas arriba de la influencia del centro poblado de Génova con una leve alteración por parte de actividades agrícolas en la zona (INP=0.35) provocada por el arrastre de nutrientes como nitrógeno y fosforo a la corriente. Una segunda condición para el Río San Juan es "Regular" asociada principalmente a altos niveles de eutrofización (INP=0.15) y a la presencia de sólidos suspendidos (ISST=0.37) en la corriente antes de su desembocadura al Río Rojo. Aunado a lo anterior, se relacionan las condiciones de calidad presentadas para el Río Gris, siendo este una afluente principal del Río San Juan.

6.5.10. Unidad Hidrográfica del Río Rojo

Para el caso del Río Rojo fue estimado el ICA en un punto de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, y el pH. De manera que dicho punto fue clasificado como Aceptable, tal como se presenta en la Tabla 291.

Tabla 291. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre el Río Rojo

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
R. Rojo A. Arriba confluencia del R. San Juan	ROJ-01	4.219	-75.779	0.95	0.8	0.91	0.59	0.35	0.88	-	0.74	ACEPTABLE
R. San Juan	SJ-01	4.202	-75.797	0.95	0.88	0.91	0.8	0.35	1	0.77	0.81	ACEPTABLE
R. Gris (Génova)	GRI-01	4.196	-75.790	0.94	0.99	0.91	0.42	0.35	0.89	0.1	0.66	REGULAR
R. Gris A. Arriba confluencia al R. San Juan	GRI-02	4.207	-75.792	0.93	0.96	0.91	0.42	0.35	1	-	0.76	ACEPTABLE
R. San Juan A. Arriba confluencia al R. Rojo	SJ-03	4.216	-75.781	0.95	0.37	0.91	0.65	0.15	0.94	-	0.66	REGULAR

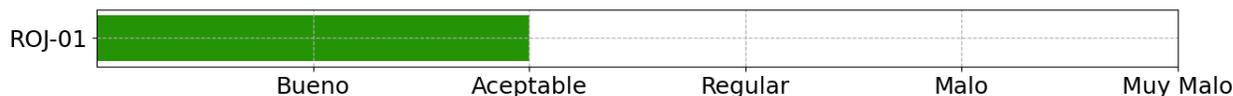


Figura 306. Descriptor del ICA por tramo Río Rojo

La condición de calidad de agua para el Río Rojo se establece como "Aceptable" con alta disponibilidad de nutriente (INP=0.35) y la presencia de iones disueltos en el agua (ICE=0.59), producto de una posible afectación por aporte de carga difusa de origen agrícola aguas arriba de sitio de monitoreo. Adicionalmente, se relacionan las condiciones de calidad presentadas para el Río San Juan, siendo este una afluente importante del Río Rojo.

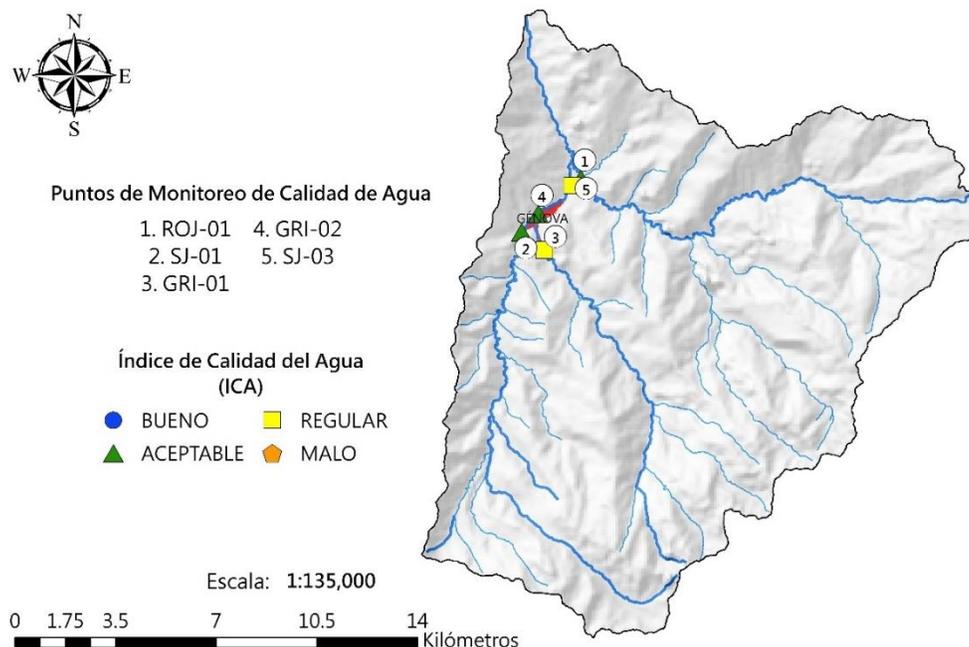


Figura 307. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Río Rojo

6.5.11. Unidad Hidrográfica del Río Lejos

Para el caso del Río Lejos fue estimado el ICA en nueve de puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, el pH y los coliformes fecales -CF-. De manera que se clasificaron los nueve puntos con calidad en la categoría “Aceptable”, tal como se presenta en la Tabla 292.

El Río Lejos presenta una condición de calidad “Aceptable” para las corrientes consideradas dentro del plan de monitoreo del presente estudio. Para el caso de las bocatomas para abastecimiento del casco urbano de Pijao no presentan riesgo alguno por presencia de coliformes fecales, pero si una presión por eutrofización de la corriente hídrica en nutrientes como nitrógeno o fosforo producto de una posible presencia de actividad agrícola en la zona o en su defecto por procesos naturales como la descomposición de materia orgánica o la erosión del suelo y rocas. Esta presión por eutrofización se acentúa en una mayor proporción en la bocatoma de la Quebrada La Cascada (INP=0.35) que en la bocatoma ubicada en la Quebrada Las Pizarras (INP=0.6).

Tabla 292. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre el Río Lejos

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. Las Pizarras (Pijao)	LEJ-01	4.333	-75.689	0.97	0.99	0.91	0.64	0.6	1	0.98	0.87	ACEPTABLE
R. Lejos A. Abajo de la Q. Pizarras	LEJ-02	4.337	-75.700	0.93	0.99	0.91	0.48	0.35	1	-	0.77	ACEPTABLE
R. Lejos A. Abajo de la Q. Pijao	LEJ-03	4.331	-75.705	0.93	0.99	0.91	0.51	0.35	1	-	0.78	ACEPTABLE
Q. La Cascada (Q. Pijao)	LEJ-05	4.340	-75.712	0.96	0.99	0.91	0.79	0.35	1	0.97	0.86	ACEPTABLE
Q. El Inglés	LEJ-06	4.332	-75.705	0.97	0.99	0.91	0.62	0.35	1	-	0.8	ACEPTABLE
R. Lejos A. Arriba confluencia del R. Azul	LEJ-07	4.313	-75.722	0.95	0.97	0.91	0.47	0.35	0.94	-	0.76	ACEPTABLE
R. Azul A. Arriba confluencia al R. Lejos	LEJ-08	4.292	-75.734	0.95	0.94	0.91	0.26	0.35	0.92	-	0.72	ACEPTABLE
Q. La Maizena	LEJ-09	4.270	-75.743	0.91	0.99	0.91	0.63	0.35	0.95	-	0.79	ACEPTABLE
R. Lejos A. Arriba confluencia al R. Barragán	LEJ-10	4.298	-75.775	1	0.97	0.91	0.45	0.35	0.85	-	0.75	ACEPTABLE

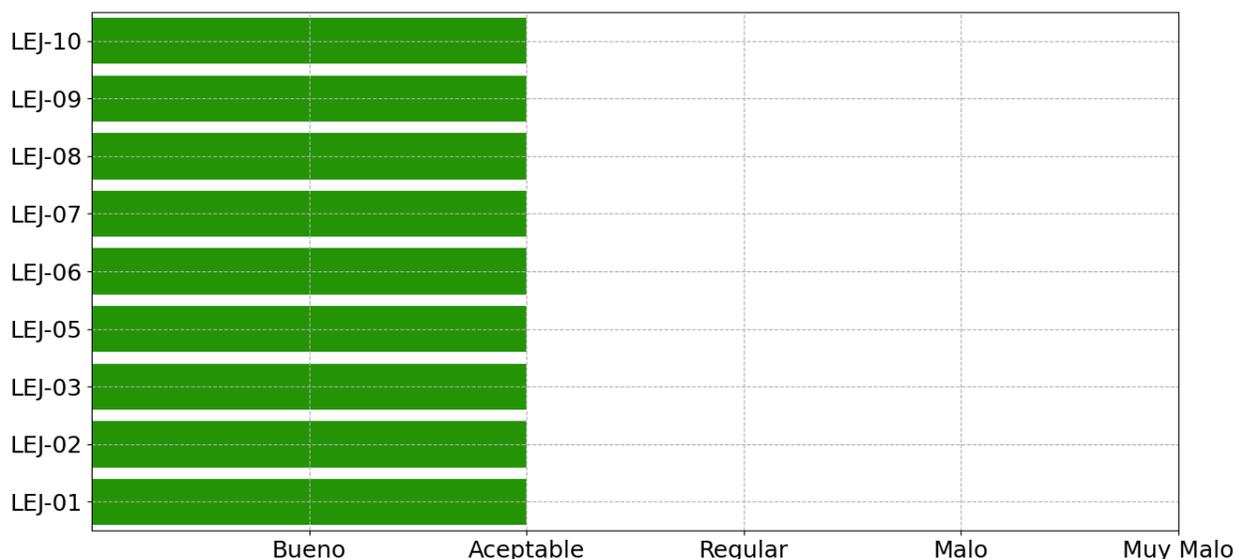


Figura 308. Descriptor del ICA por tramo Río Lejos

Otro punto de referencia es la Quebrada El Inglés, la cual es expuesta a una presión por carga contaminante de origen doméstico y el Río Lejos a su paso por el casco urbano de Pijao. Esta presión se evidencia en los altos valores de conductividad eléctrica (ICE=0.62 y ICE=0.47, respectivamente) y la degradación del ecosistema por la alta presencia de nutrientes (INP=0.35) en el agua. En términos generales, el Río Lejos y sus afluentes desde aguas abajo del centro poblado de Pijao hasta su confluencia al Río Barragán presentan eutrofización en sus corrientes (INP=0.35) y altos valores de iones disueltos en el agua tales como sodio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, bicarbonato y nitrato, producto de actividades agrícolas en la zona y posibles erosiones de formaciones geológicas naturales.

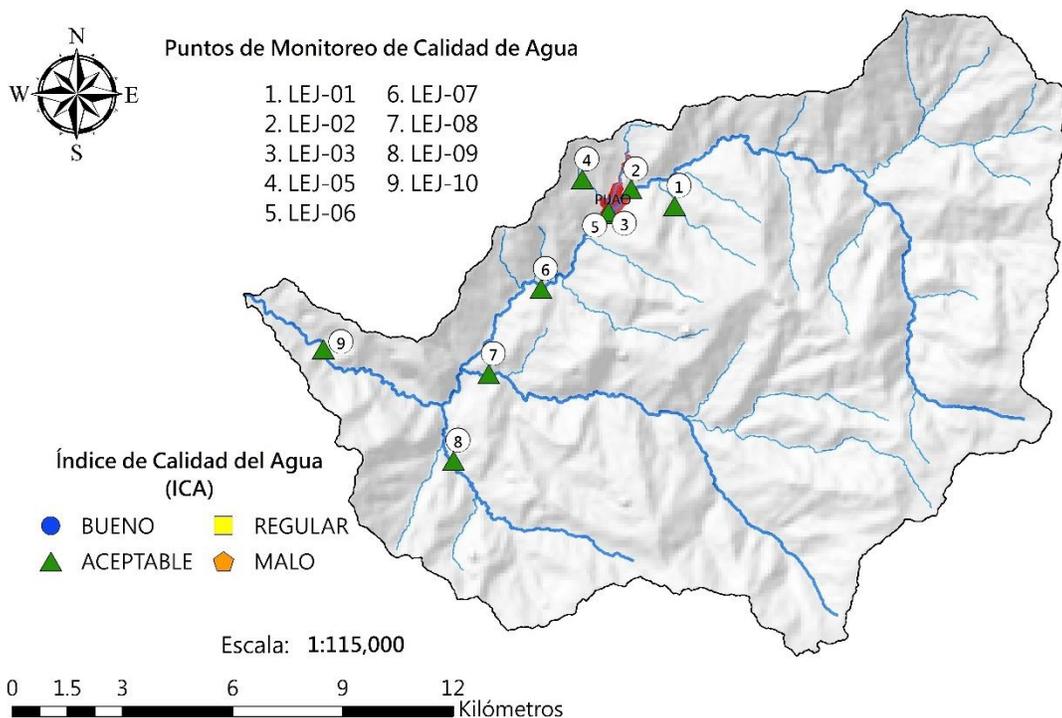


Figura 309. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Río Lejos

6.5.12. Unidad Hidrográfica del Río Quindío

Para el caso del Río Quindío fue estimado el ICA en 57 puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, el pH y los coliformes fecales -CF-. De manera que se clasificó dos puntos con calidad en la categoría Bueno, cincuenta y uno como Aceptable y cuatro Regular, tal como se presenta en la Tabla 293.

En la parte alta de la cuenca del Río Quindío a la altura del Valle del Cocora, la calidad del agua presenta una condición "Aceptable" presentando niveles de eutrofización en las corrientes (Río Quindío y Quebrada Cárdenas) por presencia de nitrógeno y fosforo, además de altos niveles de conductividad eléctrica, esto debido a presiones por parte de actividades silvopastoriles en sus rondas hídricas. Por otra parte, los sitios de captación para el abastecimiento y consumo de Salento ubicados sobre las Quebradas Cruz Gorda

(ICF=0.57), Cristalina (ICF=0.77) y Bolivia (ICF=0.98), se evidencia la presencia de coliformes fecales por posible presencia de actividades pecuarias en contraste con esta última captación. De igual manera se presentan valores altos de iones disueltos en el agua producto de posibles procesos de erosión de formaciones geológicas naturales.

Tabla 293. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre el Río Quindío

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
R. Quindío A. Arriba de La Truchera	QUI-01	4.637	-75.484	0.97	0.99	0.91	0.56	0.35	1	-	0.79	ACEPTABLE
R. Quindío A. Abajo de La Truchera	QUI-02	4.633	-75.493	0.96	0.99	0.91	0.41	0.6	0.92	-	0.8	ACEPTABLE
Q. Cárdenas	QUI-03	4.644	-75.479	0.98	0.99	0.91	0.49	0.35	0.85	-	0.76	ACEPTABLE
R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. Cárdenas	QUI-04	4.632	-75.505	0.92	0.99	0.91	0.57	0.35	0.78	-	0.75	ACEPTABLE
R. Quindío (El Escobal)	QUI-05	4.638	-75.531	0.96	0.99	0.91	0.48	0.35	0.79	-	0.75	ACEPTABLE
Q. Cruz Gorda	QUI-06	4.627	-75.540	0.92	0.97	0.91	0.64	0.8	0.77	0.57	0.8	ACEPTABLE
Q. Cristalina	QUI-07	4.629	-75.542	0.93	0.99	0.91	0.67	0.6	0.79	0.77	0.81	ACEPTABLE
Q. Bolivia	QUI-08	4.632	-75.544	0.95	0.99	0.91	0.72	0.8	0.78	0.98	0.88	ACEPTABLE
R. Quindío (Final Valle del Cocora)	QUI-09	4.642	-75.558	0.96	0.99	0.91	0.69	0.6	0.74	-	0.82	ACEPTABLE
Q. Boquía	QUI-10	4.636	-75.588	0.95	0.99	0.91	0.86	0.35	1	-	0.84	ACEPTABLE
R. Quindío (Salento Bocatoma Armenia)	QUI-11	4.628	-75.595	0.94	0.99	0.91	0.77	0.35	0.85	0.71	0.79	ACEPTABLE
Q. La Víbora (Bocatoma Armenia)	QUI-12	4.628	-75.595	0.96	0.99	0.91	0.93	0.35	0.9	0.98	0.86	ACEPTABLE
R. Quindío A. Arriba confluencia del R. Navarco	QUI-13	4.618	-75.605	0.94	0.99	0.91	0.78	0.6	0.86	-	0.85	ACEPTABLE
Q. Corozal	QUI-14	4.616	-75.551	0.95	0.99	0.91	0.81	0.35	0.89	0.69	0.8	ACEPTABLE
Q. La Calzada	QUI-15	4.633	-75.573	0.95	0.87	0.125	0	0.8	0.96	-	0.61	REGULAR
R. Boquerón	QUI-16	4.623	-75.582	0.97	0.99	0.91	0.73	0.35	0.86	-	0.8	ACEPTABLE
R. Navarco	QUI-17	4.618	-75.604	0.95	0.96	0.91	0.78	0.35	0.86	-	0.8	ACEPTABLE
R. Quindío A. Arriba de la Q. Cusumbo	QUI-18	4.600	-75.621	0.95	0.93	0.91	0.77	0.35	1	-	0.81	ACEPTABLE
Q. Las Águilas	QUI-19	4.609	-75.626	0.98	0.99	0.91	0.85	0.6	0.91	0.71	0.85	ACEPTABLE
Q. Llorona	QUI-20	4.611	-75.622	0.98	0.99	0.91	0.81	0.8	1	0.95	0.92	BUENO
R. Quindío (Bocatoma Armenia Estación Bombeo)	QUI-21	4.575	-75.632	0.96	0.99	0.91	0.77	0.35	1	0.62	0.8	ACEPTABLE
R. Quindío A. Arriba Captación Tebaida	QUI-22	4.534	-75.660	0.92	0.92	0.91	0.79	0.35	0.84	-	0.79	ACEPTABLE
Bocatoma Tebaida (R. Quindío)	QUI-23	4.534	-75.661	0.92	0.93	0.91	0.79	0.35	1	0.98	0.84	ACEPTABLE
Retorno Bayona R. Quindío (Bocatoma La Tebaida)	QUI-24	4.534	-75.661	0.96	0.93	0.91	0.8	0.15	1	0.97	0.82	ACEPTABLE
R. Quindío A. Abajo Vertimiento Frigocafé	QUI-25	4.530	-75.665	0.99	0.99	0.91	0.76	0.35	0.9	-	0.82	ACEPTABLE
Q. La Florida	QUI-27	4.525	-75.676	0.95	0.89	0.26	0.27	0.6	1	-	0.65	REGULAR
Q. San Nicolas (El Cafetero)	QUI-28	4.524	-75.680	0.88	0.87	0.125	0	0.8	0.98	-	0.6	REGULAR
R. Quindío A. Arriba confluencia de la Q. El Pescador	QUI-29	4.505	-75.686	0.97	0.99	0.91	0.71	0.8	0.97	-	0.89	ACEPTABLE
Q. El Pescador	QUI-30	4.501	-75.687	0.99	0.99	0.91	0.7	0.6	1	-	0.86	ACEPTABLE
R. Quindío A. Arriba confluencia del R. Verde	QUI-31	4.397	-75.763	0.95	0.99	0.91	0.71	0.8	0.9	-	0.88	ACEPTABLE
R. Verde (Parte Alta)	QUI-32	4.408	-75.674	0.88	0.97	0.91	0.72	0.35	1	-	0.8	ACEPTABLE
Q. El Roble (Córdoba)	QUI-33	4.373	-75.677	0.94	0.99	0.91	0.72	0.35	0.93	0.56	0.77	ACEPTABLE
Q. La Española	QUI-34	4.404	-75.690	0.94	0.99	0.91	0.7	0.6	1	-	0.85	ACEPTABLE
Q. La Siberia	QUI-35	4.406	-75.692	0.95	0.99	0.91	0.64	0.35	1	-	0.8	ACEPTABLE

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
R. Verde A. Arriba Centro de la Guadua	QUI-36	4.404	-75.715	0.95	0.98	0.91	0.66	0.8	0.81	-	0.85	ACEPTABLE
Q. Sardineros (R. Verde)	QUI-37	4.403	-75.725	0.96	0.99	0.91	0.46	0.6	0.92	-	0.8	ACEPTABLE
R. Verde A. Arriba confluencia del R. Santo Domingo	QUI-38	4.405	-75.727	0.95	0.97	0.91	0.62	0.8	0.86	-	0.85	ACEPTABLE
R. Santo Domingo (Calarcá)	QUI-39	4.509	-75.614	0.92	0.96	0.91	0.6	0.35	1	0.59	0.76	ACEPTABLE
Q. La Gata A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	QUI-40	4.509	-75.613	0.93	0.99	0.91	0.46	0.35	1	0.78	0.78	ACEPTABLE
Q. El Oso	QUI-41	4.512	-75.613	0.93	0.92	0.91	0.73	0.35	1	-	0.8	ACEPTABLE
Q. El Salado (Bocatoma)	QUI-42	4.530	-75.615	0.96	0.99	0.91	0.61	0.35	1	-	0.8	ACEPTABLE
Q. San Rafael	QUI-43	4.523	-75.614	0.98	0.99	0.91	0.73	0.35	0.86	0.69	0.79	ACEPTABLE
R. Santo Domingo (San Rafael)	QUI-44	4.521	-75.621	0.96	0.91	0.91	0.62	0.35	0.76	-	0.75	ACEPTABLE
Q. El Naranjal (Bocatoma Calarcá)	QUI-45	4.531	-75.627	0.93	0.99	0.91	0.59	0.35	1	0.57	0.77	ACEPTABLE
Q. Naranjal A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	QUI-46	4.512	-75.643	0.67	0.89	0.26	0	0.6	0.95	-	0.55	REGULAR
Q. El Salado (Bocatoma Corregimiento La Virginia)	QUI-47	4.487	-75.635	0.92	0.99	0.91	0.77	0.35	0.94	0.89	0.83	ACEPTABLE
R. Santo Domingo A. Arriba confluencia de la Q. Las Marías	QUI-48	4.487	-75.663	0.96	0.92	0.91	0.56	0.6	0.98	-	0.82	ACEPTABLE
Q. Las Marías	QUI-49	4.487	-75.663	1	0.99	0.91	0.61	0.35	1	-	0.81	ACEPTABLE
R. Santo Domingo A. Arriba confluencia de la Q. Negra	QUI-50	4.451	-75.689	0.95	0.93	0.91	0.61	0.6	0.96	-	0.82	ACEPTABLE
Q. Negra	QUI-51	4.451	-75.689	0.96	0.99	0.91	0.67	0.6	0.86	-	0.83	ACEPTABLE
Q. La Pitala	QUI-52	4.451	-75.690	0.96	0.96	0.91	0.82	0.8	1	-	0.91	BUENO
R. Santo Domingo A. Arriba confluencia al R. Verde	QUI-53	4.406	-75.728	0.97	0.97	0.91	0.62	0.8	0.88	-	0.86	ACEPTABLE
R. Verde (Bocatoma Barcelona)	QUI-54	4.411	-75.657	0.95	0.98	0.91	0.68	0.35	0.89	0.91	0.81	ACEPTABLE
Q. La Congala (R. Verde)	QUI-55	4.409	-75.744	0.94	0.99	0.91	0.71	0.8	0.95	-	0.88	ACEPTABLE
R. Verde A. Arriba confluencia al R. Quindío	QUI-56	4.396	-75.763	0.99	0.99	0.91	0.6	0.8	0.78	-	0.85	ACEPTABLE
R. Quindío A. Arriba confluencia al R. Barragán	QUI-57	4.395	-75.798	0.97	0.88	0.91	0.64	0.6	0.96	-	0.82	ACEPTABLE
Bocatoma EPQ Circasia - Sobrante EPA	QUI-58	4.606	-75.624	0.91	0.99	0.91	0.76	0.35	0.99	0.69	0.8	ACEPTABLE

Aguas abajo del Valle del Cocora se localizan la Quebrada Boquía y las bocatomas para el abastecimiento del casco urbano de Armenia sobre el Río Quindío y la Quebrada La Víbora en condición de calidad "Aceptable". Estas tres corrientes presentan nutrientes asociados a nitrógeno y fosforo (INP=0.35) producto de la influencia de actividades agrícolas en la zona, además de presentarse coliformes fecales sobre la bocatoma del Río Quindío (ICF=0.71) a causa de actividades pecuarias aguas arriba de su punto de captación.

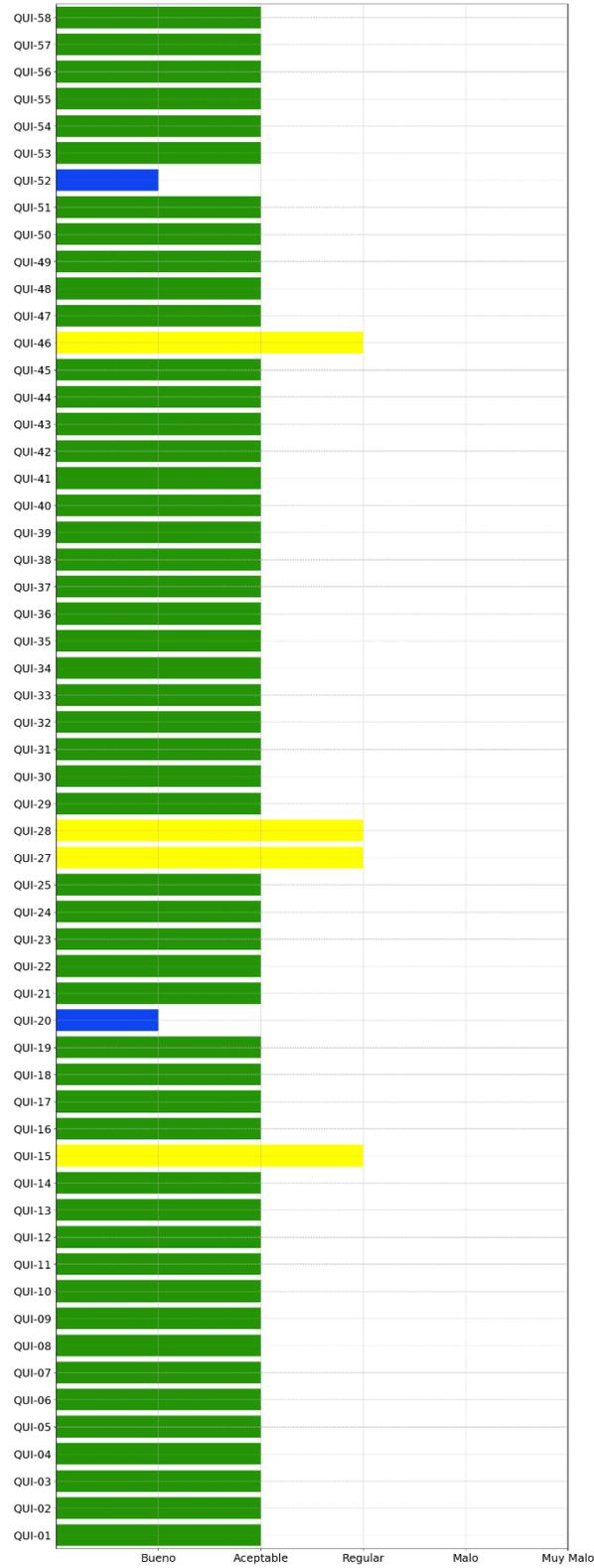


Figura 310. Descriptor del ICA por tramo Río Quindío

Otros afluentes al Río Quindío como lo son el Río Navarco, que a su vez le confluye el Río Boquerón con influencia de la cabecera municipal de Salento, presenta una condición “Aceptable”, a diferencia de la Quebrada La Calzada a la cual vierte sus aguas residuales la PTAR de este centro poblado, presentando una condición de calidad “Regular” con alto valor de conductividad eléctrica ($ICE=0$) y la presencia de materia orgánica en descomposición ($IDQO=0.125$). Otra de las captaciones para el abastecimiento humano del centro poblado de Salento se encuentra ubicada sobre la Quebrada Corozal, la cual presenta una condición “Aceptable” para su uso, pero con posibles fuentes de contaminación por actividades pecuarias aguas arriba debido a una leve presencia de coliformes fecales ($ICF=0.69$).

Otras bocatomas presentes sobre este tramo del Río Quindío son las ubicadas en las Quebradas Las Águilas y La Llorona, las cuales abastecen al centro poblado de Circasia con niveles de calidad “Aceptable” y “Bueno” respectivamente. Adicional a estas captaciones, el municipio de Circasia cuenta con un suministro otorgado como sobrante de la captación sobre el Río Quindío por parte de las Empresas Públicas de Armenia (EPA) a las Empresas Públicas del Quindío (EPO), la cual cuenta con una condición “Aceptable” en el sitio de reparto. De igual manera, las captaciones realizadas por EPQ para el suministro de agua para el municipio de La Tebaida realizadas sobre el Río Quindío y en el retorno de la PCH Bayona, presentan una condición “Aceptable”.

Aguas abajo del sector La María sobre el Río Quindío se encuentra la confluencia de las Quebradas La Florida y San Nicolás, con categorías de calidad “Regular”, debido principalmente a vertimientos de tipo domésticos realizados por el casco urbano de Armenia, provocando altos contenidos de materia orgánica en descomposición ($IDQO=0.26$ y $IDQO=0.125$, respectivamente) y altos valores de conductividad eléctrica ($ICE=0.27$ y $ICE=0$, respectivamente) asociados a la presencia de iones disueltos en el agua. Después de las cargas contaminantes aportadas por estas dos corrientes hídricas, el Río Quindío sufre un proceso de recuperación ($ICA=0.89$), hasta la confluencia de la Quebrada El Pescador, que con una condición de calidad “Aceptable”, es uno de los receptores de los vertimientos doméstico del casco urbano de Calarcá evidenciándose en los altos niveles de conductividad eléctrica ($ICE=0.7$).

La cuenca del Río Verde es uno de los afluentes de mayor extensión y volumen a la corriente principal del Río Quindío. Aunque la calidad del agua en esta corriente se destaca por presentar una condición “Aceptable” en el cauce principal y en la mayoría de sus tributarios, cabe resaltar igualmente las condiciones “Aceptables” de las bocatomas de Córdoba (sobre la Quebrada El Roble) y Calarcá (sobre el Río Santo Domingo y las Quebradas La Gata y Naranjal), con posibles presiones de tipo agropecuario aguas arriba de sus sistemas de captación. Una condición “Regular” se presenta sobre la Quebrada Naranjal aguas arriba de la confluencia al Río Santo Domingo

presentando altos niveles de iones disueltos en el agua (ICE=0) y una gran cantidad de materia orgánica (IDQO=0.26) producto de los vertimientos domésticos del casco urbano de Calarcá.

En la parte baja del Río Quindío, al final de su tramo antes de su confluencia al Río La Vieja, se evidencia una buena capacidad de asimilación a la contaminación con valores altos de calidad (valores iguales o superiores a 0.8 como en la Quebrada La Pitala con ICA=0.97 en calidad "Bueno") en gran medida por el aporte en volumen por parte de afluentes a la corriente principal del río.

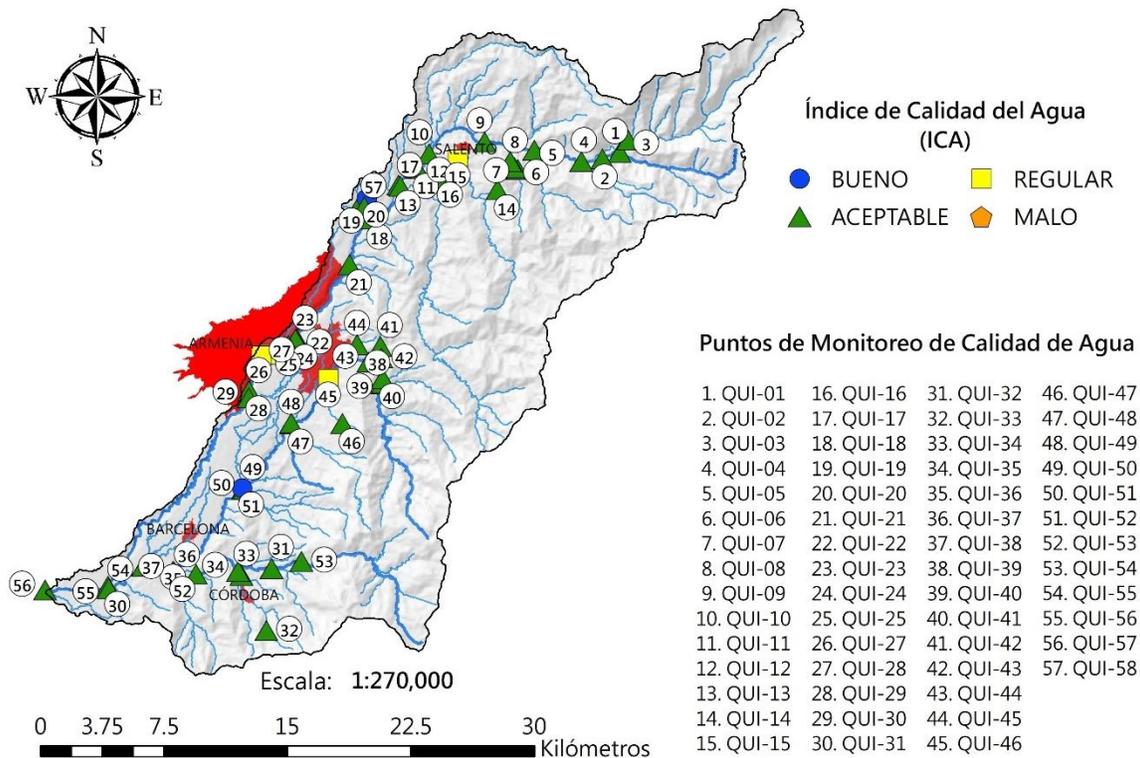


Figura 311. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Río Quindío

6.5.13. Unidad Hidrográfica del Río Roble

Para el caso del Río Roble fue estimado el ICA en 19 puntos de muestreo, a partir del reporte del laboratorio ChemiLab para los siguientes parámetros: oxígeno disuelto -OD-, sólidos suspendidos totales -SST-, demanda química de oxígeno -DQO-, la conductividad eléctrica -CE-, la relación nitrógeno y fósforo total indican -N/P-, el pH y los coliformes fecales -CF-. De manera que se clasificaron dos puntos con calidad en la categoría Bueno, 16 como Aceptable, y uno como Regular, tal como se presenta en la Tabla 294.

Tabla 294. Resultados de ICA determinados para los sitios de monitoreo sobre el Río Roble

Sitio	Código	Lat	Lon	IsatOD	ISST	IDQO	ICE	INP	IpH	ICF	ICA	Descriptor
Q. El Bosque	ROB-01	4.644	-75.619	0.98	0.99	0.91	0.92	0.6	1	0.74	0.88	ACEPTABLE
Q. La Marina	ROB-02	4.642	-75.618	0.93	0.99	0.91	0.9	0.8	1	0.67	0.89	ACEPTABLE
R. Roble (Bocatoma Circasia)	ROB-03	4.632	-75.634	0.97	0.99	0.91	0.94	0.35	1	0.7	0.84	ACEPTABLE
Q. La Arenosa (Circasia)	ROB-04	4.631	-75.634	0.96	0.99	0.91	0.92	0.35	1	0.76	0.84	ACEPTABLE
Q. Cajones	ROB-05	4.626	-75.623	0.99	0.99	0.91	0.9	0.8	1	0.61	0.89	ACEPTABLE
Q. Cajones A. Arriba confluencia al R. Roble	ROB-06	4.624	-75.646	1	0.98	0.51	0.58	0.35	1	-	0.73	ACEPTABLE
R. Roble A. Arriba confluencia de la Q. Portachuelo	ROB-07	4.628	-75.675	0.86	0.99	0.91	0.89	0.6	1	-	0.87	ACEPTABLE
Q. Portachuelo A. Abajo Centro Poblado Filandia	ROB-08	4.653	-75.658	1	0.99	0.91	0.88	0.8	1	-	0.93	BUENO
Q. Portachuelo A. Arriba confluencia al R. Roble	ROB-09	4.628	-75.675	0.92	0.99	0.91	0.91	0.8	1	-	0.92	BUENO
R. Roble (Bocatoma 2 Montenegro)	ROB-10	4.612	-75.694	0.99	0.92	0.51	0.91	0.35	1	0.1	0.69	REGULAR
R. Roble (Bocatoma Montenegro)	ROB-11	4.597	-75.714	1	0.95	0.51	0.94	0.35	1	0.25	0.72	ACEPTABLE
Q. La Soledad (Bocatoma Montenegro)	ROB-12	4.597	-75.709	0.94	0.99	0.91	0.91	0.8	1	0.1	0.81	ACEPTABLE
Q. La Paloma (Bocatoma Montenegro)	ROB-13	4.595	-75.710	0.99	0.99	0.91	0.92	0.8	1	0.46	0.87	ACEPTABLE
Q. Las Lajas (Bocatoma Montenegro)	ROB-14	4.587	-75.721	0.99	0.99	0.91	0.91	0.8	0.96	0.24	0.83	ACEPTABLE
R. Roble A. Arriba Vertimiento La Isabela	ROB-15	4.573	-75.747	0.94	0.99	0.91	0.87	0.8	0.91	-	0.9	ACEPTABLE
Q. Las Cruces A. Arriba confluencia a la Q. Portachuelo	ROB-16	4.653	-75.658	0.92	0.99	0.91	0.95	0.8	0.91	-	0.91	BUENO
R. Roble (Puente Montenegro Quimbaya)	ROB-17	4.570	-75.758	0.95	0.99	0.91	0.88	0.6	1	-	0.89	ACEPTABLE
R. Roble (La Española)	ROB-18	4.577	-75.850	0.84	0.99	0.91	0.81	0.8	0.95	-	0.88	ACEPTABLE
R. Roble A. Arriba confluencia de la Q. Cajones	ROB-19	4.625	-75.646	0.96	0.98	0.91	0.94	0.6	1	-	0.9	ACEPTABLE

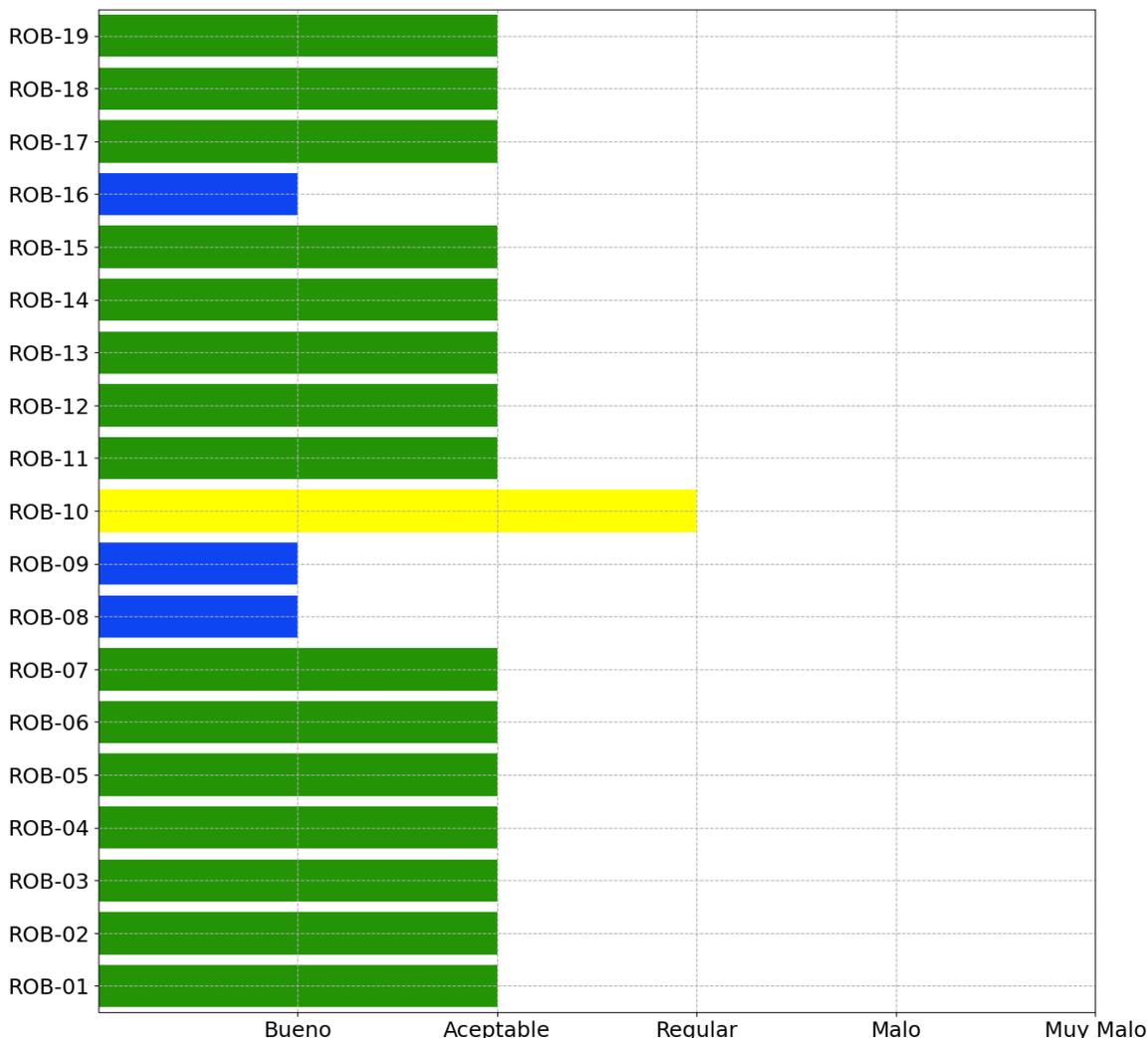


Figura 312. Descriptor del ICA por tramo Río Roble

El Río Roble en términos generales presenta una condición de calidad “Aceptable” principalmente sobre las bocatomas para el abastecimiento hídrico de centro poblado de Circasia hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada Cajones (ICA=0.89). Esta última, aunque presenta una condición “Aceptable”, recibe gran parte de los vertimientos domésticos de esta cabecera municipal con valores de conductividad eléctrica (ICE=0.58) y la presencia de materia orgánica en descomposición (IDQO=0.51) producto de sus aguas residuales. A la altura del sector conocido como Paso de los Aguadeños, se evidencia una recuperación y asimilación de esta carga contaminante por parte del Río Roble (ICA=0.87). Por parte de la Quebrada Portachuelo, aguas abajo de la influencia del casco urbano de Filandia, se presenta una categoría de calidad “Bueno” hasta su confluencia al Río Roble.

Una condición de atención de presenta en la bocatoma para el abastecimiento del centro poblado de Montenegro (ROB-10) la cual presenta una condición "Regular" en la calidad del agua por presencia de coliformes fecales (ICF=0.1), materia orgánica (IDQO=0.51) y eutrofización del ecosistema (INP=0.35) debido a posible aporte de carga difusa de origen agropecuario aguas arriba de su punto de captación. Aguas abajo, el Río Roble sufre un proceso de recuperación hasta su confluencia al Río La Vieja (ICA=0.88).

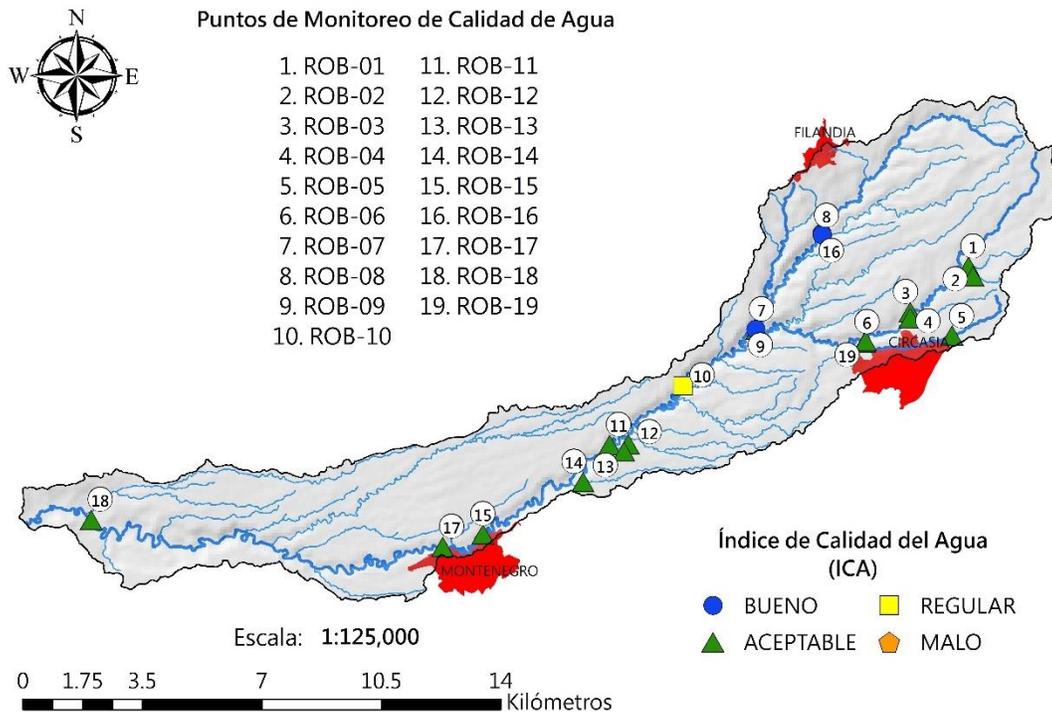


Figura 313. Índice de Calidad del Agua Superficial (ICA) para la Unidad Hidrográfica de la Río Roble

6.6. Resultados del Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL)

A partir de la estimación de las cargas contaminantes aportadas para cada tramo comprendido en las UHACA definidas en el presente estudio (Tabla 281), se estimó el Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua -IACAL-, el cual permite estimar el grado de afectación de una corriente hídrica superficial debido a las actividades socioeconómicas desarrolladas en el área aferente al punto donde se realiza el análisis. En este sentido, para la estimación del IACAL se determinaron las aferencias a los vertimientos de aguas residuales, según las consideraciones del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS- para los usos: doméstico, comercial, industrial, turístico, y de forma particular para el uso agrícola (específicamente cultivos de café), según módulos de carga reportados por la literatura técnica y académica para cada caso.

Por lo tanto, con base en las estimaciones de carga y los análisis de calidad del agua realizados por la CRQ para el año 2022 como medida de seguimiento al cobro de la Tasa Retributiva, se presenta el reporte de la clasificación de la calidad del agua, según el IACAL, para los tramos de análisis definidos en este estudio.

6.6.1. Unidad Hidrográfica de la Campoalegre (Quebrada Agua Linda)

Para el caso de la Quebrada Agua Linda, se presentan aportes en carga de dos fuentes principales, el sector doméstico y beneficio del café (Figura 314). Por parte del sector doméstico, es el principal aportante en carga contribuyendo entre el 86 al 94% del total estimado proveniente de las aguas residuales domésticas del casco urbano de Quimbaya con 106.16 t/año en DBO5, 63.7 t/año en SST, 212.32 t/año en DQO, 25.48 t/año en NT y 4.25 t/año en PT. En cuanto al beneficio del café, su aporte corresponde entre el 5 al 14% del total de la carga por presencia de cultivos en la parte alta de la cuenca a la altura del casco urbano de Quimbaya con 17.14 t/año en DBO, 8.66 t/año en SST, 35.48 t/año en DQO, 2.48 t/año en NT y 0.25 t/año en PT (Tabla 295).



Figura 314. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya)



Figura 315. Descriptor del IACAL por tramo para la Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya)

Con respecto al cálculo del IACAL tomando como base las cargas estimadas y la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) se tiene una alteración potencial “Muy Alta” (Figura 315) tanto para el año de condiciones hidrológicas medias (Figura 316) como secas (Figura 317), esto debido principalmente a una baja oferta hídrica en el punto de cierre de la unidad de análisis considerada para esta corriente (1.77 Hm³ en año medio y 1.33 Hm³ en año seco), lo cual provoca una baja capacidad de asimilación de carga.

Tabla 295. Cargas Contaminantes para la Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya). Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Quebrada Campoalegre (Agua Linda)	QAL1	Vertimientos Domésticos Quimbaya	24.462	14.677	48.923	5.871	0.978				
		Vertimientos Domésticos Quimbaya	54.003	32.402	108.006	12.961	2.160				
		Vertimiento Doméstico Quimbaya	15.863	9.518	31.726	3.807	0.635				
		Vertimiento Doméstico Quimbaya	5.193	3.116	10.386	1.246	0.208				
		Vertimientos Domésticos Quimbaya	6.640	3.984	13.281	1.594	0.266				
		Beneficio de Café Quimbaya	17.139	8.665	35.478	2.483	0.248				
	Total QAL1	Divisoria de aguas Q. Agua Linda - A. Abajo Quimbaya	123.300	72.361	247.800	27.962	4.495	1.77	1.33	Muy Alta	Muy Alta

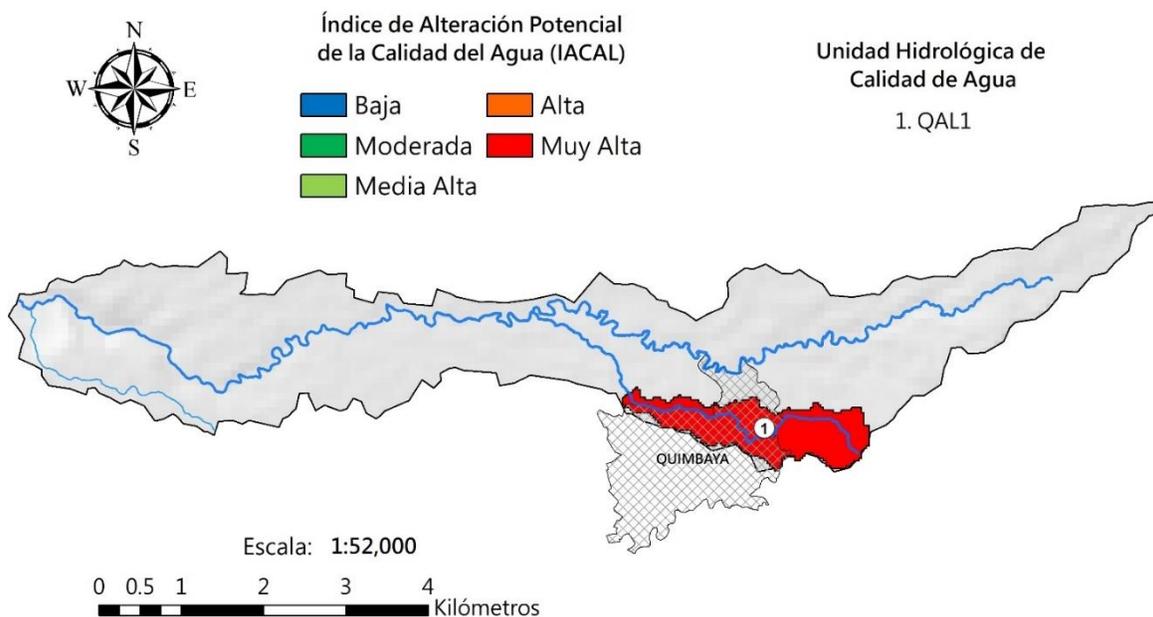


Figura 316. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya)

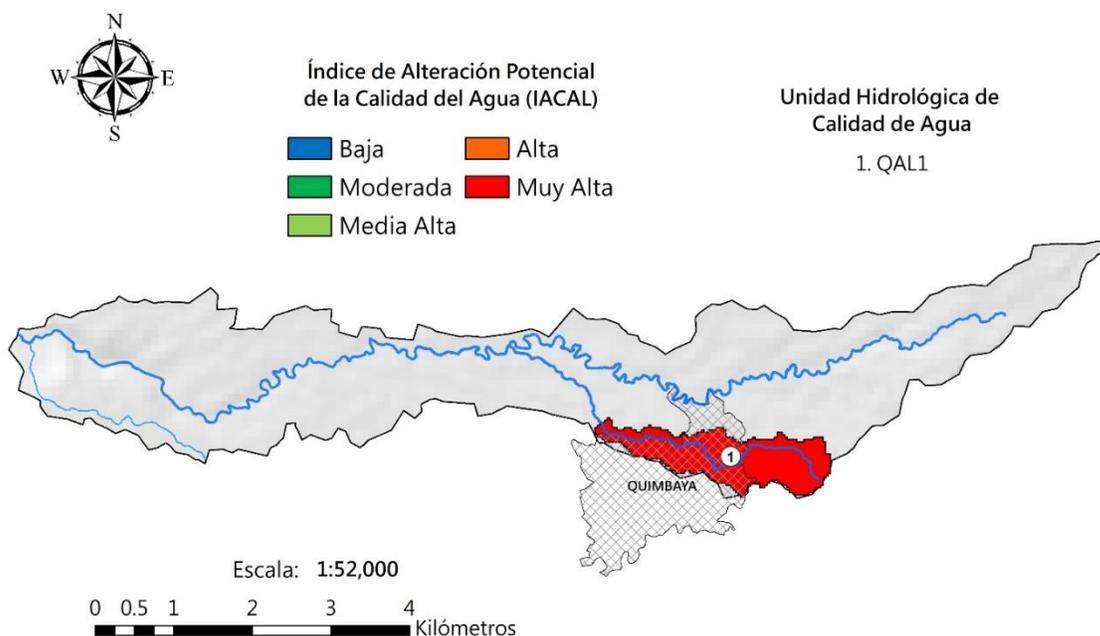


Figura 317. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Quebrada Agua Linda (Municipio de Quimbaya)

6.6.2. Unidad Hidrográfica de las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha

Las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha, fuentes abastecedoras del recurso hídrico para el casco urbano y zonas veredales del municipio de Filandia, presentan dos unidades de análisis de calidad de agua, QBLA1 (Quebrada Barro Blanco) y QLAC1 (Quebradas Lacha y Chorrobolillos). Dado que la quebrada Chorrobolillos es afluente de la Quebrada Lacha, y pocos metros aguas abajo de su intercepción se encuentra ubicado el sitio de captación, es allí donde se sitúa el punto de cierre de la unidad de análisis de calidad de agua QLAC1, por lo que en esta unidad de análisis se acobijan estas dos corrientes.

Para estas unidades de análisis no se evidencia cargas aportadas por algún sector productivo considerado (doméstico, industrial, comercial y beneficio de café) (Tabla 296), presentando una alteración potencial “Baja” (Figura 318) tanto para condiciones hidrológicas de año medio (Figura 319) como para año seco (Figura 320). Aun así, es de resaltar la presencia de pastos limpios aguas arriba de los sitios de captación, evidenciados en el mapa de coberturas de la CRQ, considerándose estos como indicador de actividades destinadas a la ganadería y posible influencia de cultivos agrícolas, lo cual es corroborado en los resultados de calidad (ICA) expuestos en la Tabla 283 con relaciones nitrógeno Total/Fosfora Total entre 0.6 y 0.8 para estas dos corrientes, y valores de 0.88 en el subíndice de conductividad eléctrica para la Quebrada Lacha.



Figura 318. Descriptor del IACAL por tramo para las Quebradas Lacha y Barro Blanco (Municipio de Filandia)

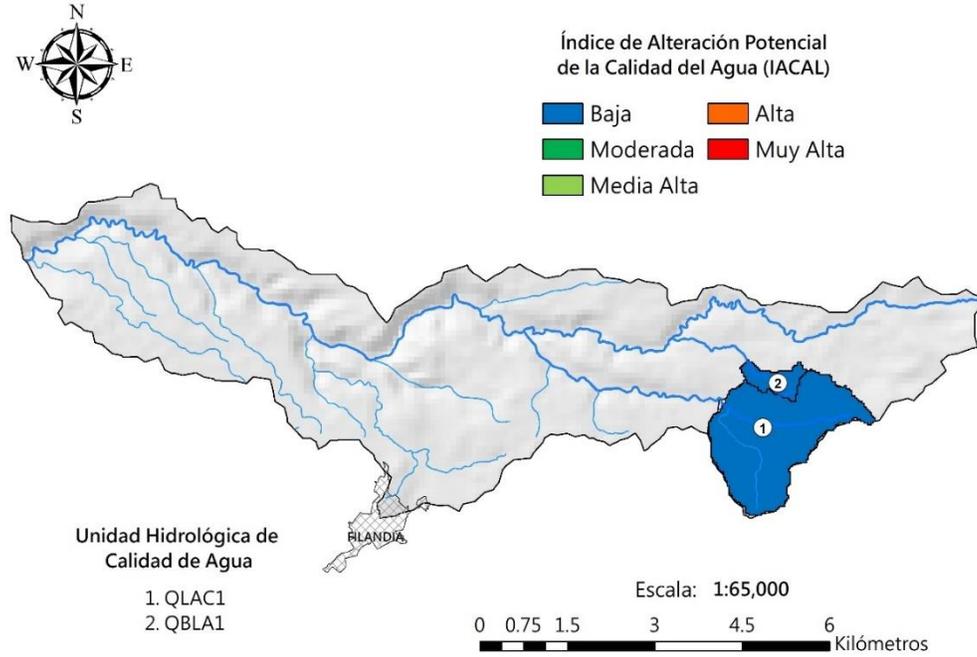


Figura 319. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para las Quebradas Lacha y Barro Blanco (Municipio de Filandia)

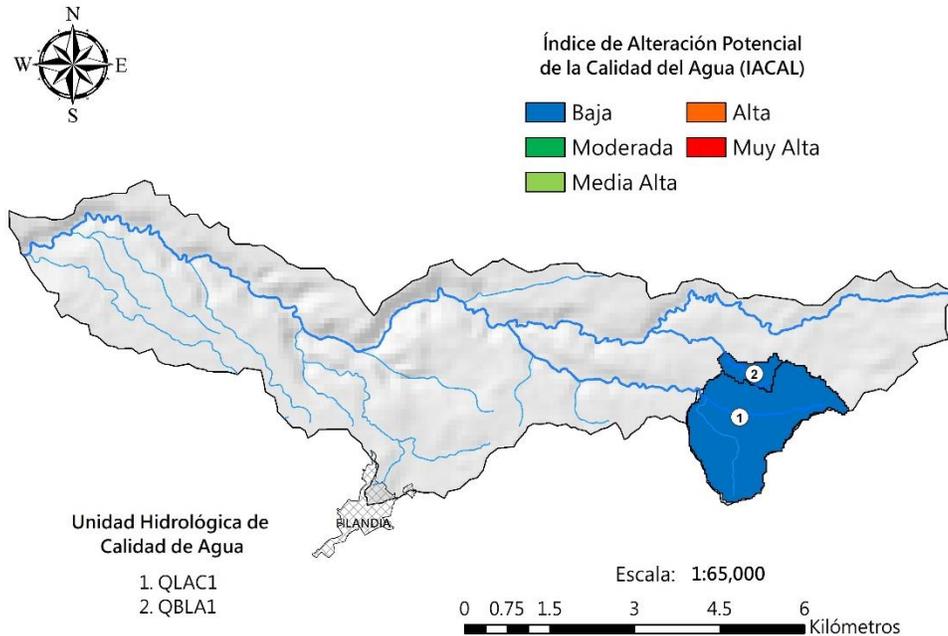


Figura 320. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para las Quebradas Lacha y Barro Blanco (Municipio de Filandia)

Tabla 296. Cargas Contaminantes para las Quebradas Barro Blanco, Chorrobolillos y Lacha (Municipio de Filandia). Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Río Barbas	QLAC1	Q. Lacha A. Abajo confluencia de la Q. Chorrobolillos (Bocatoma Filandia)									
	Total QLAC1	Divisoria de aguas Q. Lacha - A. Abajo confluencia de la Q. Chorrobolillos (Bocatoma Filandia)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.69	3.84	Baja	Baja
	QBLA1	Q. Barro Blanco A. Arriba Bocatoma Filandia									
	Total QBLA1	Divisoria de aguas Q. Barro Blanco - A. Arriba Bocatoma Barro Blanco Filandia	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.38	0.20	Baja	Baja

6.6.3. Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

Las cargas estimadas para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista muestran que el sector con mayor aporte es el doméstico, siendo relevante en parámetros PT, NT, DQO, SST y DBO5 representando el 73%, 62%, 49%, 54% y 50% de la carga total respectivamente (Figura 321). Este aporte de carga es provocado por las aguas residuales provenientes de la cabecera municipal del municipio de Quimbaya, afectando la calidad del agua de las Quebradas Buenavista, La Silenciosa y Mina Rica.

Otro sector con gran impacto es el beneficio de café, debido a grandes extensiones de cultivos tanto en los municipios de Filandia (mayor proporción de área de acuerdo con el mapa de coberturas) como Quimbaya, aportando carga contaminante difusa a las corrientes en forma de PT, NT, DQO, SST y DBO5 representando el 26%, 37%, 50%, 45% y 49% de la carga total respectivamente. Las cargas aportadas por los sectores turismo y comercial presentan valores inferiores al 1% en cada uno de los parámetros evaluados.

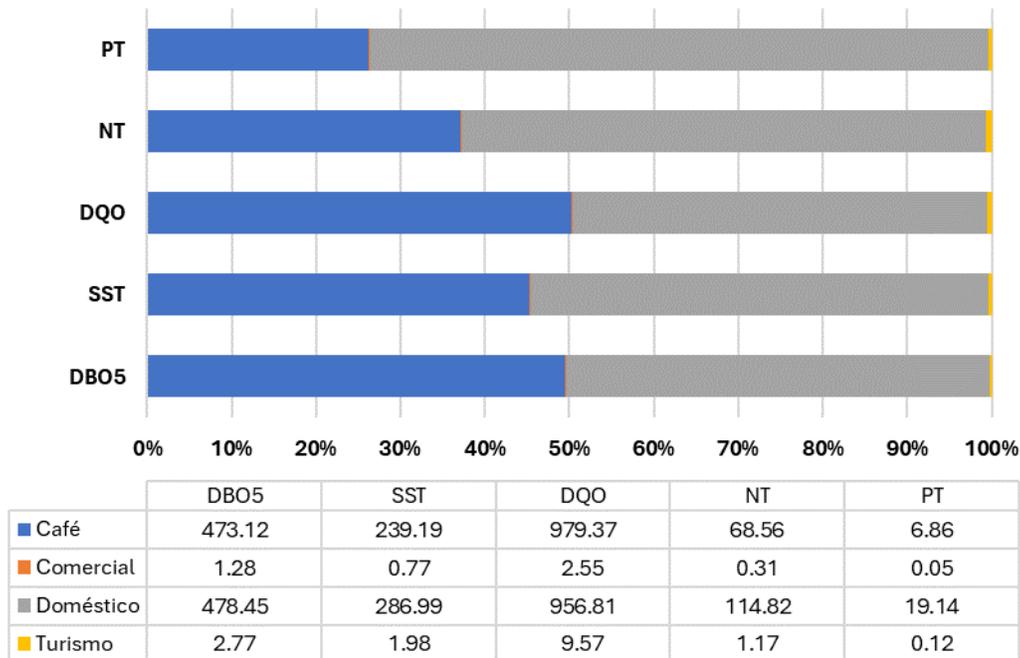


Figura 321. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

A partir de la carga estimada para cada unidad de análisis de calidad del agua y la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) se determina que la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista presenta en general “Muy Alta” alteración potencial a la calidad del agua (Figura 322) de acuerdo con el IACAL tanto para condición hidrológica de año medio (Figura 323) como en año seco (Figura 324), con excepción de la unidad QB1 con alteración “Alta” para año hidrológico medio.

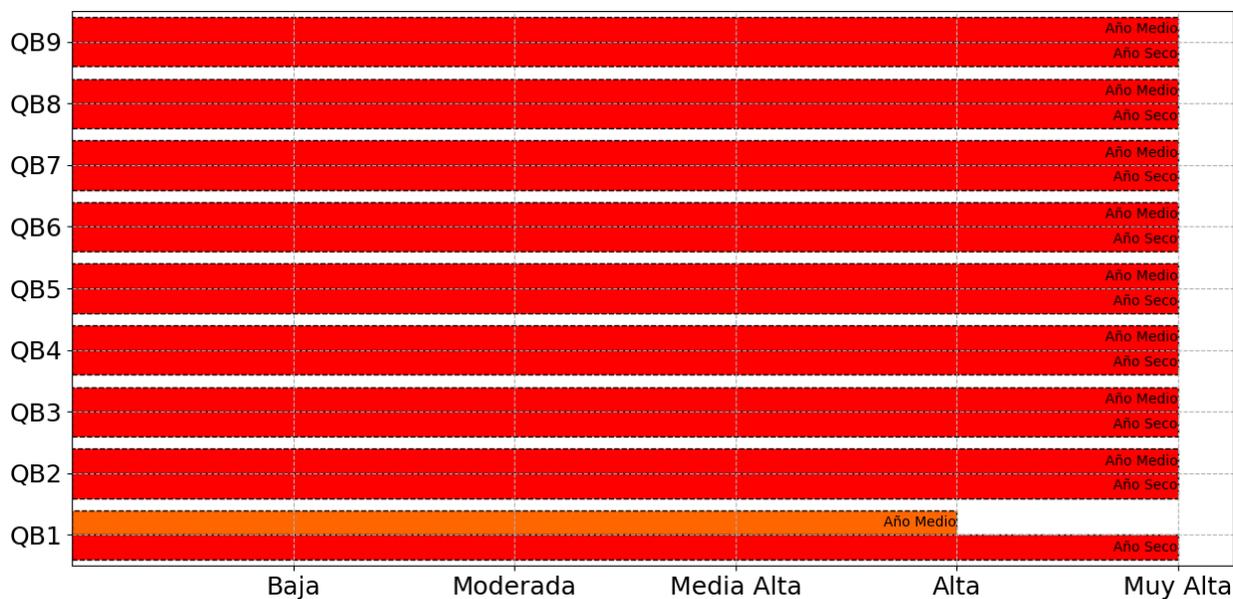


Figura 322. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

En la parte alta de la cuenca de la Quebrada Buenavista, específicamente en la unidad de análisis QB1 (Tabla 297), se destaca un aumento significativo de la carga contaminante debido a las actividades relacionadas con el cultivo de café. Estas actividades ocupan una extensa área, como se puede apreciar en el mapa de cobertura del suelo, especialmente aguas arriba de la toma de agua que abastece al municipio de Quimbaya. Este incremento en la carga contaminante se explica por la presencia de valores bajos en dos indicadores clave: el índice de Demanda Química de Oxígeno (DQO) con un valor de 0.26 y la relación entre Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (FT) con un valor de 0.6, como se detalla en la Tabla 284. Estos indicadores son comúnmente utilizados para evaluar la presencia de actividades agrícolas y su impacto en la calidad del agua, especialmente cuando se utilizan fertilizantes en dichas actividades.

El desarrollo de sistemas productivos como el beneficio de café tienen un gran impacto en la calidad de las corrientes hídricas para la Quebrada Buenavista, con mayor

aporte en carga en unidades ubicadas en la parte alta de la cuenca (QB1, QB2), con excepción de unidades con presencia de descargas de tipo residual.

Por otro lado, las descargas residuales domésticas corresponden a los mayores aportes en carga para las unidades QB3, QB5 y QB7, correspondientes a la Quebrada Buenavista a su paso por la cabecera municipal de Quimbaya, la Quebrada La Silenciosa desde su nacimiento en zona urbana y la Quebrada Mina Rica respectivamente.

Sobre la Quebrada La Silenciosa se cuenta con descargas residuales por parte del sector turismo (QB5), las cuales realizan sus descargas a través de Sistemas de Tratamiento de Agua Residual (STAR) en la parte baja de esta corriente (Tabla 297), con cargas estimadas de 2.77 t/año de DBO5, 1.97 t/año de SST, 9.57 t/año de DQO, 1.16 t/año de NT y 0.11 t/año de PT, siendo esta muy bajas respecto a las estimadas para el sector doméstico en la parte alta.

Por último, al final del tramo correspondientes a las unidades de análisis QB8 y QB9, se evidencia una disminución en el aporte de carga contaminante a la corriente principal de la Quebrada Buenavista, siendo particularmente afectada por el sector agrícola con el beneficio del café, y tramos a los cuales se observa una capacidad de dilución y asimilación de agentes contaminantes como se observa en la Tabla 284 con un Índice de Calidad del Agua (ICA) del 0.9 con un descriptor "Aceptable".

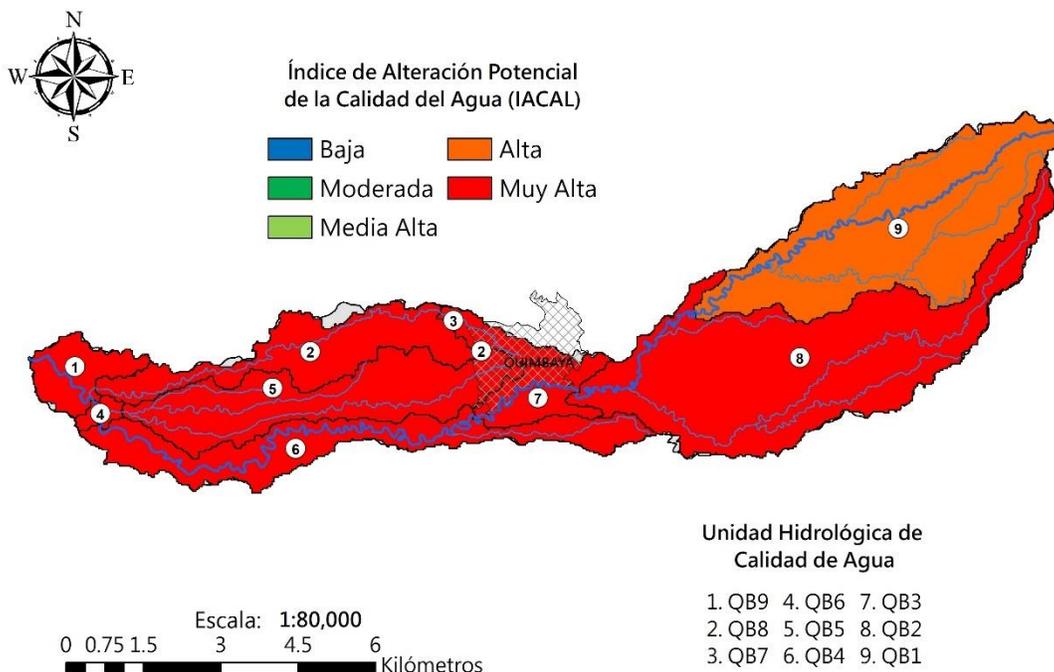


Figura 323. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

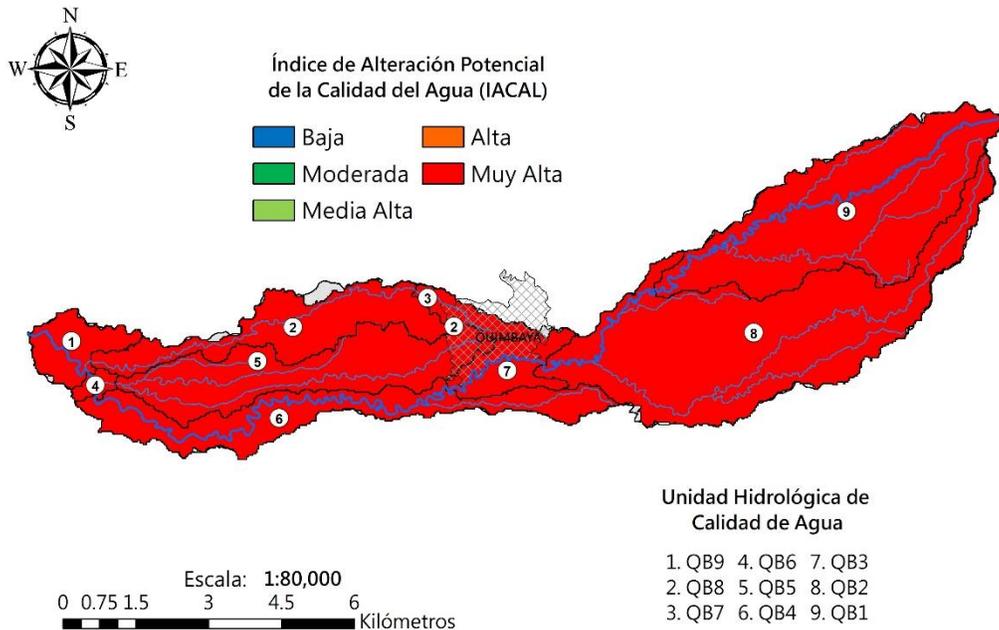


Figura 324. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

Tabla 297. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco	
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL	
Quebrada Buenavista	QB1	Beneficio de Café Filandia	85.587	43.269	177.165	12.402	1.240					
	Total QB1	Divisoria de aguas Q. Buenavista - A. Arriba Bocatoma Quimbaya	85.587	43.269	177.165	12.402	1.240	15.09	11.07	Alta	Muy Alta	
	QB2	Beneficio de Café Quimbaya y Filandia	239.884	121.275	496.561	34.759	3.476					
	Total QB2	Q. Buenavista A. Abajo Bocatoma Quimbaya - A. Arriba CP Quimbaya	325.471	164.544	673.726	47.161	4.716	33.31	24.31	Muy Alta	Muy Alta	
	QB3		Vertimientos Domésticos Quimbaya	230.115	138.069	460.230	55.228	9.205				
			Comercial	1.277	0.766	2.554	0.306	0.051				
			Beneficio de Café Quimbaya	27.011	13.655	55.912	3.914	0.391				
	Total QB3	Q. Buenavista A. Arriba CP Quimbaya - A. Abajo CP Quimbaya	583.874	317.034	1192.421	106.609	14.363	35.57	25.95	Muy Alta	Muy Alta	
	QB4	Beneficio de Café Quimbaya	40.902	20.678	84.667	5.927	0.593					
	Total QB4	Q. Buenavista A. Abajo CP Quimbaya - A. Arriba confluencia de la Q. La Silenciosa	624.776	337.713	1277.089	112.535	14.956	40.70	29.48	Muy Alta	Muy Alta	
	QB5		Vertimientos Domésticos Quimbaya	122.932	73.759	245.864	29.504	4.917				
			Turismo	1.705	0.649	5.432	0.752	0.079				
			Turismo	0.827	0.338	2.427	0.366	0.025				
			Turismo	0.239	0.989	1.713	0.048	0.015				
			Beneficio de Café Quimbaya	45.979	23.245	95.176	6.662	0.666				
	Total QB5	Divisoria de aguas Q. La Silenciosa - A. Arriba confluencia a la Q. Buenavista	171.682	98.980	350.612	37.332	5.702	6.00	4.50	Muy Alta	Muy Alta	
QB6	Q. Buenavista A. Arriba confluencia de la Q. Mina Rica											

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total QB6	Q. Buenavista A. Abajo confluencia de la Q. La Silenciosa - A. Arriba confluencia de la Q. Mina Rica	796.458	436.692	1627.700	149.867	20.658	46.97	34.18	Muy Alta	Muy Alta
	QB7	Vertimientos Domésticos Quimbaya	125.174	75.104	250.348	30.042	5.007				
		Beneficio de Café Quimbaya	7.541	3.812	15.609	1.093	0.109				
	Total QB7	Divisoria de aguas Q. Mina Rica - A. Abajo CP Quimbaya	132.715	78.917	265.957	31.134	5.116	1.36	1.10	Muy Alta	Muy Alta
	QB8	Beneficio de Café Quimbaya	26.221	13.256	54.278	3.799	0.380				
	Total QB8	Q. Mina Rica A. Abajo CP Quimbaya - A. Arriba confluencia a la Q. Buenavista	158.936	92.173	320.235	34.934	5.496	5.41	4.00	Muy Alta	Muy Alta
	QB9	Vertimiento Doméstico Puerto Alejandría	0.229	0.060	0.367	0.046	0.009				
	Total QB9	Q. Buenavista A. Abajo confluencia de la Q. Mina Rica - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	955.623	528.926	1948.302	184.847	26.163	53.68	39.21	Muy Alta	Muy Alta

6.6.4. Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

Para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales en relación con las cargas estimadas muestran que el sector doméstico y el industrial presentan la mayor incidencia en la calidad del agua.

En cuanto al sector doméstico, la principal fuente de contaminación son las descargas residuales del centro poblado La Tebaida sobre la Quebradas La Julia (La Tulia) y La Jaramilla (presencia de PTAR) sobre las unidades de análisis QC6 y QC7, con aportes en carga del 51% en Fosforo Total (PT), 40% en Nitrógeno Total (NT), 31% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), 40% en Sólidos Suspendedos Totales (SST) y del 29% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) (Figura 325).

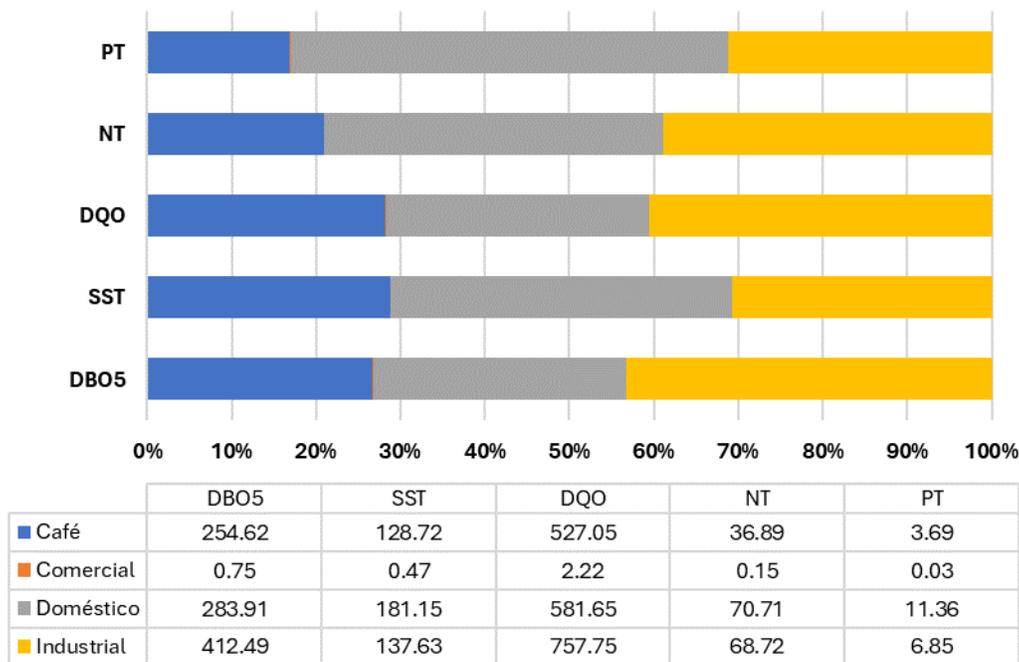


Figura 325. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

El sector industrial, con aporte del 31% en PT, 39% en NT, 40% en la DQO, 30% en SST y del 43% de la DBO5, es otro actor relevante en la alteración potencial de la calidad de agua, especialmente sobre la unidades de análisis QC1 y QC2, con presencia de Plantas de Beneficio Animal (PBA) las cuales degradan sustancialmente el ecosistema hídrico como se evidencia en la Tabla 285 con índices de oxígeno disuelto de 0.29, Demanda Química de Oxígeno de 0.125, relación NT/PT de 0.15 y Conductividades Eléctricas de 0

a 0.48, categorizando el tramo entre “Regular” y “Malo” según el ICA. Así mismo, la presencia de actividad industrial sobre la Quebrada La Jaramilla aguas arriba del casco urbano de La Tebaida (unidad QC6) presenta altos aportes en carga para esta unidad de análisis.

El sector beneficio de café, de igual manera, presenta un gran impacto en las cargas de aporte, debido a presencia de cultivos mayormente en la parte alta de la cuenca, siendo presente en la mayoría de las unidades de análisis con excepción de la unidad QC9, correspondiente a la confluencia de la Quebrada Cristales al Río La Vieja. Sus cargas son de 16% en PT, 21% en NT, 28% en la DQO, 28% en SST y del 26% de la DBO5.

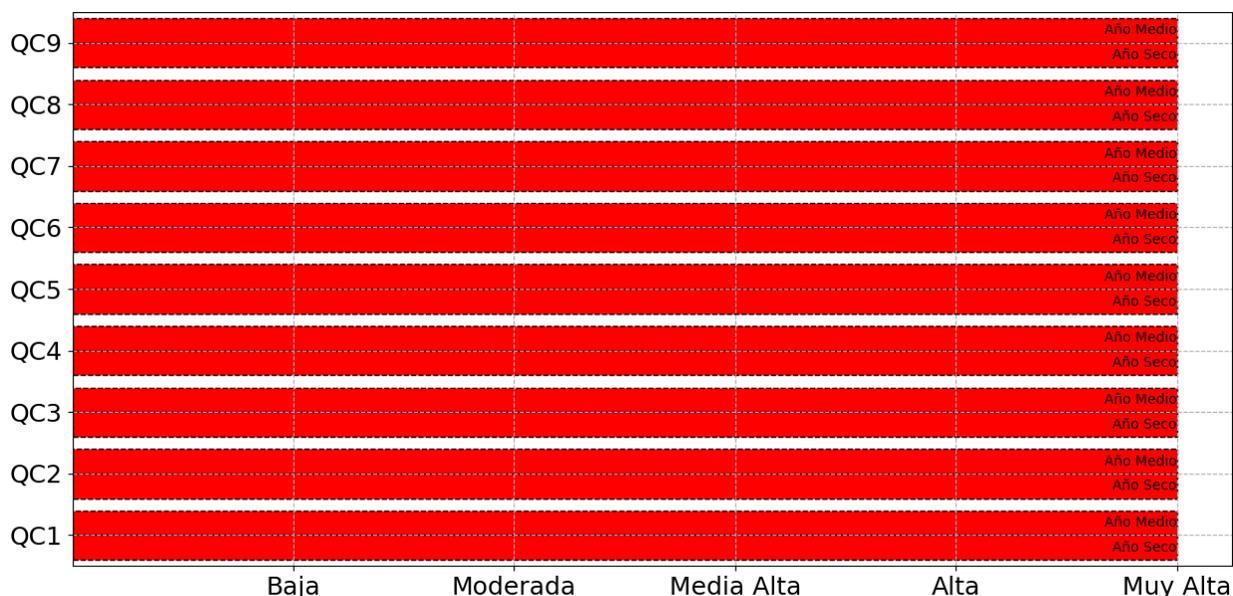


Figura 326. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

Con respecto al cálculo del IACAL tomando como base las cargas estimadas y la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) se tiene una alteración potencial “Muy Alta” (Figura 326) tanto para el año de condiciones hidrológicas medias (Figura 327) como secas (Figura 328).

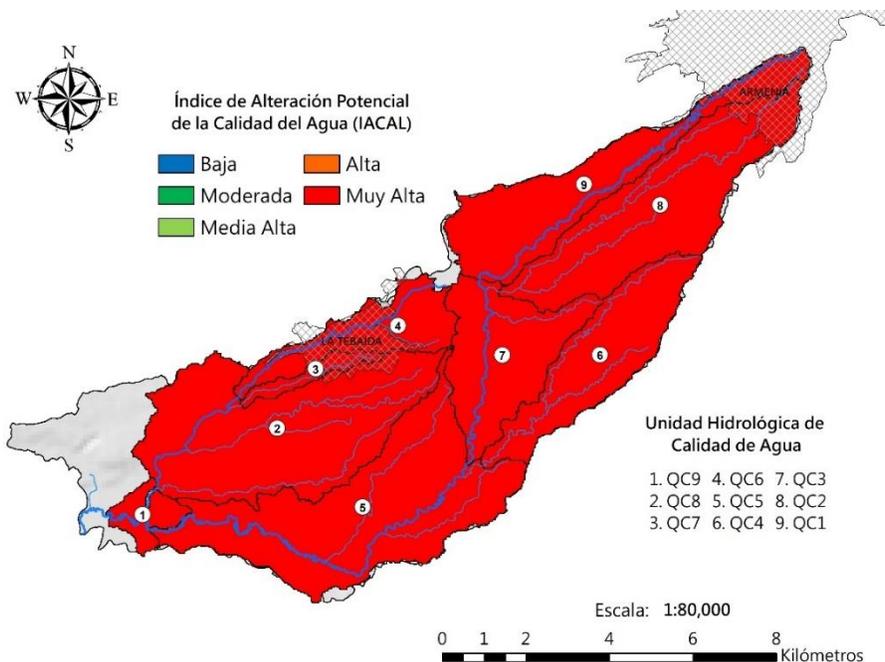


Figura 327. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

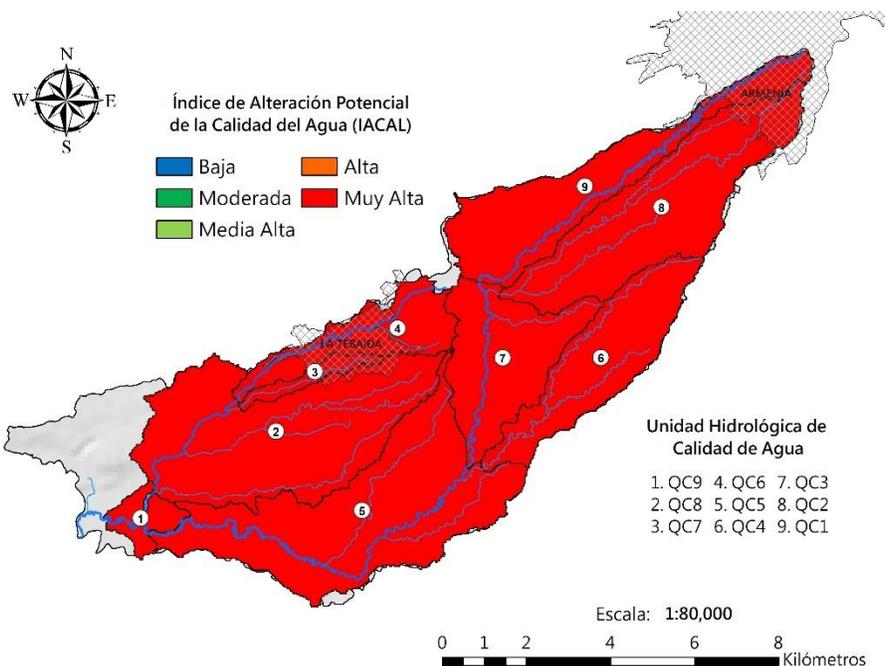


Figura 328. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

Tabla 298. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Quebrada Cristales	QC1	Comercial	0.095	0.057	0.190	0.023	0.004				
		Central De Sacrificio Don Pollo	155.692	117.062	302.019	20.486	1.873				
		Red Salud Armenia	4.628	1.953	11.990	0.926	0.185				
		Comercial	0.273	0.230	0.860	0.055	0.011				
		Comercial	0.339	0.146	1.050	0.068	0.014				
		Beneficio de Café La Tebaida y Armenia	37.098	18.755	76.794	5.376	0.538				
	Total QC1	Divisoria de aguas Q. Cristales - A. Arriba confluencia de la Q. Los Ángeles	198.126	138.202	392.902	26.932	2.624	12.45	9.64	Muy Alta	Muy Alta
	QC2	Central De Sacrificio Don Pollo	232.232	15.766	399.127	43.322	3.764				
		PTAR Colegio NUSEFA	2.698	0.802	3.431	0.540	0.317				
		Beneficio de Café Armenia	88.937	44.962	184.099	12.887	1.289				
	Total QC2	Divisoria de aguas Q. Los Ángeles - A. Arriba confluencia a la Q. Cristales	323.867	61.531	586.657	56.748	5.370	14.07	11.03	Muy Alta	Muy Alta
	QC3	Beneficio de Café Armenia	19.154	9.683	39.649	2.775	0.278				
	Total QC3	Q. Cristales A. Abajo confluencia de la Q. Los Ángeles - A. Arriba confluencia de la Q. Las Tatabras	541.147	209.416	1019.208	86.456	8.271	35.07	26.68	Muy Alta	Muy Alta
	QC4	Beneficio de Café Armenia	54.764	27.686	113.362	7.935	0.794				
	Total QC4	Divisoria de aguas Q. Las Tatabras - A. Arriba confluencia a la Q. Cristales	54.764	27.686	113.362	7.935	0.794	8.20	6.27	Muy Alta	Muy Alta
	QC5	Beneficio de Café La Tebaida y Armenia	21.376	10.807	44.248	3.097	0.310				
	Total QC5	Q. Cristales A. Abajo confluencia de la Q. Las Tatabras - A. Arriba confluencia de la Q. La Jaramilla	617.288	247.909	1176.819	97.489	9.374	56.98	43.16	Muy Alta	Muy Alta
	QC6	PTAR Industrias Printex	0.927	0.454	1.613	0.185	0.121				
		PTAR Trapiche Sinai	14.550	1.017	36.979	2.910	0.582				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
		PTAR Frito Mix	1.763	0.575	2.592	0.353	0.005				
		PTAR La Jaramilla	16.971	21.421	49.844	6.808	0.681				
		Beneficio de Café La Tebaida	2.609	1.319	5.401	0.378	0.038				
	Total QC6	Divisoria de aguas Q. La Jaramilla - A. Arriba confluencia de la Q. La Julia (La Tulia)	36.821	24.786	96.430	10.634	1.426	6.51	4.70	Muy Alta	Muy Alta
	QC7	Comercial	0.038	0.039	0.116	0.008	0.002				
		Vertimientos Domésticos La Tebaida	190.689	114.413	381.378	45.765	7.628				
		Vertimientos Domésticos La Tebaida	23.117	13.870	46.234	5.548	0.925				
		Vertimiento Doméstico La Tebaida	47.645	28.587	95.290	11.435	1.906				
		Beneficio de Café La Tebaida	0.700	0.354	1.448	0.101	0.010				
	Total QC7	Divisoria de aguas Q. La Julia (La Tulia) - A. Arriba confluencia a la Q. La Jaramilla	262.189	157.263	524.466	62.857	10.470	1.60	1.30	Muy Alta	Muy Alta
	QC8	PTAR 1 Centro Poblado La Silvia	0.745	0.540	1.269	0.149	0.030				
		PTAR 2 Centro Poblado La Silvia	4.743	2.321	7.632	1.009	0.190				
		Beneficio de Café La Tebaida	29.978	15.155	62.054	4.344	0.434				
	Total QC8	Q. La Jaramilla A. Abajo confluencia de la Q. La Julia (La Tulia) - A. Arriba confluencia a la Q. Cristales	334.475	200.066	691.851	78.993	12.550	24.82	18.06	Muy Alta	Muy Alta
	QC9	Q. Cristales A. Arriba confluencia al R. La Vieja									
Total QC9	Q. Cristales A. Abajo confluencia de la Q. La Jaramilla - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	951.763	447.975	1868.670	176.482	21.924	81.87	61.27	Muy Alta	Muy Alta	

6.6.5. Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

Sobre la Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota, el sector con mayor aporte de carga es el beneficio de café (Figura 329) con aporte del 87% en Fosforo Total (PT), 89% en Nitrógeno Total (NT), 92% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), 91% en Sólidos Suspendidos Totales (SST) y del 93% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), debido a la gran extensión del cultivo particularmente en la parte alta con impacto sobre las Quebradas La Picota (unidad QP2), Las Delicias y Los Juanes (unidad QP3).

Otro sector con relevancia corresponde al doméstico por medio de descargas residuales domesticas del casco urbano de Buenavista, a través de la PTAR sobre la Quebrada La Picota y el Descole Las Margaritas para la Quebrada Las Delicias, con aporte del 12% en PT, 10% en NT, 7% en la DQO, 8% en SST y del 6% de la DBO5.



Figura 329. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

Dada la carga estimada y la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) se tiene como resultado una alteración potencial "Muy Alta" (Figura 330) para las unidades de análisis QP2, QP3 y QP4 para año hidrológico medio (Figura 331) y seco (Figura 332), producto de altos valores de carga en contraste con la baja oferta hídrica de las corrientes. Es de resaltar que a pesar de que la unidad de análisis QP4 no recibe cargas contaminantes

(Tabla 299), su grado de alteración potencial continúa siendo “Muy Alta”, esto se debe principalmente a un bajo aumento en la oferta hídrica para esta unidad lo cual limita una posible dilución y autodepuración de las cargas recibidas agua arriba.

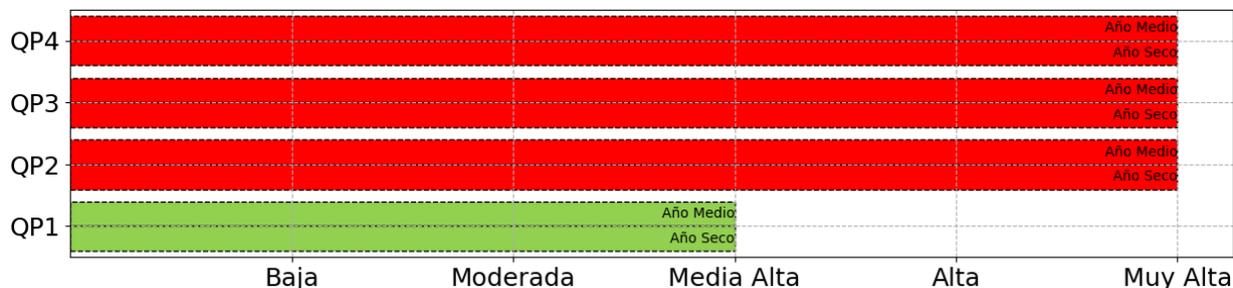


Figura 330. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

Por último, en la parte alta de la cuenca de la Quebrada La Picota sobre la unidad de análisis QP1, con punto de cierre a la altura de la bocatoma para el abastecimiento del centro poblado Buenavista, se presenta una alteración potencial “Media Alta”, producto de actividades agrícolas y pecuarias desarrolladas aguas arriba de su punto de captación. Lo anterior guarda relación con la Tabla 286, si bien presenta un ICA en condición “Aceptable” sobre dicho punto de análisis, se observan valores bajos de NT/FT y Coliformes Fecales, siendo estos indicadores relacionados a la presencia de cultivos y de actividades agropecuarias con incidencia directa en la corriente hídrica.

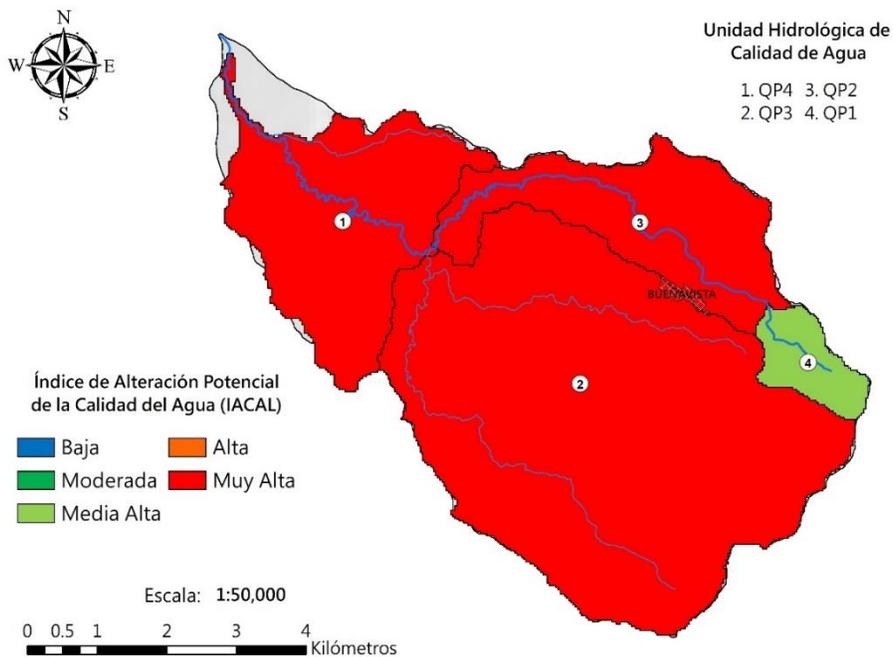


Figura 331. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

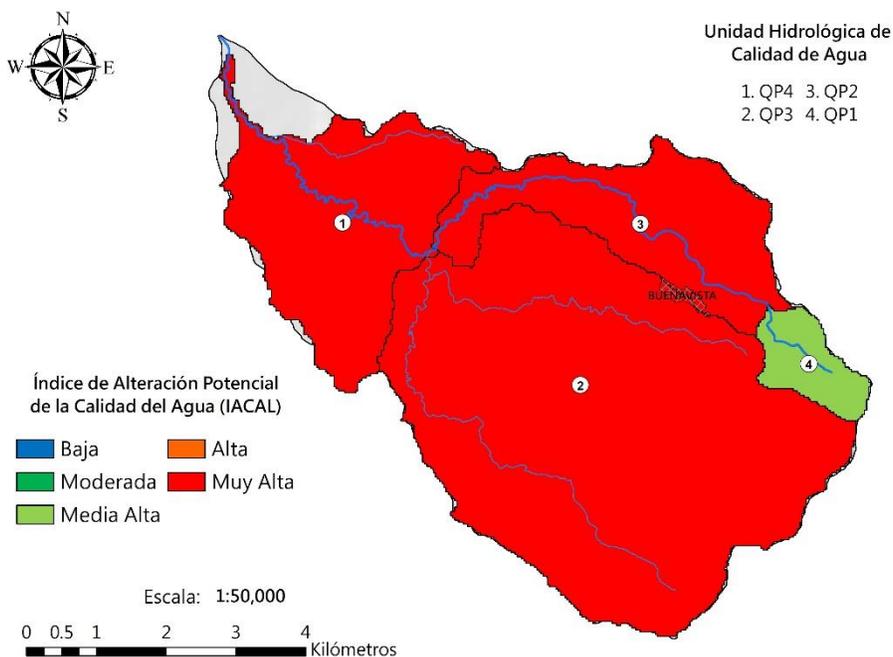


Figura 332. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

Tabla 299. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Quebrada La Picota	QP1	Beneficio de Café Buenavista	1.609	0.813	3.330	0.233	0.023				
	Total QP1	Divisoria de aguas Q. La Picota - A. Arriba CP Buenavista (Bocatoma Buenavista)	1.609	0.813	3.330	0.233	0.023	2.03	1.23	Media Alta	Media Alta
	QP2	PTAP Buenavista	0.221	0.133	0.442	0.053	0.009				
		Descarga PTAR	8.234	5.283	21.586	2.524	0.296				
	Total QP2	Beneficio de Café Buenavista	57.721	29.181	119.482	8.364	0.836				
		Q. La Picota A. Arriba Buenavista - A. Arriba confluencia Q. Los Juanes	67.784	35.410	144.840	11.174	1.164	7.75	5.79	Muy Alta	Muy Alta
	QP3	Descole Las Margaritas	8.739	6.253	19.798	1.748	0.203				
		Beneficio de Café Pijao y Buenavista	180.974	91.493	374.617	26.223	2.622				
	Total QP3	Divisoria de agua Q. Los Juanes - A. Arriba confluencia a la Q. La Picota	189.713	97.745	394.415	27.971	2.825	28.63	17.96	Muy Alta	Muy Alta
	QP4	Q. La Picota A. Arriba confluencia al R. Barragán									
Total QP4	Q. La Picota A. Abajo confluencia de la Q. Los Juanes - A. Arriba confluencia al R. Barragán	257.498	133.155	539.255	39.145	3.989	38.02	24.94	Muy Alta	Muy Alta	

6.6.6. Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José

En la Quebrada San José se presentan aportes en carga de dos fuentes principales, el sector doméstico y beneficio del café (Figura 333). Por parte del sector doméstico, contribuye entre el 96 al 98% del total estimado proveniente de las aguas residuales domésticas del casco urbano de Filandia con 35.91 t/año en DBO5 (97%), 21.54 t/año en SST (97%), 71.83 t/año en DQO (96%), 8.62 t/año en NT (98%) y 1.43 t/año en PT (98%). En cuanto al beneficio del café, su aporte varía entre el 2 al 4% del total de la carga por presencia de cultivos en la parte media de la cuenca (Tabla 300).

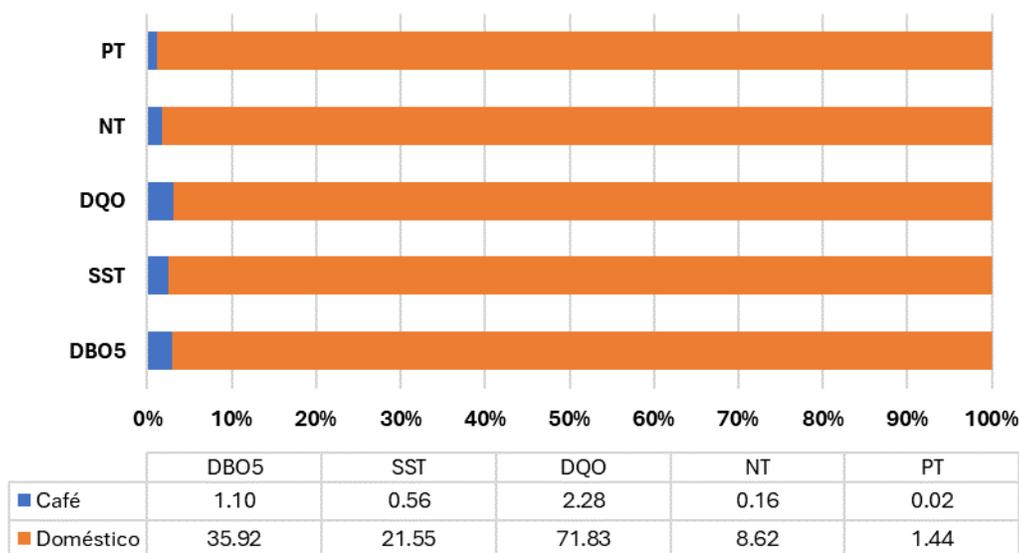


Figura 333. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Quebrada San José (Municipio de Filandia)



Figura 334. Descriptor del IACAL por tramo para la Quebrada San José (Municipio de Filandia)

Respecto al cálculo del IACAL tomando como base las cargas estimadas y la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) se tiene una alteración potencial "Muy Alta" (Figura 334) tanto para el año en condiciones hidrológicas medias (Figura 335) como secas (Figura 336), esto debido principalmente las altas presiones por contaminación residual, lo cual provoca una baja capacidad de asimilación de carga por parte de la corriente.

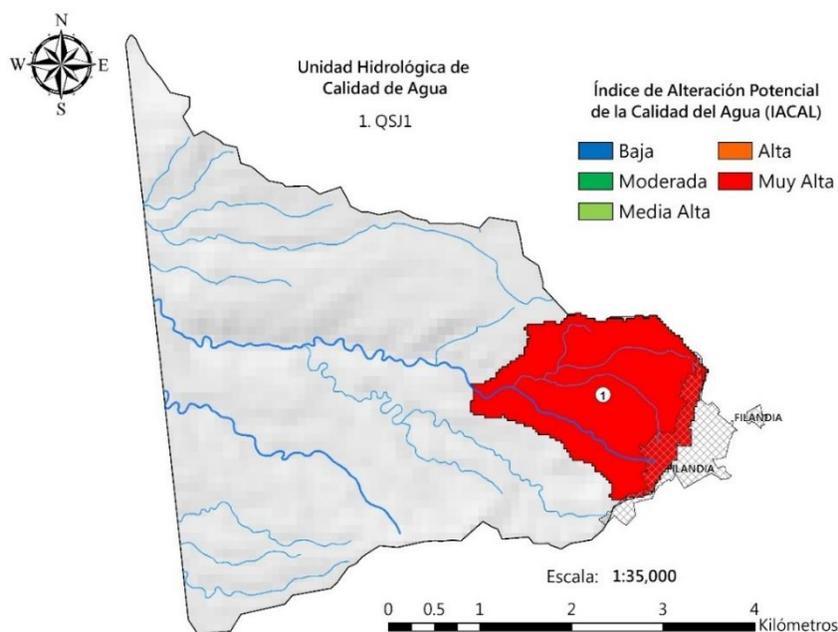


Figura 335. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José (Municipio de Filandia)

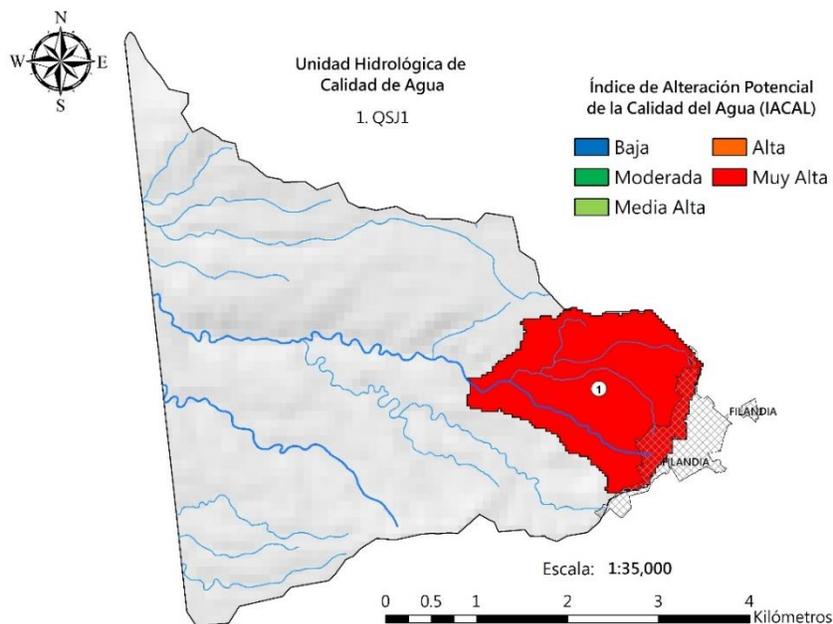


Figura 336. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José (Municipio de Filandia)

Tabla 300. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada San José. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Quebrada San José	Q SJ1	Vertimiento Doméstico Filandia	10.514	6.309	21.029	2.523	0.421				
		Vertimiento Doméstico Filandia	7.998	4.799	15.995	1.919	0.320				
		Vertimiento Doméstico Filandia	5.545	3.327	11.090	1.331	0.222				
		Vertimiento Doméstico Filandia	11.858	7.115	23.716	2.846	0.474				
		Beneficio de Café Filandia	1.101	0.557	2.279	0.160	0.016				
	Total Q SJ1	Divisoria de aguas Q. San José - A. Abajo Filandia	37.016	22.106	74.109	8.779	1.453	4.52	3.57	Muy Alta	Muy Alta

6.6.7. Unidad Hidrográfica del Río Espejo

Sobre la Unidad Hidrográfica del Río Espejo predomina el sector doméstico como el de mayor aporte de carga contaminante (Figura 337) el cual se atribuye a descargas residuales domésticas provenientes del casco urbano de Armenia y Circasia con el 91% en Fosforo Total (PT), 87% en Nitrógeno Total (NT), 80% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), 83% en Sólidos Suspendedos Totales (SST) y del 80% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5). Otro sector como el beneficio de café contribuye en menor medida a la carga total de la cuenca con aporte del 7% en PT, 10% en NT, 17% en la DQO, 14% en SST y del 17% de la DBO5.

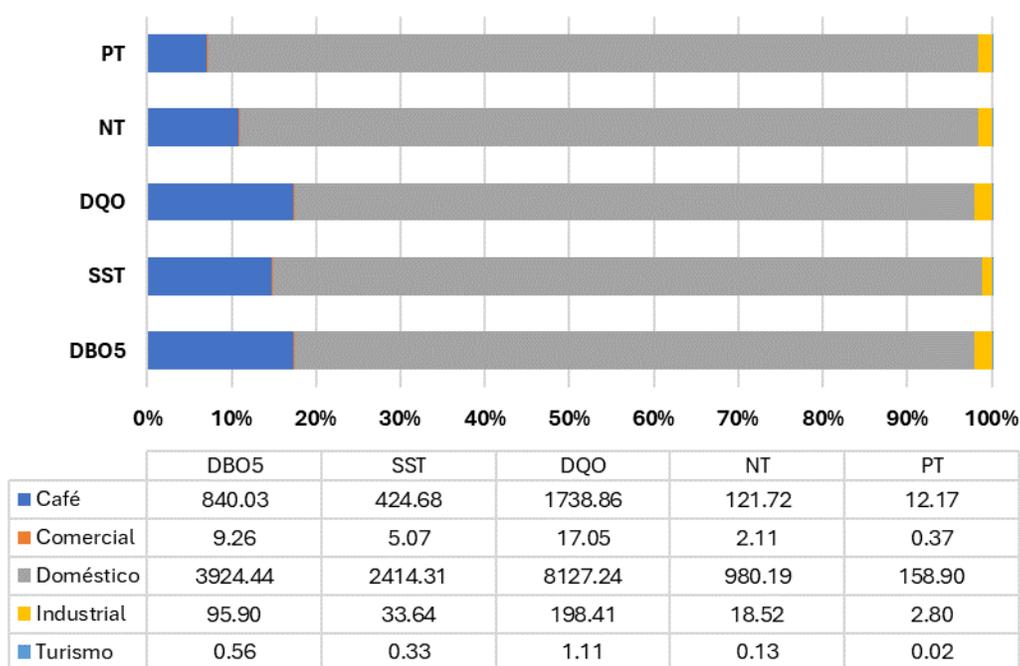


Figura 337. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica del Río Espejo

En cuanto a la alteración potencial de estas cargas sobre las corrientes hídricas del Río Espejo, se presenta como “Muy Alta” (Figura 338) para la gran mayoría de las unidades de análisis tanto para oferta hídrica en año hidrológico medio (Figura 339) como seco (Figura 340), con excepción de la unidad de análisis RE1 (Quebrada Hojas Anchas) que comprende desde la divisoria de aguas de la Quebrada Hojas Anchas (a la altura del casco urbano de Circasia) hasta la confluencia de la Quebrada Yeguas con índice de alteración potencial “Baja”.

Sobre esta parte alta de la cuenca, la corriente sufre un proceso de degradación del ecosistema natural sobre la Quebrada Yeguas con descargas residuales domésticas del casco urbano de Circasia (unidad de análisis RE2), situación que persiste al no alcanzar una auto depuración de sistema a través del aporte de afluentes aguas abajo (unidad de análisis RE3). A partir de este punto, la Quebrada Hojas Anchas (denominada Río Espejo luego de la confluencia de la Quebrada Zanjón Hondo) es receptor de aguas residuales de tipo doméstico por parte del casco urbano de Armenia desde la unidad de análisis RE4 hasta la RE10, y las unidades RE14 (Quebrada Zanjón Honda), RE16 (Quebrada Armenia) y RE22 (Quebrada La Carmelita), donde el sector doméstico es el principal aportante de carga (Tabla 301).

Sobre la parte media alta de la cuenca del Río Espejo, predomina el aporte en carga del beneficio de café, principalmente para las unidades de análisis RE12 (Quebrada Naranjal), RE13 (Quebrada Hojas Anchas), RE15 y RE17 (Río Espejo). Para las unidades RE18 (Quebrada Cajones) y RE19 (Quebrada La Soledad) el sector doméstico cobra una vez más relevancia, con las descargas residuales de casco urbano de Montenegro, sin posibilidad de recuperación antes de la confluencia a Río Espejo.

Otro aspecto relevante son las unidades RE23 (Río Espejo) y RE24 (Quebrada El reposo) con las descargas de las PTAR de Pueblo Tapao y La Marina, siendo esta última perteneciente al municipio de Armenia. La Primera (PTAR Pueblo Tapao), no representa un gran aporte en carga sobre el Río Espejo, como si lo hacen los sectores industrial y beneficio de café para esta unidad. La segunda (PTAR La Marina), genera un aporte considerable a la unidad, seguido del beneficio de café como se evidencia en la Tabla 301.

En la parte baja de la cuenca del Río Espejo (unidad RE25), se evidencia presencia de cultivos de café sobre la zona según mapa de coberturas de la tierra, siendo esta la principal fuente de contaminación y aportante de la carga para esta unidad.

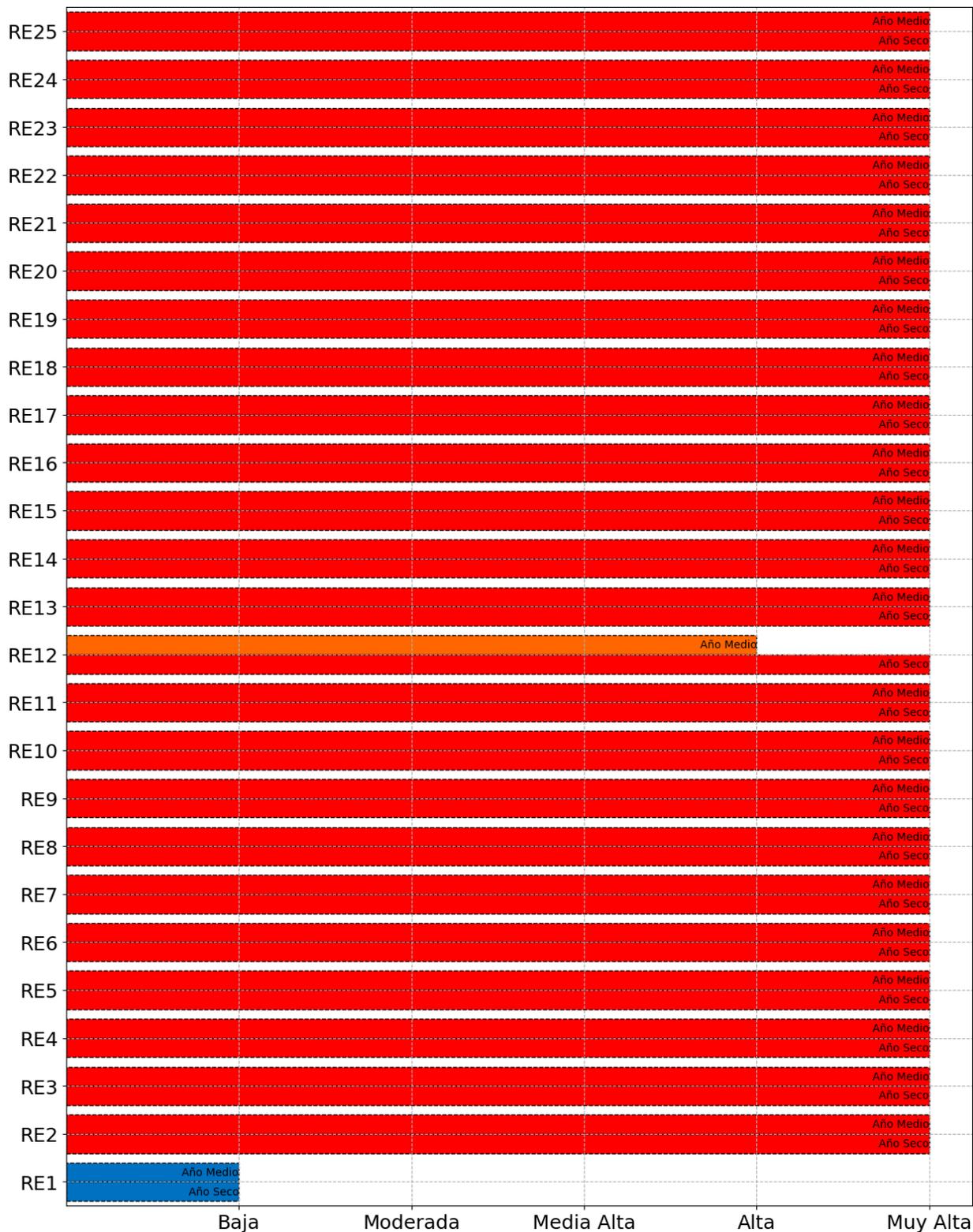


Figura 338. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica del Río Espejo

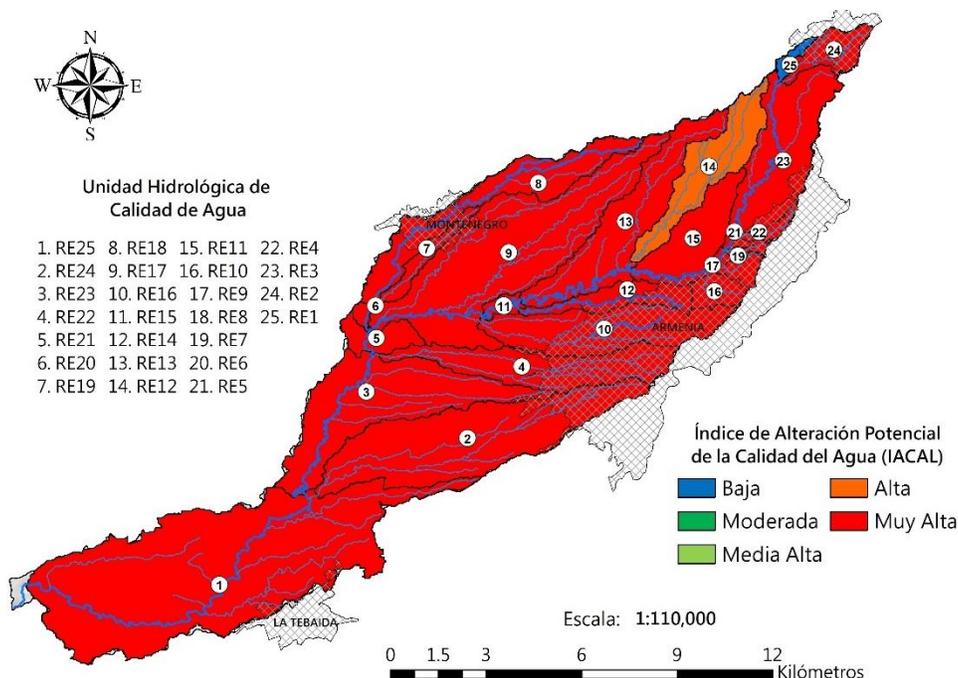


Figura 339. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica del Río Espejo

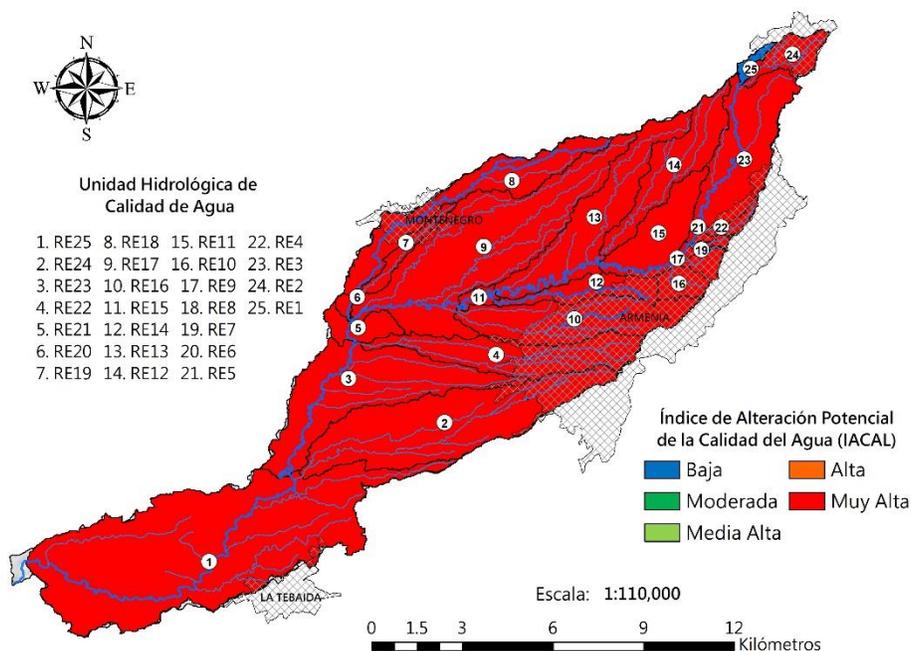


Figura 340. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica del Río Espejo

Tabla 301. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica del Río Espejo. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Río Espejo	RE1	Q. Hojas Anchas A. Arriba confluencia de la Q. Yeguas									
	Total RE1	Divisoria de aguas Q. Hojas Anchas - A. Arriba confluencia de la Q. Yeguas	0	0	0	0	0	0.46	0.31	Baja	Baja
	RE2	Vertimiento Doméstico Circasia	14.129	8.477	28.258	3.391	0.565				
		Vertimiento Doméstico Circasia	14.347	8.608	28.693	3.443	0.574				
		Vertimientos Domésticos Circasia	44.633	26.780	89.265	10.712	1.785				
		Vertimientos Domésticos Circasia	63.866	38.320	127.732	15.328	2.555				
		Vertimiento Doméstico Circasia	35.717	21.430	71.434	8.572	1.429				
		Vertimiento Doméstico Circasia	104.225	62.535	208.449	25.014	4.169				
		Beneficio de Café Circasia	4.931	2.493	10.208	0.715	0.071				
	Total RE2	Divisoria de aguas Q. Yeguas - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	281.847	168.643	564.040	67.174	11.148	4.28	3.37	Muy Alta	Muy Alta
	RE3	Industrial La Gaviota	0.150	0.090	0.299	0.036	0.006				
		Vertimiento Doméstico Armenia	66.513	39.908	133.026	15.963	2.661				
		Beneficio de Café Circasia y Armenia	56.373	28.500	116.691	8.168	0.817				
	Total RE3	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Yeguas - A. Arriba confluencia de la Q. Paujil	404.883	237.140	814.057	91.342	14.631	17.68	13.69	Muy Alta	Muy Alta
	RE4	Vertimientos Domésticos Armenia	78.108	46.865	156.217	18.746	3.124				
	Total RE4	Divisoria de aguas Q. Paujil - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	78.108	46.865	156.217	18.746	3.124	0.53	0.42	Muy Alta	Muy Alta
	RE5	Q. Hojas Anchas A. Arriba confluencia de la Q. Laureles									
		Beneficio de Café Circasia	1.756	0.888	3.635	0.254	0.025				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total RE5	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Paujil - A. Arriba confluencia de la Q. Laureles	484.747	284.893	973.909	110.342	17.781	19.16	14.96	Muy Alta	Muy Alta
	RE6	Vertimientos Domésticos Armenia	57.038	34.223	114.077	13.689	2.282				
	Total RE6	Divisoria de aguas Q. Laureles - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	57.038	34.223	114.077	13.689	2.282	0.30	0.24	Muy Alta	Muy Alta
	RE7	Vertimientos Domésticos Armenia	16.741	10.045	33.483	4.018	0.670				
		Beneficio de Café Circasia	0.035	0.018	0.072	0.005	0.001				
	Total RE7	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Laureles - A. Arriba confluencia de la Q. La Aldana	558.562	329.178	1121.540	128.055	20.733	20.21	15.85	Muy Alta	Muy Alta
	RE8	Comercial	0.261	0.156	0.522	0.063	0.010				
		Vertimiento Doméstico Armenia	13.125	7.875	26.251	3.150	0.525				
		Vertimientos Domésticos Armenia	19.905	11.943	39.810	4.777	0.796				
		PTAR Alcantarillado Universidad del Quindío	0.877	0.980	2.200	0.175	0.046				
		Vertimiento Doméstico Armenia	17.298	10.379	34.595	4.151	0.692				
		PTAR Q. Aldana Universidad del Quindío	4.636	1.836	9.934	0.927	0.196				
		Vertimientos Domésticos Armenia	47.547	28.528	95.093	11.411	1.902				
		Comercial	0.191	0.115	0.382	0.046	0.008				
		Vertimiento Doméstico Armenia	7.145	4.287	14.290	1.715	0.286				
		PTAR La Isabella	23.557	22.517	57.900	4.711	0.416				
		Vertimientos Domésticos Armenia	33.274	19.964	66.548	7.986	1.331				
		Vertimientos Domésticos Armenia	5.702	3.421	11.404	1.369	0.228				
	Vertimiento Doméstico Armenia	12.239	7.343	24.477	2.937	0.490					
	Total RE8	Divisoria de aguas Q. La Aldana - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	185.756	119.344	383.407	43.419	6.925	0.75	0.59	Muy Alta	Muy Alta
RE9	Central De Sacrificio Bellavista	44.252	18.711	88.963	6.084	0.918					

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
		Beneficio de Café Circasia	0.319	0.161	0.661	0.046	0.005				
	Total RE9	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. La Aldana - A. Arriba confluencia de la Q. Santa Helena	788.889	467.394	1594.571	177.603	28.581	21.84	17.25	Muy Alta	Muy Alta
	RE10	Vertimientos Domésticos Armenia	257.881	154.729	515.763	61.892	10.315				
	Total RE10	Divisoria de aguas Q. Santa Helena - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	257.881	154.729	515.763	61.892	10.315	2.89	2.49	Muy Alta	Muy Alta
	RE11	Vertimientos Domésticos Armenia	34.178	20.507	68.356	8.203	1.367				
		Beneficio de Café Circasia	59.786	30.225	123.756	8.663	0.866				
	Total RE11	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Santa Helena - A. Arriba confluencia de la Q. Naranjal	1140.734	672.855	2302.446	256.361	41.130	30.99	24.80	Muy Alta	Muy Alta
	RE12	Beneficio de Café Circasia	36.389	18.396	75.324	5.273	0.527				
	Total RE12	Divisoria de aguas Q. Naranjal - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	36.389	18.396	75.324	5.273	0.527	7.30	5.71	Alta	Muy Alta
	RE13	Beneficio de Café Circasia	116.399	58.846	240.946	16.866	1.687				
	Total RE13	Q. Hojas Anchas A. Abajo confluencia de la Q. Naranjal - A. Arriba confluencia de la Q. Zanjón Hondo	1293.522	750.098	2618.716	278.500	43.344	48.76	38.64	Muy Alta	Muy Alta
	RE14	PTAR Cooperativa Colanta Ltda.	10.265	0.698	24.307	2.053	0.411				
		Comercial	0.191	0.115	0.382	0.046	0.008				
		Vertimientos Domésticos Armenia	332.026	199.216	664.053	79.686	13.281				
		Beneficio de Café Armenia	14.148	7.153	29.286	2.050	0.205				
	Total RE14	Divisoria de aguas Q. Zanjón Hondo - A. Arriba confluencia a la Q. Hojas Anchas	356.630	207.181	718.028	83.835	13.904	3.88	3.28	Muy Alta	Muy Alta
	RE15	Beneficio de Café Circasia y Armenia	5.518	2.789	11.421	0.799	0.080				
	Total RE15	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. Hojas Anchas - A. Arriba confluencia de la Q. Armenia	1655.669	960.068	3348.166	363.134	57.328	53.24	42.33	Muy Alta	Muy Alta

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco	
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL	
	RE16	Vertimientos Domésticos Armenia	131.983	79.190	263.966	31.676	5.279					
		Vertimientos Domésticos Armenia	39.515	23.709	79.030	9.484	1.581					
		Vertimientos Domésticos Armenia	24.634	14.780	49.268	5.912	0.985					
		Vertimientos Domésticos Armenia	301.204	180.722	602.407	72.289	12.048					
		Vertimientos Domésticos Armenia	30.040	18.024	60.081	7.210	1.202					
		Vertimientos Domésticos Armenia	77.465	46.479	154.931	18.592	3.099					
		Vertimientos Domésticos Armenia	31.362	18.817	62.723	7.527	1.254					
		Vertimientos Domésticos Armenia	152.636	91.581	305.272	36.633	6.105					
		Vertimientos Domésticos Armenia	47.599	28.559	95.197	11.424	1.904					
		Vertimientos Domésticos Armenia	11.943	7.166	23.886	2.866	0.478					
		Beneficio de Café Armenia	39.973	20.208	82.743	5.792	0.579					
		Total RE16	Divisoria de aguas Q. Armenia - A. Arriba confluencia al R. Espejo	888.353	529.237	1779.504	209.403	34.514	12.65	10.46	Muy Alta	Muy Alta
		RE17	Beneficio de Café Montenegro y Circasia	208.422	105.369	431.433	30.200	3.020				
		Total RE17	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. Armenia - A. Arriba confluencia de la Q. Cajones (Montenegro)	2752.444	1594.674	5559.102	602.738	94.862	86.23	68.61	Muy Alta	Muy Alta
		RE18	Vertimientos Domésticos Montenegro	130.006	78.004	260.013	31.202	5.200				
			Vertimientos Domésticos Montenegro	263.716	158.230	527.432	63.292	10.549				
			Vertimiento Doméstico Montenegro	123.561	74.137	247.123	29.655	4.942				
			Beneficio de Café Montenegro y Circasia	80.137	40.514	165.885	11.612	1.161				
		Total RE18	Divisoria de aguas Q. Cajones (Montenegro) - A. Arriba confluencia Q. La Soledad	597.421	350.884	1200.453	135.760	21.853	9.44	7.37	Muy Alta	Muy Alta
R19	Vertimientos Domésticos Montenegro	353.984	212.390	707.967	84.956	14.159						
	Comercial	0.151	0.382	0.283	0.030	0.010						
	Beneficio de Café Armenia	3.270	1.653	6.769	0.474	0.047						

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco	
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL	
	Total RE19	Divisoria de aguas Q. La Soledad - A. Arriba confluencia Q. Cajones (Montenegro)	357.405	214.425	715.019	85.460	14.216	1.88	1.53	Muy Alta	Muy Alta	
	RE20	Beneficio de Café Armenia	0.291	0.147	0.602	0.042	0.004					
	Total RE20	Q. Cajones (Montenegro) A. Abajo confluencia de la Q. La Soledad - A. Arriba confluencia al R. Espejo	955.117	565.456	1916.074	221.262	36.073	11.83	9.28	Muy Alta	Muy Alta	
	RE21	Comercial		2.694	0.842	3.936	0.539	0.108				
		Beneficio de Café Armenia y Montenegro		4.105	2.075	8.498	0.595	0.059				
	Total RE21	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. Cajones (Montenegro) - A. Arriba confluencia de la Q. La Carmelita	3714.361	2163.047	7487.610	825.134	131.103	100.13	79.45	Muy Alta	Muy Alta	
	RE22	Comercial		0.174	0.104	0.348	0.042	0.007				
		Vertimientos Domésticos Armenia		18.236	10.942	36.473	4.377	0.729				
		Comercial		0.695	0.417	1.391	0.167	0.028				
		Vertimientos Domésticos Armenia		32.092	19.255	64.184	7.702	1.284				
		Vertimientos Domésticos Armenia		33.569	20.142	67.139	8.057	1.343				
		Vertimientos Domésticos Armenia		50.780	30.468	101.560	12.187	2.031				
		Vertimientos Domésticos Armenia		42.140	25.284	84.280	10.114	1.686				
		Comercial		4.729	2.837	9.457	1.135	0.189				
		Vertimientos Domésticos Armenia		99.352	59.611	198.705	23.845	3.974				
		Vertimientos Domésticos Armenia		73.832	44.299	147.664	17.720	2.953				
		Vertimientos Domésticos Armenia		143.300	85.980	286.601	34.392	5.732				
		Vertimientos Domésticos Armenia		5.876	3.526	11.752	1.410	0.235				
		Vertimientos Domésticos Armenia		38.089	22.854	76.179	9.141	1.524				
	Vertimientos Domésticos Armenia		34.352	20.611	68.703	8.244	1.374					
Vertimientos Domésticos Armenia		41.775	25.065	83.550	10.026	1.671						

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
		Vertimiento Doméstico Armenia	16.602	9.961	33.204	3.985	0.664				
		Beneficio de Café Armenia	14.327	7.243	29.656	2.076	0.208				
	Total RE22	Divisoria de aguas Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia al R. Espejo	649.921	388.599	1300.845	154.619	25.631	10.96	9.03	Muy Alta	Muy Alta
	RE23	Procesadora Avícola Los Ángeles	35.725	11.327	72.708	9.245	1.224				
		PTAR Centro Poblado Pueblo Tapao	9.377	13.789	22.213	1.875	0.375				
		Beneficio de Café Montenegro y Armenia	43.632	22.058	90.319	6.322	0.632				
	Total RE23	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia de la Q. El Reposo	4453.015	2598.821	8973.695	997.195	158.966	124.12	98.24	Muy Alta	Muy Alta
	RE24	Comercial	0.174	0.104	0.348	0.042	0.007				
		PTAR La Marina	266.227	202.840	796.568	103.533	13.100				
		Turismo	0.174	0.104	0.348	0.042	0.007				
		Turismo	0.382	0.229	0.765	0.092	0.015				
		Beneficio de Café Armenia	71.509	36.152	148.025	10.362	1.036				
	Total RE24	Divisoria de aguas Q. El Reposo - A. Arriba confluencia al R. Espejo	338.467	239.430	946.053	114.070	14.165	17.61	13.73	Muy Alta	Muy Alta
	RE25	Beneficio de Café Montenegro, Armenia y La Tebaida	78.712	39.793	162.933	11.405	1.141				
	Total RE25	R. Espejo A. Abajo confluencia de la Q. El Reposo - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4870.193	2878.044	10082.680	1122.670	174.272	176.20	136.80	Muy Alta	Muy Alta

6.6.8. Unidad Hidrográfica del Río Rojo

Dado que la Unidad Hidrográfica del Río Rojo incluye a la Unidad Hidrográfica del Río San Juan, y esta a su vez incluye a la Unidad Hidrográfica del Río Grís, no es posible caracterizar hidrológicamente el comportamiento de la calidad de agua del Río Rojo sin tener en cuenta afluentes relevantes como lo son los Ríos San Juan y Grís. Por lo anterior, se detallará tanto el aporte en carga como su impacto en la calidad del agua sobre los tramos principales de estas corrientes, de tal forma que se brinde un diagnóstico particular para estas unidades hidrográficas.

Las cargas estimadas sobre las unidades de análisis del Río Rojo muestran que el sector con aporte en carga para las unidades RRoj1 y RRoj2 es el beneficio de café con el 100% de la carga total para cada parámetro evaluado (Figura 341). Consecuentemente, se presenta una "Alta" alteración potencial de la calidad del agua (Figura 342) tanto en año hidrológico medio (Figura 343) como seco (Figura 344) excepto para la unidad RRoj1 con alteración "Media Alta" en año medio.

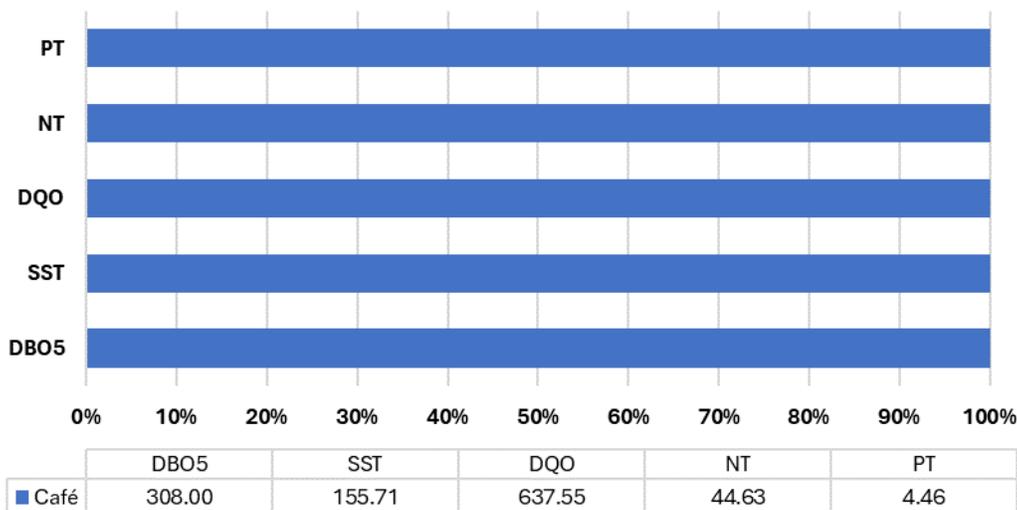


Figura 341. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica del Río Rojo

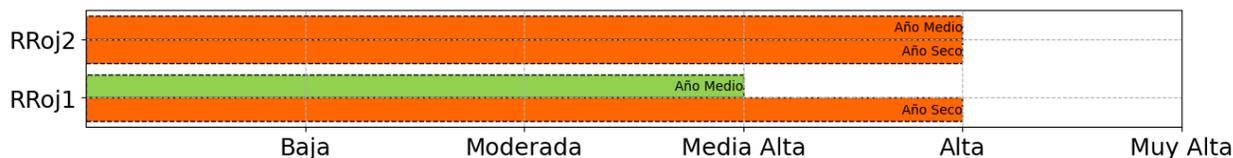


Figura 342. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica del Río Rojo

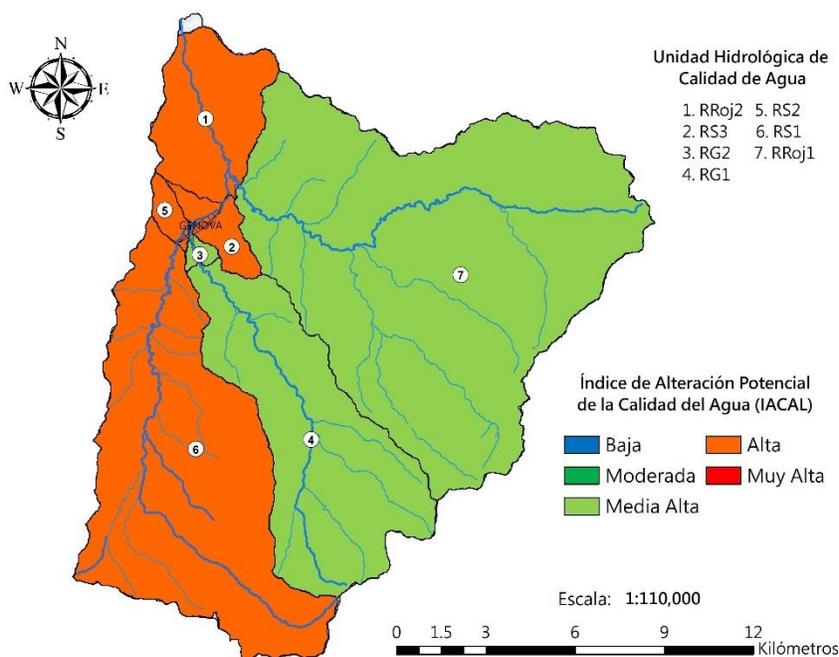


Figura 343. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica del Río Rojo

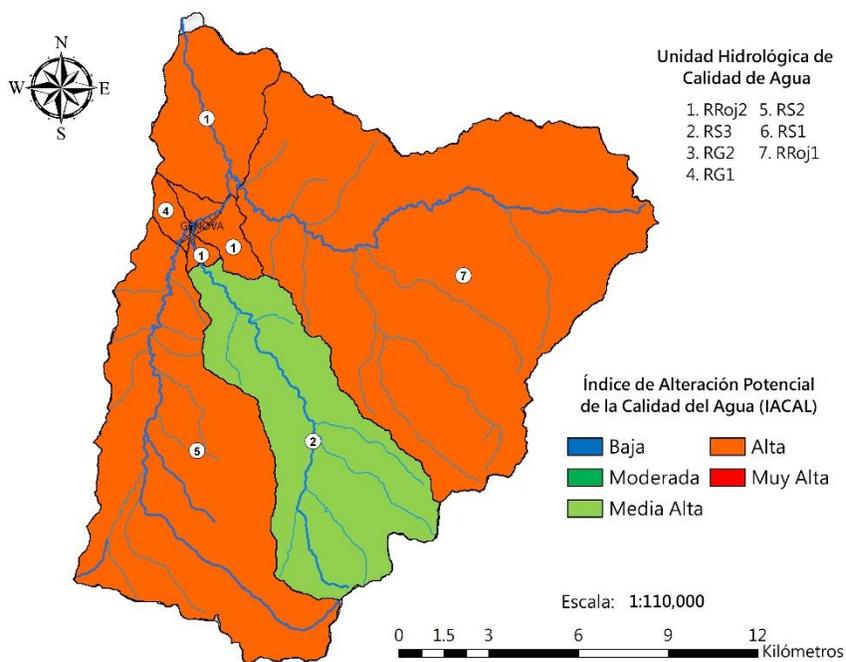


Figura 344. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica del Río Rojo

Tabla 302. Cargas Contaminantes para las Unidades Hidrográficas de los Ríos Rojo, San Juan y Grís. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Río Rojo	RRoj1	Beneficio de Café Génova	144.585	73.096	299.291	20.950	2.095				
	Total RRoj1	Divisoria de aguas R. Rojo - A. Arriba confluencia del R. San Juan	144.585	73.096	299.291	20.950	2.095	127.70	68.18	Media Alta	Alta
	RS1	Beneficio de Café Génova	155.063	78.393	320.981	22.469	2.247				
	Total RS1	Divisoria de aguas R. San Juan - A. Arriba Génova	155.063	78.393	320.981	22.469	2.247	80.60	46.66	Alta	Alta
	RS2	Vertimiento Doméstico Génova	17.822	10.693	35.644	4.277	0.713				
		Beneficio de Café Génova	24.242	12.256	50.182	3.513	0.351				
	Total RS2	R. San Juan A. Arriba Génova - A. Arriba confluencia del R. Gris	197.128	101.342	406.807	30.259	3.311	82.64	47.72	Alta	Alta
	RG1	Beneficio de Café Génova	44.498	22.496	92.111	6.448	0.645				
	Total RG1	Divisoria de aguas R. Gris - A. Arriba Génova (Bocatoma Génova)	44.498	22.496	92.111	6.448	0.645	51.49	29.30	Media Alta	Media Alta
	RG2	PTAP Génova	0.169	0.102	0.339	0.041	0.007				
		Vertimientos Domésticos Génova	13.417	8.050	26.835	3.220	0.537				
		Vertimiento Doméstico Génova	6.285	3.771	12.570	1.508	0.251				
		Beneficio de Café Génova	9.775	4.942	20.234	1.416	0.142				
	Total RG2	R. Gris A. Arriba Génova - A. Arriba confluencia al R. San Juan	74.145	39.361	152.089	12.633	1.581	52.49	29.85	Media Alta	Alta
	RS3	Vertimiento Doméstico Génova	6.726	4.035	13.451	1.614	0.269				
Vertimiento Doméstico Génova		9.267	5.560	18.534	2.224	0.371					
Vertimiento Doméstico Génova		8.809	5.286	17.619	2.114	0.352					

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
		Vertimiento Doméstico Génova	8.691	5.214	17.382	2.086	0.348				
		Vertimientos Domésticos Génova	11.960	7.176	23.921	2.871	0.478				
		Beneficio de Café Génova	55.904	28.262	115.721	8.100	0.810				
	Total RS3	R. San Juan A. Abajo confluencia del R. Gris - A. Arriba confluencia al R. Rojo	372.629	196.238	765.523	61.901	7.520	139.83	80.11	Alta	Alta
	RRoj2	Beneficio de Café Génova	163.412	82.614	338.263	23.678	2.368				
	Total RRoj2	R. Rojo A. Abajo confluencia del R. San Juan - A. Arriba confluencia al R. Barragán	680.626	351.947	1403.076	106.530	11.983	286.76	158.62	Alta	Alta

6.6.9. Unidad Hidrográfica del Río San Juan

Para la Unidad Hidrográfica del Río San Juan, principal tributario del Río Rojo, el mayor aporte en carga contaminante a la fuente hídrica es por beneficio de café, cultivo que ocupa una extensa área de acuerdo con el mapa de coberturas del suelo sobre las unidades de análisis RS3, RS2 y la parte baja de la unidad RS1 a la altura del casco urbano de Génova. De igual manera, el sector doméstico impacta de forma negativa en la calidad del agua del Río San Juan, producto de descargas de agua residual a su paso por este centro poblado, degradando el ecosistema natural de la corriente (Figura 345).

Contemplando estas cargas estimadas y la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS), el Río San Juan presenta una "Alta" degradación potencial de su calidad (Figura 346) tanto en año hidrológico medio (Figura 347) como en año hidrológico seco (Figura 348).

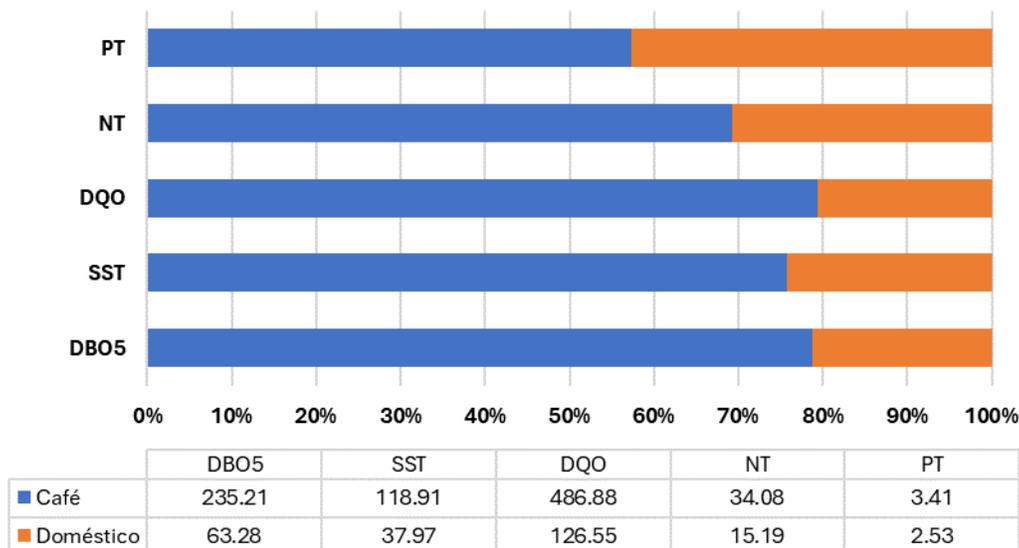


Figura 345. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica del Río San Juan

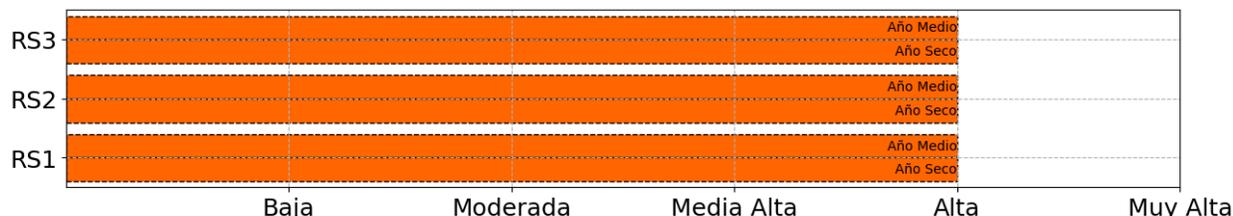


Figura 346. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica del Río San Juan

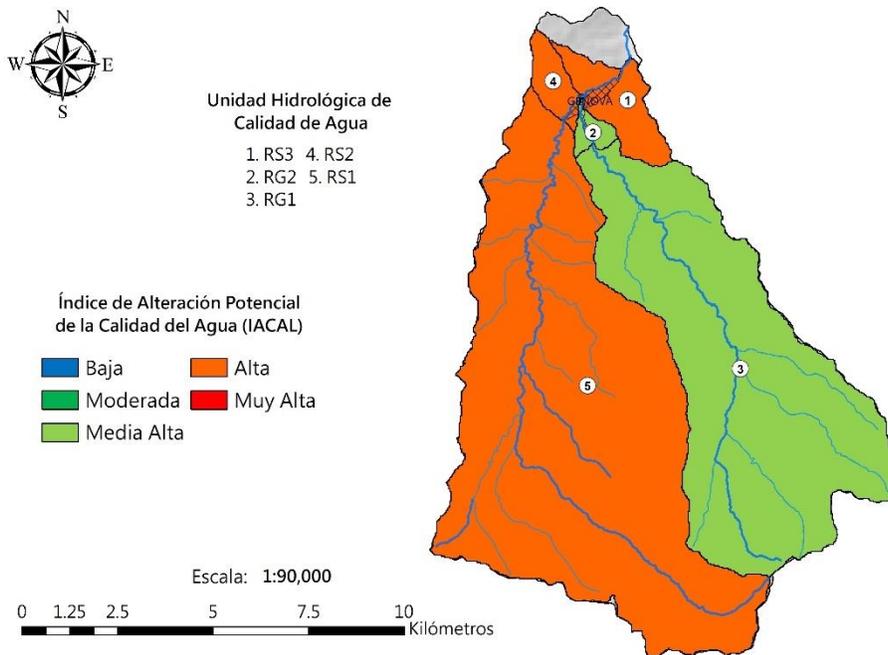


Figura 347. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica del Río San Juan

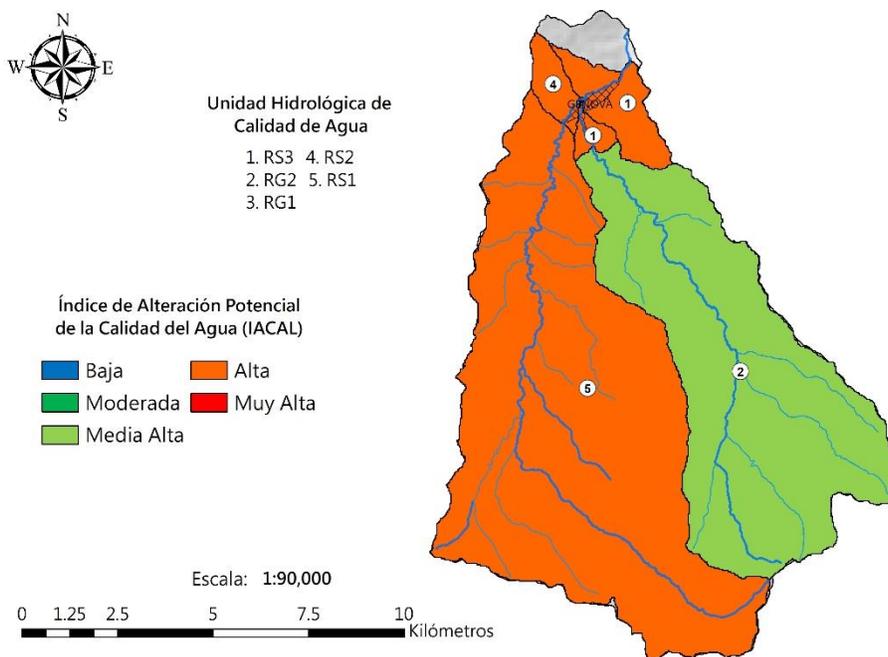


Figura 348. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica del Río San Juan

6.6.10. Unidad Hidrográfica del Río Gris

Las cargas estimadas para la Unidad Hidrográfica del Río Gris infieren que el beneficio de café es el sector con mayor aporte con el 49% en la DBO5, 62% en SST, 73% en la DQO, 69% en NT y 73% en PT del total para la cuenca (Figura 349). Este aporte se debe a áreas cultivadas de café en la parte baja de la unidad de análisis RG1 y RG2. El aporte restante proviene del sector doméstico con descargas residuales directas a la corriente principal del casco urbano de Génova.

En cuanto a la relación carga - oferta hídrica, el Río Gris presenta una alteración potencial "Media Alta" (Figura 350) para la unidad RG1 (parte alta de la cuenca) y "Media Alta" a "Alta" para la unidad RG2 (Figura 351 y Figura 352), lo cual indica que para condiciones en presencia de caudales bajos, los niveles de contaminación aumenta debido a la baja capacidad de dilución por parte de la corriente hídrica.

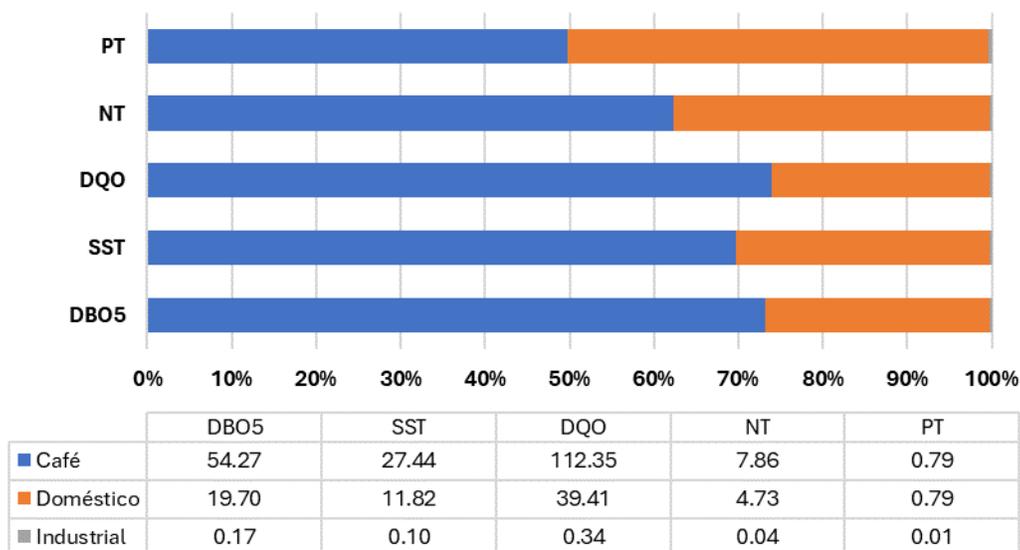


Figura 349. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica del Río Gris



Figura 350. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica del Río Gris

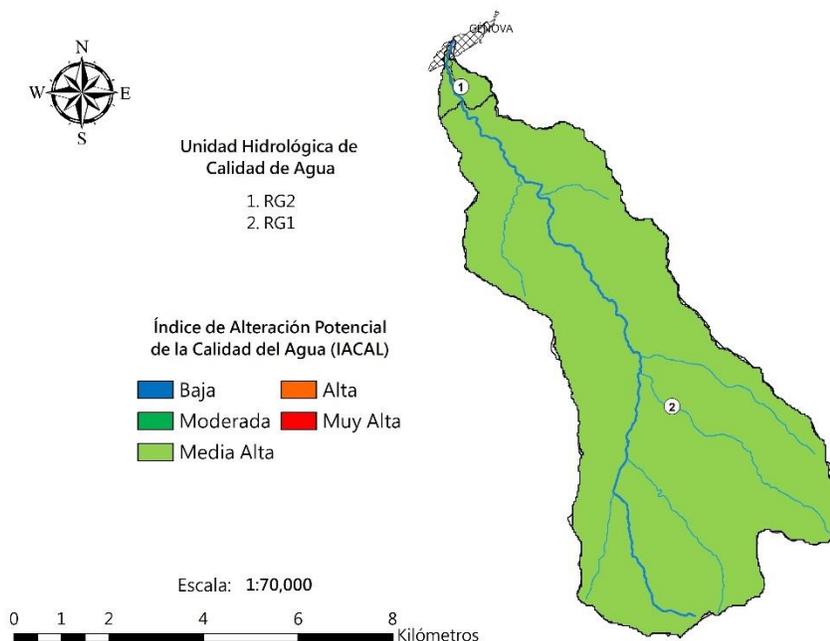


Figura 351. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica del Río Grís

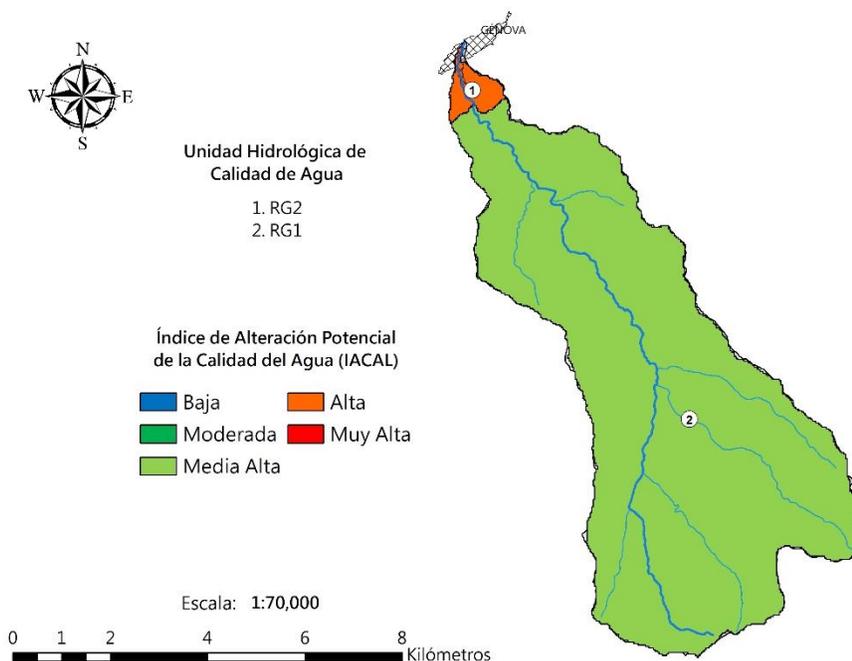


Figura 352. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica del Río Grís

6.6.11. Unidad Hidrográfica del Río Lejos

Las cargas estimadas para la Unidad Hidrográfica del Río Lejos muestran que el sector con mayor aporte es el agrícola con el beneficio de café, siendo el más relevante en todos los parámetros analizados como Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) representando el 70%, 80%, 86%, 71% y 87% de la carga total para la cuenca respectivamente (Figura 353).

Otros sectores con gran impacto es el sector doméstico y el industrial (extracción de material de arrastre). En cuanto al sector doméstico, el aporte de carga es provocado por las aguas residuales provenientes de la cabecera municipal del municipio de Pijao, afectando la calidad del agua de la Quebrada El Inglés (unidad de análisis RL3) y el Río Lejos (unidad de análisis RL2). Para el caso del sector industrial, el parámetro de mayor afectación son los Sólidos Suspendidos Total (SST) aportando un 17% de la carga total para la parte baja de la unidad RL8 (Río Lejos antes de su confluencia al Río Barragán).

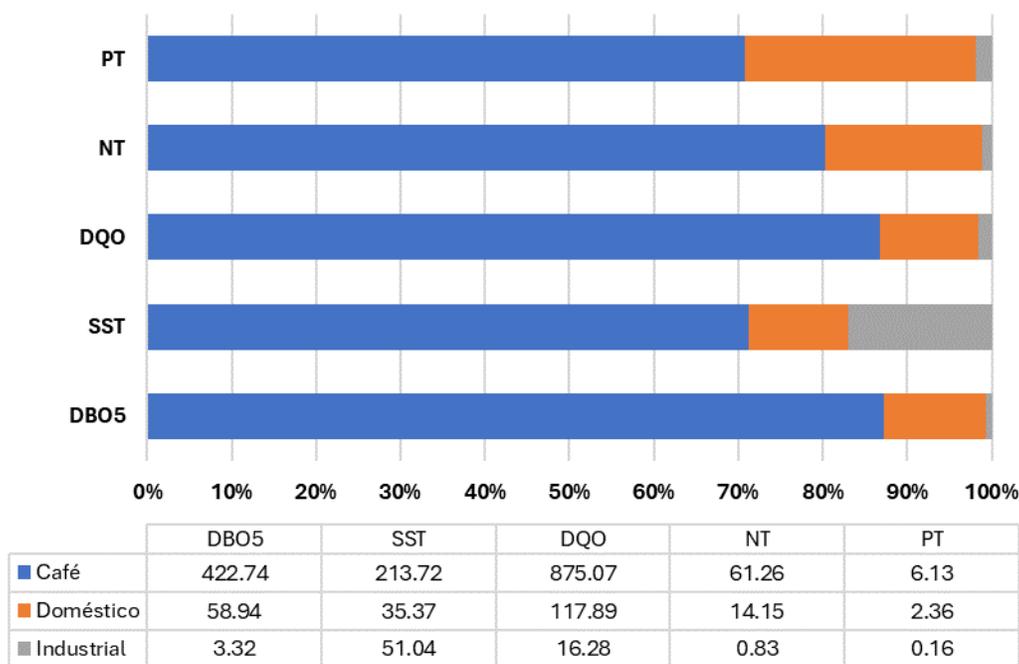


Figura 353. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica del Río Lejos

En cuanto a su grado de alteración potencial a la calidad del agua para las unidades de análisis definidas sobre la Unidad Hidrográfica del Río Lejos, se tiene que en la parte

al de la cuenca correspondiente a la unidad RL1 (Río Lejos) su alteración potencial es “Baja” (Figura 354) dada la baja carga aportada por el beneficio del café en relación con la oferta hídrica superficial de la corriente (Tabla 303). Es de Resaltar que sobre esta unidad se encuentra localizada una de las bocatomas del centro poblado de Pijao sobre la Quebrada Las Pizarras, de la cual no se evidencia presencia alguna de cargas contaminantes aguas arriba del sitio de captación.

A la altura del casco urbano de Pijao se ubican las unidades RL2 (Río Lejos) y RL3 (Quebrada El Inglés) Para la unidad RL2 su grado de alteración aumenta a “Moderada” para condiciones hidrológicas de año medio y “Media Alta” en condiciones de año seco producto de las descargas de agua residual domésticas, reflejándose el impacto de la disminución de los caudales del Río Lejos sobre la calidad del agua. La unidad RL3 sufre una degradación severa sufriendo un grado de alteración “Muy Alta” para las dos condiciones hidrológicas, igualmente por la presencia de vertimientos de tipo doméstico sobre esta corriente y caudales relativamente bajos sin posibilidad de dilución ni autodepuración antes de su confluencia al Río Lejos (Figura 354).

Por último, el grado de alteración potencial a la calidad del agua aguas abajo del casco urbano de Pijao se presenta como “Alta” para las dos condiciones hidrológicas, debido a áreas destinadas al cultivo de café, las cuales por medio de descargas difusas aumentan este aporte en carga sobre la corriente, con excepción de las unidades RL5 (Río Azul) y RL6 (Río Lejos), siendo “Media Alta” para año medio y “Alta” para año seco.

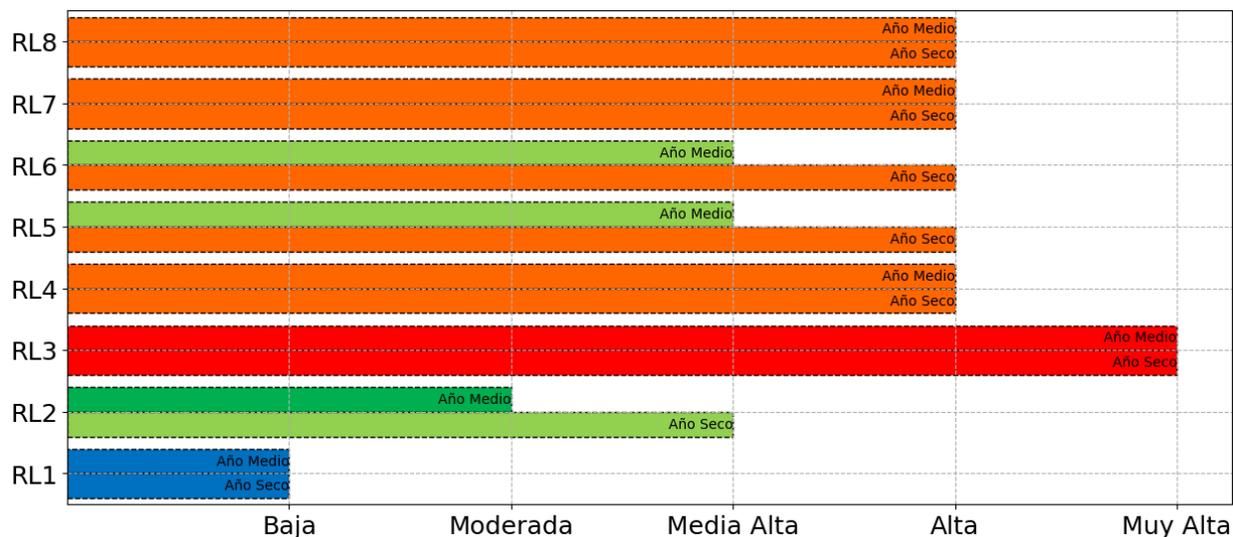


Figura 354. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica del Río Lejos

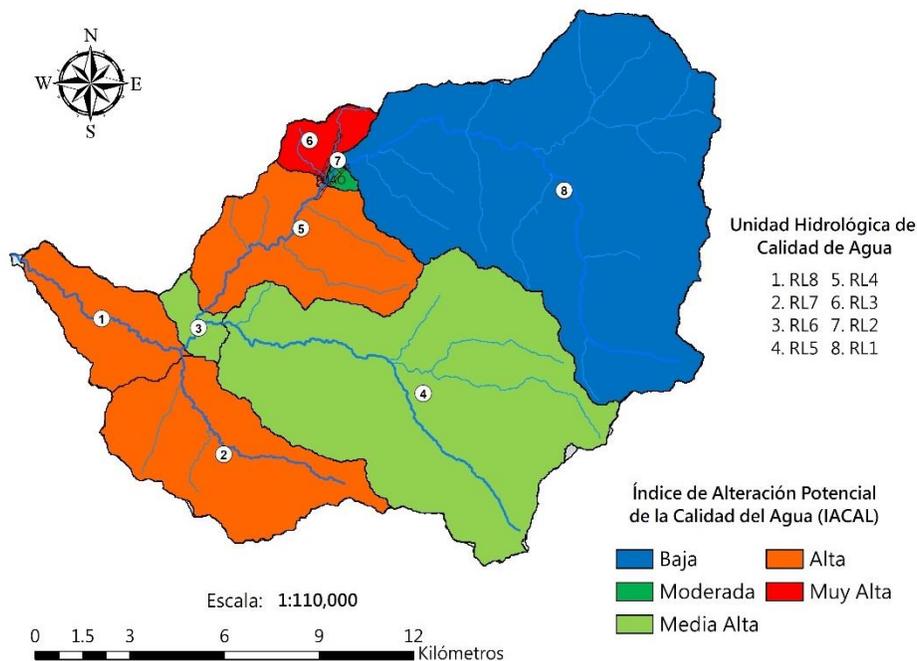


Figura 355. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica del Río Lejos

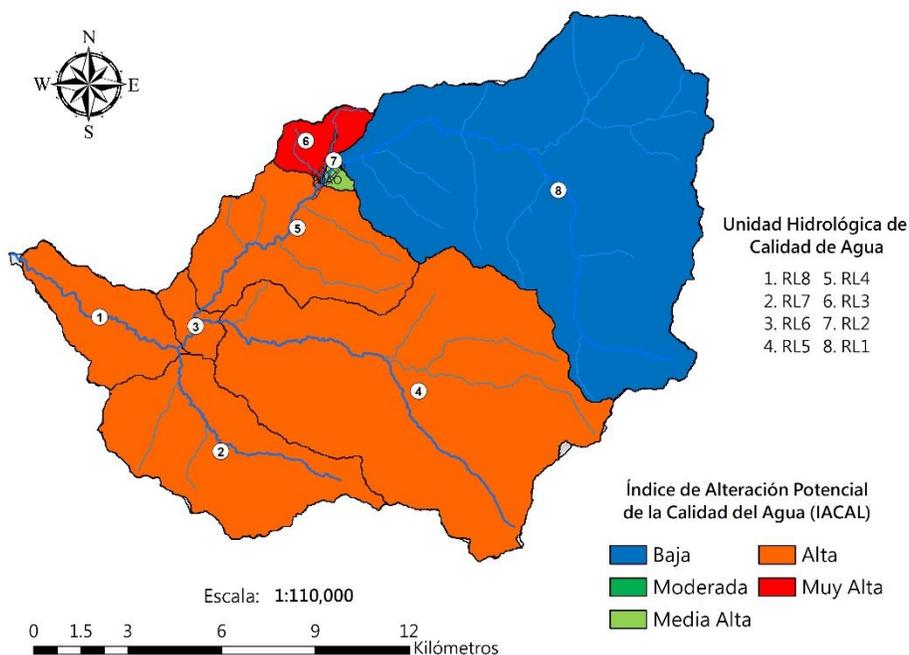


Figura 356. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica del Río Rojo

Tabla 303. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica del Río Lejos. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Río Lejos	RL1	Beneficio de Café Pijao	11.222	5.673	23.229	1.626	0.163				
	Total RL1	Divisoria de aguas R. Lejos - A. Arriba Pijao	11.222	5.673	23.229	1.626	0.163	94.80	62.64	Baja	Baja
	RL2	Vertimiento Doméstico Pijao	24.240	14.544	48.481	5.818	0.970				
		Beneficio de Café Pijao	4.294	2.171	8.888	0.622	0.062				
	Total RL2	R. Lejos A. Arriba Pijao - A. Arriba confluencia de la Q. El Inglés	39.756	22.388	80.598	8.066	1.194	95.64	63.06	Moderada	Media Alta
	RL3	PTAP Pijao	0.099	0.060	0.199	0.024	0.004				
		Vertimientos Domésticos Pijao	34.703	20.822	69.406	8.329	1.388				
		Beneficio de Café Pijao	3.285	1.661	6.801	0.476	0.048				
	Total RL3	Divisoria de aguas Q. El Inglés - A. Arriba confluencia al R. Lejos	38.087	22.542	76.405	8.829	1.440	4.80	2.55	Muy Alta	Muy Alta
	RL4	Beneficio de Café Pijao	114.363	57.817	236.732	16.571	1.657				
	Total RL4	R. Lejos A. Abajo confluencia Q. El Inglés - A. Arriba confluencia del R. Azul	192.206	102.747	393.734	33.466	4.291	126.74	79.62	Alta	Alta
	RL5	Beneficio de Café Pijao	84.136	42.536	174.162	12.191	1.219				
	Total RL5	Divisoría de aguas R. Azul - A. Arriba confluencia al R. Lejos	84.136	42.536	174.162	12.191	1.219	78.53	46.44	Media Alta	Alta
	RL6	Beneficio de Café Pijao	33.546	16.959	69.441	4.861	0.486				
Total RL6	R. Lejos A. Abajo confluencia del R. Azul - A. Arriba de la Q. La Maizena	309.889	162.242	637.337	50.518	5.996	208.42	127.94	Media Alta	Alta	
RL7	Beneficio de Café Génova y Pijao	86.358	43.659	178.760	12.513	1.251					

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total RL7	Divisoria de aguas Q. La Maizena - A. Arriba confluencia al R. Lejos	86.358	43.659	178.760	12.513	1.251	29.66	15.78	Alta	Alta
	RL8	Agregados Éxito	3.217	50.984	16.083	0.804	0.161				
		Beneficio de Café Génova y Pijao	85.536	43.243	177.060	12.394	1.239				
	Total RL8	R. Lejos A. Abajo confluencia Q. La Maizena - A. Arriba confluencia al R. Barragán	484.999	300.128	1009.240	76.229	8.648	250.38	150.79	Alta	Alta

6.6.12. Unidad Hidrográfica del Río Quindío

En la Unidad Hidrográfica del Río Quindío, se evidencia la clara influencia de dos sectores principales: el doméstico y el relacionado con el beneficio del café, como se ilustra en la Figura 357. El sector doméstico tiene un impacto significativo en las cargas de varios parámetros, siendo el Fósforo Total (PT) el más afectado con un 79%, seguido por el Nitrógeno Total (NT) con un 70%, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con un 60%, los Sólidos Suspendidos Totales (SST) con un 64%, y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) con un 61% del total de la carga estimada. Estos efectos se atribuyen principalmente a las descargas de aguas residuales provenientes de las cabeceras municipales de Salento (ubicada en la parte alta de la cuenca), Armenia y Calarcá (ubicadas en la parte media de la cuenca), así como de Córdoba y el Corregimiento de Barcelona (ubicados en la parte baja de la cuenca). Estas descargas aportan significativamente a la carga total de contaminantes en el Río Quindío, destacando la necesidad de implementar medidas adecuadas para mitigar el impacto negativo de las actividades domésticas en la calidad del agua.

Otro aporte significativo en carga es el generado por el beneficio de café debido a grandes extensiones del cultivo existente a lo largo de la parte media baja (noroccidente) de la cuenca según el mapa de coberturas de la tierra aportando el 35% en la DBO5, 31% en SST, 35% en la DQO, 24% en NT y 16% en PT.

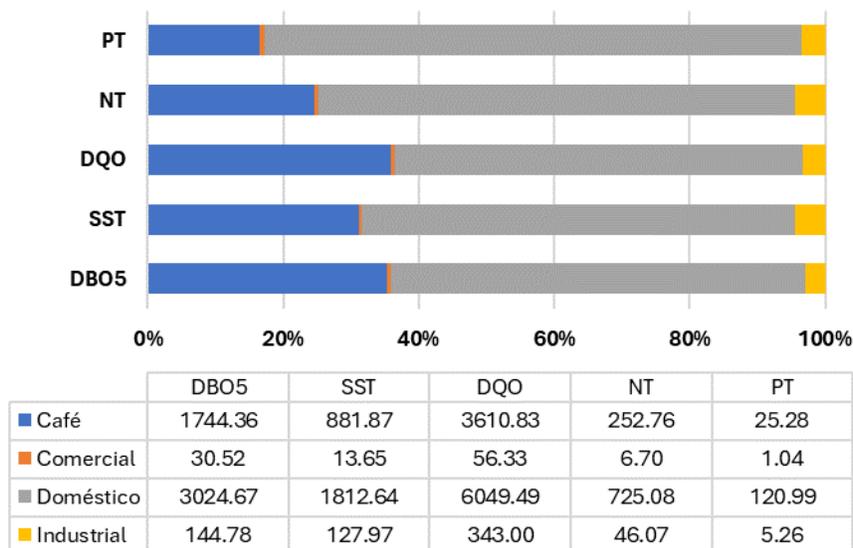


Figura 357. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica del Río Quindío

Estimadas la cargas contaminantes por sector y la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) para las unidades de análisis de calidad del agua definidas (Figura 358), se observa que en la parte alta de la cuenca del Río Quindío correspondientes a las unidades de análisis RQ1 hasta la RQ11 (Río Quindío, Quebradas Cárdenas, Cruz Gorda, Boquía, La Víbora, y la parte alta de los Ríos Navarco y Boquerón) se presenta una “Baja” alteración potencial en la calidad del agua en condiciones hidrológicas medias (Figura 359) y secas (Figura 360), contemplando aún la descarga de centro poblado Boquía y algunas descargas difusas por el beneficio de café.

En la parte media del Río Boquerón se encuentra la unidad RQ12, allí se presentan las descargas de agua residual doméstica por parte de la cabecera municipal de Salento sobre las Quebradas El Mudo y La Calzada. Estas descargas producen un grado de alteración “Alto” tanto en año hidrológico medio como seco, siendo bajo el caudal respecto a la carga aportada para estas corrientes. Esta condición de alteración a la calidad perdura hasta la desembocadura del Río Navarco sobre el Río Quindío (RQ13).

El Río Quindío aguas arriba de casco urbano de Armenia sufre aportes en carga relacionados con beneficio del café, variando el nivel de alteración potencial de “Media Alta” a “Alta” según el IACAL para la unidades RQ14 (Río Quindío), RQ15 (Quebrada EL Águila), RQ16 y RQ17 (Río Quindío), situación que no mejora ya que a su paso por la cabecera municipal de Armenia se presentan descargas por parte del sector industrial (plantas de beneficio animal, textiles y curtiembres, unidad de análisis RQ18), y la confluencia de corrientes con grandes aportes en carga producto de las descargas residuales domésticas como los son las Quebradas La Florida (RQ19), San Nicolás (RQ21) y El Pescador (RQ23), este último receptor de aguas residuales del casco urbano de Calarcá, todos con alteración potencial “Muy Alta”.

Otros afluentes relevantes del Río Quindío son los Ríos Verde y Santo Domingo. El primero, la mayor amenaza por alteración de la calidad es causada por las aguas residuales domésticas el casco urbano de Córdoba sobre la Quebrada El Jardín, provocando un IACAL “Muy Alto” para esta corriente en la unidad RQ26. El segundo, las mayores amenazas son producto de las descargas de aguas residuales domésticas del casco urbano de Calarcá sobre la Quebrada El Naranjal (unidades RQ32 hasta la RQ34), y las del Corregimiento de Barcelona sobre las Quebradas La Congala y Agua Bonita (unidades RQ39 y RQ40), presentándose una alteración potencial “Muy Alta” para estas corrientes.

El tramo final del Río Quindío antes de su confluencia al Río Barragán presenta la influencia del beneficio de café, aunque no presenta gran extensión cultivada, las cargas aportadas aguas arriba si suponen un riesgo a la calidad de la corriente con “Muy Alta” alteración potencial (unidad de análisis RQ42).

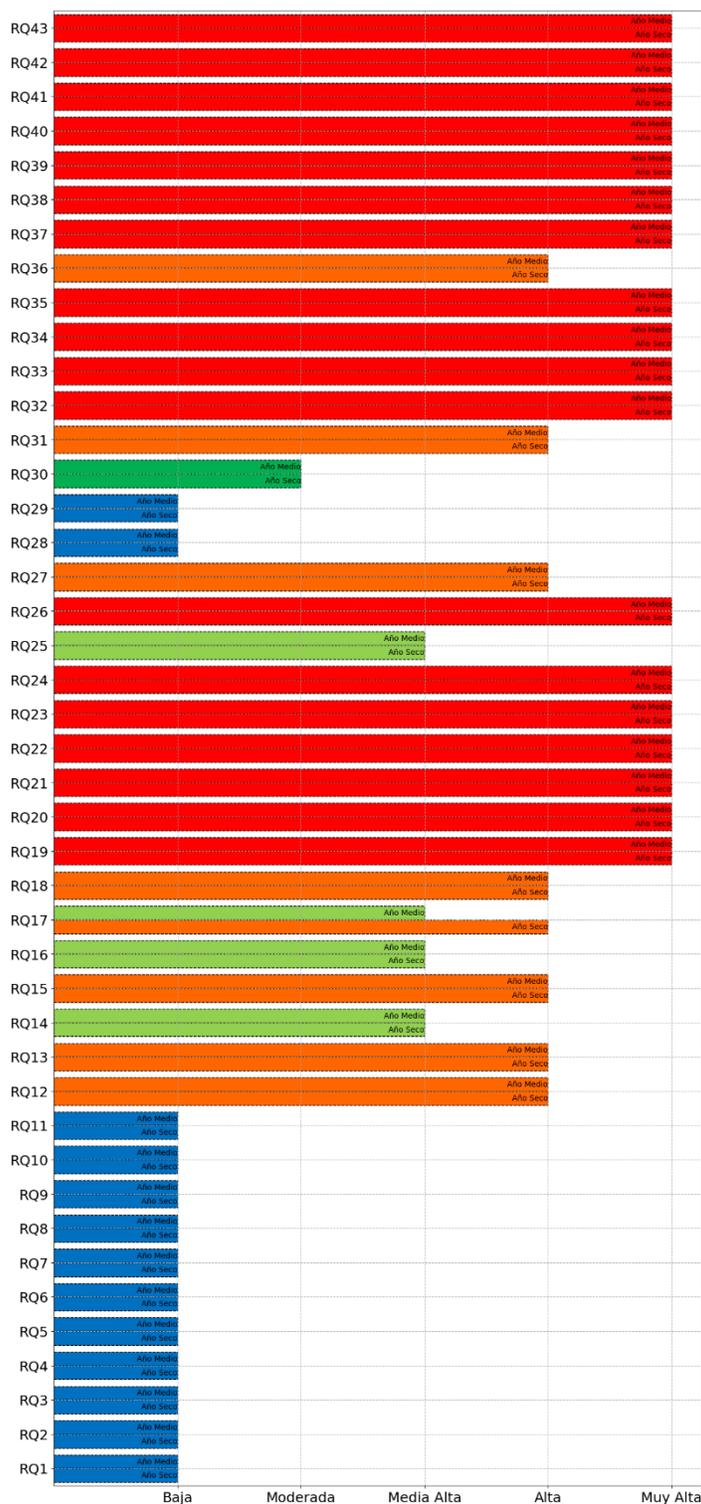


Figura 358. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica del Río Quindío

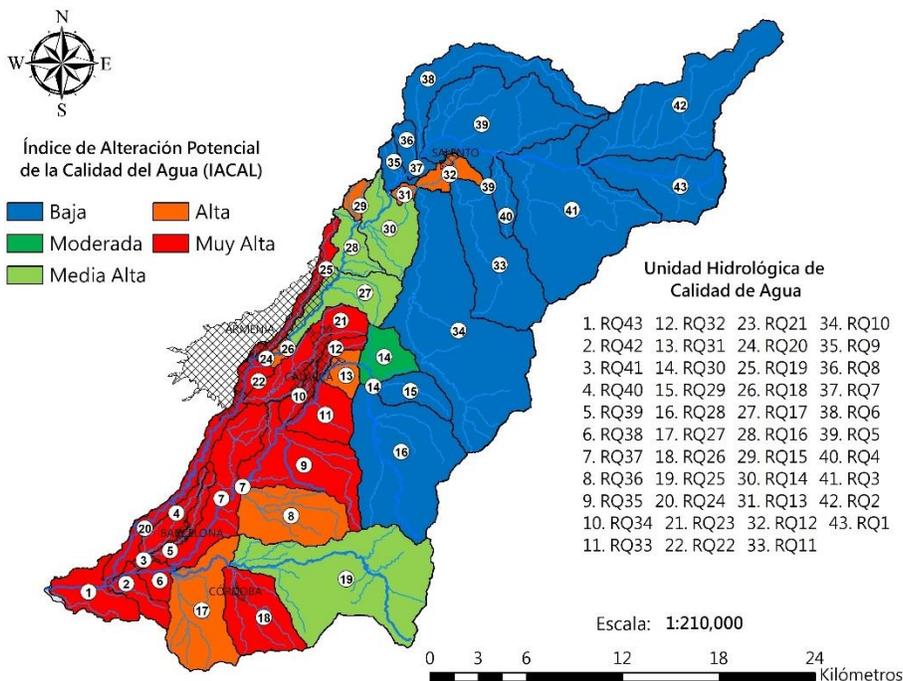


Figura 359. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica del Río Quindío

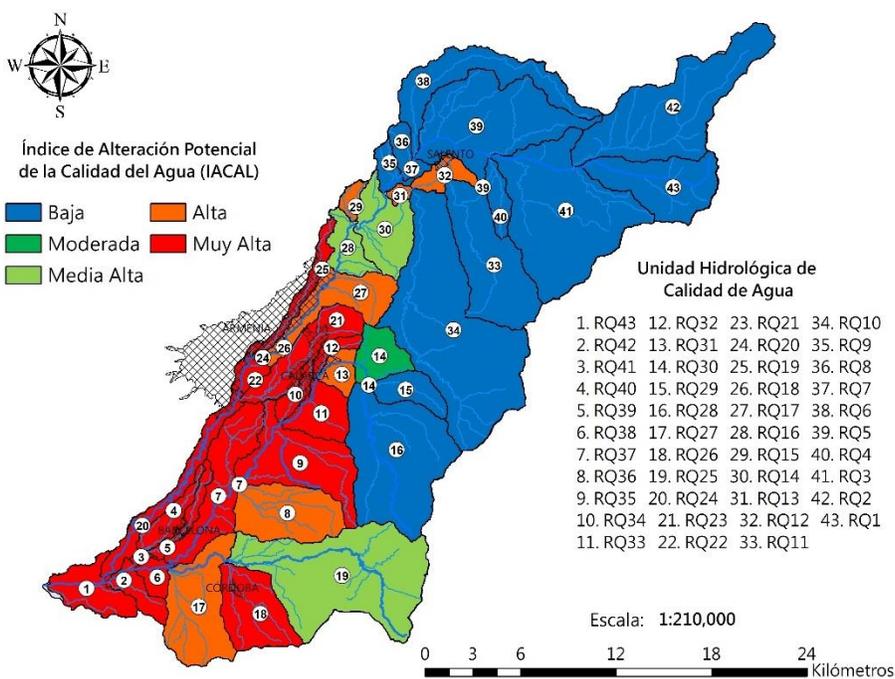


Figura 360. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica del Río Quindío

Tabla 304. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica del Río Quindío. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco	
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL	
Río Quindío	RQ1	R. Quindío A. Arriba confluencia de la Q. Cárdenas										
	Total RQ1	Divisoria de aguas R. Quindío - A. Arriba confluencia de la Q. Cárdenas	0	0	0	0	0	22.97	18.21	Baja	Baja	
	RQ2	Q. Cárdenas A. Arriba confluencia al R. Quindío										
	Total RQ2	Divisoria de aguas Q. Cárdenas - A. Arriba confluencia al R. Quindío	0	0	0	0	0	59.51	40.64	Baja	Baja	
	RQ3	R. Quindío A. Arriba confluencia de la Q. Cruz Gorda										
	Total RQ3	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. Cárdenas - A. Arriba confluencia de la Q. Cruz Gorda	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	137.94	99.95	Baja	Baja	
	RQ4	Q. Cruz Gorda A. Arriba confluencia al R. Quindío										
	Total RQ4	Divisoria de aguas Q. Cruz Gorda - A. Arriba confluencia al R. Quindío	0	0	0	0	0	4.67	3.19	Baja	Baja	
	RQ5		Centro Poblado Boquía	9.912	1.645	14.945	1.982	0.396				
			Beneficio de Café Salento	2.850	1.441	5.900	0.413	0.041				
	Total RQ5	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. Cruz Gorda - A. Arriba confluencia de la Q. Boquía	12.762	3.086	20.845	2.395	0.438	182.06	130.46	Baja	Baja	
	RQ6	Beneficio de Café Salento	0.131	0.066	0.271	0.019	0.002					
	Total RQ6	Divisoria de aguas Q. Boquía - A. Arriba confluencia al R. Quindío	0.131	0.066	0.271	0.019	0.002	16.91	12.51	Baja	Baja	
	RQ7	Beneficio de Café Salento	1.784	0.902	3.693	0.259	0.026					
	Total RQ7	R. Quindío A. Abajo confluencia Q. Boquía - A. Arriba confluencia de la Q. La Vibora	14.677	4.054	24.809	2.673	0.466	200.41	143.90	Baja	Baja	
	RQ8	Beneficio de Café Salento	0.335	0.169	0.694	0.049	0.005					

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco	
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL	
	Total RQ8	Divisoria de aguas Q. La Víbora - A. Arriba confluencia al R. Quindío	0.335	0.169	0.694	0.049	0.005	2.77	2.07	Baja	Baja	
	RQ9	Beneficio de Café Salento	5.801	2.933	12.008	0.841	0.084					
	Total RQ9	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. La Víbora - A. Arriba confluencia del R. Navarco	20.813	7.156	37.511	3.562	0.554	205.85	147.78	Baja	Baja	
	RQ10	Beneficio de Café Salento	2.147	1.085	4.444	0.311	0.031					
	Total RQ10	Divisoria de aguas R. Navarco - A. Arriba confluencia del R. Boquerón	2.147	1.085	4.444	0.311	0.031	62.11	57.66	Baja	Baja	
	RQ11	R. Boquerón A. Arriba confluencia de la Q. El Mudo										
	Total RQ11	Divisoria de aguas R. Boquerón - A. Arriba confluencia de la Q. El Mudo	0	0	0	0	0	33.57	27.18	Baja	Baja	
	RQ12	PTAP Salento		1.655	37.694	17.245	0.331	0.066				
		Vertimiento Doméstico Salento		32.628	19.577	65.256	7.831	1.305				
		Vertimiento Doméstico Salento		24.839	14.903	49.678	5.961	0.994				
		Vertimientos Domésticos Salento		9.823	5.894	19.646	2.358	0.393				
		Vertimiento Doméstico Salento		8.004	4.802	16.008	1.921	0.320				
		Vertimiento Doméstico Salento		24.310	14.586	48.619	5.834	0.972				
		Vertimientos Domésticos Salento		8.103	4.862	16.206	1.945	0.324				
		PTAR Salento		34.314	22.355	90.394	18.181	1.434				
		Beneficio de Café Salento		0.318	0.161	0.657	0.046	0.005				
	Total RQ12	R. Boquerón A. Arriba confluencia de la Q. El Mudo - A. Arriba confluencia al R. Navarco	143.993	124.833	323.710	44.408	5.813	40.18	32.05	Alta	Alta	
	RQ13	Beneficio de Café Salento	4.450	2.250	9.212	0.645	0.064					
	Total RQ13	R. Navarco A. Abajo confluencia del R. Boquerón - A. Arriba confluencia al R. Quindío	150.591	128.169	337.366	45.364	5.909	103.84	90.80	Alta	Alta	

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	RQ14	Beneficio de Café Salento	54.480	27.543	112.773	7.894	0.789				
	Total RQ14	R. Quindío A. Abajo confluencia R. Navarco - A. Arriba confluencia de la Q. El Águila	225.884	162.868	487.651	56.820	7.253	328.52	253.44	Media Alta	Media Alta
	RQ15	Beneficio de Café Salento	5.136	2.596	10.631	0.744	0.074				
	Total RQ15	Divisoria de aguas Q. El Águila - A. Arriba confluencia al R. Quindío	5.136	2.596	10.631	0.744	0.074	1.67	1.36	Alta	Alta
	RQ16	Beneficio de Café Salento	63.454	32.079	131.349	9.194	0.919				
	Total RQ16	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. El Águila - A. Arriba Bocatoma Armenia	294.473	197.543	629.631	66.758	8.246	336.55	261.02	Media Alta	Media Alta
	RQ17	PTAR Lavadero El Guadual	0.927	0.506	1.656	0.185	0.007				
		Comercial	1.683	0.644	3.512	0.337	0.070				
		Comercial	6.184	1.881	10.594	1.237	0.065				
		Beneficio de Café Calarcá, Salento y Armenia	107.712	54.454	222.963	15.607	1.561				
	Total RQ17	R. Quindío A. Abajo Bocatoma Armenia - A. Arriba Bocatoma La Tebaida	410.978	255.029	868.355	84.125	9.948	350.12	274.12	Media Alta	Alta
	RQ18	PTAR Frigocafé	4.007	1.745	8.775	4.603	0.808				
		PTAR Moda Fenix	16.713	4.604	34.071	0.167	1.838				
		PTAR Curtiembre López Gallego	1.720	0.395	2.813	0.464	0.120				
		PTAR Asociación de Curtidores La María	66.170	47.952	146.579	17.866	0.213				
		Beneficio de Café Calarcá	15.061	7.614	31.176	2.182	0.218				
	Total RQ18	R. Quindío A. Abajo Bocatoma La Tebaida - A. Arriba confluencia de la Q. La Florida	514.649	317.339	1091.770	109.407	13.146	350.49	274.50	Alta	Alta
	RQ19	Comercial	5.789	3.473	11.578	1.389	0.232				
		Mis Ilusiones	5.215	3.129	10.431	1.252	0.209				
		Vertimientos Domésticos Armenia	243.870	146.322	487.739	58.529	9.755				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
		Vertimiento Doméstico Armenia	9.787	5.872	19.575	2.349	0.391				
		PTAP Armenia	1.912	1.147	3.825	0.459	0.076				
		Vertimiento Doméstico Armenia	101.299	60.780	202.599	24.312	4.052				
		Vertimientos Domésticos Armenia	125.012	75.007	250.024	30.003	5.000				
		Vertimientos Domésticos Armenia	294.319	176.592	588.639	70.637	11.773				
		Comercial	7.781	2.201	12.478	1.556	0.311				
		Vertimientos Domésticos Armenia	294.493	176.696	588.986	70.678	11.780				
		Comercial	7.632	4.579	15.264	1.832	0.305				
		Comercial	0.174	0.104	0.348	0.042	0.007				
		Vertimientos Domésticos Armenia	200.756	120.454	401.512	48.181	8.030				
		Vertimientos Domésticos Armenia	90.643	54.386	181.285	21.754	3.626				
		Beneficio de Café Armenia	11.365	5.745	23.525	1.647	0.165				
	Total RQ19	Divisoria de aguas Q. La Florida - A. Arriba confluencia al R. Quindío	1400.048	836.487	2797.806	334.619	55.712	3.60	3.10	Muy Alta	Muy Alta
	RQ20	Beneficio de Café Calarcá	0.612	0.309	1.267	0.089	0.009				
	Total RQ20	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. La Florida - A. Arriba confluencia de la Q. San Nicolás	1915.309	1154.136	3890.842	444.115	68.866	354.14	277.65	Muy Alta	Muy Alta
	RQ21	Vertimientos Domésticos Armenia	37.411	22.447	74.823	8.979	1.496				
		Vertimientos Domésticos Armenia	7.719	4.631	15.437	1.852	0.309				
		Vertimientos Domésticos Armenia	11.265	6.759	22.530	2.704	0.451				
		Vertimientos Domésticos Armenia	32.579	19.547	65.157	7.819	1.303				
	Total RQ21	Divisoria de aguas Q. San Nicolás - A. Arriba confluencia al R. Quindío	88.974	53.384	177.948	21.354	3.559	0.69	0.57	Muy Alta	Muy Alta
	RQ22	Beneficio de Café Calarcá	29.619	14.974	61.311	4.292	0.429				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total RQ22	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. San Nicolás - A. Arriba confluencia de la Q. El Pescador	2033.901	1222.494	4130.100	469.761	72.855	355.33	278.62	Muy Alta	Muy Alta
	RQ23	Vertimientos Domésticos Calarcá	116.947	70.168	233.893	28.067	4.678				
		Comercial	0.284	0.171	0.569	0.068	0.011				
		Vertimiento Doméstico Calarcá	173.121	103.873	346.242	41.549	6.925				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	76.953	46.172	153.906	18.469	3.078				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	38.508	23.105	77.016	9.242	1.540				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	6.700	4.020	13.400	1.608	0.268				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	21.490	12.894	42.980	5.158	0.860				
		Comercial	0.158	0.095	0.316	0.038	0.006				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	117.294	70.377	234.589	28.151	4.692				
		Beneficio de Café Calarcá	117.808	59.559	243.863	17.070	1.707				
	Total RQ23	Divisoria de aguas Q. El Pescador - A. Arriba confluencia al R. Quindío	669.264	390.432	1346.774	149.420	23.765	6.40	5.59	Muy Alta	Muy Alta
	RQ24	PTAR Centro Poblado El Caimo	8.136	4.746	16.707	1.627	0.325				
		Beneficio de Café Calarcá y Armenia	64.350	32.532	133.204	9.324	0.932				
	Total RQ24	R. Quindío A. Abajo confluencia de la Q. El Pescador - A. Arriba confluencia del R. Verde	2775.651	1650.205	5626.785	630.132	97.878	364.92	286.95	Muy Alta	Muy Alta
	RQ25	Beneficio de Café Córdoba	61.922	31.305	128.178	8.972	0.897				
	Total RQ25	Divisoria de aguas R. Verde - A. Arriba confluencia de la Q. El Jardín	61.922	31.305	128.178	8.972	0.897	55.56	47.58	Media Alta	Media Alta
	RQ26	PTAP Córdoba	0.235	0.141	0.470	0.056	0.009				
		Vertimiento Doméstico Córdoba	51.348	30.809	102.696	12.324	2.054				
		Vertimiento Doméstico Córdoba	17.621	10.572	35.241	4.229	0.705				
		Beneficio de Café Córdoba	66.614	33.677	137.892	9.652	0.965				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco	
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL	
	Total RQ26	Divisoria de aguas Q. El Jardín - A. Arriba confluencia al R. Verde	135.818	75.200	276.300	26.261	3.733	20.34	17.03	Muy Alta	Muy Alta	
	RQ27	Beneficio de Café Córdoba, Buenavista y Pijao	291.225	147.230	602.835	42.198	4.220					
	Total RQ27	R. Verde A. Abajo confluencia de la Quebrada El Jardín - A. Arriba confluencia del R. Santo Domingo	488.965	253.735	1007.313	77.432	8.850	102.85	89.49	Alta	Alta	
	RQ28	Beneficio de Café Calarcá	2.431	1.229	5.032	0.352	0.035					
	Total RQ28	Divisoria de aguas R. Santo Domingo - A. Arriba confluencia de la Q. La Gata (Bocatoma Calarcá)	2.431	1.229	5.032	0.352	0.035	37.99	36.49	Baja	Baja	
	RQ29	Túnel Principal		0.129	0.258	0.941	0.026	0.005				
		Túnel Piloto		0.180	0.683	0.934	0.036	0.007				
		Portal Chorros		0.083	0.165	0.463	0.017	0.003				
		Túnel Robles		0.170	0.341	0.851	0.034	0.007				
	Total RQ29	Divisoria de aguas Q. La Gata - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo (Bocatoma Calarcá)	0.562	1.446	3.189	0.112	0.022	7.09	6.87	Baja	Baja	
	RQ30	Comercial		0.316	0.190	0.632	0.076	0.013				
		Túnel Virgen Negra		0.129	0.258	0.684	0.026	0.005				
		Beneficio de Café Calarcá		16.400	8.291	33.949	2.376	0.238				
	Total RQ30	R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. La Gata - A. Arriba Calarcá (Sector San Rafael)	19.839	11.414	43.486	2.943	0.313	54.34	51.73	Moderada	Moderada	
	RQ31	Industria Quindiana de Alimentos Lácteos R y O S.A.S.		1.106	0.664	2.212	0.265	0.044				
		Vertimiento Doméstico Calarcá		21.522	12.913	43.043	5.165	0.861				
		Vertimiento Doméstico Calarcá		19.704	11.823	39.409	4.729	0.788				
		Beneficio de Café Calarcá		57.203	28.919	118.411	8.289	0.829				
	Total RQ31	R. Santo Domingo A. Arriba Calarcá (Sector San Rafael) - A. Arriba confluencia de la Q. El Naranjal	119.374	65.733	246.561	21.391	2.835	56.90	54.17	Alta	Alta	

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
RQ32		PTAP Calarcá	1.975	1.185	3.950	0.474	0.079				
		Vertimiento Doméstico Calarcá	10.129	6.077	20.257	2.431	0.405				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	4.693	2.816	9.386	1.126	0.188				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	26.467	15.880	52.935	6.352	1.059				
		Comercial	0.521	0.313	1.043	0.125	0.021				
		Vertimiento Doméstico Calarcá	18.425	11.055	36.849	4.422	0.737				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	49.206	29.523	98.412	11.809	1.968				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	63.601	38.161	127.202	15.264	2.544				
		Vertimientos Domésticos Calarcá	83.922	50.353	167.843	20.141	3.357				
		Beneficio de Café Calarcá	10.241	5.178	21.200	1.484	0.148				
Total RQ32		Divisoria de aguas Q. El Naranjal - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	269.180	160.541	539.077	63.629	10.506	2.12	1.93	Muy Alta	Muy Alta
RQ33		PTAR Centro Poblado La Virginia	9.731	7.981	24.503	1.890	0.389				
		Beneficio de Café Calarcá	88.861	44.924	183.942	12.876	1.288				
Total RQ33		R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. El Naranjal - A. Arriba confluencia de la Q. Las Marías	487.146	279.179	994.083	99.787	15.018	66.36	63.09	Muy Alta	Muy Alta
RQ34		Vertimientos Domésticos Calarcá	213.841	128.305	427.683	51.322	8.554				
		Beneficio de Café Calarcá	39.151	19.793	81.043	5.673	0.567				
Total RQ34		Divisoria de aguas Q. Las Marías - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	252.993	148.098	508.726	56.995	9.121	1.29	1.16	Muy Alta	Muy Alta
RQ35		Beneficio de Café Calarcá	188.605	95.351	390.413	27.329	2.733				
Total RQ35		R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. Las Marías - A. Arriba confluencia de la Q. Negra	928.744	522.628	1893.222	184.111	26.872	88.04	82.75	Muy Alta	Muy Alta
RQ36		Beneficio de Café Calarcá	102.740	51.941	212.673	14.887	1.489				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total RQ36	Divisoria de aguas Q. Negra - A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	102.740	51.941	212.673	14.887	1.489	20.13	18.31	Alta	Alta
	RQ37	Beneficio de Café Calarcá	196.125	99.152	405.979	28.419	2.842				
	Total RQ37	R. Santo Domingo A. Abajo confluencia de la Q. Negra - A. Arriba confluencia al R. Verde	1227.610	673.721	2511.874	227.416	31.203	122.31	114.44	Muy Alta	Muy Alta
	RQ38	Vertimiento Doméstico Río Verde	4.614	2.768	9.228	1.107	0.185				
		Beneficio de Café Buenavista	3.036	1.535	6.284	0.440	0.044				
	Total RQ38	R. Verde A. Abajo confluencia de la Q. Santo Domingo - A. Arriba confluencia de la Q. La Congala	1724.225	931.759	3534.699	306.396	40.282	227.39	206.47	Muy Alta	Muy Alta
	RQ39	Vertimientos Domésticos Barcelona	181.835	109.101	363.669	43.640	7.273				
		Vertimiento Doméstico Barcelona	14.823	8.894	29.647	3.558	0.593				
		Beneficio de Café Calarcá	33.784	17.080	69.932	4.895	0.490				
	Total RQ39	Divisoria de aguas Q. La Congala - A. Arriba confluencia de la Q. Agua Bonita (A. Abajo Barcelona)	230.442	135.074	463.249	52.093	8.356	2.07	2.07	Muy Alta	Muy Alta
	RQ40	Vertimiento Doméstico Barcelona	44.965	26.979	89.929	10.791	1.799				
		Vertimientos Domésticos Barcelona	70.434	42.260	140.868	16.904	2.817				
		Beneficio de Café Calarcá	53.669	27.133	111.095	7.777	0.778				
	Total RQ40	Divisoria de aguas Q. Agua Bonita - A. Arriba confluencia a la Q. La Congala (A. Abajo Barcelona)	169.067	96.372	341.892	35.472	5.394	2.70	2.30	Muy Alta	Muy Alta
	RQ41	Q. La Congala A. Arriba confluencia al R. Verde									
		Beneficio de Café Calarcá	1.706	0.862	3.531	0.247	0.025				
	Total RQ41	Q. La Congala A. Abajo confluencia de la Q. Agua Bonita - A. Arriba confluencia al R. Verde	401.215	232.309	808.671	87.813	13.774	4.97	4.61	Muy Alta	Muy Alta
	RQ42	Beneficio de Café Buenavista	28.926	14.624	59.878	4.191	0.419				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total RQ42	R. Verde A. Abajo confluencia de la Q. La Congala - A. Arriba confluencia al R. Quindío	2154.366	1178.691	4403.248	398.400	54.475	235.76	214.54	Muy Alta	Muy Alta
	RQ43	Beneficio de Café Armenia	14.308	7.233	29.617	2.073	0.207				
	Total RQ43	R. Quindío A. Abajo confluencia del R. Verde - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	4944.325	2836.129	10059.650	1030.605	152.560	603.98	504.33	Muy Alta	Muy Alta

6.6.13. Unidad Hidrográfica del Río Roble

En la Unidad Hidrográfica del Río Roble, el sector con mayor aporte de carga es el beneficio de café (Figura 361) con aporte del 38% en Fosforo Total (PT), 49% en Nitrógeno Total (NT), 58% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), 56% en Sólidos Suspendidos Totales (SST) y del 57% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), debido a la gran extensión del cultivo particularmente en la parte media de la cuenca con impacto sobre el Río Roble (unidades RRob7 a la RRob11), y las Quebradas La Carmelita (unidad RRob12) y La Paloma (unidad RRob14).

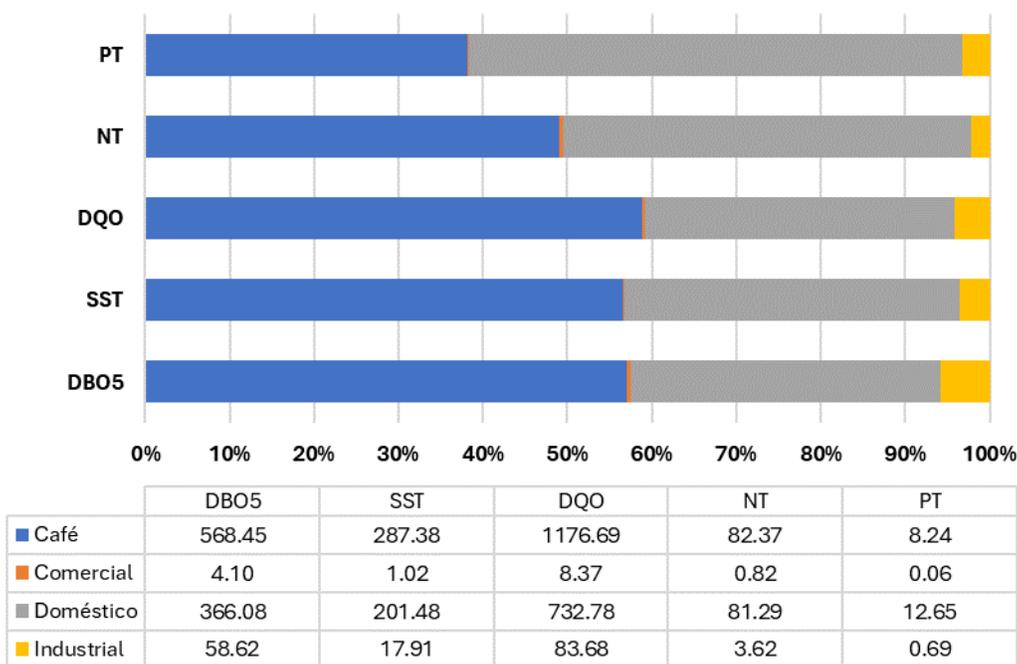


Figura 361. Carga total aportada por sectores en el año 2022 para la Unidad Hidrográfica del Río Roble

Otro sector con relevancia corresponde al doméstico por medio de descargas residuales domesticas del casco urbano de Circasia, Filandia y Montenegro con aporte del 58% en PT, 48% en NT, 36% en la DQO, 39% en SST y del 36% de la DBO5.

En cuanto al riesgo por alteración potencial a la calidad del agua para esta unidad hidrográfica, en la parte alta de la cuenca se observa un IACAL “Moderado” para la unidad RRob1, tramo comprendido desde el nacimiento del Río Roble hasta la confluencia de la Quebrada Cajones. Esta última corriente, es una de las principales

receptoras de agua residual por parte de la cabecera municipal de Circasia, razón por la cual el IACAL se presenta como “Muy Alto” para la unidad RRob2.

Luego de la recepción de carga por parte de la Quebrada Cajones al Río Roble, su alteración disminuye a “Alta” producto del proceso de autodepuración de la corriente y el bajo aporte en carga por parte del beneficio de café sobre la unidad RRob3, tramo definido hasta la confluencia de la Quebrada Portachuelo al Río Roble en el sector conocido como “Paso de los Aguadeños”. Para la Quebrada Portachuelo, en la parte alta (unidad RRob4) la influencia de las descargas residuales domésticas de la cabecera municipal de Filandia sobre la Quebrada Chorro de Las Madres establece un riesgo “Muy Alto” de alteración a la calidad del agua, situación que se ve disminuida a “Alto” para la unidad RRob6 debido al aporte hídrico de la Quebrada Las Cruces (RRob5) con una alteración “Baja”.

Desde la confluencia de la Quebrada Portachuelo al Río Roble, su alteración potencial se mantiene en “Alta” debido a los efectos del aporte en carga por parte del beneficio de café para las unidades RRob7, RRob8 y RRob9, hasta el inicio de la unidad RRob10, la cual es receptora de aguas residuales domésticas por parte de la cabecera municipal de Montenegro, con descargas directas sobre la corriente principal (Río Roble) aumentando una vez más su riesgo a “Muy Alto”, situación que perdura hasta su confluencia al Río La Vieja por la presencia de cultivos como el café.

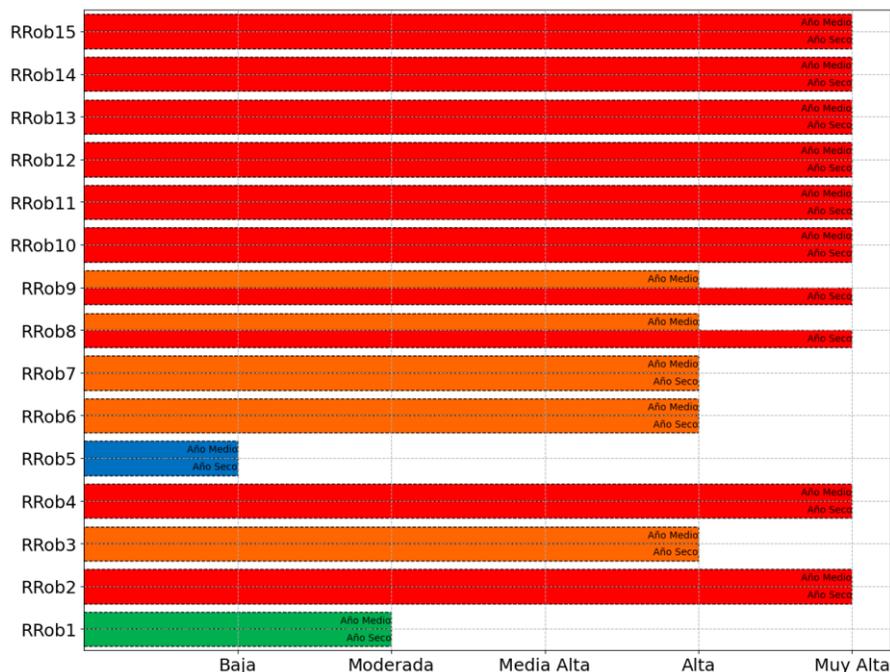


Figura 362. Descriptor del IACAL por tramo para la Unidad Hidrográfica del Río Roble

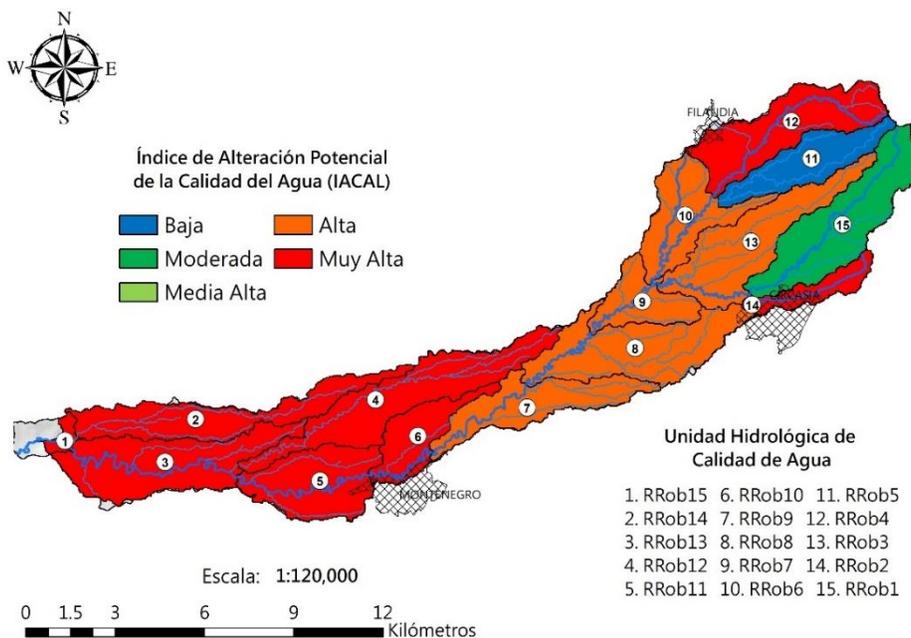


Figura 363. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Medio para la Unidad Hidrográfica del Río Roble

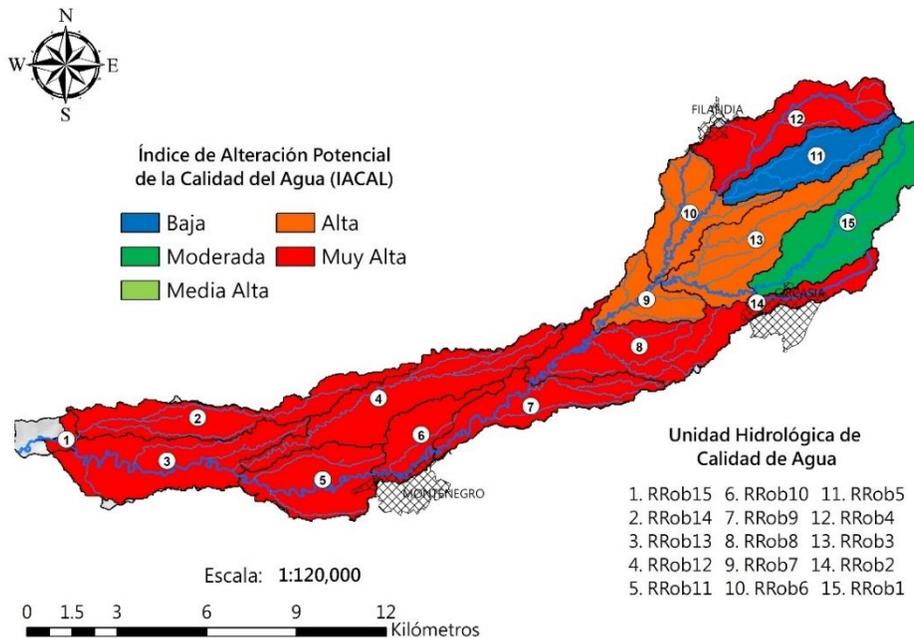


Figura 364. Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) en condición hidrológica de Año Seco para la Unidad Hidrográfica del Río Roble

Tabla 305. Cargas Contaminantes para la Unidad Hidrográfica del Río Roble. Valores determinados para el año 2022

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
Río Roble	RRob1	Comercial	4.101	1.019	8.374	0.820	0.056				
		Vertimiento Doméstico Circasia	0.898	0.539	1.797	0.216	0.036				
	Total RRob1	Divisoria de aguas R. Roble - A. Arriba confluencia de la Q. Cajones (Circasia)	5.000	1.558	10.171	1.036	0.092	18.24	12.65	Moderada	Moderada
	RRob2	Vertimiento Doméstico Circasia	33.307	8.158	64.120	3.890	0.168				
		Vertimientos Domésticos Circasia	16.348	9.809	32.695	3.923	0.654				
		Vertimiento Doméstico Circasia	8.807	5.284	17.614	2.114	0.352				
		Vertimiento Doméstico Circasia	6.683	4.010	13.367	1.604	0.267				
		Vertimiento Doméstico Circasia	8.072	4.843	16.143	1.937	0.323				
		Vertimiento Doméstico Circasia	19.941	11.965	39.882	4.786	0.798				
		Vertimiento Doméstico Circasia	22.953	5.146	46.312	3.494	0.194				
		Beneficio de Café Circasia	0.737	0.373	1.526	0.107	0.011				
	Total RRob2	Divisoria de aguas Q. Cajones (Circasia) - A. Arriba confluencia al R. Roble	116.848	49.587	231.659	21.855	2.767	4.95	3.48	Muy Alta	Muy Alta
	RRob3	Beneficio de Café Circasia	9.613	4.860	19.899	1.393	0.139				
	Total RRob3	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. Cajones (Circasia) - A. Arriba confluencia de la Q. Portachuelo	131.461	56.005	261.729	24.284	2.998	37.80	26.24	Alta	Alta
	RRob4	Vertimientos Domésticos Filandia	42.228	25.337	84.456	10.135	1.689				
		Vertimientos Domésticos Filandia	49.714	29.828	99.428	11.931	1.989				
		Beneficio de Café Filandia	0.350	0.177	0.725	0.051	0.005				
	Total RRob4	Divisoria de aguas Q. Portachuelo - A. Arriba confluencia de la Q. Las Cruces	92.292	55.342	184.609	22.117	3.683	15.10	10.81	Muy Alta	Muy Alta
	RRob5	Q. Las Cruces A. Abajo confluencia a la Q. Portachuelo									

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total RRob5	Divisoria de aguas Q. Las Cruces - A. Arriba confluencia a la Q. Portachuelo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.94	6.93	Baja	Baja
	RRob6	Beneficio de Café Circasia y Filandia	10.427	5.272	21.584	1.511	0.151				
	Total RRob6	Q. Portachuelo A. Abajo confluencia de la Q. Las Cruces - A. Arriba confluencia al R. Roble	102.719	60.614	206.193	23.628	3.834	34.42	24.63	Alta	Alta
	RRob7	Beneficio de Café Circasia y Filandia	31.765	16.059	65.754	4.603	0.460				
	Total RRob7	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. Portachuelo - A. Arriba Bocatoma Montenegro 1	265.946	132.678	533.677	52.514	7.292	77.39	54.60	Alta	Alta
	RRob8	Beneficio de Café Circasia	99.222	50.162	205.389	14.377	1.438				
	Total RRob8	R. Roble A. Abajo Bocatoma Montenegro 1 - A. Arriba Bocatoma Montenegro 2	365.168	182.840	739.066	66.892	8.730	90.19	63.81	Alta	Muy Alta
	RRob9	Beneficio de Café Quimbaya y Circasia	77.714	39.289	160.869	11.261	1.126				
	Total RRob9	R. Roble A. Abajo Bocatoma Montenegro 2 - A. Arriba Montenegro	442.882	222.129	899.935	78.152	9.856	97.51	69.06	Alta	Muy Alta
	RRob10	Vertimientos Domésticos Montenegro	96.285	57.771	192.571	23.108	3.851				
		Vertimientos Domésticos Montenegro	4.115	4.751	10.932	0.539	0.055				
		Vertimientos Domésticos Montenegro	39.134	23.480	78.267	9.392	1.565				
		Beneficio de Café Quimbaya	52.410	26.496	108.490	7.594	0.759				
	Total RRob10	R. Roble A. Arriba Montenegro - A. Abajo Montenegro	634.826	334.627	1290.194	118.786	16.087	102.39	72.69	Muy Alta	Muy Alta
	RRob11	Beneficio de Café Quimbaya	47.708	24.119	98.756	6.913	0.691				
	Total RRob11	R. Roble A. Abajo Montenegro - A. Arriba confluencia Q. La Carmelita	682.535	358.746	1388.951	125.699	16.778	109.55	77.96	Muy Alta	Muy Alta
	RRob12	Central de beneficio Pollo Fresco-Mega pollo	58.618	17.910	83.684	3.619	0.692				
		Beneficio de Café Quimbaya	177.877	89.927	368.205	25.774	2.577				

Unidad Hidrográfica	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción	Cargas Contaminantes					Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)		IACAL Año Medio	IACAL Año Seco
			DBO5 (Ton/año)	SST (Ton/año)	DQO (Ton/año)	N Kjendahl total como N (Ton/año)	P Total (Ton/año)	Año Medio (Hm³/año)	Año Seco (Hm³/año)	Clasificación IACAL	Clasificación IACAL
	Total RRob12	Divisoria de aguas Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia al R. Roble	236.495	107.837	451.889	29.393	3.270	11.39	8.43	Muy Alta	Muy Alta
	RRob13	R. Roble A. Arriba confluencia de la Q. La Paloma									
		Beneficio de Café Quimbaya	10.800	5.460	22.356	1.565	0.156				
	Total RRob13	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. La Carmelita - A. Arriba confluencia de la Q. La Paloma	929.829	472.043	1863.196	156.657	20.204	128.58	92.13	Muy Alta	Muy Alta
	RRob14	Beneficio de Café Quimbaya	49.824	25.189	103.136	7.220	0.722				
	Total RRob14	Divisoria de aguas Q. La Paloma - A. Arriba confluencia al R. Roble	49.824	25.189	103.136	7.220	0.722	7.35	5.28	Muy Alta	Muy Alta
	RRob15	R. Roble A. Arriba confluencia al R. La Vieja									
Total RRob15	R. Roble A. Abajo confluencia de la Q. La Paloma - A. Arriba confluencia al R. La Vieja	979.654	497.232	1966.332	163.876	20.926	136.56	97.89	Muy Alta	Muy Alta	

6.7. Criterios de Calidad del Agua Superficial para Uso Doméstico (Bocatomas)

Para evaluar la calidad del recurso hídrico destinada para el consumo humano y doméstico por parte de las empresas prestadoras del servicio público, se consideró los resultados del monitoreo realizado en los 34 sitios de captación identificados en la Tabla 273 y Tabla 274. Estos resultados fueron contrastados con los valores admisibles de calidad definidos en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiental y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de 2015). Dado que el principal método de potabilización del agua implementado en las plantas de tratamiento (PTAP) para el departamento del Quindío es convencional, se consideraron para el análisis los criterios mínimos de calidad definidos en el decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.3.9.3 para este tipo de manejo para los parámetros de pH, Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Nitratos y Nitritos (Tabla 306).

Tabla 306. Criterios mínimos de calidad para consumo humano y doméstico

Usos del Agua	pH	Coliformes Totales	Coliformes Termotolerantes	Nitratos	Nitritos
	Unidades de pH	[NMP/100 mL]	[NMP/100 mL]	[mg/L N]	[mg/L N]
Consumo humano y doméstico (Tratamiento convencional)	5.0 – 9.0	20000	2000	10	1

A partir de los resultados del monitoreo de calidad del agua y los criterios mínimos definidos para tratamiento convencional (Tabla 306), se evidencia altas concentraciones de coliformes termotolerantes/fecales en las captaciones para el abastecimiento del municipio de Montenegro sobre el Río Roble (ROB-10) y la Quebrada La Soledad (ROB-12), con 3,448 y 4,106 NMP/100mL, respectivamente, excediendo los límites admisibles de calidad definidos (Tabla 307).

Para el caso del Río Roble (ROB-10), aguas arriba del sitio de captación se presenta la confluencia de la Quebrada Cajones, la cual es la principal fuente receptora de aguas residuales domésticas provenientes del casco urbano de Circasia, influyendo negativamente en la calidad del agua debido a una baja autodepuración y asimilación de agentes contaminantes en la corriente. Otra posible causa de contaminación por coliformes termotolerantes/fecales se debe al desarrollo de actividades pecuarias (porcícolas y avícolas) sobre afluentes como las Quebradas Membrillal y Portachuelo, aunque no se reportan vertimientos directos, el aporte de carga contaminante a las corrientes hídricas puede llegar a alterar potencialmente la calidad del recurso.

Tabla 307. Cumplimiento de los criterios mínimos de calidad para las fuentes abastecedoras

Código	UH	Bocatoma	pH* In situ (Unidades de pH)	Coliformes Totales* (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes * (NMP/100mL)	Nitratos* (mgNNO ₃ /L)	Nitritos* (mgNNO ₂ /L)
BUE-01	Quebrada Buenavista	Q. Buenavista (Bocatoma Quimbaya)	7.77	7.5	1	0.233	0.006
GRI-01	Río Gris	R. Gris (Génova)	8.23	4430	1680	0.234	0.006
LAC-01	Quebrada Lacha	Q. Lacha	8.28	1733	73	0.243	0.006
LEJ-01	Río Lejos	Q. Las Pizarras (Pijao)	7.37	225	26	0.232	0.006
LEJ-05	Río Lejos	Q. La Cascada (Q. Pijao)	7.88	461	62	0.230	0.006
PIC-01	Quebrada La Picota	Q. La Picota	8.63	2247	1210	0.233	0.006
QUI-06	Río Quindío	Q. Cruz Gorda	8.50	2723	605	0.243	0.006
QUI-07	Río Quindío	Q. Cristalina	8.46	3076	288	0.236	0.006
QUI-08	Río Quindío	Q. Bolivia	8.47	461	21	0.240	0.006
QUI-11	Río Quindío	R. Quindío (Salento Bocatoma Armenia)	8.31	1354	369	0.250	0.006
QUI-12	Río Quindío	Q. La Víbora (Bocatoma Armenia)	8.21	173	19	0.245	0.006
QUI-14	Río Quindío	Q. Corozal	8.22	2613	410	0.241	0.006
QUI-19	Río Quindío	Q. Las Águilas	8.18	4106	373	0.241	0.006
QUI-20	Río Quindío	Q. Llorona	7.79	261	81	0.241	0.006
QUI-21	Río Quindío	R. Quindío (Bocatoma Armenia Estación Bombeo)	7.98	6131	504	0.241	0.015
QUI-23	Río Quindío	Bocatoma La Tebaida (R. Quindío)	7.63	461	42	0.232	0.007
QUI-24	Río Quindío	Retorno Bayona R. Quindío (Bocatoma La Tebaida)	7.91	980	61	0.235	0.007
QUI-33	Río Quindío	Q. El Roble (Córdoba)	8.14	1414	613	0.233	0.006
QUI-39	Río Quindío	R. Santo Domingo (Calarcá)	7.82	3076	569	0.236	0.006

Código	UH	Bocatoma	pH* In situ (Unidades de pH)	Coliformes Totales* (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes * (NMP/100mL)	Nitratos* (mgNNO ₃ /L)	Nitritos* (mgNNO ₂ /L)
QUI-40	Río Quindío	Q. La Gata A. Arriba confluencia al R. Santo Domingo	7.97	2613	275	0.234	0.006
QUI-43	Río Quindío	Q. San Rafael	8.29	2909	400	0.234	0.006
QUI-45	Río Quindío	Q. El Naranjal (Bocatoma Calarcá)	7.84	6488	595	0.231	0.006
QUI-47	Río Quindío	Q. El Salado (Bocatoma Corregimiento La Virginia)	8.11	1203	146	0.243	0.006
QUI-54	Río Quindío	R. Verde (Bocatoma Barcelona)	8.23	326	120	0.242	0.006
ROB-01	Río Roble	Q. El Bosque	7.46	2755	327	0.239	0.006
ROB-02	Río Roble	Q. La Marina	7.28	3076	428	0.241	0.012
ROB-03	Río Roble	R. Roble (Bocatoma Circasia)	7.26	1120	387	0.236	0.006
ROB-04	Río Roble	Q. La Arenosa (Circasia)	7.08	816	308	0.239	0.006
ROB-05	Río Roble	Q. Cajones	7.66	4106	520	0.236	0.006
ROB-10	Río Roble	R. Roble (Bocatoma 2 Montenegro)	7.78	15531	3448	0.241	0.006
ROB-11	Río Roble	R. Roble (Bocatoma Montenegro)	7.26	12997	1430	0.238	0.372
ROB-12	Río Roble	Q. La Soledad (Bocatoma Montenegro)	7.73	8664	4106	0.241	0.006
ROB-13	Río Roble	Q. La Paloma (Bocatoma Montenegro)	7.30	10462	805	0.246	0.006
ROB-14	Río Roble	Q. Las Lajas (Bocatoma Montenegro)	8.07	12997	1483	0.237	0.006

Las celdas en color rojo indican el no cumplimiento de los requisitos mínimos de calidad. Las celdas en color amarillo indican valores de riesgo cercanos al mínimo admisible.

Para el caso de la Quebrada La Soledad, no se reportan vertimientos aguas arriba del sitio de captación por parte de la CRQ, lo que supone la presencia de descargas directas de aguas residuales domésticas sobre la corriente, o el efecto de actividades pecuarias como la ganadería, causando contaminación difusa por efecto de escorrentía.

Por otro lado, se observan valores altos sobre las captaciones para el abastecimiento de los municipios de Génova (GRI-01), Buenavista (PIC-01) y Salento (QUI-06) en parámetros como coliformes totales, coliformes termotolerantes/fecales y pH, causado principalmente por posibles descargas domésticas, efectos de actividades pecuarias (ganadería) y procesos naturales, como la presencia de suelos alcalinos en las corriente o procesos de socavación y transportes de sedimentos. Si bien estos parámetros no exceden los criterios mínimos de calidad admisibles para el tipo de tratamiento convencional, si representan un nivel de advertencia dado el uso adoptado al recurso hídrico.

En términos generales, el tratamiento convencional implementado por las empresas prestadoras de servicios públicos para la potabilización del agua es suficiente para garantizar la calidad adecuada del recurso para consumo humano y doméstico, con las excepciones del acueducto para el abastecimiento del municipio de Montenegro, específicamente en las captaciones sobre el Río Roble (ROB-10) y la Quebrada La Soledad (ROB-12) con altas concentraciones en coliformes termotolerantes/fecales. Por último, es necesario realizar monitoreos continuos sobre estas captaciones debido al grado de susceptibilidad de estas corrientes abastecedoras a presentar riesgos por contaminación directa o difusa aguas arriba del sitio de captación.

6.8. Análisis Comparativo de Cargas Contaminantes

Las cargas estimadas para las Unidades Hidrológicas de Análisis de Calidad de Agua (UHACA) muestran el nivel de afectación de un tramo específico de una corriente, basándose en la identificación de las descargas residuales que se vierten en el área de drenaje correspondiente. Este proceso está directamente vinculado con los muestreos de agua superficial, los cuales determinan las concentraciones de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sobre un sitio de muestreo, siendo posible determinar la carga contaminante transportada en aquel sitio de muestreo.

Por lo anterior, es posible evaluar las cargas estimadas para el cálculo del IACAL respecto a las cargas determinadas de los resultados del monitoreo, para los sitios con puntos de cierre igual a las UHACA, determinando de forma indirecta la relación y la coherencia de las estimaciones propuestas (Tabla 308).

Tabla 308. Evaluación de cargas estimada vs cargas determinadas en los monitoreos de calidad de agua

UH	Unidad IACAL	Monitoreo ERA	DBO5 IACAL	DBO5 Monitoreo	SST IACAL	SST Monitoreo	DQO IACAL	DQO Monitoreo	NT IACAL	NT Monitoreo	PT IACAL	PT Monitoreo	IACAL ERA	IACAL Monitoreo
Río Rojo	RG1	GRI-01	44.5	216.7	22.5	433.3	92.1	216.7	6.4	26.0	0.6	3.0	Media Alta	Muy Alta
	RS1	SJ-01	155.1	366.0	78.4	731.9	321.0	366.0	22.5	51.2	2.2	5.1	Alta	Muy Alta
	RG2	GRI-02	74.1	262.3	39.4	1023.2	152.1	823.8	12.6	36.7	1.6	3.7	Alta	Muy Alta
	RS3	SJ-03	372.6	709.3	196.2	30923.9	765.5	709.3	61.9	113.5	7.5	37.2	Alta	Muy Alta
	RRoj1	ROJ-01	144.6	640.4	73.1	9350.1	299.3	1084.9	21.0	76.9	2.1	9.0	Media Alta	Muy Alta
Río Lejos	RL1	LEJ-02	11.2	928.5	5.7	1857.0	23.2	928.5	1.6	92.9	0.2	13.0	Baja	Alta
	RL2	LEJ-03	39.8	561.1	22.4	1122.1	80.6	561.1	8.1	56.1	1.2	7.9	Media Alta	Alta
	RL3	LEJ-06	38.1	30.9	22.5	61.8	76.4	30.9	8.8	4.3	1.4	0.5	Muy Alta	Muy Alta
	RL5	LEJ-08	84.1	555.4	42.5	3054.6	174.2	555.4	12.2	55.5	1.2	7.8	Media Alta	Alta
	RL7	LEJ-09	86.4	153.9	43.7	307.8	178.8	171.8	12.5	18.5	1.3	2.2	Alta	Muy Alta
	RL8	LEJ-10	485.0	1885.1	300.1	5843.9	1009.2	4825.9	76.2	226.2	8.6	26.4	Alta	Muy Alta
Quebrada La Picota	QP1	PIC-01	1.6	4.5	0.8	9.0	3.3	4.5	0.2	0.6	0.0	0.1	Media Alta	Muy Alta
	QP2	PIC-03	67.8	59.4	35.4	118.7	144.8	59.4	11.2	20.2	1.2	0.8	Muy Alta	Muy Alta
	QP3	PIC-04	189.7	159.3	97.7	318.6	394.4	159.3	28.0	31.9	2.8	2.2	Muy Alta	Muy Alta
	QP4	PIC-05	257.5	172.6	133.2	345.3	539.3	217.5	39.1	38.0	4.0	2.4	Muy Alta	Muy Alta
Río Quindío	RQ1	QUI-02	0.0	126.5	0.0	253.0	0.0	126.5	0.0	22.8	0.0	1.8	Baja	Muy Alta
	RQ2	QUI-04	0.0	487.3	0.0	974.7	0.0	487.3	0.0	68.2	0.0	6.8	Baja	Muy Alta
	RQ3	QUI-05	0.0	644.9	0.0	1289.8	0.0	644.9	0.0	90.3	0.0	9.0	Baja	Muy Alta
	RQ5	QUI-09	12.8	910.9	3.1	1821.7	20.8	910.9	2.4	145.7	0.4	12.8	Baja	Muy Alta
	RQ6	QUI-10	0.1	910.9	0.1	1821.7	0.3	2277.2	0.0	91.1	0.0	12.8	Baja	Muy Alta
	RQ7	QUI-11	14.7	280.9	4.1	561.9	24.8	781.0	2.7	28.1	0.5	3.9	Baja	Media Alta

UH	Unidad IACAL	Monitoreo ERA	DBO5 IACAL	DBO5 Monitoreo	SST IACAL	SST Monitoreo	DQO IACAL	DQO Monitoreo	NT IACAL	NT Monitoreo	PT IACAL	PT Monitoreo	IACAL ERA	IACAL Monitoreo
	RQ8	QUI-12	0.3	1368.7	0.2	2737.5	0.7	1368.7	0.0	191.6	0.0	19.2	Baja	Muy Alta
	RQ9	QUI-13	20.8	1249.4	7.2	2498.8	37.5	1249.4	3.6	224.9	0.6	17.5	Baja	Muy Alta
	RQ12	QUI-16	144.0	364.3	124.8	728.7	323.7	364.3	44.4	51.0	5.8	5.1	Muy Alta	Muy Alta
	RQ13	QUI-17	150.6	981.0	128.2	3727.6	337.4	981.0	45.4	98.1	5.9	13.7	Alta	Alta
	RQ14	QUI-18	225.9	2671.1	162.9	16561.1	487.7	2671.1	56.8	267.1	7.3	44.8	Media Alta	Alta
	RQ15	QUI-58	5.1	10.3	2.6	20.5	10.6	10.3	0.7	1.0	0.1	0.1	Alta	Alta
	RQ16	QUI-21	294.5	1644.5	197.5	3288.9	629.6	1644.5	66.8	164.4	8.2	23.0	Media Alta	Alta
	RQ17	QUI-22	411.0	2608.6	255.0	16955.8	868.4	2608.6	84.1	260.9	9.9	36.5	Media Alta	Alta
	RQ18	QUI-25	514.6	1709.5	317.3	3419.0	1091.8	1709.5	109.4	171.0	13.1	23.9	Alta	Alta
	RQ19	QUI-27	1400.0	745.0	836.5	674.5	2797.8	1155.8	334.6	170.1	55.7	15.3	Muy Alta	Muy Alta
	RQ21	QUI-28	89.0	56.2	53.4	28.5	177.9	95.2	21.4	13.6	3.6	0.0	Muy Alta	Muy Alta
	RQ22	QUI-29	2033.9	1624.4	1222.5	3248.8	4130.1	1624.4	469.8	422.3	72.9	23.2	Muy Alta	Muy Alta
	RQ23	QUI-30	669.3	175.8	390.4	351.6	1346.8	362.2	149.4	137.1	23.8	10.5	Muy Alta	Muy Alta
	RQ24	QUI-31	2775.7	2091.9	1650.2	4183.7	5626.8	5355.2	630.1	460.2	97.9	29.3	Muy Alta	Muy Alta
	RQ25	QUI-32	61.9	324.9	31.3	1169.6	128.2	324.9	9.0	39.0	0.9	4.5	Media Alta	Muy Alta
	RQ26	QUI-34	135.8	64.2	75.2	128.5	276.3	64.2	26.3	11.6	3.7	1.0	Muy Alta	Muy Alta
	RQ26	QUI-35	135.8	51.4	75.2	107.9	276.3	51.4	26.3	11.3	3.7	1.2	Muy Alta	Muy Alta
	RQ27	QUI-38	489.0	892.4	253.7	2855.8	1007.3	892.4	77.4	214.2	8.9	12.5	Alta	Muy Alta
	RQ28	QUI-39	2.4	317.4	1.2	1269.7	5.0	629.8	0.4	31.7	0.0	4.4	Baja	Muy Alta
	RQ29	QUI-40	0.6	59.4	1.4	118.9	3.2	59.4	0.1	5.9	0.0	0.9	Baja	Alta
	RQ30	QUI-44	19.8	493.4	11.4	3700.3	43.5	515.1	2.9	49.3	0.3	6.9	Moderada	Alta
	RQ32	QUI-46	269.2	85.0	160.5	291.3	539.1	484.7	63.6	105.6	10.5	9.7	Muy Alta	Muy Alta

UH	Unidad IACAL	Monitoreo ERA	DBO5 IACAL	DBO5 Monitoreo	SST IACAL	SST Monitoreo	DQO IACAL	DQO Monitoreo	NT IACAL	NT Monitoreo	PT IACAL	PT Monitoreo	IACAL ERA	IACAL Monitoreo
	RQ33	QUI-48	487.1	794.6	279.2	5323.7	994.1	829.5	99.8	190.7	15.0	15.8	Muy Alta	Muy Alta
	RQ34	QUI-49	253.0	40.7	148.1	81.4	508.7	74.9	57.0	39.1	9.1	3.9	Muy Alta	Muy Alta
	RQ35	QUI-50	928.7	1403.2	522.6	8699.9	1893.2	1403.2	184.1	364.8	26.9	31.4	Muy Alta	Muy Alta
	RQ36	QUI-51	102.7	214.5	51.9	429.1	212.7	214.5	14.9	34.3	1.5	3.0	Muy Alta	Muy Alta
	RQ37	QUI-53	1227.6	1622.7	673.7	5517.1	2511.9	1622.7	227.4	389.4	31.2	22.7	Muy Alta	Muy Alta
	RQ41	QUI-55	401.2	102.2	232.3	218.7	808.7	128.8	87.8	53.1	13.8	3.4	Muy Alta	Muy Alta
	RQ42	QUI-56	2154.4	1717.9	1178.7	3435.9	4403.2	1793.5	398.4	377.9	54.5	24.1	Muy Alta	Muy Alta
	RQ43	QUI-57	4944.3	3353.3	2836.1	31521.1	10059.7	10261.1	1030.6	804.8	152.6	54.2	Muy Alta	Muy Alta
Quebrada Cristales	QC2	CRI-04	323.9	94.1	61.5	338.8	586.7	94.1	56.7	67.8	5.4	2.4	Muy Alta	Muy Alta
	QC3	CRI-05	541.1	366.6	209.4	1063.1	1019.2	366.6	86.5	219.9	8.3	5.1	Muy Alta	Muy Alta
	QC8	CRI-07	334.5	170.3	200.1	476.8	691.9	263.9	79.0	136.2	12.5	11.0	Muy Alta	Muy Alta
	QC9	CRI-08	951.8	613.0	448.0	1226.0	1868.7	1038.4	176.5	355.5	21.9	21.5	Muy Alta	Muy Alta
Río Espejo	RE2	ESP-02	281.8	22.9	168.6	44.1	564.0	110.1	67.2	24.7	11.1	2.0	Muy Alta	Muy Alta
	RE11	ESP-04	1140.7	207.4	672.9	764.8	2302.4	1462.0	256.4	200.0	41.1	18.4	Muy Alta	Muy Alta
	RE13	ESP-05	1293.5	393.0	750.1	786.0	2618.7	1289.0	278.5	353.7	43.3	31.0	Muy Alta	Muy Alta
	RE15	ESP-07	1655.7	354.4	960.1	3331.0	3348.2	3033.4	363.1	297.7	57.3	25.9	Muy Alta	Muy Alta
	RE16	ESP-08	888.4	63.8	529.2	178.6	1779.5	762.7	209.4	210.4	34.5	27.3	Muy Alta	Muy Alta
	RE18	ESP-09	597.4	74.9	350.9	247.2	1200.5	1021.6	135.8	139.3	21.9	15.0	Muy Alta	Muy Alta
	RE21	ESP-10	3714.4	1198.3	2163.0	26601.7	7487.6	14427.2	825.1	934.7	131.1	112.4	Muy Alta	Muy Alta
	RE24	ESP-13	338.5	38.4	239.4	76.9	946.1	38.4	114.1	4.6	14.2	0.5	Muy Alta	Muy Alta
	RE24	ESP-14	338.5	74.6	239.4	164.1	946.1	288.0	114.1	100.0	14.2	10.3	Muy Alta	Muy Alta
RE25	ESP-15	4870.2	1378.4	2878.0	7029.6	10082.7	1378.4	1122.7	1212.9	174.3	92.1	Muy Alta	Muy Alta	

UH	Unidad IACAL	Monitoreo ERA	DBO5 IACAL	DBO5 Monitoreo	SST IACAL	SST Monitoreo	DQO IACAL	DQO Monitoreo	NT IACAL	NT Monitoreo	PT IACAL	PT Monitoreo	IACAL ERA	IACAL Monitoreo
Río Roble	RRob1	ROB-19	5.0	47.5	1.6	123.4	10.2	166.1	1.0	10.4	0.1	0.8	Moderada	Muy Alta
	RRob2	ROB-06	116.8	23.4	49.6	70.2	231.7	161.4	21.9	39.3	2.8	4.5	Muy Alta	Muy Alta
	RRob3	ROB-07	131.5	204.5	56.0	408.9	261.7	346.4	24.3	49.1	3.0	4.5	Alta	Muy Alta
	RRob4	ROB-08	92.3	43.9	55.3	87.8	184.6	43.9	22.1	22.0	3.7	0.7	Muy Alta	Muy Alta
	RRob5	ROB-16	0.0	28.2	0.0	56.3	0.0	28.2	0.0	10.7	0.0	0.4	Baja	Muy Alta
	RRob6	ROB-09	102.7	129.6	60.6	259.2	206.2	378.4	23.6	28.5	3.8	1.8	Alta	Muy Alta
	RRob7	ROB-10	265.9	249.2	132.7	1619.6	533.7	1774.1	52.5	54.8	7.3	7.5	Alta	Muy Alta
	RRob8	ROB-11	365.2	417.3	182.8	1836.1	739.1	2729.2	66.9	100.2	8.7	11.2	Alta	Muy Alta
	RRob9	ROB-15	442.9	409.3	222.1	818.6	899.9	409.3	78.2	90.0	9.9	5.7	Alta	Muy Alta
	RRob10	ROB-17	634.8	435.8	334.6	871.7	1290.2	455.0	118.8	113.3	16.1	8.1	Muy Alta	Muy Alta
RRob13	ROB-18	929.8	614.0	472.0	1228.0	1863.2	1399.9	156.7	171.9	20.2	8.8	Muy Alta	Muy Alta	
Quebrada Buenavista	QB1	BUE-01	85.6	155.0	43.3	310.1	177.2	1596.8	12.4	31.0	1.2	2.2	Muy Alta	Muy Alta
	QB2	BUE-03	325.5	216.4	164.5	432.7	673.7	216.4	47.2	82.2	4.7	3.0	Muy Alta	Muy Alta
	QB3	BUE-04	583.9	251.9	317.0	503.7	1192.4	317.4	106.6	105.8	14.4	4.5	Muy Alta	Muy Alta
	QB7	BUE-07	132.7	25.3	78.9	50.6	266.0	37.4	31.1	26.8	5.1	1.6	Muy Alta	Muy Alta
	QB9	BUE-08	955.6	308.7	528.9	617.5	1948.3	308.7	184.8	148.2	26.2	5.4	Muy Alta	Muy Alta
Quebrada Agua Linda	QAL1	BUE-06	123.3	236.5	72.4	87.3	247.8	335.7	28.0	40.0	4.5	4.6	Muy Alta	Muy Alta
Quebrada San José	QSJ1	SJO-01	37.0	12.6	22.1	25.2	74.1	12.6	8.8	6.3	1.5	0.2	Muy Alta	Muy Alta
Quebrada Lacha	QLAC1	LAC-01	0.0	13.5	0.0	27.0	0.0	13.5	0.0	2.4	0.0	0.2	Baja	Muy Alta
	QLAC1	CHO-01	0.0	16.1	0.0	32.3	0.0	16.1	0.0	4.2	0.0	0.2	Baja	Muy Alta
Quebrada Barro Blanco	QBLA1	BLA-01	0.0	0.8	0.0	1.6	0.0	0.8	0.0	0.1	0.0	0.0	Baja	Muy Alta

Al comparar las cargas estimadas para el cálculo del Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) con las determinadas en los monitoreos, se observa que algunos tramos de análisis presentan tanto subestimaciones como sobreestimaciones en cada uno de los parámetros evaluados (DBO5, SST, DQO, NT y PT) (Tabla 308).

Las posibles causas de la subestimación incluyen: falta de información sobre las cargas provenientes de otros sectores agrícolas; falta de caracterización de la influencia directa en las corrientes hídricas de sectores como el pecuario (influencia de avícolas y porcícolas); y la contribución de cargas por procesos naturales, como la descomposición de materia orgánica o la erosión del suelo. En cuanto a la sobreestimación, factores como: la variabilidad diaria en las cargas vertidas por sectores como el doméstico y el proceso de autodepuración y asimilación de contaminantes por parte de las corrientes, son las principales razones de esta sobreestimación

Es importante destacar que, para la estimación del IACAL, las cargas consideradas son acumulativas aguas abajo entre tramos o unidades de análisis, lo cual implica solo un aumento en la carga y no una disminución. Sin embargo, las corrientes realizan naturalmente este proceso de disminución a partir de procesos como la oxigenación, autodepuración y dilución de la carga transportada, lo que subraya la importancia de incluir modelación de calidad del agua, los cuales incluyen en su estructura estos procesos naturales para obtener un mejor entendimiento de las variaciones en la calidad hídrica de los afluentes.

A pesar de estas consideraciones, las cargas no muestran variaciones significativas en muchos de los sitios analizados, manteniendo una relación entre el aporte estimado por sector y la magnitud de la contaminación en los tramos definidos para el análisis de calidad de agua. Esto se evidencia al analizar la correlación entre la Carga IACAL y la Carga Monitoreo, como se ilustra en la Figura 365, con relaciones medias en los parámetros de Sólidos Suspendidos Totales -SST- ($R^2=0.29$) y Demanda Biológica de Oxígeno -DBO5- ($R^2=0.31$), y relaciones de media a alta para la Demanda Química de Oxígeno -DQO- ($R^2=0.49$), Fósforo Total -PT- ($R^2=0.66$) y Nitrógeno Total -NT- ($R^2=0.86$).

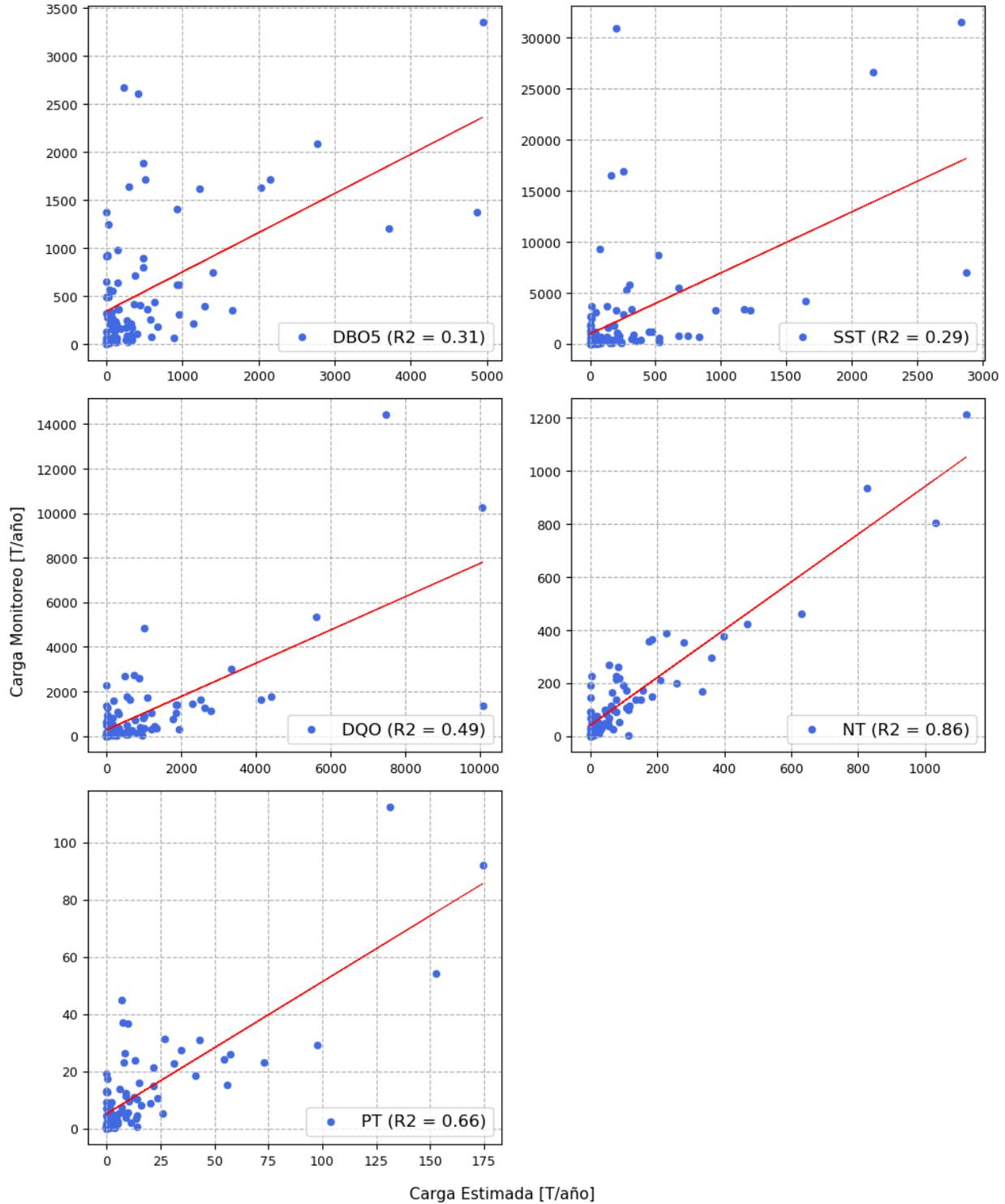


Figura 365. Correlación entre cargas estimadas vs cargas determinadas en los monitoreos de calidad de agua

6.9. Seguimiento de los Objetivos de Calidad del Agua

En este apartado se contrastan los resultados de los muestreos realizados en el marco del monitoreo de calidad del agua de la ERA 2023 con respecto a los límites establecidos en los objetivos de calidad de agua definidos por CRQ para los 37 tramos de las principales corrientes del departamento del Quindío, los cuales se describen en la Tabla 309 (CRQ, 2019). En este sentido, se estableció la realización de muestreos de calidad del agua en 31 de los 37 tramos con objetivos de calidad del agua, seleccionados según criterios como: la magnitud del caudal de la corriente y número de vertimientos localizados en el tramo. Por lo tanto, los tramos que no fueron objetos de muestreo fueron los numerados en la Tabla 309 como: 10, 14, 24, 28, 32 y 34.

Una vez realizados los muestreos de calidad del agua, se evaluó el grado de cumplimiento o excedencia de los valores admisibles definidos en los Objetivos de Calidad del Agua definidos por CRQ. De manera que los parámetros evaluados fueron: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) (Figura 366), Sólidos Suspendidos Totales (SST) (Figura 367), Oxígeno Disuelto (OD) (Figura 368), Nitratos + Nitritos (Figura 369), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Figura 370), pH (Figura 371). En este contexto, para establecer el grado de cumplimiento o excedencia respecto del valor admisible del objetivo de calidad en cada tramo, se consideró la metodología presentada en la Tabla 310, en donde a continuación se describen sus variables:

E_i : evaluación del parámetro de calidad del agua con los resultados del muestreo de seguimiento 2023 a los Objetivos de Calidad del Agua en el tramo i

m_i : resultado obtenido en el muestreo del parámetro de calidad en agua en el muestreo de seguimiento 2023 a los Objetivos de Calidad del Agua en el tramo i

OC_i : Valor admisible del parámetro de calidad según los Objetivos de Calidad del agua definidos por CRQ en el tramo i

$OC_{i,inf}$: límite inferior del valor admisible del parámetro de calidad según los Objetivos de Calidad del agua definidos por CRQ en el tramo i

$OC_{i,sup}$: límite superior del valor admisible del parámetro de calidad según los Objetivos de Calidad del agua definidos por CRQ en el tramo i

Tabla 309. Tramos de corrientes superficiales con objetivos de calidad del agua definidos

Tramo	Fuente Hídrica	Descripción
1	Quebrada La Florida	Desde aguas arriba del casco Urbano del Municipio de Armenia hasta la desembocadura en el Río Quindío
2	Quebrada El Pescador	Comprendida desde aguas arriba del Casco Urbano hasta desembocadura Río Quindío
3	Quebrada El Naranjal	Desde aguas arriba del casco Urbano del Municipio de Calarcá hasta la desembocadura en el Río Santo Domingo
4	Río Santo Domingo	Comprendido entre la bocatoma San Rafael hasta la desembocadura al Río Verde
5	Río Verde	Comprendido entre aguas arriba de la confluencia de la quebrada el Jardín hasta desembocadura
6	Quebrada La Picota	Comprendido entre aguas debajo de la bocatoma de Buenavista y la desembocadura en el Río Barragán
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	Comprendido entre aguas arriba del Casco Urbano del Municipio de Buenavista y la desembocadura en la quebrada Los Juanes
8	Quebrada Cristales	Comprendido desde El nacimiento hasta la confluencia con río La Vieja
9	Quebrada San Nicolas	Desde el nacimiento hasta la desembocadura del río Quindío
10	Quebrada Santa Rita	Comprendido desde el nacimiento hasta la confluencia con Quebrada El Reposo
11	Quebrada Hojas Anchas	Comprendido desde el nacimiento hasta la confluencia con la quebrada Zanjón Hondo
12	Quebrada Armenia	Comprendida desde el nacimiento hasta la confluencia con el Río Espejo
13	Quebrada La Camelia	Comprendido desde el nacimiento hasta confluencia con río Espejo
14	Quebrada Los Quindos	Comprendido desde el nacimiento hasta la confluencia con la quebrada Orlanda
15	Río Espejo	Comprendido desde Confluencia Q. Zanjón Hondo y Q. Hojas Anchas hasta desembocadura al Río La Vieja
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	Comprendido desde aguas arriba del Casco Urbano de Montenegro hasta desembocadura al Río Espejo
17	Quebrada Buenavista	Comprendido desde aguas debajo de la bocatoma de Quimbaya hasta desembocadura del Río La Vieja
18	Río Gris	Comprendido desde aguas debajo de la bocatoma de Génova hasta la desembocadura al Río San Juan
19	Río San Juan	Desde aguas arriba del casco urbano de Génova hasta la confluencia con río Rojo
20	Río Rojo	Comprendido desde el puente vía a Génova hasta desembocadura en Río Barragán
21	Quebrada San José	Desde el casco urbano del municipio de Filandia hasta el límite departamental
22	Río Lejos	Desde aguas arriba del casco urbano del municipio de Pijao hasta la desembocadura del río Barragán
23	Quebrada El Inglés	Desde aguas arriba del casco urbano del municipio de Pijao hasta la confluencia con el río Lejos
24	Quebrada Agua Bonita	Desde el casco urbano de Barcelona hasta la confluencia con la quebrada La Congala
25	Quebrada La Congala	Desde aguas arriba del casco urbano de Barcelona hasta la confluencia con el río Verde
26	Quebrada La Española	Desde aguas arriba del casco urbano de Córdoba hasta la confluencia con la quebrada El Jardín

Tramo	Fuente Hídrica	Descripción
27	Quebrada La Siberia	Desde aguas arriba del casco urbano de Córdoba hasta la confluencia con la quebrada El Jardín
28	Quebrada La Tulia	Desde el casco urbano del municipio de la Tebaida hasta la confluencia con la quebrada La Jaramilla
29	Quebrada La Jaramilla	Desde aguas arriba del casco urbano del municipio de La Tebaida hasta la confluencia con quebrada Cristales
30	Quebrada Mina Rica	Desde el casco urbano de Quimbaya hasta la confluencia con la quebrada Buenavista
31	Quebrada Agua Linda	Desde aguas arriba del casco urbano de Quimbaya hasta la confluencia con la quebrada Campoalegre
32	Quebrada La Aldana	Desde el casco urbano de Armenia hasta la confluencia con la quebrada Hojas Anchas
33	Quebrada Yeguas	Desde aguas arriba del casco urbano de Circasia hasta la confluencia con la quebrada Hojas Anchas
34	Quebrada El Mudo	Desde el casco urbano de Salento hasta la confluencia con el río Boquerón
35	Quebrada La Calzada	Desde el casco urbano de Salento hasta la confluencia con el río Boquerón
36	Río Boquerón	Desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Mudo hasta la confluencia con el río Navarco
37	Quebrada El Reposo	Desde la confluencia con la quebrada Santa Rita hasta la confluencia con el río Espejo

Fuente: Objetivos de Calidad del Agua (2019-2029) en Fuentes Hídricas Receptoras de Vertimientos del Departamento del Quindío (CRQ, 2019).

Tabla 310. Grado de cumplimiento a los Objetivos de Calidad del Agua

Parámetro	Metodología de evaluación	Criterio de cumplimiento	Criterio de excedencia	Criterio de advertencia
DBO ₅	$E_i = \left(\frac{m_i - OC_i}{OC_i}\right) * 100$	$E_i < OC_i$	$E_i > OC_i$	$E_i = OC_i$
SST	$E_i = \left(\frac{m_i - OC_i}{OC_i}\right) * 100$	$E_i < OC_i$	$E_i > OC_i$	$E_i = OC_i$
OD	$E_i = \left(\frac{OC_i - m_i}{OC_i}\right) * 100$	$E_i > OC_i$	$E_i < OC_i$	$E_i = OC_i$
Nitritos + Nitratos	$E_i = \left(\frac{m_i - OC_i}{OC_i}\right) * 100$	$E_i < OC_i$	$E_i > OC_i$	$E_i = OC_i$
DQO	$E_i = \left(\frac{m_i - OC_i}{OC_i}\right) * 100$	$E_i < OC_i$	$E_i > OC_i$	$E_i = OC_i$
pH	$E_i = OC_{i_inf} < m_i < OC_{i_sup}$	$OC_{i_inf} < E_i < OC_{i_sup}$	$E_i < OC_{i_inf}$ $E_i > OC_{i_sup}$	$E_i = OC_{i_inf}$ $E_i = OC_{i_sup}$

Con base en lo anteriormente expuesto se presentan los resultados del seguimiento de los objetivos de calidad del agua en los 31 tramos en los cuales se realizó muestreo de calidad del agua: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) (Tabla 311), Sólidos Suspendedos Totales (SST) (Tabla 312), Oxígeno Disuelto (OD) (Tabla 313), Nitratos + Nitritos (Tabla 314), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Tabla 315), pH (Tabla 316).

6.9.1. Evaluación Demanda Biológica de Oxígeno -DBO₅-

En este apartado se evaluó la DBO₅ como indicador de la presencia de materia orgánica en la corriente, de manera que en cuatro de los 31 tramos analizados el valor admisible de la DBO definido en los Objetivos de Calidad del Agua establecidos por CRQ es excedido (Figura 366, Tabla 311). Dichos casos son:

Quebrada Yeguas: En este caso se excede en 311% el valor admisible de los objetivos de Calidad del Agua, lo cual se debe principalmente a la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio de Circasia.

Quebrada Agua Linda: Se estimó excedencia del 130 % en DBO₅, lo cual se relaciona principalmente con vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes del municipio de Quimbaya, así como alta presencia de residuos sólidos (basuras) y tensoactivos.

Quebrada San Nicolás: Se estima excedencia en DBO₅ del 229 % con respecto a los objetivos de calidad del agua para esta corriente, lo cual se debe a la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio del municipio de Armenia cuyos caudales pueden exceder el caudal natural de la corriente y por lo tanto, limita las posibilidades de dilución y autodepuración de la corriente.

Quebrada La Florida: La corriente presenta excedencia en el 143 % de la DBO₅ definida como objetivo de calidad del agua, lo cual se asocia principalmente con vertimientos de aguas residuales domésticas directas provenientes del municipio del municipio de Armenia.

Por otra parte, se identifica que los Ríos Rojo y Gris, se evalúan en el límite de los Objetivos de Calidad del Agua y por tanto, necesario limitar los vertimientos hacia dichas corrientes en aras de no exceder los valores admisibles definidos en los Objetivos de Calidad del Agua para estas corrientes.

Tabla 311. Evaluación de la DBO5 (mg/l) en los tramos analizados en el seguimiento 2023

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023	Excedencia del Objetivo
37	Quebrada El Reposo	30.0	5.0	-83%
36	Río Boquerón	20.0	5.0	-75%
35	Quebrada La Calzada	30.0	39.8	33%
33	Quebrada Yeguas	10.0	41.1	311%
31	Quebrada Agua Linda	30.0	69.1	130%
30	Quebrada Mina Rica	30.0	5.0	-83%
29	Quebrada La Jaramilla	20.0	5.0	-75%
27	Quebrada La Siberia	20.0	5.0	-75%
26	Quebrada La Española	10.0	5.0	-50%
25	Quebrada La Congala	20.0	5.0	-75%
23	Quebrada El Inglés	10.0	5.0	-50%
22	Río Lejos	10.0	5.0	-50%
21	Quebrada San José	10.0	5.0	-50%
20	Río Rojo	5.0	5.0	0%
19	Río San Juan	10.0	5.0	-50%
18	Río Gris	5.0	5.0	0%
17	Quebrada Buenavista	10.0	5.0	-50%
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	30.0	5.0	-83%
15	Río Espejo	30.0	5.0	-83%
13	Quebrada La Camelia	10.0	5.4	-46%
12	Quebrada Armenia	10.0	5.0	-50%
11	Quebrada Hojas Anchas	30.0	5.0	-83%
9	Quebrada San Nicolás	30.0	98.6	229%
8	Quebrada Cristales	30.0	5.0	-83%
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	10.0	5.0	-50%
6	Quebrada La Picota	10.0	5.0	-50%
5	Río Verde	10.0	5.0	-50%
4	Río Santo Domingo	10.0	5.0	-50%
3	Quebrada El Naranjal	10.0	12.4	24%
2	Quebrada El Pescador	30.0	5.0	-83%
1	Quebrada La Florida	20.0	48.6	143%

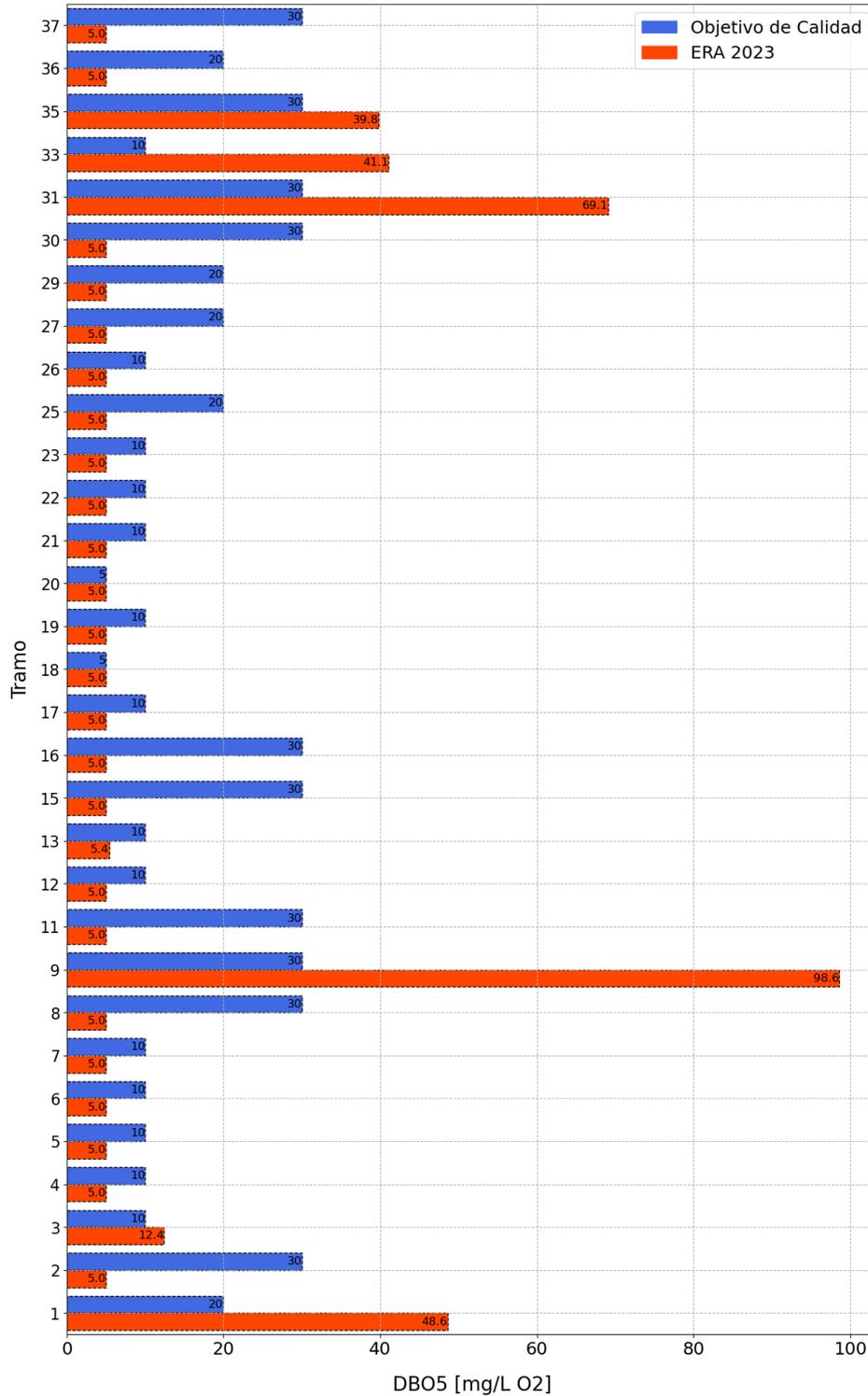


Figura 366. Comparación de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) entre Objetivos de Calidad del Agua y seguimiento muestras ERA 2023

6.9.2. Evaluación Sólidos Suspendidos Totales -SST-

En este apartado fueron evaluados los sólidos suspendidos totales en la corriente, de manera que en tres de los 31 tramos analizados el valor admisible de la SST definido en los Objetivos de Calidad del Agua establecidos por CRQ es excedido (Figura 367, Tabla 312). Dichos casos son:

Río Rojo: Se excede 265 % el valor admisible de SST, lo cual puede estar asociado en un mayor grado a la alta capacidad de la corriente para transportar sedimentos finos resultado de procesos de socavación y en un menor grado con la presencia de vertimientos.

Río San Juan: En este caso se identificó excedencia de 990 % en SST, los cuales provienen de aguas residuales domésticas del municipio de Génova y en un menor grado a la capacidad de la corriente para transportar sedimentos como resultado de procesos de socavación.

Quebrada La Camelia: Se identifica excedencia del 145 % en SST que puede estar relacionada con vertimientos en la parte alta de la corriente, proveniente de aguas residuales directas del municipio de Armenia.

Por otra parte, se identifica que los SST en la Quebrada San Nicolás se encuentra en el límite de los Objetivos de Calidad del Agua, y por tanto, es necesario limitar los vertimientos hacia esta corriente en aras de no exceder los valores definidos en los Objetivos de Calidad del Agua.

Tabla 312. Evaluación de los SST (mg/l) en los tramos analizados en el seguimiento 2023

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023	Excedencia del Objetivo
37	Quebrada El Reposo	50.0	11.0	-78%
36	Río Boquerón	30.0	10.0	-67%
35	Quebrada La Calzada	50.0	49.0	-2%
33	Quebrada Yeguas	20.0	18.0	-10%
31	Quebrada Agua Linda	50.0	25.5	-49%
30	Quebrada Mina Rica	50.0	10.0	-80%
29	Quebrada La Jaramilla	30.0	14.0	-53%
27	Quebrada La Siberia	30.0	10.5	-65%
26	Quebrada La Española	20.0	10.0	-50%
25	Quebrada La Congala	30.0	10.7	-64%
23	Quebrada El Inglés	20.0	10.0	-50%

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023	Excedencia del Objetivo
22	Río Lejos	20.0	15.5	-23%
21	Quebrada San José	20.0	10.0	-50%
20	Río Rojo	20.0	73.0	265%
19	Río San Juan	20.0	218.0	990%
18	Río Gris	20.0	19.5	-3%
17	Quebrada Buenavista	20.0	10.0	-50%
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	20.0	16.5	-67%
15	Río Espejo	20.0	25.5	-49%
13	Quebrada La Camelia	20.0	49.0	145%
12	Quebrada Armenia	20.0	14.0	-30%
11	Quebrada Hojas Anchas	50.0	10.0	-80%
9	Quebrada San Nicolas	50.0	50.0	0%
8	Quebrada Cristales	50.0	10.0	-80%
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	20.0	10.0	-50%
6	Quebrada La Picota	20.0	10.0	-50%
5	Río Verde	20.0	10.0	-50%
4	Río Santo Domingo	20.0	17.0	-15%
3	Quebrada El Naranjal	20.0	42.5	113%
2	Quebrada El Pescador	50.0	10.0	-80%
1	Quebrada La Florida	30.0	44.0	47%

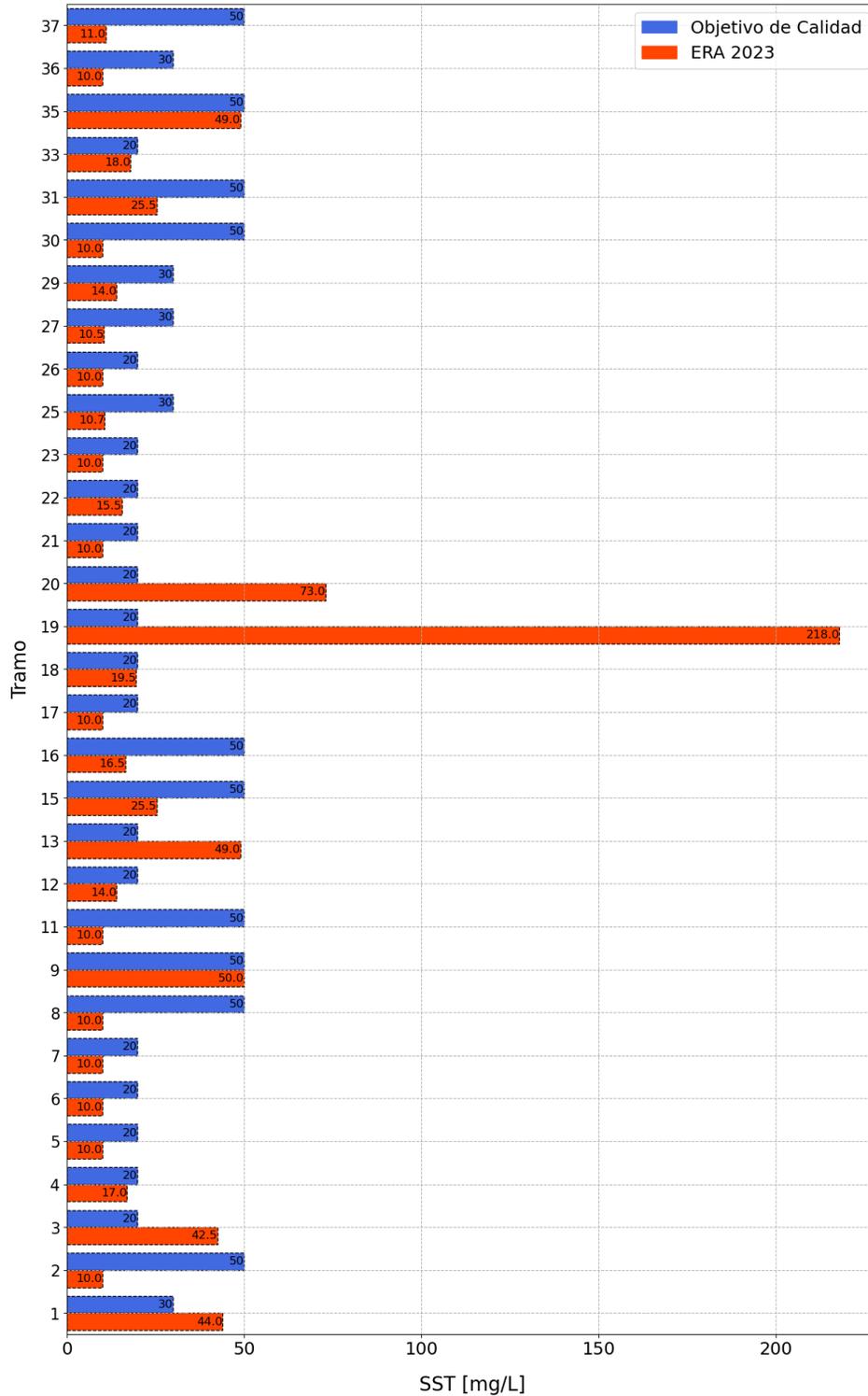


Figura 367. Comparación de los Sólidos Suspendedos Totales (SST) entre Objetivos de Calidad del Agua y seguimiento muestreos ERA 2023

6.9.3. Evaluación Oxígeno Disuelto -OD-

En este apartado se evaluó el oxígeno disuelto en el agua, de manera que en siete de los 31 tramos analizados el valor admisible del OD definido en los Objetivos de Calidad del Agua establecidos por CRQ es excedido (Figura 368, Tabla 313). En este caso, la excedencia es interpretada como los valores medidos de OD inferiores al valor admisible definido para el tramo. En este sentido, la disminución del oxígeno disuelto en el agua se asocia a grandes cantidades de materia orgánica que sufre un proceso de degradación en la corriente. Dichos tramos son:

Quebrada Las Yeguas: Se encontró que el oxígeno disuelto es 76 % inferior al objetivo de calidad del agua para el tramo, lo cual equivale 1.7 mg/l de OD. Esto se debe principalmente a vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio Circasia, cuyo contenido de materia orgánica presionan el OD de la corriente al límite anóxico, lo cual supone un alto grado de contaminación de la corriente.

Quebrada Agua Linda: Al igual que el caso anterior el OD en esta corriente esta 48 % por debajo del objetivo de calidad del agua en el tramo, lo cual equivale a 2.6 mg/l y se debe principalmente a vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio Quimbaya. En este caso, la corriente presenta un alto grado de contaminación.

Quebrada San José: Presenta OD de 6.7 mg/l, lo cual está 4 % por debajo del objetivo de calidad del agua para la corriente. Este alto grado de contaminación se asocia principalmente con vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes del municipio Armenia.

Quebrada Cajones: El reporte del laboratorio indica que en el tramo el OD es de 3.5 mg/l, lo cual está 30 % por debajo del objetivo de calidad del agua para la corriente. Este alto grado de contaminación se asocia principalmente con vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes del municipio Montenegro.

Quebrada La Camelia: Presenta OD 32 % más bajo que el objetivo de calidad de agua para este tramo, lo cual corresponde a 4.7 mg/l. De manera que el tramo presenta contaminación moderada, la cual se debe principalmente a la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio Armenia.

Quebrada Armenia: Presenta OD de 5.3 mg/l que se ubica en 25 % bajo el valor admisible definido en los objetivos de calidad del agua para este tramo, lo cual indica un grado de contaminación moderado que se asocia principalmente a vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes del municipio de Armenia

Quebrada El Naranjal: Registró 5.0 mg/l de OD que se ubica 28 % por debajo del valor admisibles de los objetivos de calidad del agua, lo cual corresponde a contaminación moderada y se asocia con la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes del municipio de Calarcá.

Tabla 313. Evaluación del OD (mg/l) en los tramos analizados en el seguimiento 2023

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023	Excedencia del Objetivo
37	Quebrada El Reposo	5.0	5.8	17%
36	Río Boquerón	5.0	8.1	63%
35	Quebrada La Calzada	5.0	8.1	63%
33	Quebrada Yeguas	7.0	1.7	-76%
31	Quebrada Agua Linda	5.0	2.6	-48%
30	Quebrada Mina Rica	5.0	5.1	2%
29	Quebrada La Jaramilla	5.0	5.7	15%
27	Quebrada La Siberia	5.0	8.0	60%
26	Quebrada La Española	7.0	8.3	19%
25	Quebrada La Congala	5.0	6.9	38%
23	Quebrada El Inglés	7.0	7.7	10%
22	Río Lejos	7.0	7.7	10%
21	Quebrada San José	7.0	6.7	-4%
20	Río Rojo	7.0	8.1	16%
19	Río San Juan	7.0	8.1	15%
18	Río Gris	7.0	8.5	21%
17	Quebrada Buenavista	7.0	8.0	14%
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	5.0	3.5	-30%
15	Río Espejo	5.0	7.7	53%
13	Quebrada La Camelia	7.0	4.7	-32%
12	Quebrada Armenia	7.0	5.3	-25%
11	Quebrada Hojas Anchas	5.0	7.2	44%
9	Quebrada San Nicolas	5.0	6.5	29%
8	Quebrada Cristales	5.0	6.8	36%
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	7.0	7.6	8%
6	Quebrada La Picota	7.0	7.6	8%
5	Río Verde	7.0	7.3	4%
4	Río Santo Domingo	7.0	7.7	10%
3	Quebrada El Naranjal	7.0	5.0	-28%
2	Quebrada El Pescador	5.0	7.7	54%
1	Quebrada La Florida	5.0	7.4	47%



Figura 368. Comparación del Oxígeno Disuelto (OD) entre Objetivos de Calidad del Agua y seguimiento muestras ERA 2023

6.9.4. Evaluación Nitritos y Nitratos

En este apartado se analizó el contenido de Nitritos y Nitratos en el agua, de manera que en este caso no se identificaron casos de excedencia de los valores admisibles definidos en los Objetivos de Calidad del Agua establecidos por CRQ para cada tramo analizado (Figura 369, Tabla 314).

Tabla 314. Evaluación Nitritos-Nitratos (mg/l) en los tramos analizados en el seguimiento 2023

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023	Excedencia del Objetivo
37	Quebrada El Reposo	10.0	0.6	-94%
36	Río Boquerón	10.0	0.3	-97%
35	Quebrada La Calzada	10.0	0.2	-98%
33	Quebrada Yeguas	10.0	0.4	-96%
31	Quebrada Agua Linda	10.0	0.2	-98%
30	Quebrada Mina Rica	10.0	0.3	-97%
29	Quebrada La Jaramilla	10.0	0.6	-94%
27	Quebrada La Siberia	10.0	0.3	-97%
26	Quebrada La Española	10.0	0.2	-98%
25	Quebrada La Congala	10.0	0.5	-95%
23	Quebrada El Inglés	10.0	0.2	-98%
22	Río Lejos	10.0	0.2	-98%
21	Quebrada San José	10.0	0.2	-98%
20	Río Rojo	10.0	0.2	-98%
19	Río San Juan	10.0	0.2	-98%
18	Río Gris	10.0	0.2	-98%
17	Quebrada Buenavista	10.0	0.3	-97%
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	10.0	0.2	-98%
15	Río Espejo	10.0	0.9	-91%
13	Quebrada La Camelia	10.0	0.5	-95%
12	Quebrada Armenia	10.0	0.8	-92%
11	Quebrada Hojas Anchas	10.0	0.3	-97%
9	Quebrada San Nicolas	10.0	0.2	-98%
8	Quebrada Cristales	10.0	0.4	-96%
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	10.0	0.3	-97%
6	Quebrada La Picota	10.0	0.3	-97%
5	Río Verde	10.0	0.3	-97%
4	Río Santo Domingo	10.0	0.3	-97%
3	Quebrada El Naranjal	10.0	0.2	-98%
2	Quebrada El Pescador	10.0	0.8	-92%
1	Quebrada La Florida	10.0	0.2	-98%

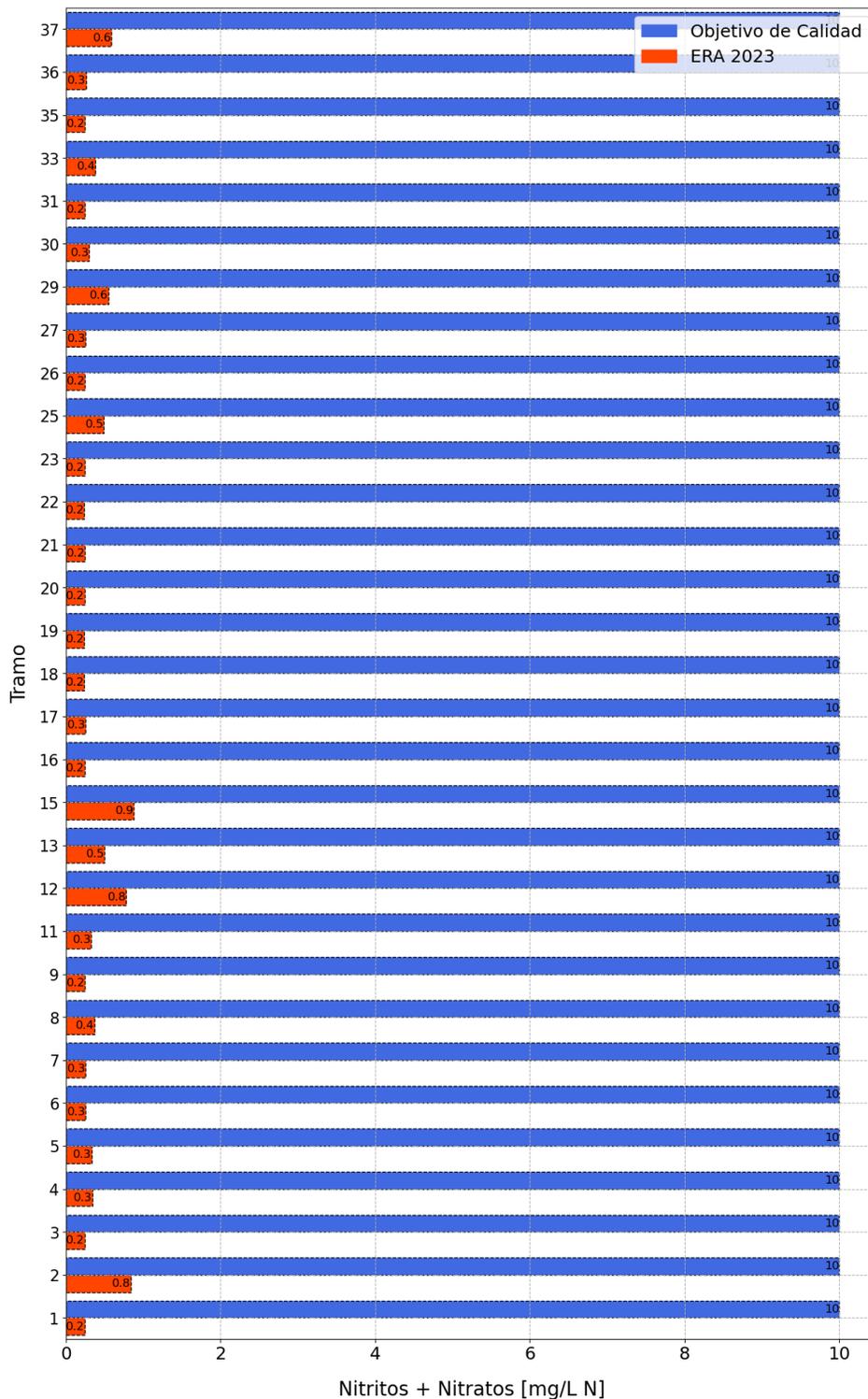


Figura 369. Comparación de Nitratos + Nitritos entre Objetivos de Calidad del Agua y seguimiento muestreos ERA 2023

6.9.5. Evaluación Demanda Química de Oxígeno -DQO-

En este apartado se evaluó la demanda química de oxígeno en el agua, de manera que en nueve de los 31 tramos analizados el valor admisible de la DQO definido en los Objetivos de Calidad del Agua -OCA- establecidos por CRQ es excedido (Figura 370, Tabla 315). En este caso, la excedencia es interpretada como la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica e inorgánica susceptible de ser oxidada y, por lo tanto, se relaciona con la limitación de la corriente para degradar dicha contaminación, lo cual indica un alto grado de contaminación y se relaciona con la disminución del oxígeno disuelto en el agua. De manera que los tramos en los que se encontró esta situación son:

Quebrada La Calzada: Excede en 313 % el OCA definido para este tramo, lo cual podría estar asociado a ineficiencia en el proceso de tratamiento de las aguas residuales en la PTAR de Salento, la cual se encuentra aguas arriba del sitio en el cual se realizó el muestreo.

Quebrada Yeguas: Se identificaron vertimientos de aguas residuales domésticas directas provenientes del municipio de Circasia, de manera que se excede la DQO en 767 % del límite establecido en el OCA.

Quebrada Agua Linda: Es identificó excedencia del 227 % en DQO, debido a la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas directas del municipio de Buenavista.

Quebrada Cajones: Se cuantificó excedencia de 127 % en DQO respecto del OCA, lo cual se asocia con la presencia de aguas residuales domésticas directas provenientes del municipio de Montenegro.

Quebrada La Camelia: Excede en 364 % en DQO el OCA establecido para este tramo, lo cual se relaciona con la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas directas provenientes del municipio de Armenia.

Quebrada Armenia: Excede en 299 % el OCA definido para la DQO, lo cual se asocia a la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas directas de Armenia.

Quebrada San Nicolás: Se cuantificó excedencia de 457 % el valor admisible de DQO establecido por el OCA en el tramo, lo cual tiene relación con la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas directas del municipio de Armenia.

Quebrada El Naranjal: Se cuantificó 371 % de excedencia del OCA en DQO, lo cual se relaciona con la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas directas provenientes del municipio de Calarcá

Quebrada La Florida: Es receptora de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales del municipio de Armenia y por tanto excede en 202 % el valor admisible de DQO definido por el OCA en el tramo analizado.

Tabla 315. Evaluación de la DQO (mg/l) en los tramos analizados en el seguimiento 2023

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023	Excedencia del Objetivo
37	Quebrada El Reposo	30.0	19.3	-36%
36	Río Boquerón	25.0	5.0	-80%
35	Quebrada La Calzada	30.0	124.0	313%
33	Quebrada Yeguas	15.0	130.0	767%
31	Quebrada Agua Linda	30.0	98.1	227%
30	Quebrada Mina Rica	30.0	7.4	-75%
29	Quebrada La Jaramilla	25.0	7.8	-69%
27	Quebrada La Siberia	25.0	5.0	-80%
26	Quebrada La Española	15.0	5.0	-67%
25	Quebrada La Congala	25.0	6.3	-75%
23	Quebrada El Inglés	15.0	5.0	-67%
22	Río Lejos	15.0	12.8	-15%
21	Quebrada San José	15.0	5.0	-67%
20	Río Rojo	10.0	8.5	-15%
19	Río San Juan	15.0	5.0	-67%
18	Río Gris	10.0	15.7	57%
17	Quebrada Buenavista	15.0	5.0	-67%
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	30.0	68.2	127%
15	Río Espejo	30.0	5.0	-83%
13	Quebrada La Camelia	15.0	69.6	364%
12	Quebrada Armenia	15.0	59.8	299%
11	Quebrada Hojas Anchas	30.0	16.4	-45%
9	Quebrada San Nicolas	30.0	167.0	457%
8	Quebrada Cristales	30.0	8.5	-72%
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	30.0	5.0	-83%
6	Quebrada La Picota	15.0	6.3	-58%
5	Río Verde	15.0	5.2	-65%
4	Río Santo Domingo	15.0	5.0	-67%
3	Quebrada El Naranjal	15.0	70.7	371%
2	Quebrada El Pescador	30.0	10.3	-66%
1	Quebrada La Florida	25.0	75.4	202%

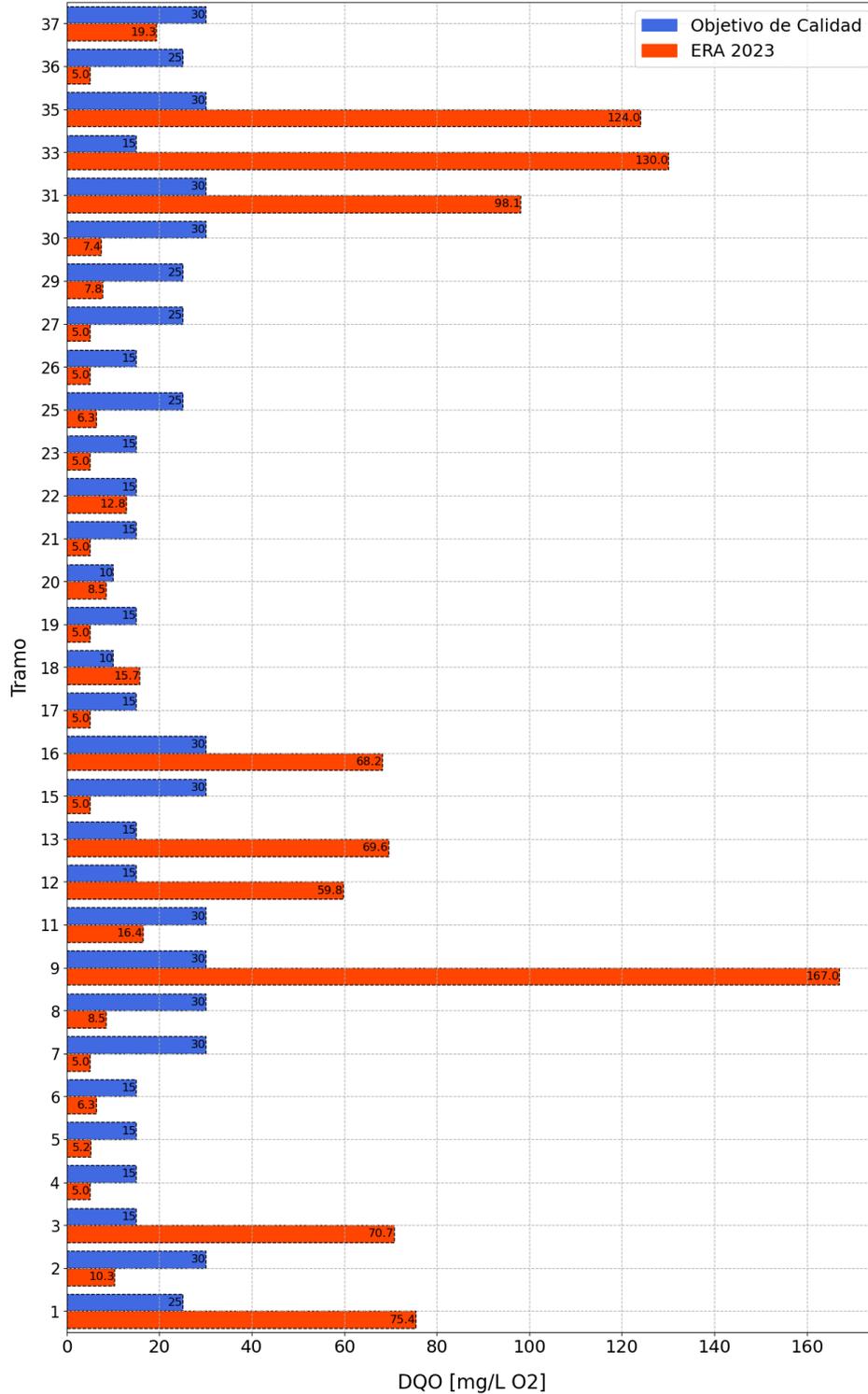


Figura 370. Comparación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) entre Objetivos de Calidad del Agua y seguimiento muestreros ERA 2023

6.9.6. Evaluación del pH

En este apartado se evaluó el grado de acidez o alcalinidad del agua en los 31 tramos analizados en este estudio, de manera que se contrastó el reporte del laboratorio con respecto a los valores admisibles del pH definido en los Objetivos de Calidad del Agua establecidos por CRQ para cada caso, los cuales se reportan en la Figura 371 y la Tabla 316 en donde en general, se identifica que el agua tiene un grado neutro de pH. No obstante, se identificaron tramos con tendencia alcalina (pH mayor que 8), lo cual puede estar relacionado con presencia de sales transportadas por la escorrentía superficial en procesos erosivos o con actividades agropecuarias, tales casos son: Río boquerón, Quebrada La Calzada, Quebrada La Congala, Quebrada El Inglés, Río Lejos, Quebrada San José, Río Rojo, Río San Juan, Quebrada San Nicolás, Quebrada La Picota, río Verde, Río Santo Domingo, y Quebrada El Naranjal.

Tabla 316. Evaluación del pH en los tramos analizados en el seguimiento 2023

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023
37	Quebrada El Reposo	5.0 - 9.0	7.5
36	Río Boquerón	5.0 - 9.1	8.3
35	Quebrada La Calzada	5.0 - 9.2	8.1
33	Quebrada Yeguas	5.0 - 9.3	7.5
31	Quebrada Agua Linda	5.0 - 9.4	7.1
30	Quebrada Mina Rica	5.0 - 9.5	6.8
29	Quebrada La Jaramilla	5.0 - 9.6	7.4
27	Quebrada La Siberia	5.0 - 9.7	7.9
26	Quebrada La Española	5.0 - 9.8	7.5
25	Quebrada La Congala	5.0 - 9.9	8.1
23	Quebrada El Inglés	5.0 - 9.10	8.0
22	Río Lejos	5.0 - 9.11	8.3
21	Quebrada San José	5.0 - 9.12	8.2
20	Río Rojo	5.0 - 9.13	8.3
19	Río San Juan	5.0 - 9.14	8.1
18	Río Gris	5.0 - 9.15	7.7
17	Quebrada Buenavista	5.0 - 9.16	7.8
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	5.0 - 9.17	7.1
15	Río Espejo	5.0 - 9.18	7.4
13	Quebrada La Camelia	5.0 - 9.19	7.5
12	Quebrada Armenia	5.0 - 9.20	7.6
11	Quebrada Hojas Anchas	5.0 - 9.21	7.3

Tramo	Corriente	Objetivo	Seguimiento 2023
9	Quebrada San Nicolas	5.0 - 9.22	8.0
8	Quebrada Cristales	5.0 - 9.23	7.7
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	5.0 - 9.24	7.9
6	Quebrada La Picota	5.0 - 9.25	8.4
5	Río Verde	5.0 - 9.26	8.5
4	Río Santo Domingo	5.0 - 9.27	8.3
3	Quebrada El Naranjal	5.0 - 9.28	8.1
2	Quebrada El Pescador	5.0 - 9.29	7.6
1	Quebrada La Florida	5.0 - 9.30	7.5

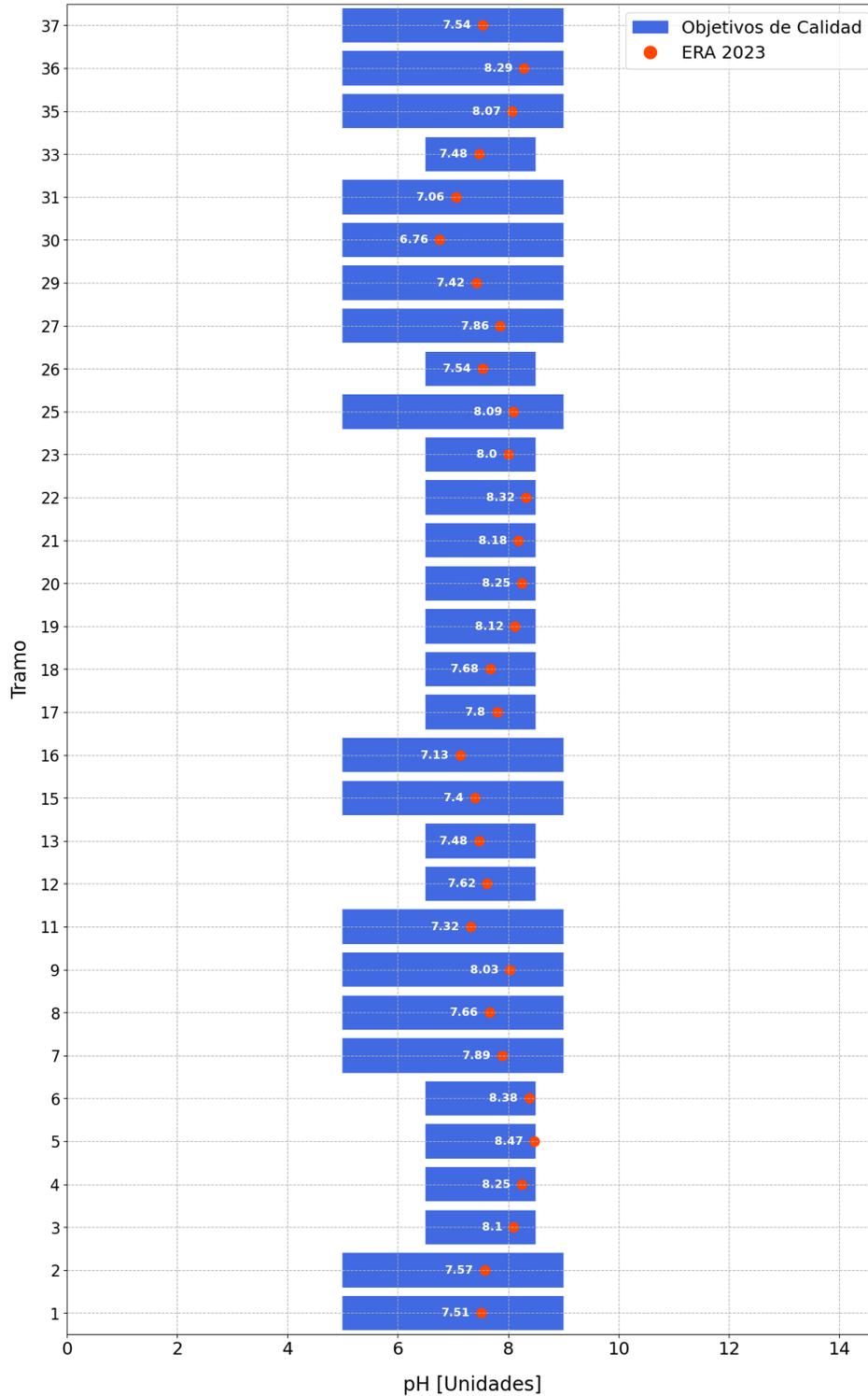


Figura 371. Comparación del pH entre Objetivos de Calidad del Agua y seguimiento muestreos ERA 2023

6.10. Conclusiones y Recomendaciones

Este estudio realizó muestreos de calidad del agua en las principales corrientes superficiales del departamento del Quindío, los cuales fueron útiles para determinar el estado de la calidad de dichas corrientes según, los índices definidos por el IDEAM para su evaluación, tales como el Índice de Calidad del Agua (ICA), Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL), así como la determinación del tipo de tratamiento recomendado para el consumo humano. De manera que finalmente se contrastan los reportes de calidad de agua medidos en campo en los tramos en los cuales fueron definidos objetivos de calidad del agua por parte de la Corporación Autónoma Regional del Quindío -CRQ-. En este sentido, se realizaron análisis geoespaciales que permitieran analizar los reportes de laboratorio con las características de las corrientes analizadas y su relación con la localización y características de los vertimientos localizados en la zona de estudio. De manera que, mediante el seguimiento de la calidad del agua, fue posible evaluar el grado de cumplimiento o excedencia de los Objetivos de Calidad del Agua definidos por la CRQ en cada uno de los tramos analizados. Por lo tanto, a continuación, se presentan las principales conclusiones, recomendaciones y hallazgos de este estudio.

Con respecto a los criterios de calidad del agua superficial para el consumo humano, se encontró que en general, las fuentes superficiales analizadas pueden ser aprovechadas para el consumo humano mediante la implementación de un proceso de tratamiento convencional en el sitio de análisis, según los reportes del laboratorio ChemiLab, el cual cuenta con acreditación y reconocimiento por parte del IDEAM.

Se evaluó el Índice de Calidad del Agua (ICA) y se encontró que la mayor parte de las corrientes analizadas son clasificadas con calidad aceptable a regular. No obstante, fuentes receptoras de importantes caudales de vertimientos directos de aguas residuales como: Quebradas Agua Linda (Quimbaya), Yeguas (Circasia) y Cristales (aguas abajo de Don Pollo y Parque Recreativo) registran valores del ICA Malos, y La Calzada (Salento), La Florida (Armenia), San Nicolás (Armenia) y Naranjal (Calarcá) registran ICA Regulares.

En este sentido, se evaluó el Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) y es posible identificar potencial alteraciones clasificadas como Muy Alta para los Ríos Quindío, Roble, Lejos, Espejo y quebradas San José, Buenavista, Cristales y La Florida. Así mismo, se han clasificado con alteración potencial Alta a Media Alta los Ríos Gris, San Juan, Rojo, Lejos y Quindío, debido principalmente a actividades agropecuarias e industriales.

En términos del seguimiento a los objetivos de calidad del agua definidos por CRQ en 2019, se identifican valores excedidos en parámetros como la Demanda Biológica de

Oxígeno (DBO5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Oxígeno Disuelto (OD), Nitratos + Nitritos, Demanda Química de Oxígeno (DQO), y el pH, principalmente en las quebradas: La Florida, El Naranjal, San Nicolás, Armenia, La Camelia, Cajones, La Jaramilla, Agua Linda, Yeguas y La Calzada, lo cual se relaciona con la presencia de vertimientos directos de aguas residuales en cada tramo analizado. En este sentido, se recomienda la evaluación de la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Salento tiene vertimiento localizado en la Quebrada La Calzada.

Por otra parte, la evaluación de los sólidos suspendido permitió identificar que particularmente en corrientes con alta pendiente del cauce, es posible encontrar altos valores de sólidos suspendidos totales SST, los cuales están altamente relacionados con la capacidad natural de socavación y transporte de sedimentos por parte de la corriente y no necesariamente a la contaminación del agua. Dicha situación se identificó en los ríos: Rojo y San Juan.

Se identifica un alto grado de contaminación en las quebradas: La Florida, El Naranjal, San Nicolás, Armenia, La Camelia, Cajones, Agua Linda, Yeguas y La Calzada, por lo cual se recomienda el tratamiento de sus aguas, por tratarse de fuentes receptoras de grandes caudales de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales. Así mismo, la realización de las acciones definidas en los PSMV por parte de los municipios contribuirá a mejorar las condiciones de calidad del agua de los tramos analizados en concordancia con los objetivos de calidad de agua definidos por la CRQ.

Por otra parte, se recomienda la realización de monitoreos con frecuencias de por lo menos cada tres años, lo cual permitirá el monitoreo de la calidad del agua en función de las acciones de mejora en términos de la disminución de cargas contaminantes a las principales corrientes del departamento, considerando como referencia los objetivos de calidad del agua. Así mismo, será posible evaluar el efecto del cumplimiento de los PSMV y la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales por parte de usuarios industriales, y agropecuarios, dado el considerable efecto medido con base en la referencia del IACAL.

Tabla 317. Resumen del seguimiento a los objetivos de calidad del agua

Tramo	Descripción tramo analizado	Contraste seguimiento 2023 Vs. OCA					
		DBO ₅	SST	OD	NO ₂ - y NO ₃ -	DQO	pH
1	Quebrada La Florida	143%	47%	47%	-98%	202%	7.5
2	Quebrada El Pescador	-83%	-80%	54%	-92%	-66%	7.6
3	Quebrada El Naranjal	24%	113%	-28%	-98%	371%	8.1
4	Río Santo Domingo	-50%	-15%	10%	-97%	-67%	8.3
5	Río Verde	-50%	-50%	4%	-97%	-65%	8.5
6	Quebrada La Picota	-50%	-50%	8%	-97%	-58%	8.4
7	Quebrada Las Delicias (Las Margaritas)	-50%	-50%	8%	-97%	-83%	7.9
8	Quebrada Cristales	-83%	-80%	36%	-96%	-72%	7.7
9	Quebrada San Nicolas	229%	0%	29%	-98%	457%	8.0
11	Quebrada Hojas Anchas	-83%	-80%	44%	-97%	-45%	7.3
12	Quebrada Armenia	-50%	-30%	-25%	-92%	299%	7.6
13	Quebrada La Camelia	-46%	145%	-32%	-95%	364%	7.5
15	Río Espejo	-83%	-49%	53%	-91%	-83%	7.4
16	Quebrada Cajones (Montenegro)	-83%	-67%	-30%	-98%	127%	7.1
17	Quebrada Buenavista	-50%	-50%	14%	-97%	-67%	7.8
18	Río Grís	0%	-3%	21%	-98%	57%	7.7
19	Río San Juan	-50%	990%	15%	-98%	-67%	8.1
20	Río Rojo	0%	265%	16%	-98%	-15%	8.3
21	Quebrada San José	-50%	-50%	-4%	-98%	-67%	8.2
22	Río Lejos	-50%	-23%	10%	-98%	-15%	8.3
23	Quebrada El Inglés	-50%	-50%	10%	-98%	-67%	8.0
25	Quebrada La Congala	-75%	-64%	38%	-95%	-75%	8.1
26	Quebrada La Española	-50%	-50%	19%	-98%	-67%	7.5
27	Quebrada La Siberia	-75%	-65%	60%	-97%	-80%	7.9
29	Quebrada La Jaramilla	-75%	-53%	15%	-94%	-69%	7.4

Tramo	Descripción tramo analizado	Contraste seguimiento 2023 Vs. OCA					
		DBO ₅	SST	OD	NO ₂ - y NO ₃ -	DQO	pH
30	Quebrada Mina Rica	-83%	-80%	2%	-97%	-75%	6.8
31	Quebrada Agua Linda	130%	-49%	-48%	-98%	227%	7.1
33	Quebrada Yeguas	311%	-10%	-76%	-96%	767%	7.5
35	Quebrada La Calzada	33%	-2%	63%	-98%	313%	8.1
36	Río Boquerón	-75%	-67%	63%	-97%	-80%	8.3
37	Quebrada El Reposo	-83%	-78%	17%	-94%	-36%	7.5
	Río Quindío	-	-	-	-	-	-
	Río Roble	-	-	-	-	-	-

7. Calidad del Agua: Caracterización Hidrobiológica

7.1. Área De Estudio

Se evaluaron las unidades hidrográficas de los ríos Quindío, San Juan, Gris, Rojo, Lejos, Roble, Espejo y las quebradas Buenavista, Cristales y La Picota, ubicadas en los municipios de Filandia, Circasia, Calarcá, Armenia, Montenegro, Quimbaya, Córdoba, La Tebaida, Pijao, Buenavista, Salento y Génova (Figura 372). Todas ellas se encuentran dentro de la subzona hidrográfica del río La Vieja y son las encargadas de suministrar agua a todos los municipios del departamento del Quindío (CRQ, 2011).

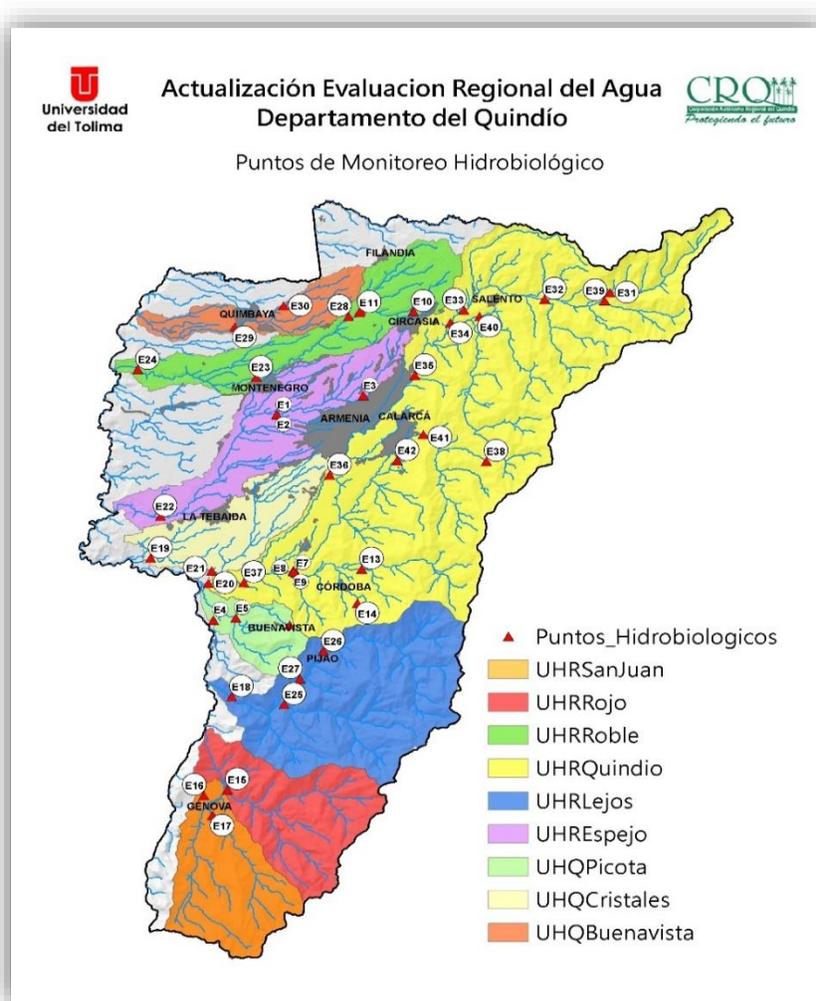


Figura 372. Ubicación de las estaciones de muestreo para el monitoreo hidrobiológico en las unidades hidrográficas del departamento del Quindío.

7.1.1. Estaciones de Monitoreo

El área de monitoreo incluye 41 estaciones distribuidas en 10 unidades hidrográficas y 12 municipios del departamento del Quindío. Cada tramo monitoreado, se referenció empleando un receptor GPS (Tabla 318). La selección de las estaciones implicó considerar los siguientes criterios para garantizar la representatividad de la información:

1. **Diversidad de hábitats y zonas de interés:** Identificar sitios que representen una variedad de hábitats y condiciones en el cuerpo de agua, incluidas áreas con diferentes profundidades, velocidades de flujo, cobertura vegetal, y condiciones de sustrato. Esto permite capturar la diversidad de comunidades hidrobiológicas presentes.
2. **Estado de conservación de las fuentes hídricas:** Incrementar el número de estaciones de monitoreo en cuerpos de agua fuertemente intervenidos por captaciones de agua, vertimientos y cambios significativos de calidad del agua. Reducir el número de estaciones de monitoreo en cuencas conservadas.
3. **Distancia entre estaciones:** Distribuir las estaciones de monitoreo de manera equitativa y representativa a lo largo del curso del río para garantizar una cobertura adecuada de toda la cuenca. La distancia entre estaciones depende de la escala y la complejidad de la cuenca.
4. **Infraestructura existente:** Aprovechar la infraestructura existente, como estaciones de monitoreo hidrológico o puntos de muestreo establecidos previamente en la Evaluación Regional del Agua, lo cual contribuye a optimizar los recursos, la logística del monitoreo y seguimiento sistemático a los cuerpos de agua.
5. **Accesibilidad y seguridad:** Es importante que las estaciones de monitoreo sean accesibles para los equipos de muestreo y seguras para el personal que realiza el monitoreo. Esto incluye considerar la disponibilidad de acceso terrestre o fluvial, así como la seguridad del entorno circundante.

Al aplicar los anteriores criterios, se evidencia (Tabla 318) que las fuentes hídricas menos intervenidas, como son río San Juan, río Gris, y río Rojo presentan una sola estación de monitoreo ubicada en su parte baja, ya que no presentan una heterogeneidad espacial significativa en su estado de conservación. Mientras que en las fuentes hídricas más alteradas como río Quindío y sus tributarios, río Roble, río Espejo y río Lejos se presentan los mayores esfuerzos de muestreo con un mayor número de estaciones para obtener mayor representatividad del muestreo en el área de estudio.

Tabla 318. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en las unidades hidrográficas del departamento del Quindío.

Estación	Ecosistema	Municipio	N	W	Altura
E1	Quebrada Armenia	Armenia	4° 32' 19.3"	75° 44' 26.3"	1229
E2	Rio Espejo	Armenia	4° 32' 21.2"	75° 44' 27.2"	1229
E3	Quebrada Hojas Anchas	Armenia	4° 33' 19.3"	75° 40' 22.6"	1467
E4	Quebrada La Picota	Buenavista	4° 21' 56.9"	75° 46' 19.1"	1079
E5	Quebrada Juanes	Buenavista	4° 21' 55.0"	75° 46' 20.7"	1091
E6	Quebrada La Picota	Buenavista	4° 21' 33.7"	75° 43' 48.7"	1555
E7	Quebrada Sardineros	Calarcá	4° 24' 13.8"	75° 43' 31.0"	1148
E8	Rio Santo Domingo	Calarcá	4° 24' 21.0"	75° 43' 38.4"	1144
E9	Rio Verde	Calarcá	4° 24' 18.4"	75° 43' 37.2"	1133
E10	Rio Roble	Circasia	4° 37' 37.5"	75° 38' 2.5"	1768
E11	Rio Roble	Circasia	4° 37' 33.6"	75° 40' 34.8"	1480
E12	Quebrada Portachuelo	Circasia	4° 37' 39.6"	75° 40' 31.8"	1483
E13	Rio Verde	Córdoba	4° 24' 26.3"	75° 40' 25.6"	1525
E14	Quebrada El Roble	Córdoba	4° 22' 41.6"	75° 40' 37.1"	1746
E15	Rio Rojo	Génova	4° 13' 7.3"	75° 46' 42.3"	1359
E16	Rio San Juan	Génova	4° 12' 6.7"	75° 47' 49.4"	1715
E17	Rio Gris	Génova	4° 11' 48.6"	75° 47' 24.4"	1540
E18	Rio Lejos	Génova	4° 17' 52.4"	75° 46' 30.4"	1200
E19	Quebrada Cristales	La Tebaida	4° 24' 56.8"	75° 50' 22.6"	1034
E20	Rio Quindío	La Tebaida	4° 23' 40.9"	75° 47' 39.7"	1059
E21	Quebrada Cristales	La Tebaida	4° 24' 19.4"	75° 47' 29.4"	1056
E22	Rio Espejo	La Tebaida	4° 27' 6.1"	75° 49' 55.2"	1057
E23	Rio Roble	Montenegro	4° 34' 13.7"	75° 45' 26.8"	1247
E24	Rio Roble	Montenegro	4° 34' 36.4"	75° 51' 1.5"	991
E25	Rio Azul	Pijao	4° 17' 29.4"	75° 44' 3.1"	1427
E26	Rio Lejos	Pijao	4° 20' 13.5"	75° 41' 58.9"	1664
E27	Rio Lejos	Pijao	4° 18' 48.9"	75° 43' 19.6"	1502
E28	Quebrada Buenavista	Quimbaya	4° 37' 21.9"	75° 51' 5.3"	1583
E29	Quebrada Buenavista	Quimbaya	4° 36' 47.2"	75° 46' 24.6"	1233
E30	Quebrada Buenavista	Quimbaya	4° 37' 54.1"	75° 44' 9.9"	1377
E31	Quebrada Cárdenas	Salento	4° 38' 37,6"	75° 28' 46,4"	2457
E32	Rio Quindío	Salento	4° 38' 16,4"	75° 31' 51,1"	2028
E33	Rio Quindío	Salento	4° 37' 42,4"	75° 35' 39,4"	1694
E34	Rio Navarco	Salento	4° 37' 03,0"	75° 36' 17,0"	1647
E35	Rio Quindío	Calarcá	4° 34' 21,2"	75° 37' 57,0"	1499
E36	Rio Quindío	Armenia	4° 29' 14,7"	75° 41' 57,3"	1281
E37	Rio Quindío	Calarcá	4° 23' 43,4"	75° 45' 58,7"	1081
E38	Rio Quindío	Salento	4° 38' 12, 7"	75° 29' 01,8"	2384
E39	Rio Boquerón	Salento	4° 37' 22,9"	75° 34' 55,1"	1721
E40	Rio Santo Domingo	Calarcá	4° 31' 19,7"	75° 37' 33,1"	1523
E41	Rio Santo Domingo	Calarcá	4° 30' 0,01	75° 38' 46,0"	1424

Las estaciones evaluadas abarcan un rango altitudinal desde los 967 a los 2457 msnm y se ubican en las zonas de vida bosque seco tropical, bosque premontano bosque montano bajo y bosque montano o altoandino. La mayoría de las estaciones exhibe un alto grado de conservación con abundante vegetación riparia, gran cantidad de microhábitats, caudal moderado y una profundidad media, todos estos factores son los apropiados para el establecimiento de las comunidades biológicas dentro de un ecosistema acuático. Sin embargo, se observan ciertas afectaciones de origen antrópicos

dentro de las que se incluyen, extracción de material de arrastre, recepción de aguas servidas, turismo, agricultura, modificación del cauce para acueductos, entre otros. La Tabla 319 identifica la unidad hidrográfica a la que pertenece cada estación de monitoreo y el nombre del tributario monitoreado en los casos que corresponda.

Tabla 319. Distribución de estaciones de monitoreo por unidad hidrográfica

Estación	Unidad Hidrográfica	Tributario
E1	Río Espejo	Quebrada Armenia
E2	Río Espejo	
E3	Río Espejo	Quebrada Hojas Anchas
E4	Quebrada La Picota	
E5	Quebrada La Picota	Quebrada Juanes
E6	Quebrada La Picota	
E7	Río Quindío (Tributarios)	Río Verde
E8	Río Quindío (Tributarios)	Río Santo Domingo
E9	Río Quindío (Tributarios)	Río Verde
E10	Río Roble	
E11	Río Roble	
E12	Río Roble	Quebrada Portachuelo
E13	Río Quindío (Tributarios)	Río Verde
E14	Río Quindío (Tributarios)	Quebrada El Roble
E15	Río Rojo	
E16	Río San Juan	
E17	Río Gris	
E18	Río Lejos	
E19	Quebrada Cristales	
E20	Río Quindío	
E21	Quebrada Cristales	
E22	Río Espejo	
E23	Río Roble	
E24	Río Roble	
E25	Río Lejos	Río Azul
E26	Río Lejos	
E27	Río Lejos	
E28	Quebrada Buenavista	
E29	Quebrada Buenavista	
E30	Quebrada Buenavista	
E31	Río Quindío (Tributarios)	Quebrada Cárdenas
E32	Río Quindío	
E33	Río Quindío	
E34	Río Quindío (Tributarios)	Río Navarco
E35	Río Quindío	
E36	Río Quindío	
E37	Río Quindío	
E38	Río Quindío	
E39	Río Quindío (Tributarios)	Río Boquerón
E40	Río Quindío (Tributarios)	Río Santo Domingo
E41	Río Quindío (Tributarios)	Río Santo Domingo

Unidad Hidrográfica del Río San Juan: Se evaluó una estación sobre el cuerpo principal del río San Juan, se caracteriza por ser un cuerpo de agua de 11 metros de ancho, con una profundidad de unos 30 cm, el caudal es moderado, presenta un abundante bosque ripario que cubre parcialmente el espejo de agua, el color del agua es transparente y presenta lecho de roca y sustratos de grava, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura y la urbanización (Figura 373-A).

Unidad Hidrográfica del Río Gris: Se evaluó una estación sobre el cuerpo principal del río Gris, se caracteriza por ser un cuerpo de agua de 11 metros de ancho, con una profundidad de unos 35 cm, el caudal es moderado, se ubica aguas arriba del punto de captación del acueducto local, presenta un abundante bosque ripario, el espejo de agua es descubierto, el color del agua es transparente verdoso, ligeramente opaco y presenta lecho de roca y sustratos de grava, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura y captación de agua y la urbanización (Figura 373-B).

Unidad Hidrográfica del Río Rojo: Se evaluó una estación sobre el cuerpo principal del río Rojo. Esta localidad se caracteriza por ser un cuerpo de agua de 12 metros de ancho, con una profundidad de unos 65 cm, el caudal es moderado-alto, presenta un abundante bosque ripario, el espejo de agua es parcialmente cubierto, el color del agua es café claro, turbio, presenta lecho de roca y sustratos de grava y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura y turismo (Figura 373-C).

Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota: Se evaluaron tres estaciones (dos sobre el cuerpo principal de la quebrada La Picota y una sobre la quebrada Juanes). Estos sitios de monitoreo se caracterizan por presentar cuerpos de agua pequeños entre los 3 y 6 metros de ancho, con una profundidad de unos 35 cm, el caudal es moderado-bajo, presenta un abundante bosque ripario, en algunos puntos y en otros está completamente descubierto, el espejo de agua es totalmente cubierto en la quebrada La Picota y descubierto en Juanes, el color del agua es transparente, opaco, presenta variaciones de sustratos a lo largo del cuerpo de agua, en la estación de la parte alta de la unidad existe lecho de roca y sustratos de grava, troncos, hojarasca y arena, mientras que las estaciones de la parte baja se caracterizan por presentar un fondo arenoso y lodoso. Presenta como afectaciones principales la agricultura y la urbanización (Figura 373-D, E y F).



Figura 373. Estaciones de muestreo de las Unidades Hidrográficas de los Ríos San Juan, Gris, Rojo y la Quebrada La Picota. A: Río San Juan; B: Río Gris; C: Río Rojo; D: Q. La Picota; E: Q. Juanes; F: Q. La Picota.

Unidad Hidrográfica del Río Lejos: Se evaluaron cuatro estaciones (tres sobre el cuerpo principal y una sobre el río Azul). Estos sitios de monitoreo se caracterizan por ser cuerpos de agua grandes entre los 18 y 25 metros de ancho, con una profundidad de unos 75 cm en promedio, el caudal es moderado-alto, presenta un abundante bosque ripario, en algunos puntos, el espejo de agua es parcialmente cubierto, el color del agua es transparente, opaco, se compone sustratos como lecho de roca, grava, troncos, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura y la urbanización (Figura 374- A, B, C y D).

Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales: Se evaluaron dos estaciones sobre el cuerpo de agua principal. Estos sitios de monitoreo se caracterizan por ser cuerpos de agua pequeños entre los 6 y 8 metros de ancho, con una profundidad de unos 55 cm en

promedio, el caudal es moderado-bajo, presenta un abundante bosque ripario, el espejo de agua es parcialmente cubierto, el color del agua es gris, opaco, se compone de sustratos como lecho de roca, grava, troncos, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la disposición de aguas residuales domésticas e industriales (Figura 374- E y F).

Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista: Se evaluaron tres estaciones, sobre el cuerpo de agua principal. Estos sitios de muestreo se caracterizan por ser cuerpos de agua medianos entre los 8 y 11 metros de ancho, con una profundidad de unos 65 cm en promedio, el caudal es moderado-alto, presenta un abundante bosque ripario, en la parte alta, donde está mejor conservada, allí se presenta un acueducto local, la parte media está bastante alterada, los bordes están cubiertos de guadua y persiste un olor a materia orgánica en descomposición, el espejo de agua es parcialmente cubierto, el color del agua es transparente y café, opaco a turbio, se compone sustratos como roca, grava, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura, captación de agua y la disposición de aguas residuales domésticas (Figura 375- A, B y C).

Unidad Hidrográfica del Río Espejo: Se evaluaron cuatro estaciones: dos sobre el cuerpo de agua principal, una sobre la quebrada Hojas anchas y otra sobre la quebrada Armenia. Estos sitios de monitoreo se caracterizan por ser cuerpos de agua grandes y pequeños entre los 8 y 24 metros de ancho, con una profundidad de unos 55 cm en promedio, el caudal es moderado-alto, en el río y bajo en las quebradas, presenta un abundante bosque ripario, en algunos puntos, el espejo de agua es parcialmente cubierto, el color del agua es café, opaco en el río y en Hojas anchas y negro en la quebrada Armenia, se compone de sustratos como lecho de roca, grava, troncos, hojarasca y arena. Estas estaciones son las que presentan mayor degradación orgánica. Presenta como afectaciones principales la disposición de aguas residuales domésticas (Figura 375- D, E, F y G).

Unidad Hidrográfica del Río Roble: Esta unidad se ubica en los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro, se evaluaron cinco estaciones: cuatro sobre el cuerpo principal y una sobre la quebrada Portachuelo. Estos sitios de monitoreo se caracterizan por ser cuerpos de agua grandes entre los 10 y 28 metros de ancho, con una profundidad de unos 75 cm en promedio, el caudal es moderado-alto, presenta un abundante bosque ripario, en algunos puntos, el espejo de agua es parcialmente cubierto, el color del agua es transparente, opaco, se compone sustratos como lecho de roca, grava, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura y la disposición de aguas residuales domésticas (Figura 376).



Figura 374. Estaciones de muestreo de la Unidad Hidrográfica del Río Lejos y la Quebrada Cristales. A: Río Lejos; B: Río Azul; C: Río Lejos; D: Río Lejos; E: Quebrada Cristales; F: Quebrada Cristales.

Unidad Hidrográfica del Río Quindío: Esta unidad se ubica en los municipios de Salento, Armenia, Calarcá y La Tebaida, Se evaluaron siete estaciones sobre el cuerpo principal. Los sitios de monitoreo sobre el río Quindío se caracterizan por ser cuerpos de agua grandes entre los 8 y 45 metros de ancho, con una profundidad de unos 85 cm en promedio, el caudal es moderado-alto, presenta un abundante bosque ripario, en algunos puntos, el espejo de agua es descubierto, el color del agua es transparente, opaco y café turbio en la zona baja se compone de sustratos como lecho de roca, grava, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura, minería, turismo y la disposición de aguas residuales domésticas (Figura 377).



Figura 375. Estaciones de muestreo de las Unidades Hidrográficas de la Quebrada Buenavista y el Río Espejo. A: Q. Buenavista; B: Q. Buenavista; C: Q. Buenavista; D: Río Espejo; E: Q. Hojas Anchas; F: Q. Armenia; G: Río Espejo.



Figura 376. Estaciones de muestreo de las Unidades Hidrográficas del Río Roble A: Río Roble; B: Río Roble; C: Q. Portachuelo; D: Río Roble; E: Río Roble.

Unidad Hidrográfica del Río Quindío (Tributarios): los tributarios del río Quindío se ubican en los municipios de Salento, Armenia, Calarcá, Córdoba y La Tebaida, Se evaluaron diez estaciones sobre los tributarios del río Quindío (Tabla 319). Estas estaciones se caracterizan por ser cuerpos de agua muy heterogéneos algunos grandes y otros pequeños entre los 3 y 28 metros de ancho, con una profundidad variable, el caudal es moderado-alto, en los ríos grandes y bajo en las quebradas, presenta un abundante bosque ripario, en algunos puntos, el espejo de agua es parcialmente cubierto, el color del agua es en su mayoría transparente, opaco, se compone sustratos como lecho de roca, grava, troncos, hojarasca y arena. Presenta como afectaciones principales la agricultura, turismo y la disposición de aguas residuales domésticas (Figura 378).

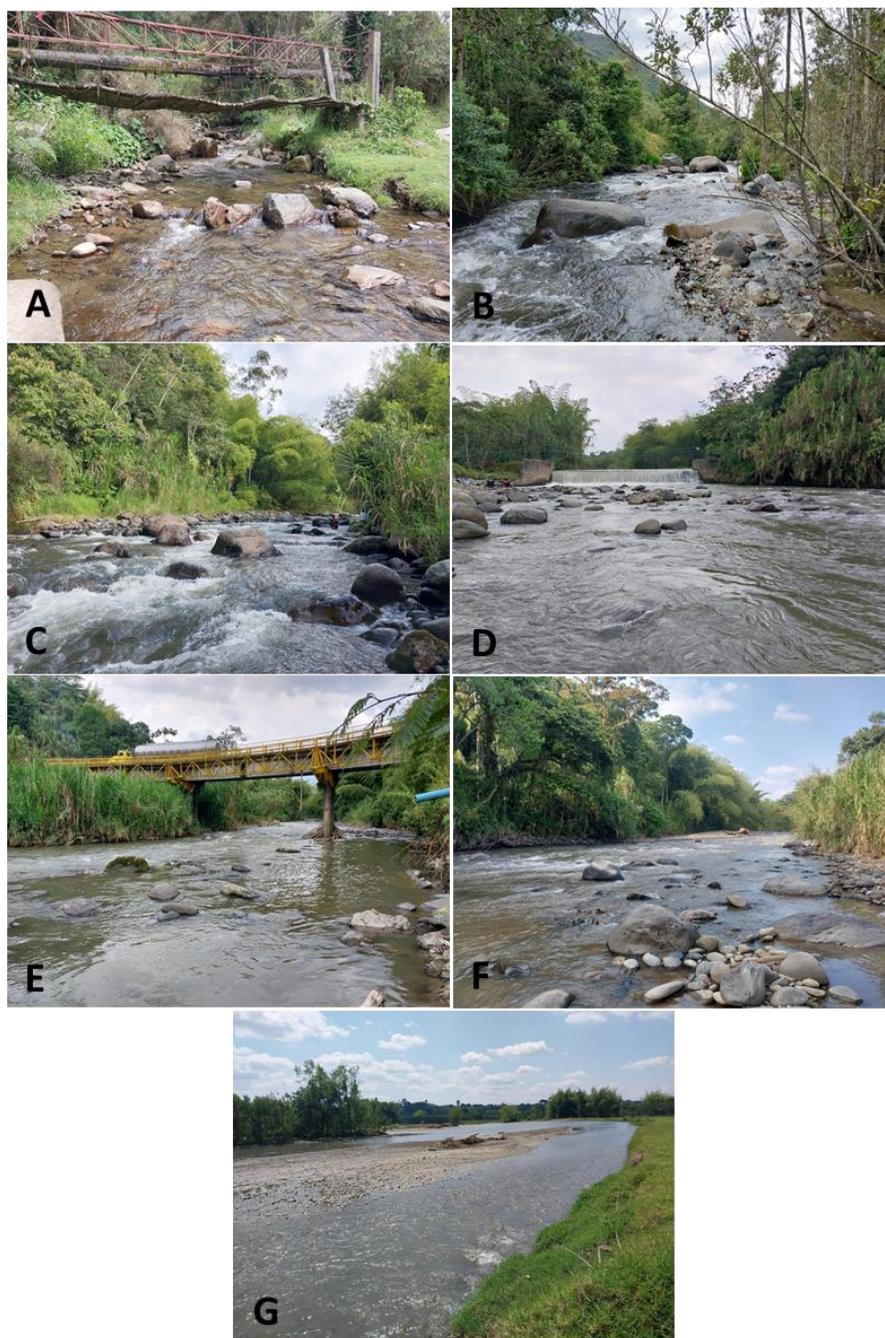


Figura 377. Estaciones de muestreo de las Unidades Hidrográficas del Río Quindío. A: Río Quindío; B: Río Quindío; C: Río Quindío; D: Río Quindío; E: Río Quindío; F: Río Quindío; G: Río Quindío.



Figura 378. Estaciones de muestreo de las Unidades Hidrográficas del Río Quindío (tributarios)
A: Q. Cárdenas; B: Río Navarco; C: Río Boquerón; D: Río Santo Domingo; E: Río Santo Domingo; F: Río Santo Domingo; G: Río Verde; H: Río Verde; I: Q. El Roble; J: Q. Sardineros.

7.2. Protocolo De Monitoreo Macroinvertebrados Acuáticos

7.2.1. Colecta de Campo

La colecta del material biológico se realizó a través de una red Surber (0,09 m²) en cuatro sustratos (roca, grava, arena y hojarasca), siguiendo la metodología propuesta por Wantzen y Rueda (2009), donde para cada sustrato se tomaron al azar tres submuestras en diferentes zonas del río para conformar una muestra compuesta (Figura 379). El material se depositó en frascos plásticos debidamente etiquetados y fueron fijados con Formol (10%).



Figura 379. Método de colecta de macroinvertebrados acuáticos Fuente: Autores (2023).

7.2.2. Métodos de Laboratorio

En el Laboratorio de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima se realizó la limpieza y separación de los organismos usando estereomicroscopio Motic SMZ-168 (10X). Se determinó el material biológico hasta el mínimo nivel taxonómico posible empleando las claves taxonómicas de Machado (1989), Posada y Roldán (2003), Merrit et al. (2008), Domínguez y Fernández (2009). Finalmente, los organismos se almacenaron en alcohol (70%) e ingresados a la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima (CZUT-Ma).

7.2.3. Análisis de Datos

7.2.3.1. Representatividad del Muestreo

Con el fin de determinar la representatividad del muestreo, se calcularon los estimadores de diversidad Chao 1, ACE y Cole, los cuales son utilizados para datos de abundancia y permiten establecer si la muestra es representativa del atributo medido (Álvarez et al., 2006). Para el cálculo fue utilizado el paquete estadístico EstimateS versión 8.2 (Colwell, 2009).

7.2.3.2. Abundancia

Se determinó la abundancia relativa a partir del número de individuos colectados de cada taxón y su relación con el número total de individuos de la muestra. Se calculó con el fin de determinar la importancia y proporción en la cual se encuentra cada uno de los géneros con respecto a la comunidad en los diferentes cuerpos de agua.

$$AR = \frac{\text{No de individuos de cada taxón en la muestra}}{\text{No total de individuos en la muestra}} * 100$$

7.2.3.3. Diversidad

La diversidad alfa fue evaluada mediante el número efectivo de taxones encontrados, utilizando los números de Hill, los cuales permiten tener una aproximación más clara de la diversidad, entendida desde la riqueza misma (q_0), la abundancia equitativa de todos los taxones (q_1) y la dominancia de las especies (q_2); a partir de índices base como riqueza específica (número de especies), Shannon-Wiener (H') y el recíproco de Dominancia de Simpson (1-D). Para realizar comparaciones entre las estaciones evaluadas, se empleó la metodología de interpolación y extrapolación de diversidad de especies propuesta por Chao et al., (2014).

7.2.3.4. Índice de Calidad del Agua

Con el fin de determinar la calidad del agua de los ecosistemas evaluados se aplicó el índice de bioindicación BMWP/Col (Roldan & Ramírez, 2008) (Tabla 320).

7.2.3.5. Análisis de Ordenación

Con el fin de determinar las posibles relaciones entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos, fue realizado un análisis de correspondencia canónica con variables fisicoquímicas básicas provenientes del monitoreo de calidad del agua realizado de forma simultánea con el muestreo hidrobiológico. Este análisis se realizó utilizando el paquete estadístico CANOCO para Windows versión 4.5 (Braak y Smilauer, 2009). Para este análisis solo se contemplan las unidades hidrográficas con al menos tres estaciones de muestreo.

Tabla 320. Interpretación del BMWP/Col

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>100	Aguas muy limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy Critica	<16	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: Roldan y Ramírez (2008).

7.3. Resultados y Discusión

7.3.1. Unidad Hidrográfica del Río San Juan

7.3.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 25 géneros observados (Sobs) en las 4 muestras evaluadas que corresponden al 91% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE, 91.9% y el 98.5 para Chao 1 (Figura 380). Se estima un potencial máximo de 27 géneros según estos estimadores.

Según los resultados obtenidos se registró un número alto de géneros de macroinvertebrados acuáticos presentes en la unidad hidrográfica del Río San Juan, lo cual puede indicar una buena eficiencia de muestreo (Brower et al., 1997), no obstante, este grupo taxonómico es sumamente extenso y diverso, razón por la cual la es difícil alcanzar el total de géneros estimados para este departamento. Cabe aclarar que algunos organismos presentan dificultades en su determinación, por lo que el nivel taxonómico puede ser muy alto y estar enmascarando una variedad desconocida de géneros, como es el caso de Chironomidae, que se determina hasta nivel de subfamilia (Osorio y Betancourt, 2002).

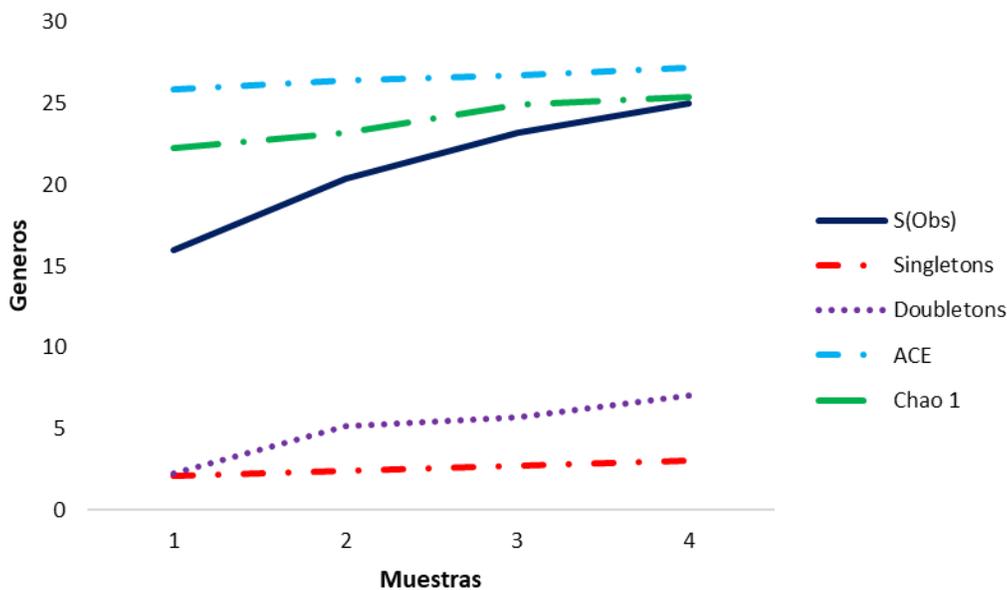


Figura 380. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la Unidad Hidrográfica del Río San Juan. Fuente: Autores (2023).

7.3.1.2. Composición y Abundancia

Todos los taxones identificados se encuentran reportados para el departamento del Quindío y corresponden a lo que se esperaría en la estructura típica de ríos andinos (Vásquez y Reinoso, 2012). Los géneros más abundantes fueron Baetodes (32.4%), seguido de Chironominae (29.8%) y Leptohyphes (14.8%) (Figura 381). Estos organismos son relativamente comunes en las colectas, en especial en ríos pequeños de caudal bajo y con sustrato abundante de rocas y grava, el cual sirve como refugios, donde obtienen alimentos y se protegen de la fuerza del agua (Hanson et al., 2010).

Tabla 321. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la Unidad Hidrográfica el Río San Juan.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	<i>Tubifex</i>	4
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Cyloepus</i>	2
				<i>Heterelmis</i>	6
				<i>Macrelmis</i>	2
				<i>Microcyloepus</i>	3
				<i>Neoelmis</i>	2
					2
					2
	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Alluaudomyia</i>	3	
		Chironomidae	Chironominae	245	

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
				Orthocladinae	39
				Podonominae	3
				Tanypodinae	1
			Simuliidae	<i>Simulium</i>	67
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	1
				<i>Baetodes</i>	267
				<i>Camelobaetidius</i>	5
				<i>Mayobaetis</i>	2
			Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	122
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	17
			Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>	1
		Hemiptera	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	2
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	16
		Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	3
				<i>Smicridea</i>	6
			Leptoceridae	<i>Atanatalica</i>	2

Fuente: Autores (2023).

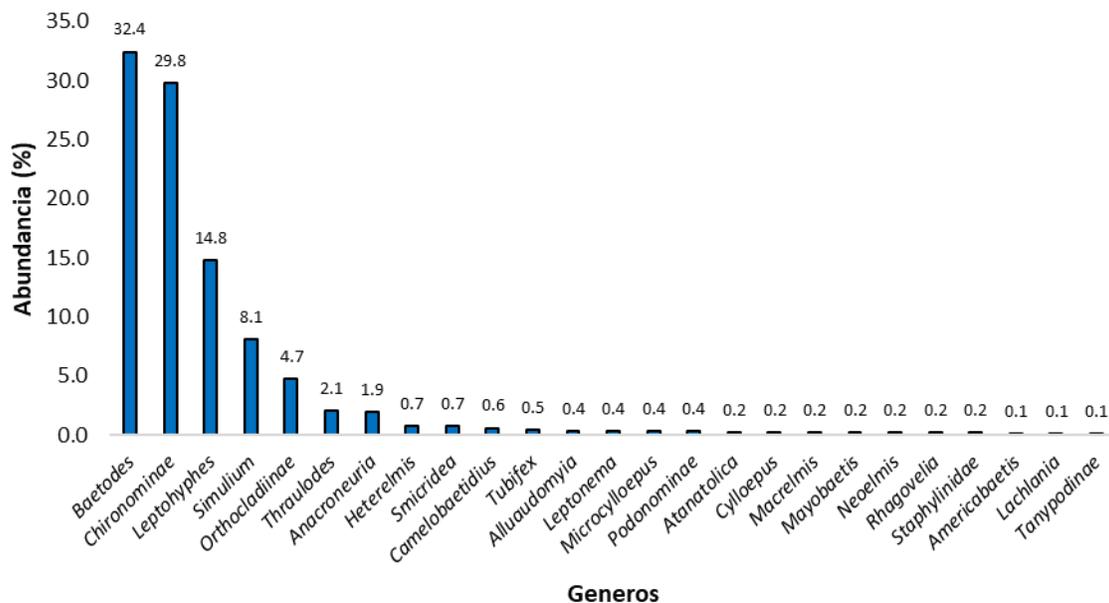


Figura 381. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad Hidrográfica el Río San Juan. Fuente: Autores (2023)

Teniendo en cuenta que solo se evaluó una estación sobre este río, se logró obtener un gran número de organismos, lo que implica un gran potencial como reservorio de biodiversidad en sus zonas más conservadas (Hanson et al., 2010).

7.3.1.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad en el punto de monitoreo de la unidad hidrográfica del río San Juan estableciendo los números de la serie Hill, los cuales informan acerca de la riqueza, la homogeneidad y la uniformidad, de este modo, el análisis de diversidad informa que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos es bastante heterogénea (Figura 382).

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en el río San Juan, el perfil de diversidad (Figura 382-A), según los intervalos de confianza, indica que es posible encontrar un número mayor de taxones en este ecosistema, adicional a ello evidencia que la comunidad es heterogénea, siendo la riqueza bastante más alta que la dominancia (Jaramillo et al., 2022).

La riqueza es una medida importante de la diversidad biológica en un ecosistema, en el punto de monitoreo del río San Juan se registra una riqueza de 25 taxones (Figura 382-B), este valor está directamente relacionada con la cantidad y calidad de los recursos que se están ofertando en los ecosistemas evaluados, estos recursos entendidos como variabilidad de sustratos, oferta alimenticia y condiciones fisicoquímicas entre otros, permiten el desarrollo de las poblaciones, de este modo las zonas evaluadas son bastante heterogéneas en las cuales puede encontrarse un gran número de taxones (Domínguez y Fernández, 2009).

En Cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 382-C y D), se encontró que la comunidad tiende más a la heterogeneidad que a la uniformidad, lo que implica que la comunidad está bien representada y distribuida equitativamente dentro del ecosistema, esto refleja el potencial de este río para albergar una comunidad altamente diversa. Por otra parte, la extrapolación de datos indica que es necesario llevar a cabo más colectas para alcanzar la totalidad de estos organismos.

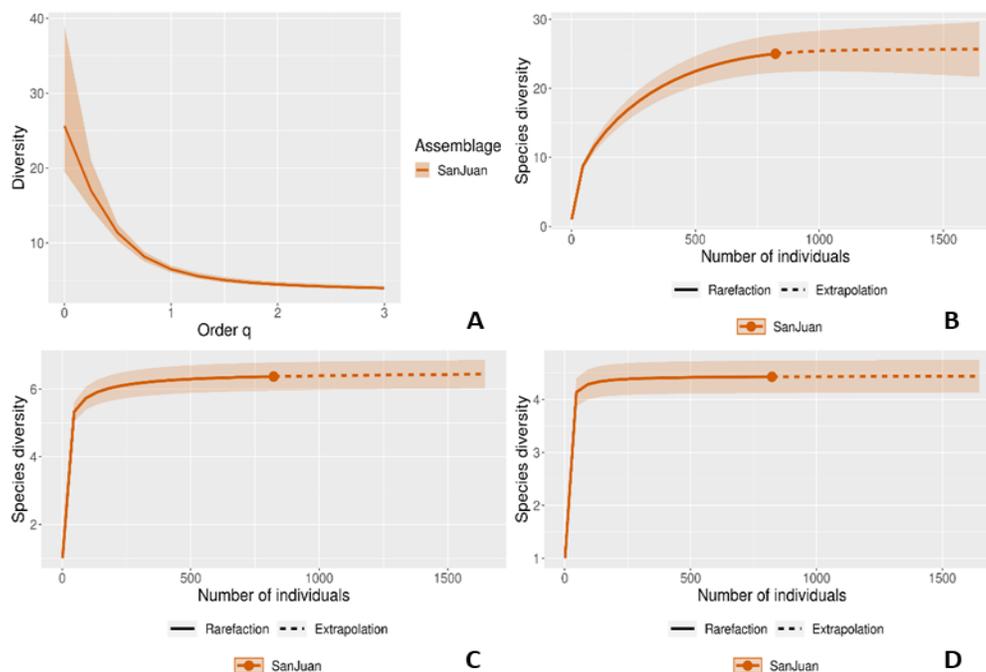


Figura 382. Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos reportados en Unidad la Hidrográfica el Río San Juan. A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

7.3.1.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, el cual indica que la calidad de agua registrada en la estación de monitoreo de la unidad hidrográfica del río San Juan es aceptable (Tabla 322).

Tabla 322. Calidad del agua según el índice BMWP/Col reportado para la estación de monitoreo en la unidad Hidrográfica el río San Juan.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Río San Juan	92	Aceptable	II

Fuente: Autores (2023).

El índice de bioindicación evidencia que se presenta una alta calidad biológica en la estación evaluada de la unidad hidrográfica, la cual se localiza en la parte baja de la cuenca y representa el estado de calidad del ecosistema de forma agregada, de ello se infiere que la fauna que habita el cuerpo de agua puede tener estrategias para mitigar efectos adversos y mantener estables sus poblaciones (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.2. Unidad Hidrográfica del Río Gris

7.3.2.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 36 géneros observados (Sobs) en las 4 muestras evaluadas que corresponden al 76.3% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 88.9% para Chao 1 (Figura 383). Se estima un potencial máximo de 47 géneros según estos estimadores.

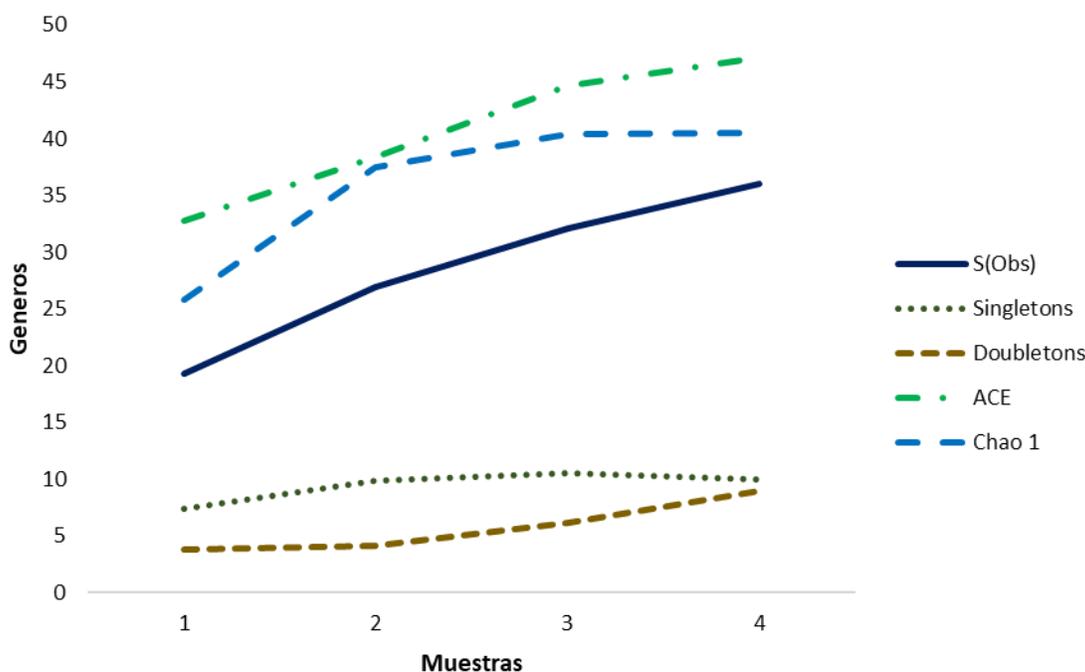


Figura 383. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica del río Gris. Fuente: Autores (2023)

Según los resultados obtenidos, se registró un valor alto de géneros de macroinvertebrados acuáticos presentes en el punto de monitoreo de la unidad hidrográfica del río Gris, lo cual indica una buena eficiencia de muestreo. No obstante, como en el caso anterior, al ser un grupo taxonómico tan diverso, es difícil coleccionar el total de géneros estimados para este río. Es necesario aumentar el número de localidades de muestreo dentro del mismo ecosistema para tener un panorama más completo de la riqueza de estos organismos dentro de la unidad hidrográfica (CRQ, 2018).

7.3.2.2. Composición y Abundancia

Se registran 36 géneros distribuidos en un filo, tres clases, ocho órdenes y 24 familias (Tabla 323).

Tabla 323. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica el río Gris.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia		
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	<i>Hyaella</i>	1		
		Collembola	Entomobryidae	*	1		
	Insecta	Coleoptera		Elmidae	<i>Austrolimnius</i>	6	
				<i>Cyloopus</i>	11		
				<i>Heterelmis</i>	12		
				<i>Hexanchorus</i>	2		
				<i>Macrelmis</i>	1		
				<i>Microcyloopus</i>	3		
				<i>Neoelmis</i>	7		
				<i>Pharceonus</i>	9		
				<i>Anchytarsus</i>	6		
					*	3	
		Diptera			Athericidae	<i>Atherix</i>	2
					Blephariceridae	<i>Limnicola</i>	1
					Ceratopogonidae	<i>Alluaudomyia</i>	1
					Chironomidae	Chironominae	39
						Orthoclaadiinae	149
						Empididae	<i>Chelifera</i>
						<i>Hemerodromia</i>	1
					Psychodidae	<i>Maruina</i>	2
					Simuliidae	<i>Simulium</i>	9
					Tipulidae	<i>Tipula</i>	1
	Ephemeroptera			Baetidae	<i>Baetodes</i>	256	
				<i>Camelobaetidius</i>	1		
<i>Nanomis</i>				1			
Leptohyphidae				<i>Leptohyphes</i>	181		
Leptophlebiidae				<i>Thraulodes</i>	15		
Oligoneuriidae				<i>Lachlania</i>	2		
Megaloptera				Corydalidae	<i>Corydalus</i>	2	
Plecoptera				Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	21	
Trichoptera				Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	2	
				Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	1	
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	2				
		<i>Smicridea</i>	13				
	Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	2				
	Xiphocentron	<i>Xiphocentron</i>	2				

Fuente: Autores (2023).

La composición registrada para la estación de monitoreo de esta unidad hidrográfica es bastante similar a la reportada para el departamento del Quindío. Los géneros más abundantes fueron Baetodes (33.1%), seguido de Leptohyphes (23.4%) y Orthocladiinae (19.3%) (Figura 384). El punto de monitoreo en este río presenta un buen grado de conservación, variedad de hábitats y condiciones físicas apropiadas para mantener grandes poblaciones de los diferentes taxones que componen la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Rivera et al., 2008).

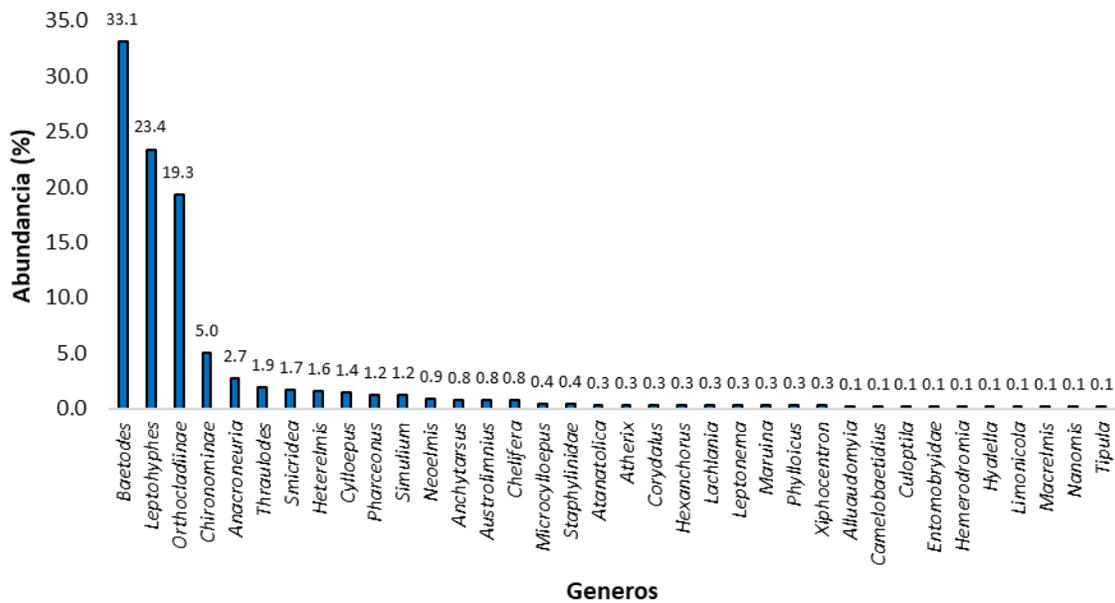


Figura 384. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad hidrográfica del río Gris Fuente: Autores (2023)

7.3.2.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica del río Gris estableciendo los números de la serie Hill (Figura 385). Según lo observado en la extrapolación para el número de géneros en la estación de monitoreo del río Gris (Figura 385-A), se presenta un alto potencial de albergar un gran número de taxones dada la amplitud de los intervalos de confianza calculados.

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para la estación de muestreo en esta unidad hidrográfica fue de 36 taxones (Figura 385-B), este valor está directamente relacionada con la cantidad de sustratos, cobertura vegetal y condiciones

ambientales, que son las apropiadas para mantener las poblaciones de estos animales. En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 385-C y D), se encontró que la comunidad es heterogénea, siendo este ecosistema un lugar apropiado como reservorio de biodiversidad. Por otra parte, la extrapolación de datos muestra que es necesario llevar a cabo más colectas para alcanzar la totalidad de estos organismos (Jaramillo et al., 2022).

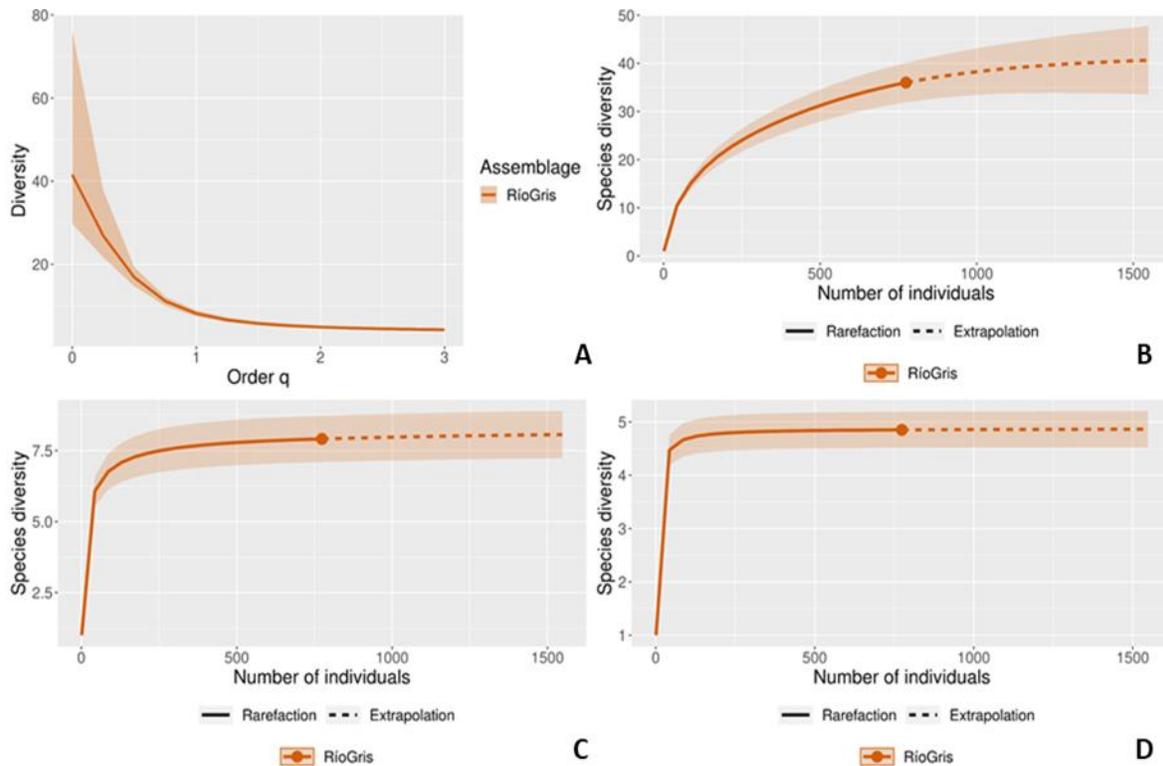


Figura 385. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica del río Gris Fuente: Autores (2023)

7.3.2.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, cuyo valor indica que la calidad del agua registrada en la estación de monitoreo de la unidad hidrográfica del río Gris es Buena (Tabla 324).

El índice de bioindicación evidencia que en la estación de monitoreo se presenta la más alta calidad biológica con un puntaje BMWP/Col alto (154), lo que indica que el ecosistema en el punto de monitoreo está muy bien conservado, esto a pesar de tener varios factores que afectan su calidad, sin embargo, las variaciones geomorfológicas,

fisicoquímicas y disponibilidad de sustratos, permiten el desarrollo de una comunidad robusta y estable (Posada y Roldan, 2008).

Tabla 324. Calidad del agua según el índice BMWP/Col reportado para la estación de monitoreo en la unidad Hidrográfica del río Gris.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Río Gris	154	Buena	I

Fuente: Autores (2023).

7.3.3. Unidad Hidrográfica del Río Rojo

7.3.3.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 30 géneros observados (Sobs) en las 4 muestras evaluadas que corresponden al 67.1% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE, 91.9% y el 83.1% para Chao 1 (Figura 386). Se estima un potencial máximo de 44 géneros según estos estimadores.

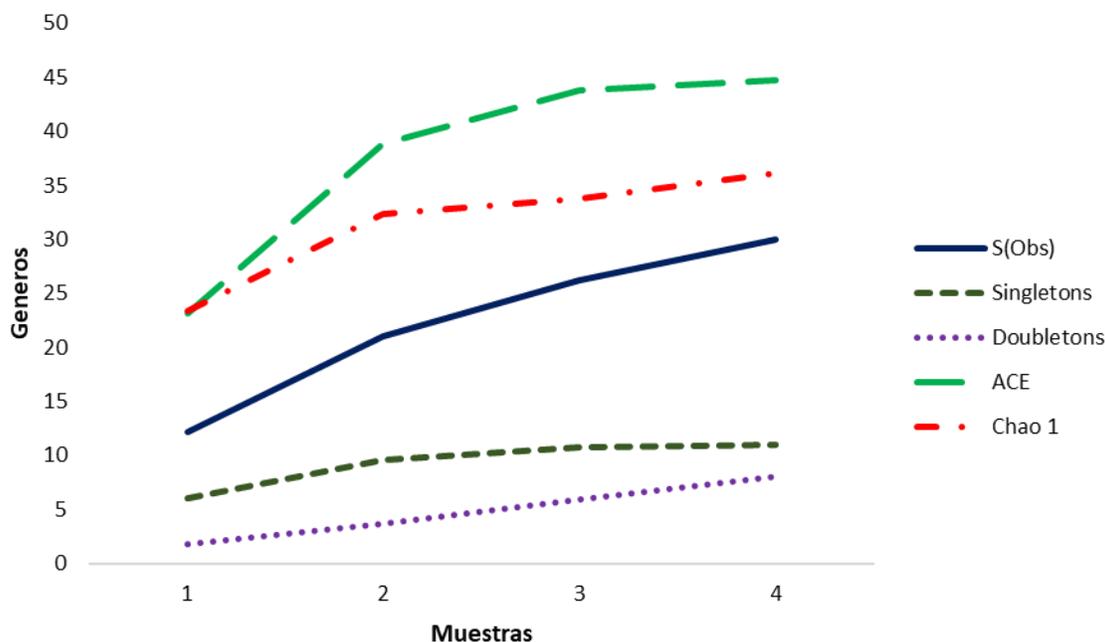


Figura 386. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica del río Rojo. Fuente: Autores (2023)

Según los resultados obtenidos, se registró un valor medio-alto de taxones de macroinvertebrados acuáticos presentes en la estación de monitoreo de la unidad hidrográfica del río Rojo, lo cual indica una buena eficiencia de muestreo. No obstante, para este caso particular, el río se encontraba crecido, lo cual limita la detección de taxones, por la remoción de hábitats y la deriva de organismos. Según los estimadores de riqueza, se calcula un número aún más alto de taxones, por lo que es necesario aumentar el número de localidades de muestreo dentro del mismo ecosistema para tener un inventario más completo de la riqueza de esta comunidad (Hanson et al., 2010).

7.3.3.2. Composición y Abundancia

Se registran 30 géneros distribuidos en dos filos, tres clases, nueve órdenes y 19 familias (Tabla 325).

Los géneros más abundantes fueron Chironominae (27.3%), seguido de Leptohiphes (19.7%) y Orthoclaadiinae (17.6%) (Figura 387). Todos los géneros reportados, se habían registrado previamente para esta unidad hidrográfica y corresponden a la estructura observada de la comunidad de macroinvertebrados del departamento del Quindío (CRQ, 2018) y de cuencas andinas (Vásquez y Reinoso, 2012). El alto número de taxones y la abundancia registrada demuestran la calidad ecológica de la unidad hidrográfica en el punto de monitoreo (Domínguez y Fernández, 2009).

Tabla 325. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica el río Rojo.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia				
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	<i>Tubifex</i>	1				
Arthropoda	Collembola	Collembola	Isotomidae	N.D	1				
				Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Cyloepus</i>	3	
	<i>Heterelmis</i>	5							
	<i>Huleechius</i>	1							
	<i>Macrelmis</i>	1							
	<i>Microcyloepus</i>	2							
	<i>Neoelmis</i>	2							
	Diptera		Ceratopogonidae				<i>Alluaudomyia</i>	2	
							Chironomidae	Chironominae	127
								Orthoclaadiinae	82
				Tanypodinae	2				
				Empididae	<i>Chelifera</i>	3			
				Ephydridae	<i>Ephydra</i>	1			
Simuliidae				<i>Simulium</i>	11				
Tipulidae				<i>Hexatoma</i>	1				

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
				<i>Limonia</i>	1
				<i>Molophilus</i>	2
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	77
				<i>Camelobaetidius</i>	2
			Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	92
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	8
		Hemiptera	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	2
		Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>	1
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneturia</i>	18
		Trichoptera	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	1
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	1
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	2
				<i>Smicridea</i>	13
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	1

Fuente: Autores (2023).

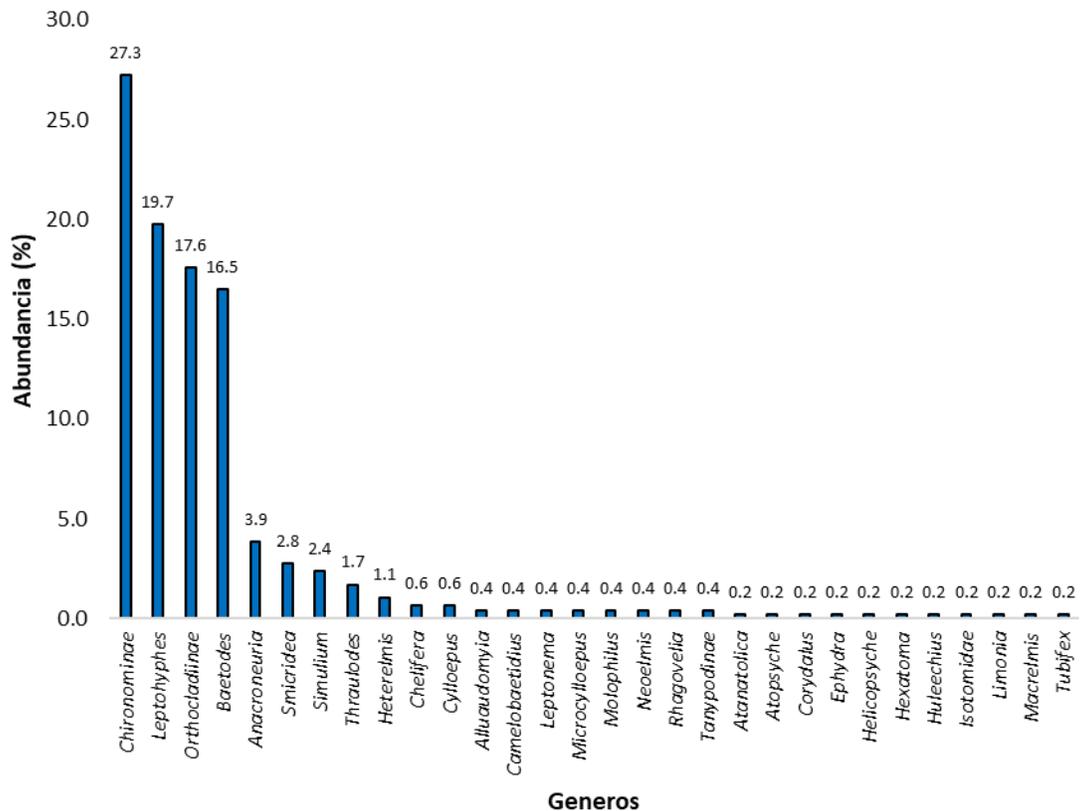


Figura 387. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en el río Rojo. Fuente: Autores (2023)

7.3.3.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica del río Rojo estableciendo los números de la serie Hill (Figura 388). Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en el río Rojo, el perfil de diversidad según los intervalos de confianza, indica un alto potencial de albergar un gran número de taxones al menos el doble de los observados (Figura 388-A).

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica fue de 30 taxones (Figura 388-B), este valor está directamente relacionado con las condiciones ecológicas y morfológicas, que son las apropiadas para mantener las poblaciones de estos animales, incluso después de haber pasado por el pulso de inundación. En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 388-C y D), se encontró que la comunidad es bastante heterogénea, siendo este ecosistema un lugar conservado que oferta los recursos apropiados para albergar una gran variedad de organismos. Por otra parte, la extrapolación de datos indica que es necesario llevar a cabo más colectas para alcanzar la totalidad de estos organismos (Jaramillo et al., 2022).

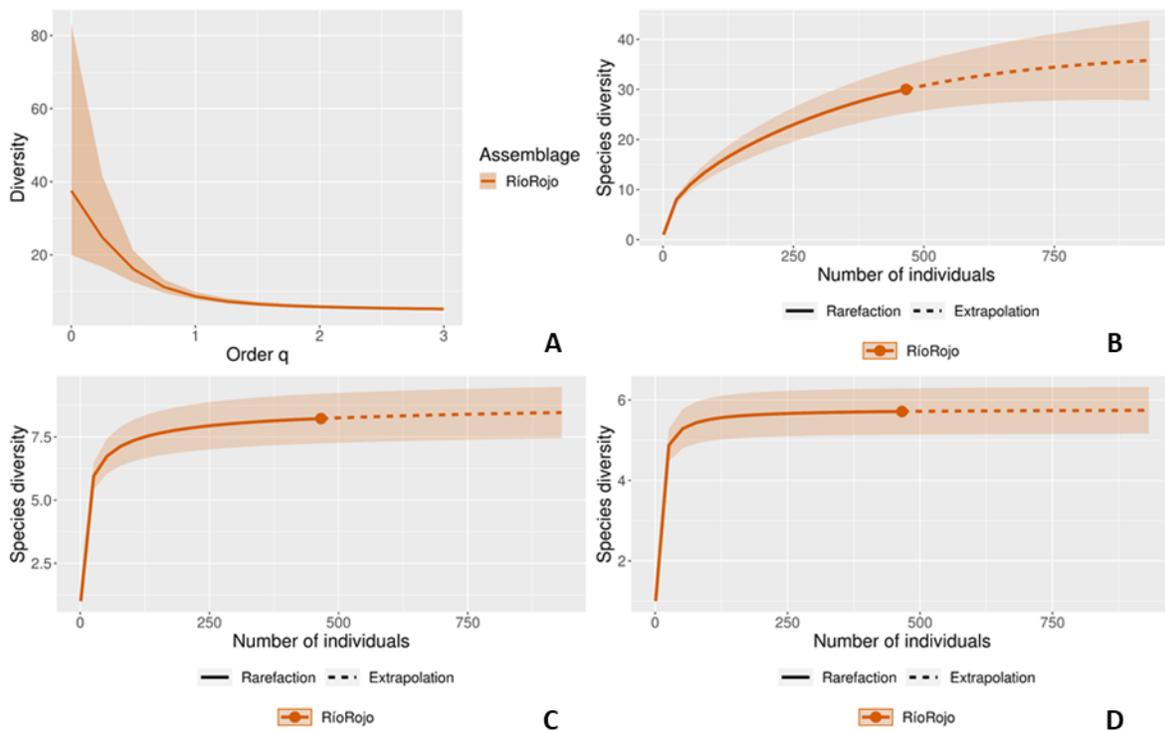


Figura 388. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica del río Rojo A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

7.3.3.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, el cual indica que la calidad de agua registrada en la estación de monitoreo de la unidad hidrográfica del río Rojo es Buena (Tabla 326).

Tabla 326. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica del río Rojo.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Río Rojo	106	Buena	I

Fuente: Autores (2023).

El índice de bioindicación evidencia que en la unidad hidrográfica presenta la más alta calidad biológica en el punto de muestreo ya que presenta un puntaje alto (106), lo que indica que el ecosistema del sitio de muestreo está bien conservado. No obstante, se pueden observar varios estresores que pueden modificar la comunidad, sin embargo, las variaciones ambientales y la heterogeneidad de sustratos, permiten el desarrollo de una comunidad abundante y diversa (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.4. Unidad Hidrográfica del Río Lejos

7.3.4.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 45 géneros observados (Sobs) en las 16 muestras evaluadas que corresponden a cuatro (4) muestras por cada estación de monitoreo como se indicó en la metodología. Los taxones encontrados en el monitoreo representan el 60.6% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 56.8% para Chao 1 (Figura 389). Se estima un potencial máximo de 79 géneros según estos estimadores.

Según los resultados obtenidos, se registró un valor medio de taxones de macroinvertebrados acuáticos presentes en la unidad hidrográfica del río Lejos (CRQ, 2018). En este caso se observa que el aumento en el número de localidades incrementa la posibilidad de encontrar un número mayor de taxones asociados a estos ecosistemas, no obstante, el aumento de muestra implica un aumento en los estimadores de riqueza, por lo que se hace evidente que se deben aumentar las colectas que suban la eficiencia del muestreo, sin embargo, para los objetivos del estudio se tuvo una muestra importante de la comunidad (Pla, 2006).

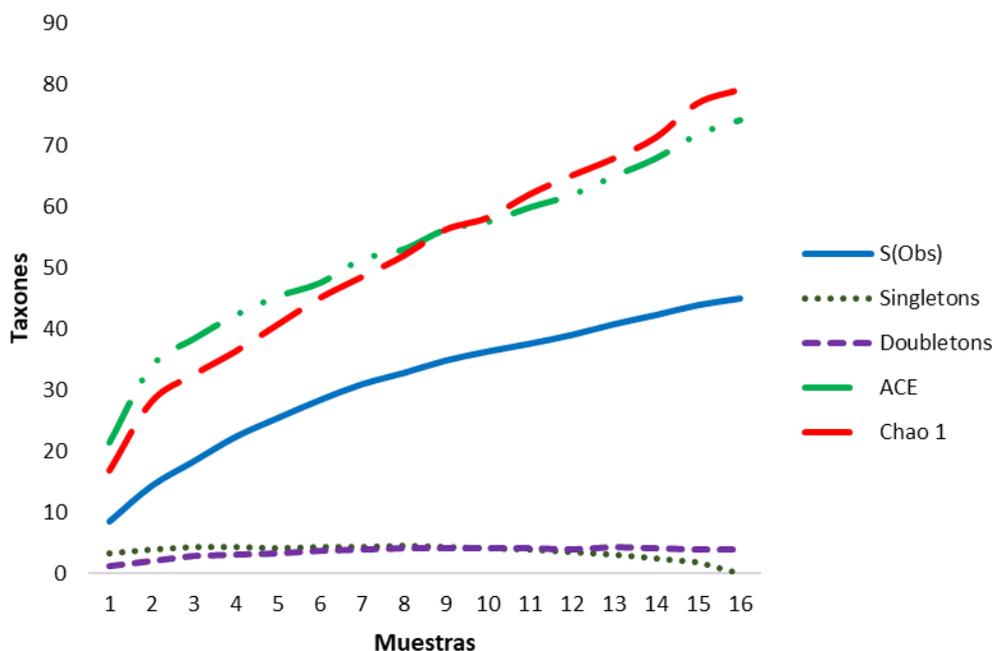


Figura 389. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica del río Lejos. Fuente: Autores (2023).

7.3.4.2. Composición y Abundancia

Se registraron 45 géneros distribuidos en tres filos, tres clases, diez órdenes y 27 familias (Tabla 327).

Tabla 327. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica el río Lejos.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesiidae	<i>Girardia</i>	5
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	<i>Tubifex</i>	1
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Austrolimnius</i>	1
				<i>Cyloepus</i>	2
				<i>Gyrelmis</i>	1
				<i>Heterelmis</i>	42
				<i>Macrelmis</i>	3
				<i>Microcyloepus</i>	1
				<i>Neoelmis</i>	1
				<i>Phanocerus</i>	3
				<i>Pharceonus</i>	1

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
			Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>	1
			Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	6
		Diptera	Blephariceridae	<i>Limnicola</i>	2
			Ceratopogonidae	<i>Alluaudomyia</i>	1
			Chironomidae	Chironominae	450
				Orthoclaadiinae	215
				Tanypodinae sp	1
			Empididae	<i>Chelifera</i>	3
			Ephydriidae	<i>Ephydra</i>	1
			Psychodidae	<i>Clogmia</i>	1
				<i>Maruina</i>	1
				<i>Psychoda</i>	2
			Simuliidae	<i>Simulium</i>	72
			Tipulidae	<i>Molophilus</i>	1
				<i>Tipula</i>	1
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	14
				<i>Baetodes</i>	396
				<i>Camelobaetidius</i>	18
			Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	62
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	9
			Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>	1
		Lepidoptera	Crambidae	<i>Petrophila</i>	1
		Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>	4
		Odonata	Gomphidae	<i>Progomphus</i>	1
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	8
		Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	1
			Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	2
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	4
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	8
				<i>Smicridea</i>	23
			Hydroptilidae	<i>Ochrotrichia</i>	1
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	5

Fuente: Autores (2023).

Los géneros más abundantes fueron Chironominae (32.7%), seguido de Baetodes (28.8%) y Orthoclaadiinae (15.6%) (Figura 390).

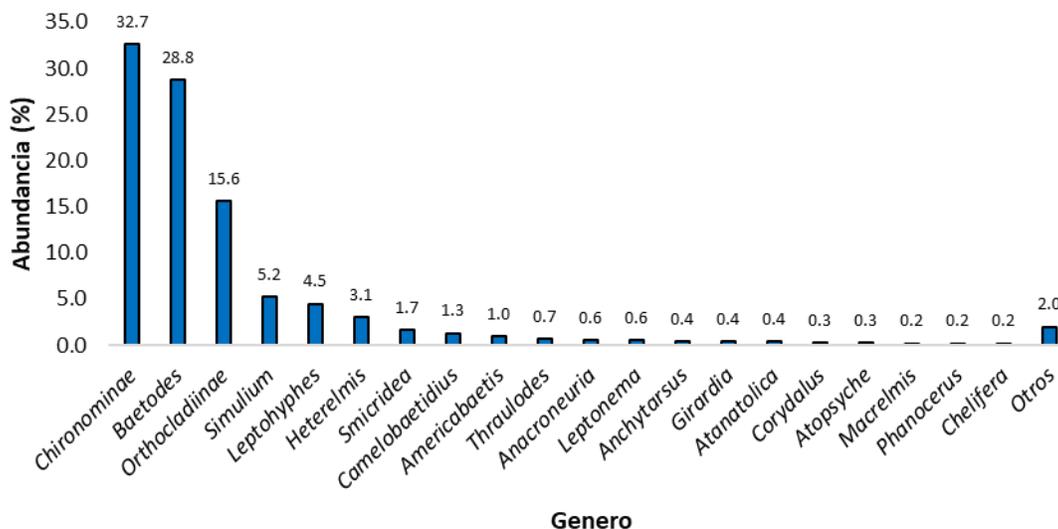


Figura 390. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en el río Lejos. Fuente: Autores (2023)

7.3.4.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica del río Lejos estableciendo los números de la serie Hill (Figura 391). Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en el río Lejos, el perfil de diversidad según los intervalos de confianza, indica que no existen cambios significativos en la riqueza en los diferentes puntos evaluados y ratifica estos ecosistemas como cuerpos de agua con un alto potencial de albergar un gran número de taxones (Figura 391-A).

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica oscilo entre 20 y 29 taxones (Figura 391-B), este valor está directamente relacionada con las condiciones ambientales de cada estación, las cuales reflejas los tensores propios a los que están sometidos. En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 391-C y D), se encontró que la comunidad es bastante heterogénea y mantiene una estructura similar, por lo que se puede concluir que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos es estable en cada uno de los puntos monitoreados en el río Lejos y río Azul (Jaramillo et al., 2022).

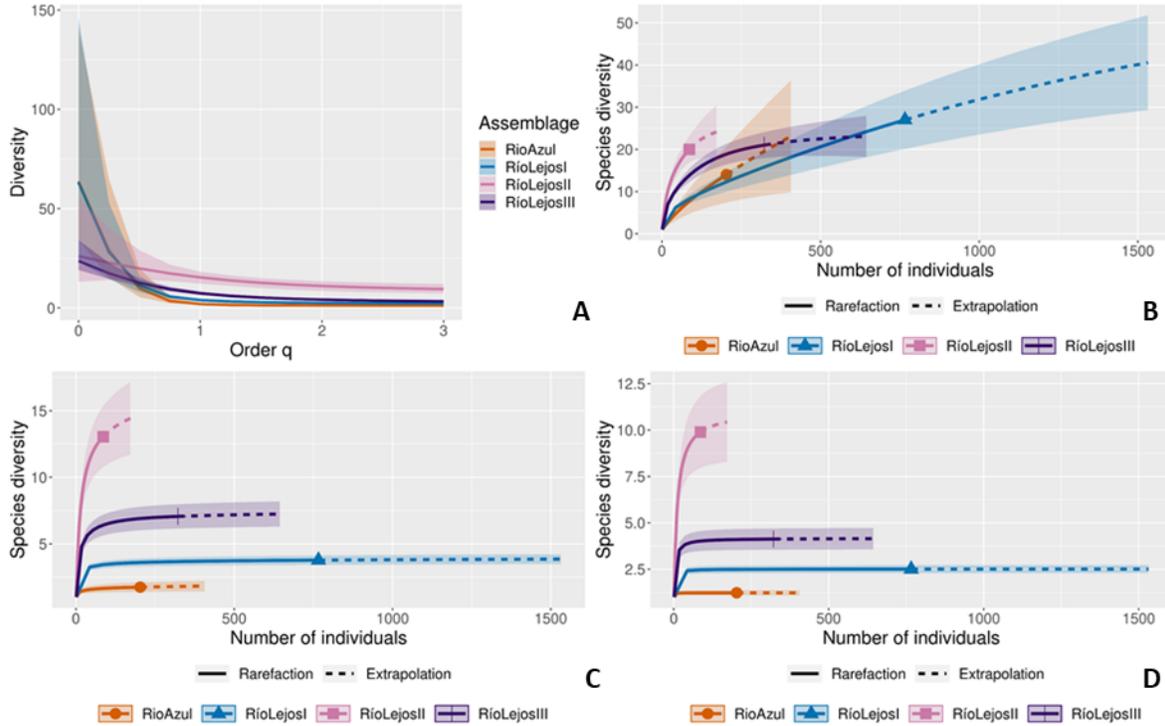


Figura 391. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad hidrográfica del río Lejos. Fuente: Autores (2023)

7.3.4.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua con base en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, según este índice, la calidad de agua registrada en la unidad hidrográfica del río Lejos varía entre Buena y aceptable (Tabla 328).

Tabla 328. Calidad del agua según el índice BMWP/Col reportado para las estaciones de monitoreo en la unidad Hidrográfica del río Lejos.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Río Lejos	109	Buena	I
Río Azul	72	Aceptable	II
Río Lejos	115	Buena	I
Río Lejos	95	Aceptable	II

Fuente: Autores (2023).

El índice de bioindicación muestra que la unidad hidrográfica presenta una buena calidad ecológica en los diferentes puntos de observación, esto significa que el río Lejos

se encuentra bien conservado y oferta los diferentes recursos que son necesarios para el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.4.5. Análisis de Correspondencia Canónica

Según el Análisis de Correspondencia Canónica y la prueba de Monte Carlo ninguna variable presenta diferencias estadísticamente significativas. Las variables que tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos fueron el oxígeno disuelto, el caudal y el nitrógeno (Figura 392). De acuerdo con el diagrama de ordenación las estaciones evaluadas comparten la mayoría de los organismos, solo la estación ubicada en el río Lejos en Génova, posee la mayor cantidad de organismos exclusivos, por otro lado, la asociación de variables muestra una tendencia a la mineralización (Ramírez y Viña, 1998).

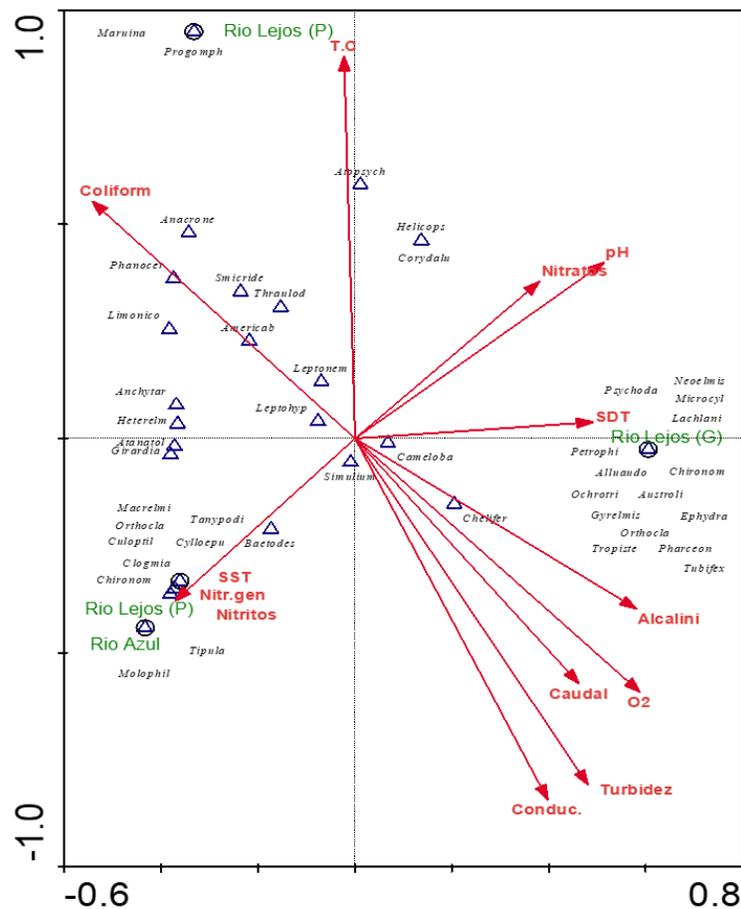


Figura 392. Diagrama de ordenación de los macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica del río Lejos. Fuente: Autores (2023)

7.3.5. Unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota

7.3.5.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 35 géneros observados (Sobs) en los tres (3) sitios de monitoreo evaluados que corresponden al 76% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 75.2% para Chao 1 (Figura 393). Se estima un potencial máximo de 47 géneros según estos estimadores.

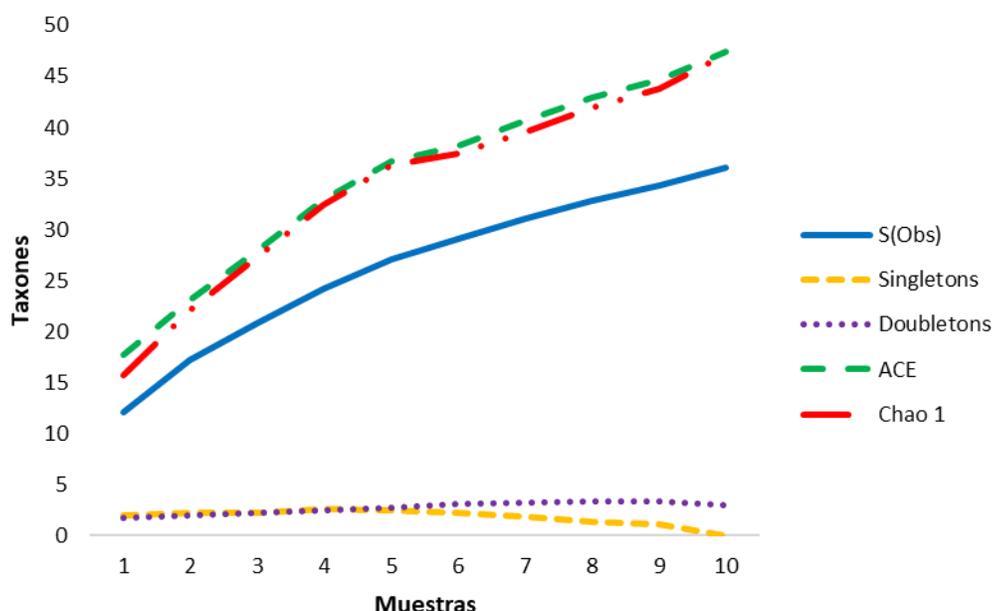


Figura 393. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica de la quebrada La Picota. Fuente: Autores (2023)

Según los resultados obtenidos se registró un número alto de géneros de macroinvertebrados acuáticos en la unidad hidrográfica de la quebrada La Picota, lo cual indica una alta eficiencia de muestreo (CRQ, 2018), los ecosistemas evaluados conservan un gran número de características físicas, químicas y ecológicas que son óptimas para el desarrollo de los invertebrados acuáticos. La parte alta de esta cuenca es la mejor conservada y es donde se puede hallar el mayor número de organismos, por otro lado, la parte baja está bastante afectada por la agricultura lo que ha modificado ciertas características que pueden limitar el desarrollo de estas comunidades acuáticas (Domínguez y Fernández, 2009).

7.3.5.2. Composición y Abundancia

Se registraron 35 géneros distribuidos en tres filos, cuatro clases, 11 órdenes y 24 familias (Tabla 329).

Los géneros más abundantes fueron *Simulium* (40.7%), seguido de Orthoclaadiinae (12.6%) y Chironominae (9.9%) (Figura 394). Los organismos hallados en la cuenca de la quebrada La Picota, corresponden a los organismos típicos que se pueden hallar en cuencas hidrográficas de origen andino, donde la composición y la abundancia está dominada por organismos del orden Díptera y Ephemeroptera (Hanson et al., 2010).

Tabla 329. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica de la quebrada Picota.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia		
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neophora	Dugesidae	<i>Girardia</i>	11		
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	<i>Tubifex</i>	3		
Arthropoda	Arachnidia	Trombidiformes	Pionidae	<i>Piona</i>	3		
			Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	3
	<i>Gyrelmis</i>	1					
	<i>Heterelmis</i>	104					
	<i>Microcylloepus</i>	2					
	<i>Neoelmis</i>	7					
	<i>Notelmis</i>	1					
	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>				24	
	Diptera	Ceratopogonidae				<i>Alluaudomyia</i>	7
		Chironomidae				Chironominae	191
						Orthoclaadiinae	245
				Tanypodinae	3		
				Empididae	<i>Hemerodromia</i>	3	
				Simuliidae	<i>Simulium</i>	789	
				Tipulidae	<i>Molophilus</i>	1	
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	76		
				<i>Baetodes</i>	61		
	<i>Camelobaetidius</i>			157			
			Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	40		
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	9		
	Hemiptera		Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	104		
	Lepidoptera		Crambidae	<i>Petrophila</i>	1		
	Odonata		Gomphidae	<i>Progomphus</i>	2		
			Libellulidae	<i>Elasmothemis</i>	1		
				<i>Sympetrum</i>	1		

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
			Polythoridae	<i>Cora</i>	1
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	7
		Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	1
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	3
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	18
				<i>Smicridea</i>	49
			Hydroptilidae	<i>Leucotrichia</i>	1
			Leptoceridae	<i>Atanatica</i>	7

Fuente: Autores (2023).

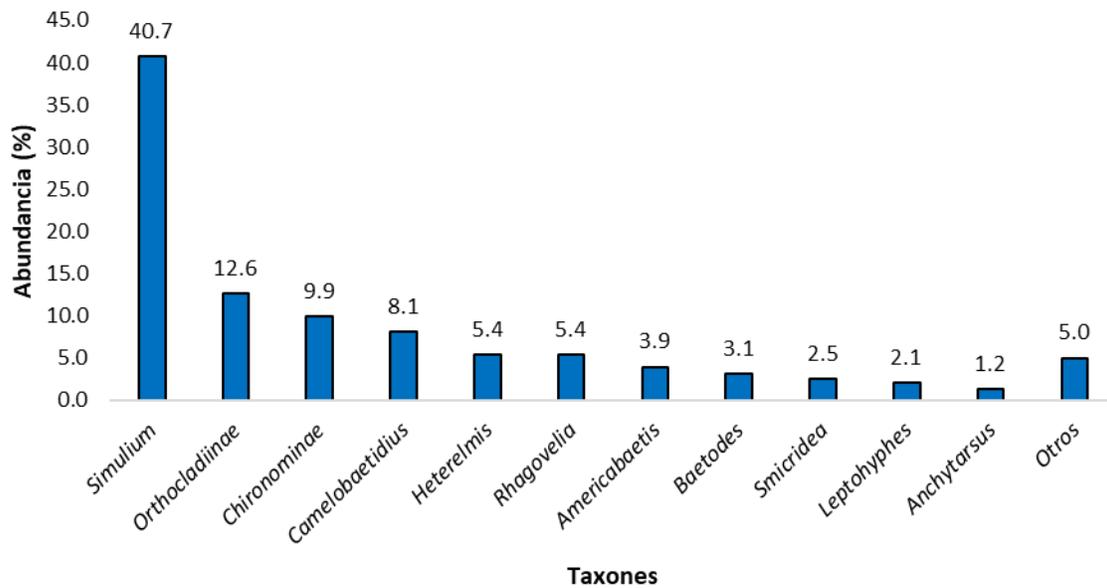


Figura 394. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en la quebrada La Picota. Fuente: Autores (2023)

7.3.5.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica de la quebrada La Picota estableciendo los números de la serie Hill (Figura 395). Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en la quebrada La Picota, el perfil de diversidad según los intervalos de confianza indica que la estación de la parte alta presenta cambios significativos en la diversidad general, dado que, en este punto se encontró el mayor número de organismos. Esta cuenca al estar compuesta por cuerpos de agua pequeños es de gran importancia, ya que este tipo de ecosistemas son más estables y pueden albergar mayor número de organismos (Figura 395-A).

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica se encuentra entre 15 y 23 taxones (Figura 395-B), este valor se relaciona con las condiciones ecológicas y ambientales que se presentan en cada punto de muestreo, de este modo la parte alta que está mejor conservada alberga mayor riqueza. En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 395-C y D), se encontró una comunidad heterogénea, debido a los cambios significativos que ocurren entre la parte alta y baja (Jaramillo et al., 2022).

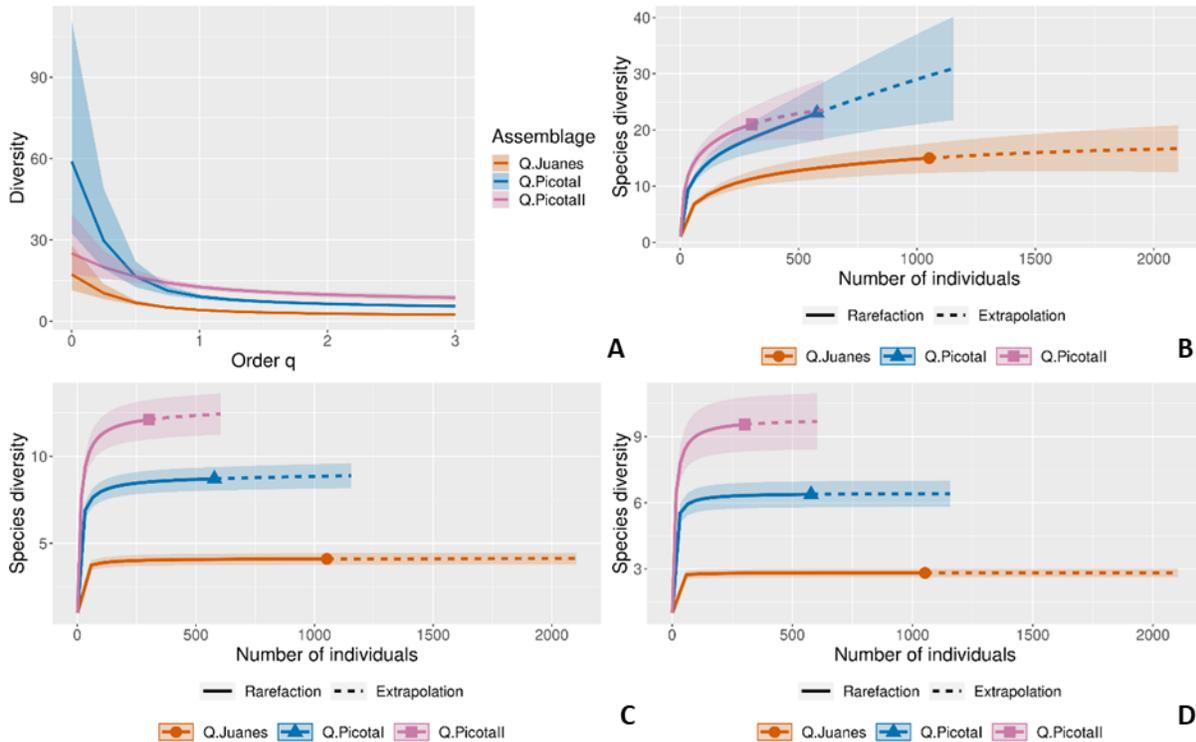


Figura 395. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota. A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

7.3.5.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, según este índice, la calidad del agua registrada en la unidad hidrográfica de la quebrada La Picota varía entre buena y aceptable (Tabla 330).

Tabla 330. Índice de calidad de agua para la unidad Hidrográfica de la Quebrada La Picota.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Quebrada La Picota	103	Buena	I
Quebrada Juanes	57	Buena	I
Quebrada La Picota	120	Aceptable	II

Fuente: Autores (2023).

El índice de bioindicación evidencia que la unidad hidrográfica presenta una buena calidad ecológica en los diferentes puntos a lo largo de la cuenca, este resultado muestra que el ecosistema funge como un reservorio de diversidad, donde la comunidad de invertebrados posee los recursos necesarios para sobrevivir. A pesar de que existen impactos evidentes, las poblaciones son resilientes y pueden sobrevivir en los ambientes ofertados (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.5.5. Análisis de Correspondencia Canónica

Según el Análisis de Correspondencia Canónica y la prueba de Monte Carlo ninguna variable presenta diferencias estadísticamente significativas. Las variables que tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos fueron el nitrógeno y la turbidez (Figura 396). De acuerdo con el diagrama de ordenación, las estaciones evaluadas comparten algunos de los organismos observados, la estación ubicada en la quebrada La Picota aguas arriba del municipio de Buenavista, posee la mayor cantidad de organismos exclusivos, esto se debe a que en este lugar existe un alto grado de conservación, por otro lado la asociación de variables muestra una tendencia a la eutrofización en las estaciones de la parte baja (Roldan y Ramírez, 2008).

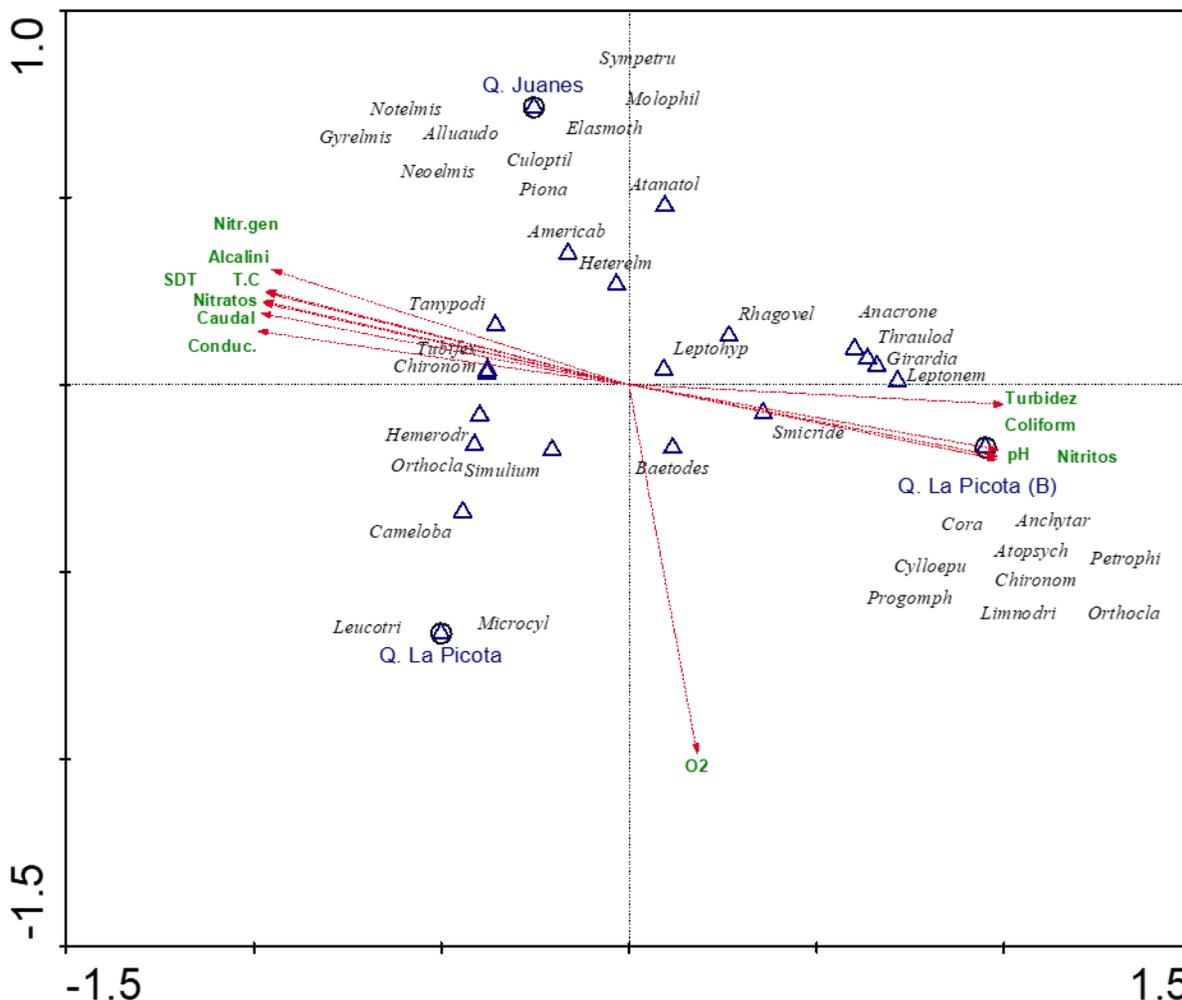


Figura 396. Diagrama de ordenación de los macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica de la quebrada La Picota. Fuente: Autores (2023)

7.3.6. Unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales

7.3.6.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 32 géneros observados (Sobs) en las 2 estaciones de monitoreo evaluadas que corresponden al 65.8% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 74.5% para Chao 1 (Figura 397). Se estima un potencial máximo de 42 géneros según estos estimadores.

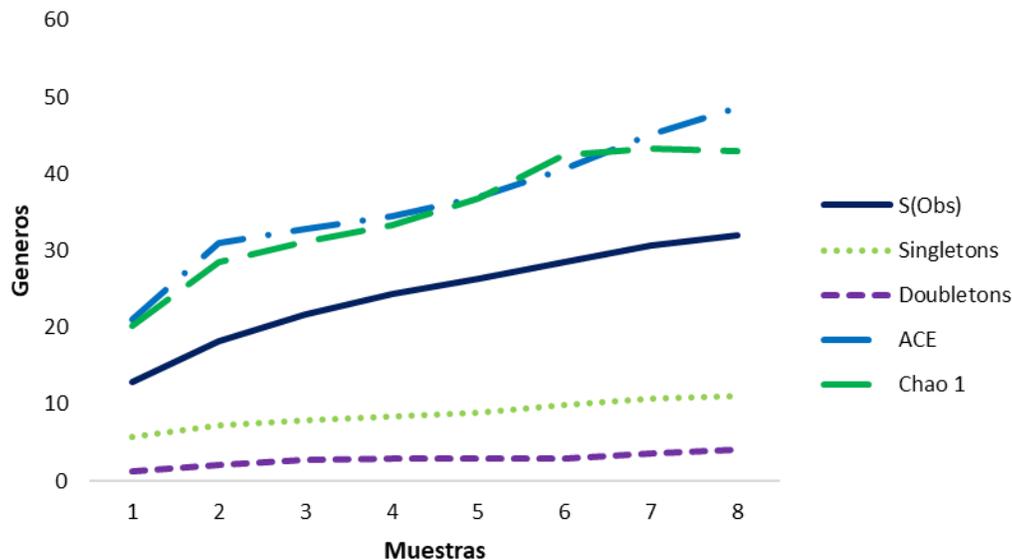


Figura 397. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica de la quebrada Cristales.

Según los resultados obtenidos, se registró un número alto de géneros de macroinvertebrados acuáticos presentes en la unidad hidrográfica de la quebrada Cristales, lo cual indica una alta eficiencia de muestreo (CRQ, 2018). Este ecosistema ha sido poco evaluado en el pasado, por lo que estos registros constituyen un importante avance en el conocimiento de esta comunidad. Por otro lado, este ecosistema presenta características fisicoquímicas y ecológicas que permiten el desarrollo de los macroinvertebrados, sin embargo, al estar en una zona de alta presión por contaminación, ha sido impactada de forma importante por actividades agropecuarias y la recepción de aguas residuales, ya que se encuentra inmersa en matrices de cultivos y núcleos urbanos, los cuales inciden en la alteración del funcionamiento del ecosistema (Rivera et al., 2008).

7.3.6.2. Composición y Abundancia

Se registran 32 géneros distribuidos en cuatro filos, seis clases, 13 órdenes y 22 familias (Tabla 331).

Los géneros más abundantes fueron Orthocladiinae (26.5%), seguido de Simulium (19.2%) y Chironominae (13%) (Figura 398). En anteriores programas de monitoreo no fue posible evaluar este ecosistema por completo, por lo que estos resultados constituyen primeros registros para esta unidad hidrográfica. Por otro lado, la composición

observada es la típica encontrada en ecosistemas de zonas cálidas (Vásquez y Reinoso, 2012).

Tabla 331. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica de la quebrada Cristales.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia				
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neophora	Dugesidae	<i>Girardia</i>	7				
Annelida	Clitellata	Hirudinia	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	3				
			Tubificida	Naididae	<i>Tubifex</i>	65			
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>	6				
		Neotaenioglossa	Cochliopidae	<i>Aroapyrgus</i>	9				
				<i>Pyrgophorus</i>	2				
Arthropoda	Collembola	Collembola	Entomobryidae	*	3				
			Hypogastruridae	*	1				
	Euchelicerata	Trombidiformes	Pionidae	<i>Piona</i>	1				
		Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i>	11			
	<i>Microcylloepus</i>				1				
	<i>Xenelmis</i>				1				
	Diptera			Hydrophilidae	<i>Crenitulus</i>	1			
					Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i>	1		
					Chironomidae	Chironominae	82		
						Orthoclaadiinae	167		
						Tanypodinae	1		
						Empididae	<i>Hemerodromia</i>	2	
					Ephemeroptera	Psychodidae	<i>Psychoda</i>	1	
							Simuliidae	<i>Simulium</i>	121
							Baetidae	<i>Americabaetis</i>	11
<i>Baetodes</i>								20	
<i>Camelobaetidius</i>	9								
<i>Zelusia</i>	1								
Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	21							
Leptophlebiidae	<i>Traverella</i>	2							
Hemiptera	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	3						
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	1						
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	10						
		Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	2					
		<i>Smicridea</i>	64						
	Hydroptilidae	<i>Oxyethira</i>	1						

Fuente: Autores (2023).

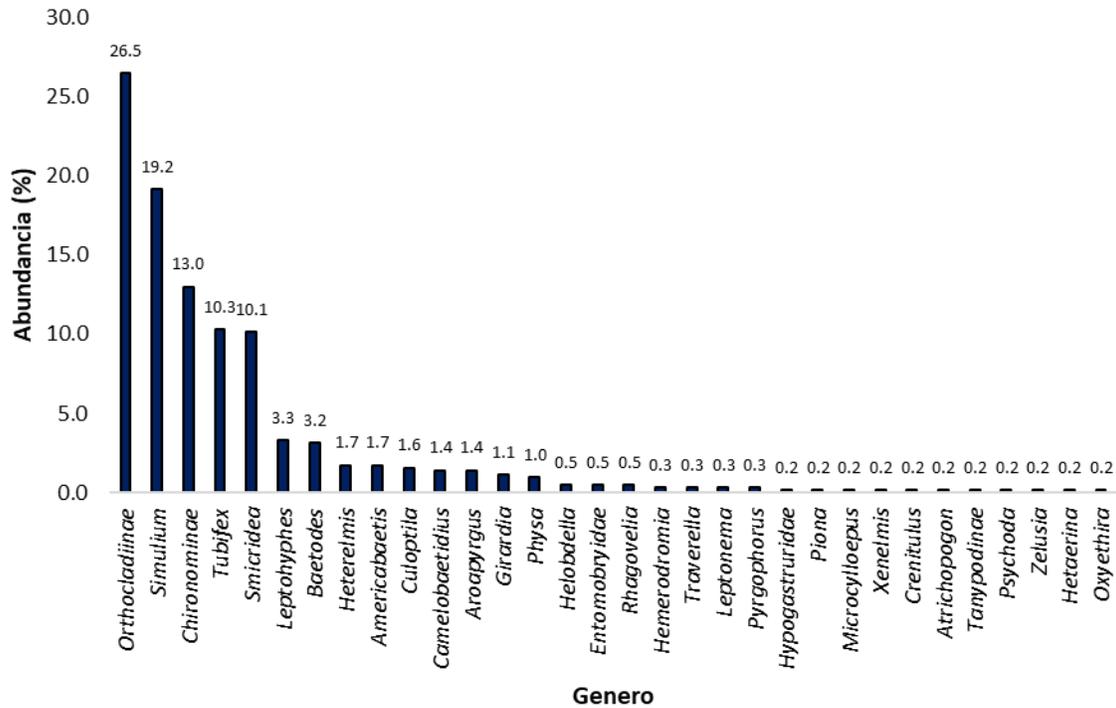


Figura 398. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en la quebrada Cristales.

7.3.6.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica de la quebrada Cristales estableciendo los números de la serie Hill (Figura 399). Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en la quebrada Cristales, el perfil de diversidad según los intervalos de confianza, muestra cambios significativos en cuanto a la estructura de la diversidad en las dos estaciones evaluadas, para este caso la estación dos que se encuentra más próxima a la desembocadura, exhibe un mayor potencial de albergar un número más elevado de taxones, esto puede ser producto de la cobertura vegetal que se encuentra presente en esta zona, la cual aporta un recurso esencial como lo es la hojarasca para un gran número de organismos sensibles (Figura 399-A) (Roldan y Ramírez, 2008).

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica oscilo entre 20 y 32 taxones (Figura 399-B), este valor se relaciona con las condiciones ecológicas y ambientales presentes en cada punto de muestreo, de este

modo, la parte baja presenta mejores condiciones ecológicas debido a la autodepuración de la corriente, ya que los principales aportes de cargas contaminantes se encuentran en su parte alta y media. En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 399-C y D), se encontró una comunidad sumamente heterogénea, con cambios notable producto de los impactos a los que está sometida (Marín et al., 2011).

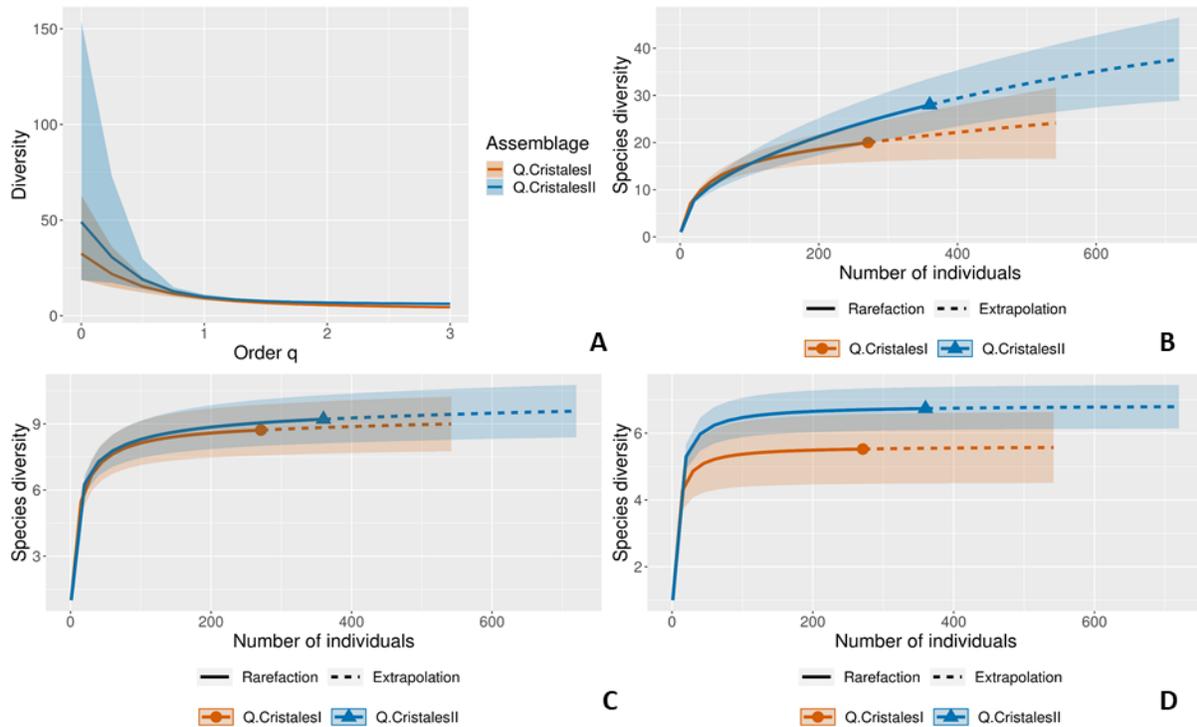


Figura 399. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

7.3.6.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua con base en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, según este índice, la calidad del agua registrada en la unidad hidrográfica de la quebrada Cristales varía entre buena y aceptable (Tabla 332).

El índice de bioindicación muestra que la unidad hidrográfica presenta una alta calidad biológica, siendo capaz de albergar un gran número de taxones, entre ellos algunos sensibles, que indican la conservación de este ecosistema, a pesar de los efectos de las actividades antrópicas que ocurren desde la parte alta de la unidad (Roldan y Ramirez, 2008).

Tabla 332. Índice de calidad de agua para la unidad Hidrográfica de la Quebrada Cristales.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Quebrada Cristales	85	Aceptable	II
Quebrada Cristales	107	Buena	I

Fuente: Autores (2023).

7.3.7. Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista

7.3.7.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 32 géneros observados (Sobs) en las dos estaciones de monitoreo que corresponden al 84.5% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 90.2% para Chao 1 (Figura 400). Se estima un potencial máximo de 38 géneros según estos estimadores.

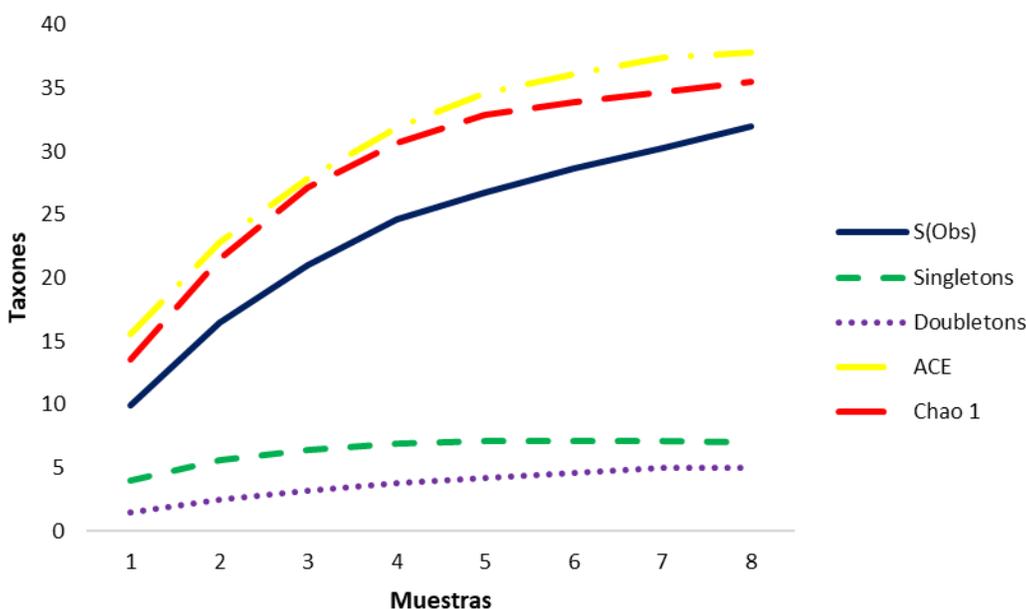


Figura 400. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista. Fuente: Autores (2023).

Según los resultados obtenidos, se registró un número alto de géneros de macroinvertebrados acuáticos en la unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista, lo cual indica una alta eficiencia de muestreo (CRQ, 2018). Este ecosistema se encuentra

altamente conservado en la parte alta, sin embargo, en la parte media y baja se encuentra afectado por efecto de actividades antrópicas que reducen su calidad. La mayoría de los registros provienen de la cabecera, en las partes media y baja de la unidad hidrográfica dominan los organismos tolerantes. A pesar de los aportes de carga contaminante, el ecosistema mantiene un significativo número de organismos asociados (Marín et al., 2011).

7.3.7.2. Composición y Abundancia

Se registraron 32 géneros distribuidos en tres filos, tres clases, 10 órdenes y 19 familias (Tabla 333).

Tabla 333. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica de la quebrada Buenavista.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia		
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	DugesIIDae	<i>Girardia</i>	3		
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Hydrobiidae	Indeterminado	6		
			Thiaridae	<i>Melanooides</i>	2		
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Austrolimnius</i>	3		
				<i>Cylloepus</i>	6		
				<i>Heterelmis</i>	26		
				<i>Huleechius</i>	7		
				<i>Macrelmis</i>	1		
				<i>Xenelmis</i>	3		
				Diptera	Chironomidae	Chironominae	12
						Orthocladinae	13
						Tanypodinae	1
					Simuliidae	<i>Simulium</i>	26
			Stratiomyidae	Indeterminado	1		
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	5		
				<i>Baetodes</i>	8		
				<i>Camelobaetidius</i>	15		
				<i>Nanomis</i>	2		
				<i>Prebaetodes</i>	3		
				Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	35	
				Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	40	
				Hemiptera	Naucoridae	<i>Procryphocricos</i>	1
<i>Rhagovelia</i>	1						
Lepidoptera	Crambidae	<i>Petrophila</i>	1				
Odonata	Libellulidae	Indeterminado	2				
		<i>Macrothemis</i>	2				

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	14
		Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	3
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	1
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	2
				<i>Smicridea</i>	10
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	84

Fuente: Autores (2023).

Los géneros más abundantes fueron *Atanatolica* (24.8%), seguido de *Thraulodes* (11.8%) y *Leptohyphes* (10.3%) (Figura 401). La composición de esta unidad hidrográfica se encuentra constituida en su mayoría por organismos tolerantes y cosmopolitas como los dípteros, sin embargo la zona alta presenta condiciones ambientales favorables para sustentar el desarrollo de organismos sensibles como los plecópteros, tricopteros y efemerópteros (Domínguez y Fernández, 2009).

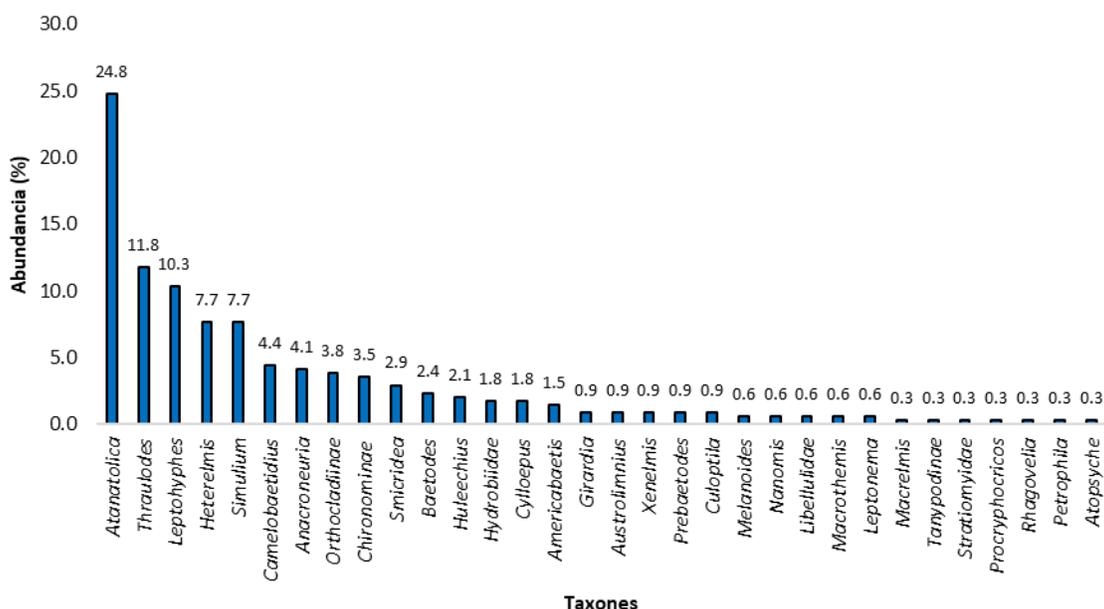


Figura 401. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en la quebrada Buenavista. Fuente: Autores (2023).

7.3.7.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista estableciendo los números de la serie Hill (Figura 402). Según lo observado en la

extrapolación de número de géneros en la quebrada Buenavista, el perfil de diversidad presenta variaciones en cuanto a la composición y la diversidad en las tres estaciones evaluadas. La estación que se encuentra en la zona alta de la unidad hidrográfica tiene unas condiciones ambientales que permiten el desarrollo de varios taxones sensibles, lo que implica que esta zona está mejor conservada, lo que implica que pueden existir un mayor número de taxones, por lo que sería necesario evaluar estas zonas en periodos de tiempo más prolongados (Figura 402-A) (Londoño, 2008).

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica se encuentra en el rango entre 12 y 32 taxones (Figura 402-B), este valor se relaciona con las condiciones ecológicas, ambientales y sus variaciones a lo largo de la unidad hidrográfica. En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 402-C y D), se encontró una comunidad que tiende a la homogeneidad en la zona media a baja, con cambios notables producto de los impactos antrópicos presentes (Jaramillo et al., 2022).

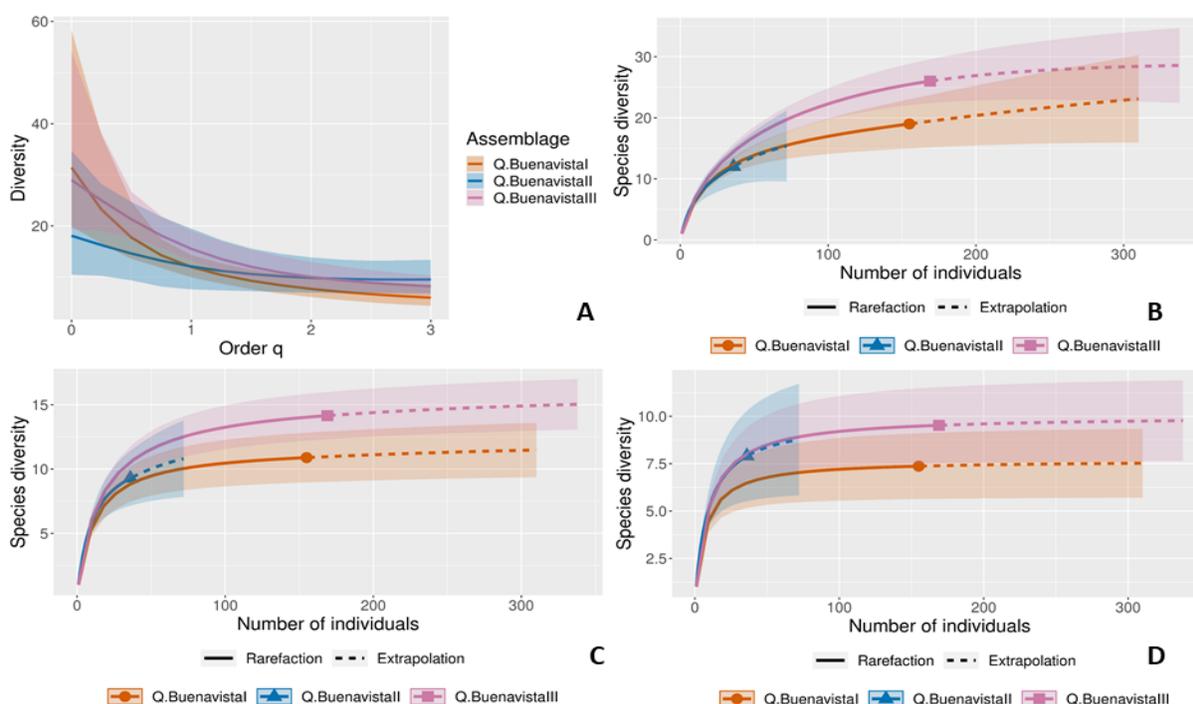


Figura 402. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad Hidrográfica de la quebrada Buenavista. A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

7.3.7.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, según este índice, la calidad del agua registrada en la unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista varía entre Buena y Dudosa (Tabla 334).

Tabla 334. Índice de calidad del agua para la Unidad Hidrográfica de la Quebrada Buenavista.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Quebrada Buenavista	109	Buena	I
Quebrada Buenavista	39	Dudosa	III
Quebrada Buenavista	89	Aceptable	II

Fuente: Autores (2023).

El índice de bioindicación muestra que en la unidad hidrográfica presenta una calidad biológica variable, en este caso la cercanía a centros poblados más grandes y efectos de los usos agropecuarios de la tierra tienen un mayor impacto en la zona media y baja, donde se evidencia un deterioro en la presencia, abundancia y riqueza de los macroinvertebrados acuáticos. No obstante, se observa que hacia la desembocadura el ecosistema se recupera a una condición Aceptable, esto puede deberse a la capacidad de autodepuración de la corriente y a que los tributarios aportan biomasa y regulan los tensores ambientales (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.7.5. Análisis de Correspondencia Canónica

Según el Análisis de Correspondencia Canónica y la prueba de Monte Carlo ninguna variable presenta diferencias estadísticamente significativas. Las variables que tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos fueron el oxígeno disuelto y el nitrógeno (Figura 403). De acuerdo con el diagrama de ordenación las estaciones de la cuenca media y baja comparten la mayoría de los organismos, la estación de la parte baja posee la mayor cantidad de organismos exclusivos, por otro lado la asociación de variables muestra una tendencia a la eutrofización (Roldan y Ramírez, 2008).

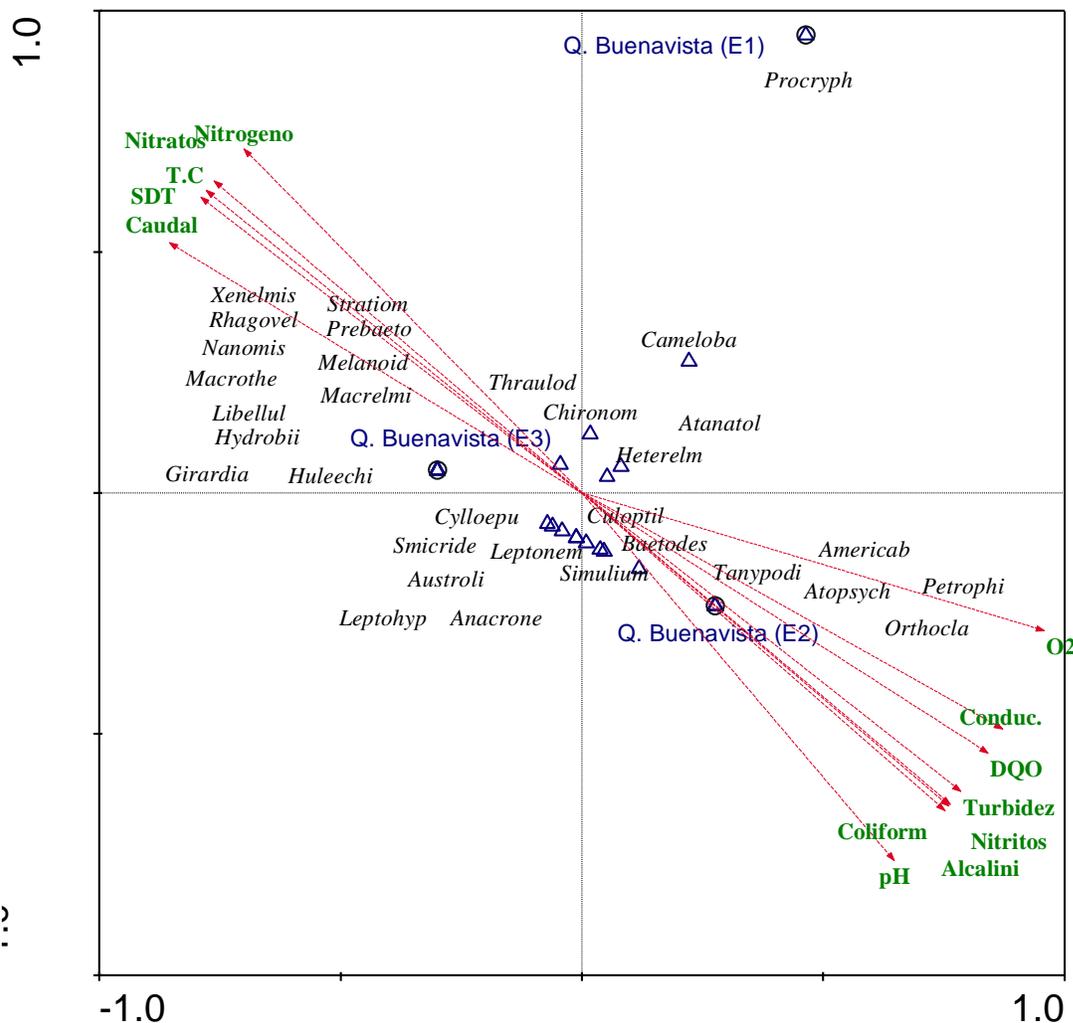


Figura 403. Diagrama de ordenación de los macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica de la quebrada Buenavista. Fuente: Autores (2023).

7.3.8. Unidad Hidrográfica del Rio Espejo

7.3.8.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 26 géneros observados (Sobs) en las cuatro (4) estaciones de monitoreo evaluadas, que corresponden al 61.9% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 57.8% para Chao 1 (Figura 404), con base en los cuales se determinó un potencial máximo de 45 géneros.

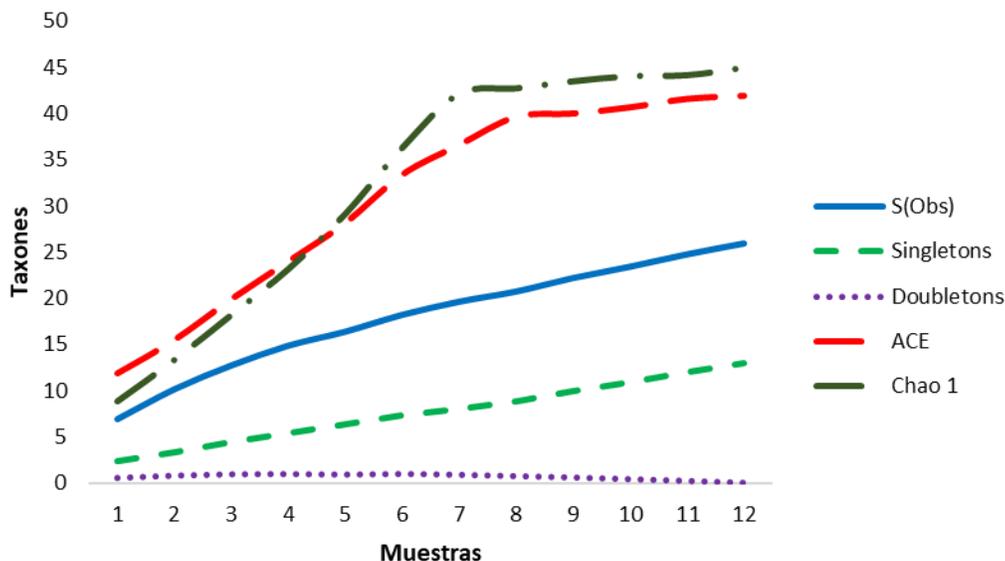


Figura 404. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica del río Espejo. Fuente: Autores (2023).

Según los resultados obtenidos, se registró un número medio de géneros de macroinvertebrados acuáticos en la unidad hidrográfica del río Espejo (CRQ, 2018). Este ecosistema se encuentra bastante afectado tanto en su cauce principal como en sus tributarios principales, ya que reciben descargas de aguas residuales domésticas de varios centros urbanos. El impacto y la degradación de estos ecosistemas es evidente, ya que se registró un bajo número de organismos, teniendo en cuenta que estos ecosistemas, por su configuración morfológica son apropiados para sustentar grandes poblaciones, sin embargo, los impactos observados minimizan el potencial de colonización y solo pueden habitar organismos tolerantes y sumamente resistentes (Rivera et al., 2008).

7.3.8.2. Composición y Abundancia

Se registran 26 géneros distribuidos en cuatro filos, cuatro clases, 10 órdenes y 17 familias (Tabla 335).

Los géneros más abundantes fueron Orthoclaadiinae (40.8%), seguido de Chironominae (19.1%) y Simulium (16.4%) (Figura 405). Los organismos que constituyen el componente principal son los dípteros, en especial los quironomidos, los cuales son organismos sumamente tolerantes, capaces de habitar en todos los ecosistemas acuáticos, sin importar su condición, de este modo pueden habitar en ecosistemas muy conservados,

hasta en zonas altamente perturbadas, como los son las quebradas Armenia y Hojas anchas (Rivera et al., 2008).

Tabla 335. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica del río Espejo.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia	
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesidae	<i>Girardia</i>	17	
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>	3	
		Neotaenioglossa	Hydrobiidae	Indeterminado	3	
Annelida	Clitellata	Hirudinida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	8	
		Tubificida	Naididae	<i>Limnodrilus</i>	54	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i>	1	
				<i>Macrelmis</i>	1	
				<i>Microcylloepus</i>	1	
			Diptera	Staphylinidae	<i>Stenus</i>	1
				Chironomidae	Chironominae	169
					Orthoclaadiinae	361
					Tanypodinae	1
				Psychodidae	<i>Clogmia</i>	5
					<i>Maruina</i>	1
				Simuliidae	<i>Simulium</i>	145
				Tipulidae	<i>Molophilus</i>	1
					Indeterminado	1
				Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>
<i>Baetodes</i>	60					
<i>Camelobaetidius</i>	1					
	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	1			
Odonata	Gomphidae	<i>Progomphus</i>	1			
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	17			
		<i>Smicridea</i>	24			
		Hydroptilidae	<i>Oxyethira</i>	1		
		Leptoceridae	<i>Atanotolica</i>	1		

Fuente: Autores (2023).

En cuanto al río Espejo, a pesar de presentar un nivel de perturbación alto, su estructura y condiciones ambientales, permiten el desarrollo de un mayor número de organismos de diferentes órdenes en contraste con la composición encontrada en las quebradas Hojas Anchas y Armenia (CRQ, 2018).

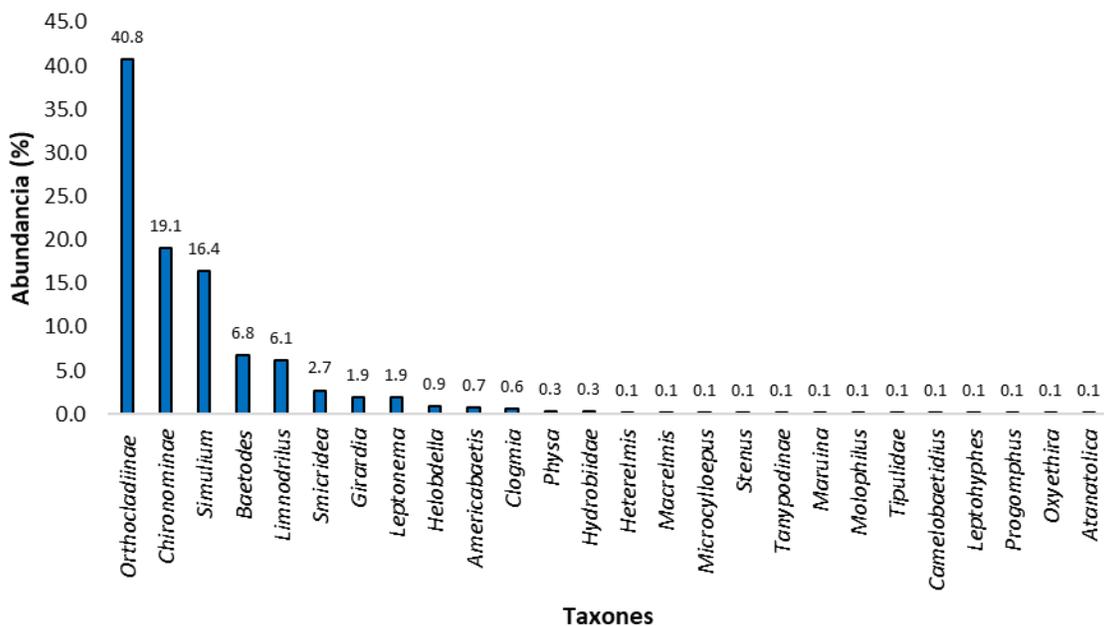


Figura 405. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en el río Espejo. Fuente: Autores (2023).

7.3.8.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica del río Espejo estableciendo los números de la serie Hill (Figura 406). Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en el río Espejo, quebrada Hojas Anchas y quebrada Armenia, el perfil de diversidad muestra cambios significativos en cuanto a la composición y la diversidad en el cauce principal y las quebradas afluentes. Las estaciones ubicadas en el cauce principal del río Espejo, presentan una mayor diversidad, debido a que a pesar de las presiones e impactos que se están presentando, estas no son críticas y permiten el desarrollo de varias poblaciones de invertebrados. Por otra parte, las quebradas Hojas Anchas y Armenia están sumamente impactadas por vertimientos domésticos, mostrando una comunidad poco diversa y uniforme, dominada por unos pocos organismos que son capaces de tolerar estas condiciones (Figura 406-A) (Jaramillo et al., 2022).

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica se encuentra en el rango entre 8 y 26 taxones (Figura 406-B), este valor de riqueza es bajo teniendo en cuenta el área drenante de la cuenca, esto se relaciona con las perturbaciones ambientales generadas por el vertimiento de aguas residuales domésticas a las que está sometida la cuenca en su totalidad. En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 406-C y D), se encontró una comunidad que tiende a la

uniformidad en los tributarios, con presiones fuertes que limitan el desarrollo de gran parte de los invertebrados acuáticos (Rivera et al., 2008).

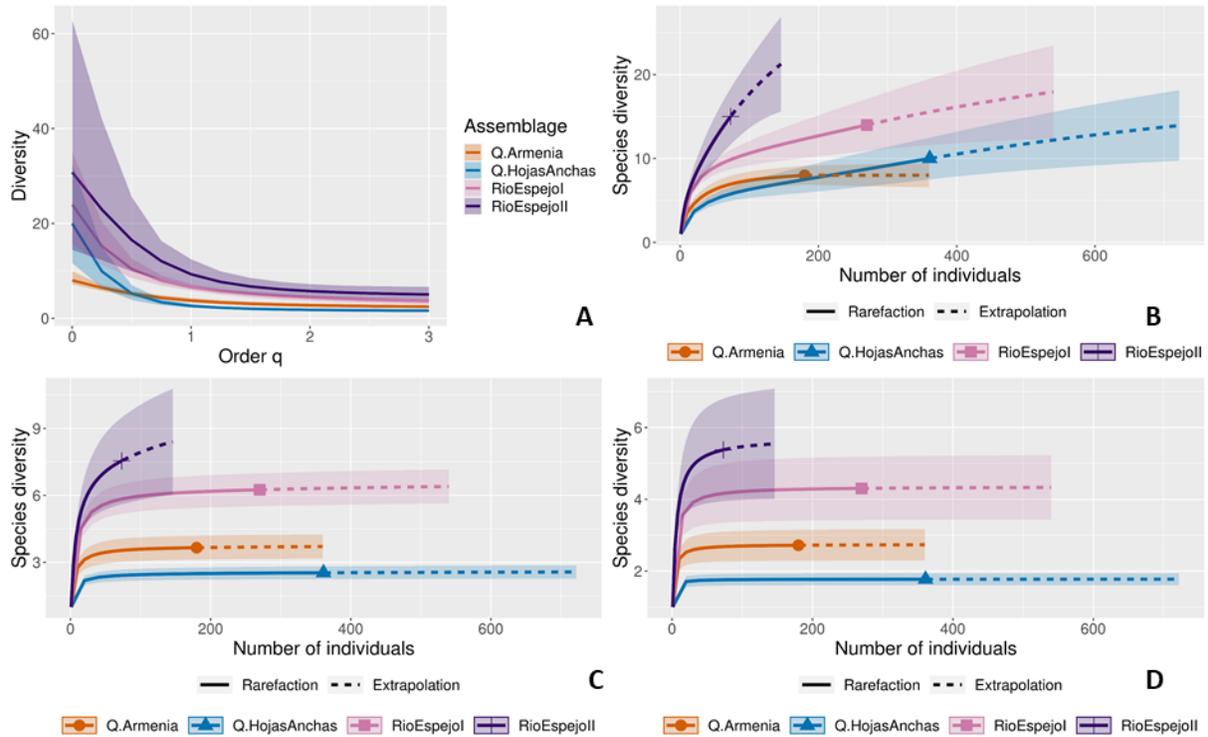


Figura 406. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad Hidrográfica del río Espejo. A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

7.3.8.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, según este índice, la calidad del agua registrada en la unidad hidrográfica del río Espejo varía entre Aceptable y Dudosa (Tabla 336).

Tabla 336. Índice de calidad de agua para la unidad Hidrográfica del río Espejo.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Quebrada Hojas anchas	48	Dudosa	III
Quebrada Armenia	27	Critica	IV
Río Espejo	64	Aceptable	II
Río Espejo	66	Aceptable	II

Fuente: Autores (2023).

El índice de bioindicación muestra que la unidad hidrográfica presenta una calidad biológica variable, con tendencia a la degradación en las quebradas Hojas Anchas y Armenia, en este caso los vertimientos domésticos y el paso por los centros urbanos como Armenia y Montenegro, tienen un efecto negativo en la disponibilidad de hábitat en unidad hidrográfica en general. Lo anterior implica que esta unidad es la más degradada de las evaluadas en el departamento del Quindío (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.8.5. Análisis de Correspondencia Canónica

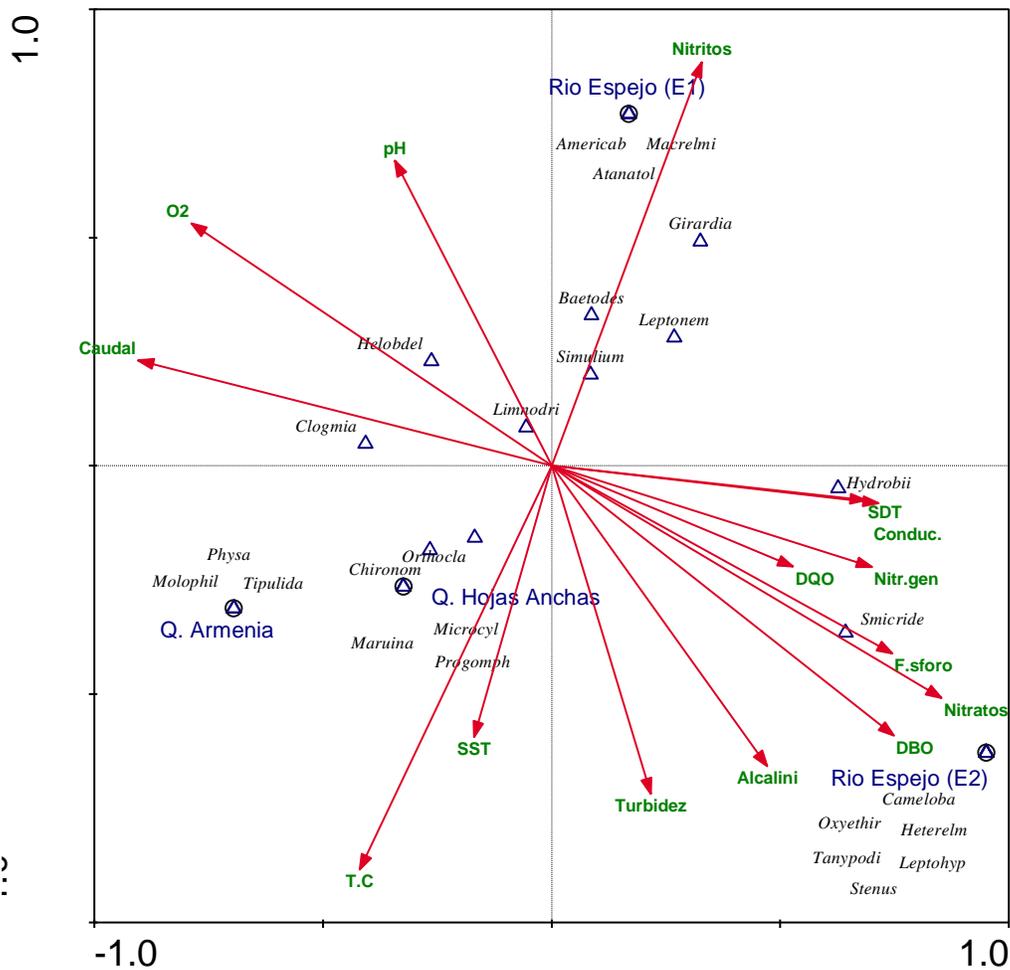


Figura 407. Diagrama de ordenación de los macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica del río Espejo. Fuente: Autores (2023).

Según el Análisis de Correspondencia Canónica y la prueba de Monte Carlo ninguna variable presenta diferencias estadísticamente significativas. Las variables que tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos fueron la temperatura, nitratos y el nitrógeno (Figura 407). De acuerdo con el diagrama de ordenación las estaciones de la cuenca baja presentan la mayoría de los organismos exclusivos, por otro lado, la asociación de variables muestra una tendencia a la eutrofización (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.9. Unidad Hidrográfica del Río Roble

7.3.9.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 47 géneros observados (Sobs) en las 5 estaciones de monitoreo evaluadas que corresponden al 75.6% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 83.3% para Chao 1 (Figura 408), con base en los cuales se estima un potencial máximo de 62 géneros.

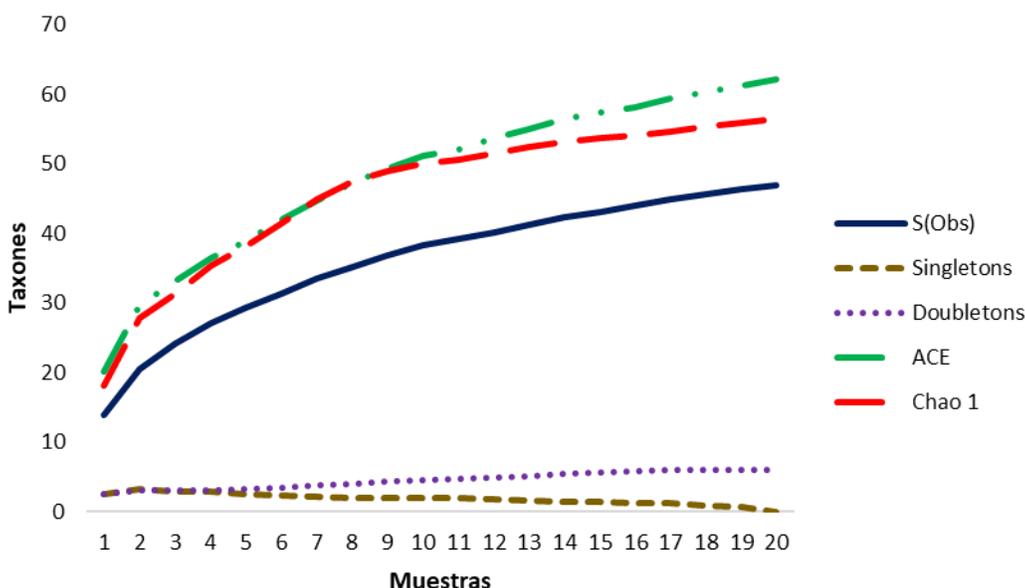


Figura 408. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica del río Roble. Fuente: Autores (2023).

Según los resultados obtenidos, se registró un número alto de géneros de macroinvertebrados acuáticos presentes en la unidad hidrográfica del río Roble (CRQ, 2018). Este ecosistema se encuentra bien conservado, a pesar de atravesar centros

poblados importantes como Circasia y Montenegro, y tener afluentes receptores de aguas residuales. En general la cuenca presenta una variedad de condiciones ambientales y morfológicas que benefician el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos, esto se presenta principalmente en la zona alta y en la baja cerca de la desembocadura (Echeverry, 2003).

7.3.9.2. Composición y abundancia

Se registran 47 géneros distribuidos en cuatro filos, cinco clases, 14 órdenes y 31 familias (Tabla 337).

Tabla 337. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica del río Roble.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesidae	<i>Girardia</i>	97
Annelida	Clitellata	Hirudinida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	1
			Tubificida	Naididae	<i>Limnodrilus</i>
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Hydrobiidae	*	2
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Trichodactylidae	*	2
			Insecta	Coleoptera	Elmidae
	<i>Cylloepus</i>	8			
	<i>Heterelmis</i>	40			
	<i>Huleechius</i>	3			
	<i>Macrelmis</i>	4			
	<i>Microcylloepus</i>	2			
	<i>Xenelmis</i>	7			
	Limnichidae	<i>Eulimnichus</i>			1
	Psephenidae	<i>Psephenops</i>			3
	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>			2
	Diptera	Chironomidae	Chironominae		237
			Orthoclaadiinae		228
			Tanypodinae		1
			Psychodidae	<i>Maruina</i>	1
			Simuliidae	<i>Simulium</i>	508
			Tipulidae	<i>Limonia</i>	1
<i>Molophilus</i>			1		
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	59		
		<i>Baetodes</i>	59		
		<i>Camelobaetidius</i>	128		
		<i>Prebaetodes</i>	9		
		Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	179	
Leptophlebiidae	<i>Farrodes</i>	1			

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
				<i>Thraulodes</i>	129
		Hemiptera	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	1
				<i>Procryphocricos</i>	2
			Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	27
	Lepidoptera		Crambidae	<i>Petrophila</i>	1
	Megaloptera		Corydalidae	<i>Corydalus</i>	5
	Odonata		Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	4
			Coenagrionidae	<i>Acanthagrion</i>	1
			Gomphidae	<i>Progomphus</i>	1
			Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	15
				<i>Macrothemis</i>	24
	Plecoptera		Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	22
	Trichoptera		Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	16
			Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	3
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	10
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	17
				<i>Smicridea</i>	80
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	84
			Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	2

Fuente: Autores (2023).

Los géneros más abundantes fueron Orthoclaadiinae (40.8%), seguido de Chironominae (19.1%) y *Simulium* (16.4%) (Figura 409). Esta unidad hidrográfica presenta un alto número de taxones y la composición y abundancia son consistentes con lo reportado para el departamento del Quindío (CRQ, 2018).

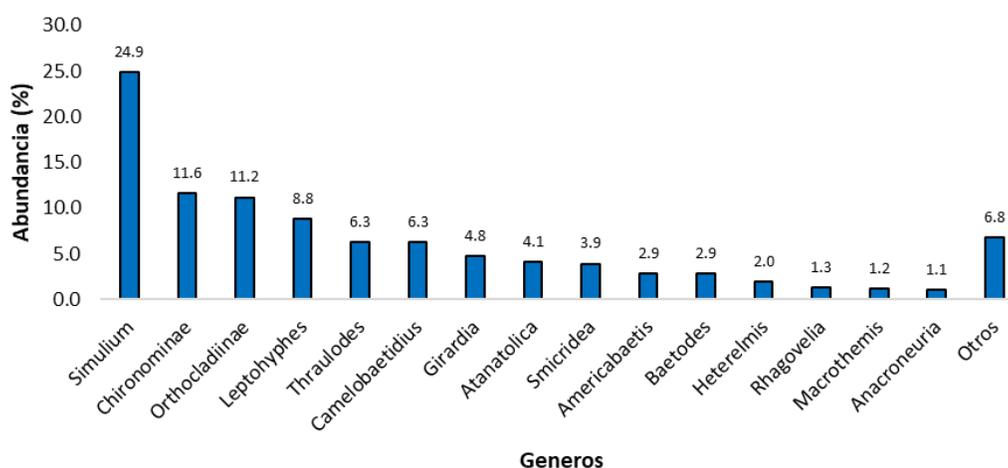


Figura 409. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en el rio Roble. Fuente: Autores (2023).

7.3.9.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica del río Roble estableciendo los números de la serie Hill (Figura 410). Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en el río Roble y la quebrada Portachuelo, el perfil de diversidad muestra cambios menores en cuanto a la composición y la diversidad en el cauce principal del río y en la quebrada Portachuelo. (Figura 410-A).

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica se encuentra en el rango entre 20 y 47 taxones (Figura 410-B), este valor de riqueza es alto teniendo en cuenta el tamaño del cauce principal, es posible encontrar un gran número de géneros en las estaciones monitoreadas, sin importar las presiones que se están presentando. En cuanto a los organismos comunes y dominantes (Figura 410-C y D), la comunidad es heterogénea, lo que indica que los ambientes ofertados en esta unidad hidrográfica son los óptimos para el desarrollo de la comunidad (Jaramillo et al., 2022).

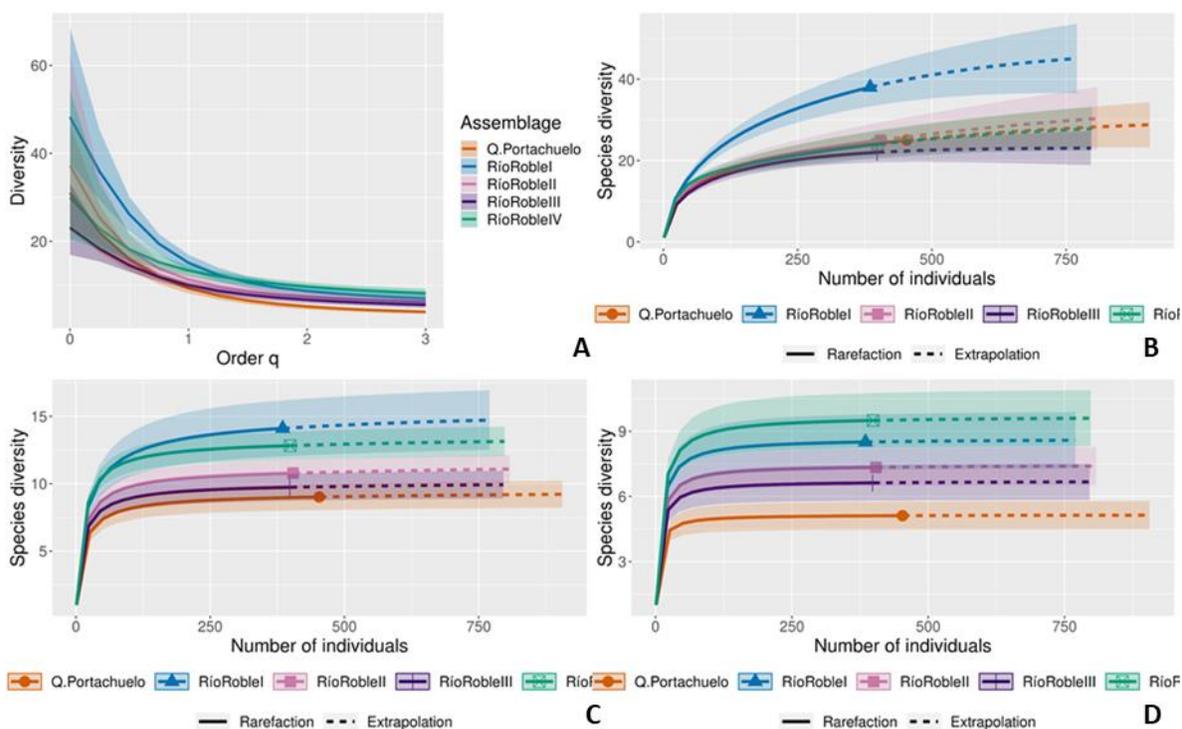


Figura 410. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad Hidrográfica del río Roble. A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

7.3.9.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col. Según este índice, la calidad del agua registrada en la unidad hidrográfica del río Roble varía entre Buena y Aceptable (Tabla 338).

Tabla 338. Índice de calidad del agua para la unidad Hidrográfica del río Roble.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Río Roble	187	Buena	I
Quebrada Portachuelo	117	Buena	I
Río Roble	117	Buena	I
Río Roble	90	Aceptable	II
Río Roble	120	Buena	I

Fuente: Autores (2023).

7.3.9.5. Análisis de Correspondencia Canónica

Según el Análisis de Correspondencia Canónica y la prueba de Monte Carlo ninguna variable presenta diferencias estadísticamente significativas. Las variables que tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos fueron el DQO, turbidez, pH y el nitrógeno (Figura 411). De acuerdo con el diagrama de ordenación no se observa un patrón definido en la distribución de los organismos, la estación E10 del río Roble presenta la mayor cantidad de taxones exclusivos, por otro lado la asociación de variables no indica una tendencia específica (Roldan y Ramírez, 2008).

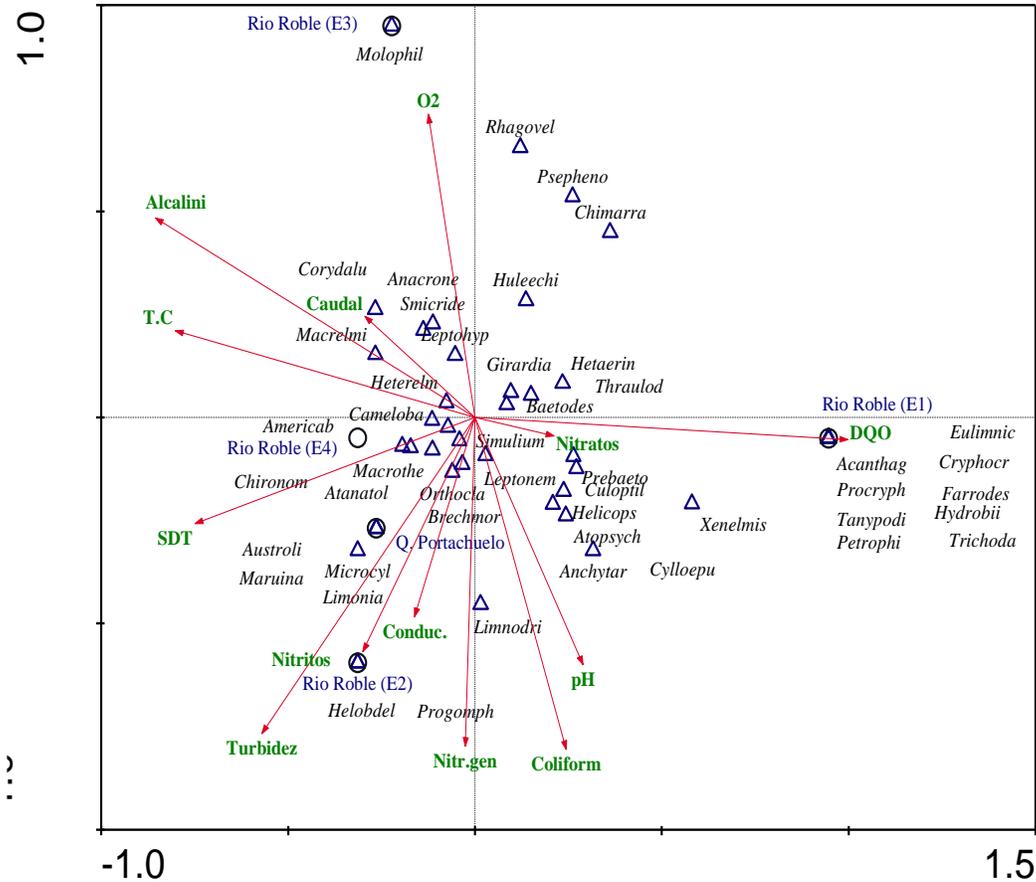


Figura 411. Diagrama de ordenación de los macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica del río Roble. Fuente: Autores (2023).

7.3.10. Unidad Hidrográfica del Río Quindío

7.3.10.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 53 géneros observados (Sobs) en las 17 estaciones de monitoreo evaluadas que corresponden al 85% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 86.7% para Chao 1 (Figura 412). Se estima un potencial máximo de 61 géneros según estos estimadores.

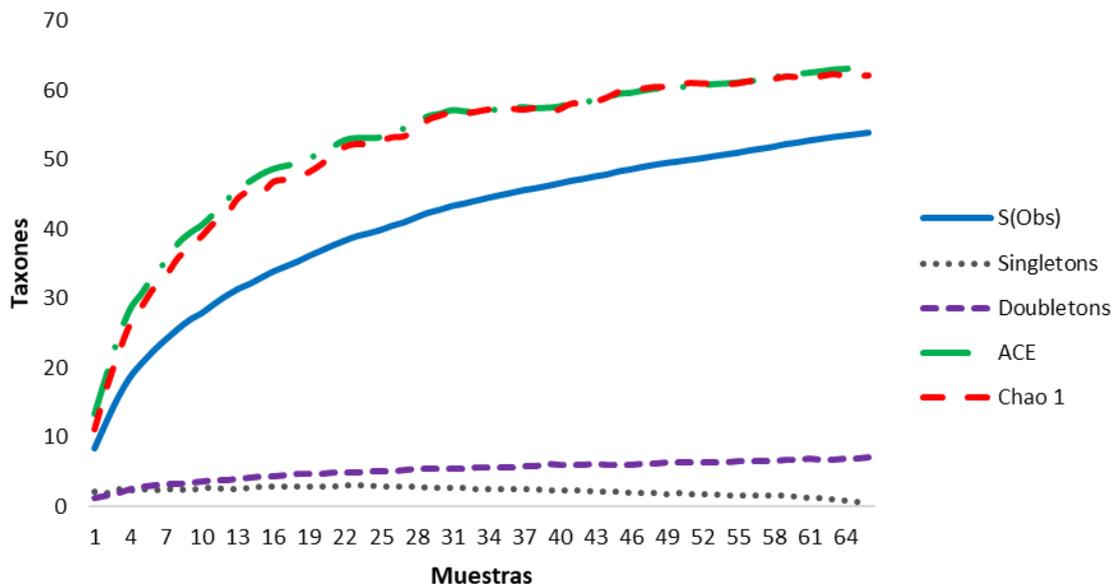


Figura 412. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la unidad hidrográfica del río Quindío. Fuente: Autores (2023).

La unidad hidrográfica del río Quindío es la más grande del departamento y es la que cuenta con un mayor número de estaciones evaluadas sobre el cauce principal y los tributarios río Verde, río Santo Domingo, río Boquerón, río Navarco, Quebrada Cárdenas y Quebrada El Roble, de este modo se obtuvo un gran número de taxones asociados a estos ecosistemas, lo que demuestra una eficiencia de muestreo alto, sin embargo no fue posible alcanzar la asintota, dado que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, tiende a variar temporalmente en función del periodo de lluvias, por lo que para obtener la totalidad de organismos que habitan en estos ríos, es necesario ampliar los monitoreos a épocas climáticas contrastantes de temporada húmeda, seca y/o transición (CRQ, 2018).

7.3.10.2. Composición y Abundancia

Se registran 53 géneros distribuidos en cuatro filos, cinco clases, 12 órdenes y 34 familias (Tabla 339).

Los géneros más abundantes fueron Orthoclaadiinae (40.8%), seguido de Chironominae (19.1%) y Simulium (16.4%) (Figura 413). La composición taxonómica y la abundancia registrada en esta unidad hidrográfica es la más alta registrada, en todo el departamento, corresponde a lo reportado en programas de monitoreo anteriores y a la composición típica de cuencas andinas. Al ser la unidad más grande presenta múltiples taxones que

afectan la composición y distribución de organismos, sin embargo, la gran cantidad de tributarios permiten la resiliencia del cauce principal y mantenerse como reservorios de biodiversidad (Osorio y Betancur, 2002).

Tabla 339. Macroinvertebrados acuáticos reportados para la unidad Hidrográfica del río Quindío.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia		
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	DugesIIDae	<i>Girardia</i>	104		
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	<i>Tubifex</i>	100		
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>	5		
			Neotaenioglossa	Hydrobiidae	*	2	
			Thiaridae	<i>Melanooides</i>	6		
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i>	10		
		Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Cyloopus</i>	15	
	<i>Heterelmis</i>				58		
	<i>Hexacyloopus</i>				6		
	<i>Macrelmis</i>				2		
	<i>Microcyloopus</i>				2		
	<i>Notelmis</i>				2		
	<i>Xenelmis</i>				1		
	Psephenidae				<i>Psephenops</i>	1	
	Ptilodactylidae				<i>Anchytarsus</i>	29	
	Staphylinidae				<i>Stenus</i>	3	
	Diptera				Blephariceridae	<i>Limonicola</i>	4
					Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i>	1
					Chironomidae	Chironominae	752
						Orthocladiinae	71
	Tanypodinae					1	
	Empididae				<i>Chelifera</i>	1	
					<i>Hemerodromia</i>	1	
	Psychodidae				<i>Clogmia</i>	1	
		<i>Maruina</i>	1				
Simuliidae	<i>Simulium</i>	313					
Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	2					
	<i>Tipula</i>	5					
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	22				
		<i>Baetodes</i>	299				
		<i>Camelobaetidius</i>	333				
		<i>Prebaetodes</i>	2				
		Leptohyphidae	<i>Haplohyphes</i>	7			
	<i>Leptohyphes</i>	288					

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	78
		Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>	3
		Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	6
			Gomphidae	<i>Progomphus</i>	1
			Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	7
				<i>Macrothemis</i>	8
			Polythoridae	<i>Cora</i>	1
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	8
		Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	4
			Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	16
			Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	7
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	10
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	18
				<i>Smicridea</i>	54
			Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	7
				<i>Oxyethira</i>	1
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	34
				<i>Oecetis</i>	3
			Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	2

Fuente: Autores (2023).

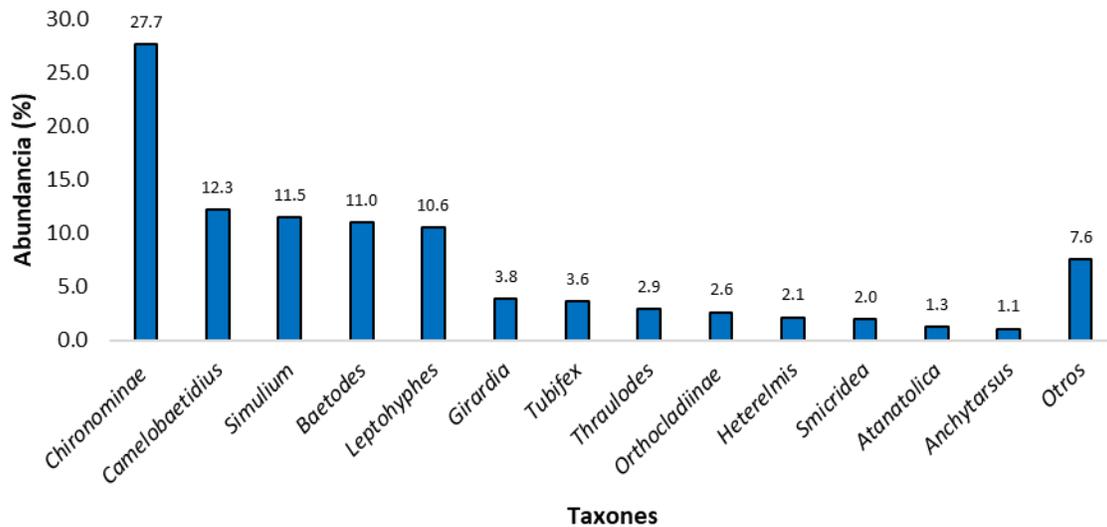


Figura 413. Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos reportados en el río Quindío. Fuente: Autores (2023).

7.3.10.3. Diversidad

Se evaluó la diversidad de la unidad hidrográfica del río Quindío estableciendo los números de la serie Hill, los cuales informan acerca de la riqueza, la homogeneidad y la uniformidad, de este modo, el análisis de diversidad informa que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos es bastante heterogénea (Figura 414).

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en el río Quindío, el perfil de diversidad (Figura 414-A) indica que no hay cambios significativos a lo largo del cauce principal, lo que implica que la diversidad es constante a lo largo del cauce del río.

La riqueza registrada de los macroinvertebrados acuáticos para esta unidad hidrográfica se encuentra en el rango entre 12 y 20 géneros (Figura 414-B), este valor está directamente relacionada con la cantidad y calidad de los recursos que se están ofertando en los ecosistemas evaluados, este río es relativamente grande y con un caudal de mayor magnitud a las otras unidades hidrográficas evaluadas, lo que naturalmente limita el desarrollo de los organismo, sin embargo, la gran cantidad de recursos que oferta el desarrollo de una comunidad estable (Jaramillo et al., 2022).

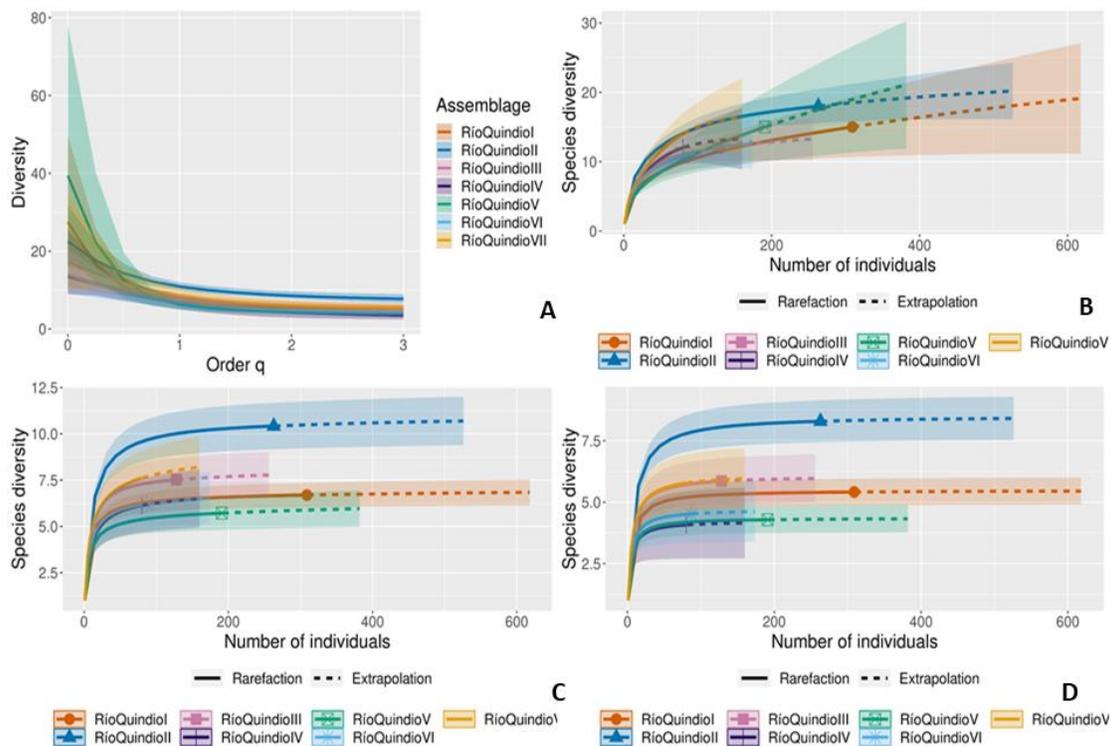


Figura 414. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad Hidrográfica del río Quindío. A: Perfil de diversidad; B: q0; C: q1; D: q2. Fuente: Autores (2023).

En cuanto a los géneros comunes y dominantes (Figura 414-C y D) se evidencia una comunidad heterogénea con ligeras variaciones en las estaciones más impactadas, como las ubicadas aguas abajo del centro poblado de Armenia. En general la comunidad de invertebrados está bien representada y distribuida equitativamente dentro del ecosistema. Por otra parte, la extrapolación de datos muestra que es necesario llevar a cabo más colectas para alcanzar la totalidad de estos organismos (Rivera et al., 2008).

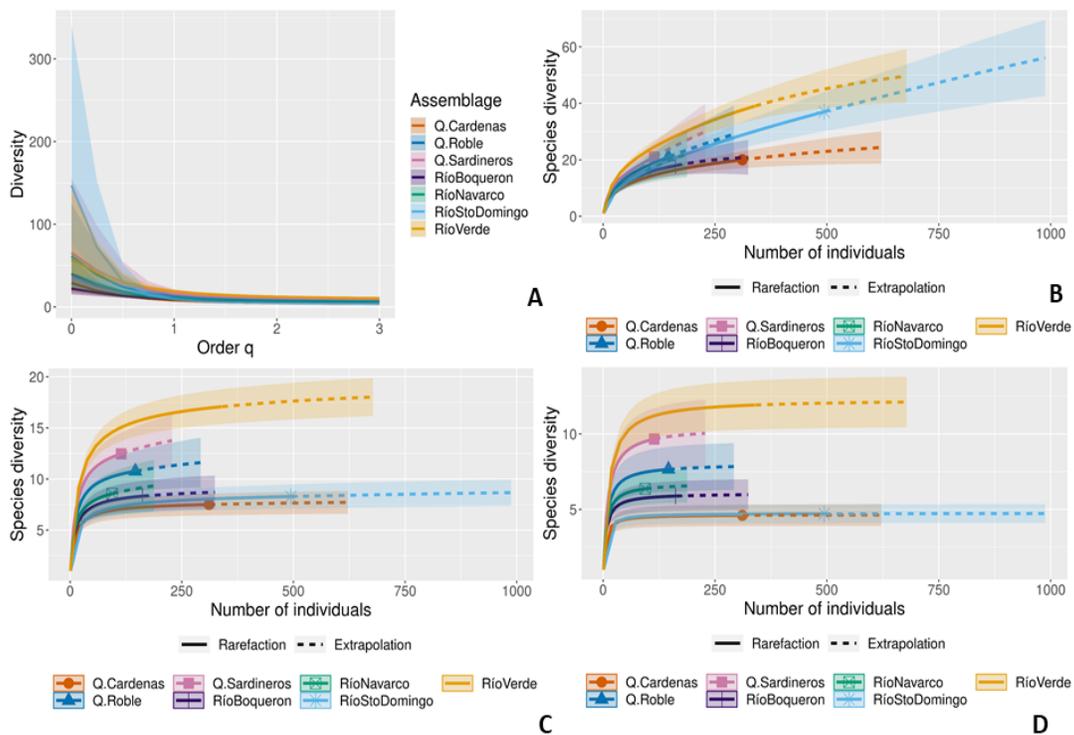


Figura 415. Diagrama de ordenación de los macroinvertebrados acuáticos reportados en la unidad Hidrográfica del río Quindío (Tributarios).A: Perfil de diversidad; B: q_0 ; C: q_1 ; D: q_2 . Fuente: Autores (2023).

En cuanto a los tributarios monitoreados (río Verde, río Santo Domingo, río Boquerón, río Navarco, quebrada Cárdenas, y quebrada El Roble, el análisis de diversidad muestra que existen pocas variaciones en cuanto al perfil de diversidad y la riqueza registrada para todos estos ecosistemas (Figura 415), Los cambios más evidentes se observan en el río Verde, donde se encuentra el mayor número de taxones registrados, esto se puede deber a su ubicación relativamente alejada de los centros poblados principales del departamento. Por otra parte, el río Santo Domingo, muestra niveles bajos de diversidad, los puntos evaluados muestran impactos importantes producto de la extracción de

material de arrastre y vertimientos de aguas residuales principalmente de origen doméstico, lo cual repercute en el desarrollo de las comunidades acuáticas (Jaramillo et al., 2022).

7.3.10.4. Índice de Calidad de Agua

Se determinó la calidad del agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col. Según este índice, la calidad de agua registrada en la unidad hidrográfica del río Quindío varía entre Buena y Crítica (Tabla 340).

Tabla 340. Índice de calidad de agua para la unidad Hidrográfica del río Quindío.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Color
Quebrada Cárdenas	123	Buena	I
Río Quindío	90	Aceptable	II
Río Quindío	96	Aceptable	II
Río Quindío	76	Aceptable	II
Río Quindío	64	Aceptable	II
Río Quindío	83	Aceptable	II
Río Quindío	44	Dudosa	III
Río Quindío	76	Aceptable	Aceptable
Río Navarco	90	Aceptable	Aceptable
Río Boquerón	94	Aceptable	Aceptable
Río Santo Domingo	86	Aceptable	Aceptable
Río Santo Domingo	48	Dudosa	III
Río Santo Domingo	30	Crítica	IV
Río Verde	119	Buena	I
Río Verde	73	Aceptable	II
Quebrada El Roble	105	Buena	I
Quebrada Sardineros	96	Aceptable	II

Fuente: Autores (2023).

La unidad hidrográfica del río Quindío es la de mayor tamaño y con mayor número de estaciones, razón por la cual presentara mayor variación es su calidad del agua, en general exhibe una buena calidad de agua desde el punto de vista hidrobiológico, a pesar de los múltiples tensores como la producción agropecuaria, vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, turismo, minería, entre otros, que afectan directamente la calidad del agua y en consecuencia el desarrollo de los organismos que

habitan este ecosistema. Sin embargo, las estaciones cerca de los centros poblados de Armenia y Calarcá son las que presentan mayor afectación (Roldan y Ramírez, 2008).

7.3.10.5. Análisis de Correspondencia Canónica

Según el Análisis de Correspondencia Canónica y la prueba de Monte Carlo ninguna variable presenta diferencias estadísticamente significativas. Las variables que tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos fueron el nitrógeno, DBO, coliformes, fosforo, solidos disueltos, conductividad, oxígeno disuelto, caudal, turbidez, DQO, temperatura, solidos suspendidos, nitritos, alcalinidad y pH (Figura 416). De acuerdo con el diagrama de ordenación no se observa un patrón definido en la distribución de los organismos, sin embargo, es posible identificar posibles efectos de eutrofización en la zona alta del río Verde (Roldan y Ramírez, 2008).

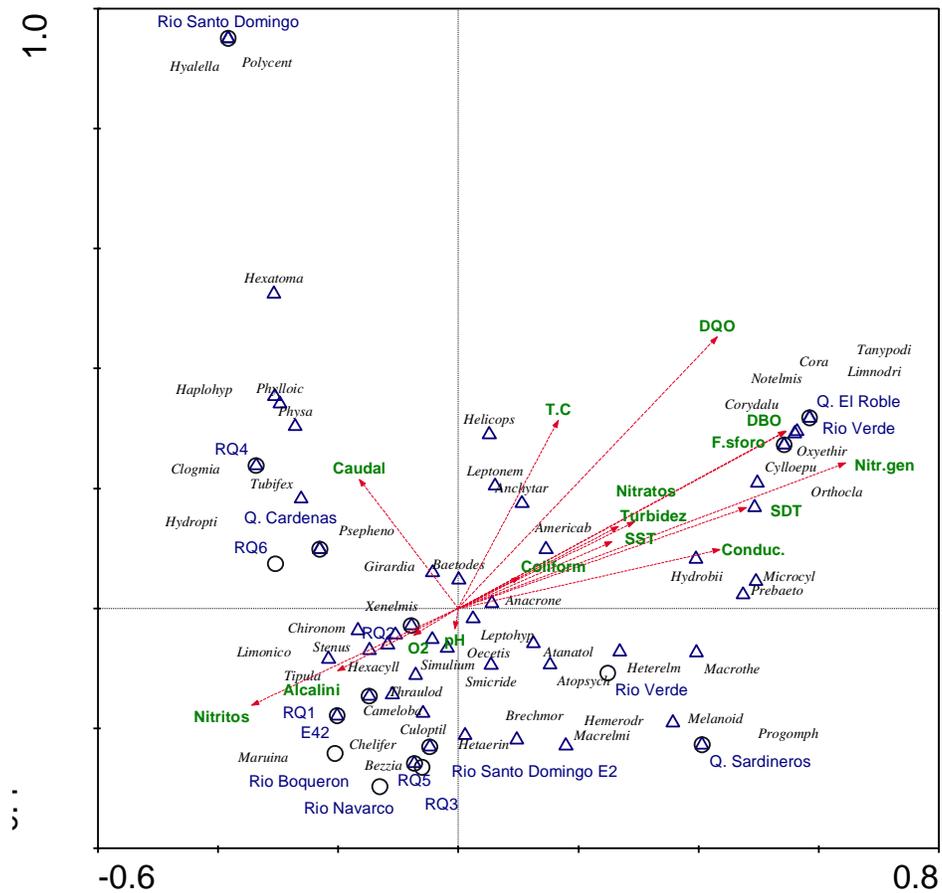


Figura 416. Diagrama de ordenación de macroinvertebrados acuáticos reportados en unidad la Hidrográfica del río Quindío. Fuente: Autores (2023).

Referencias

Abrams, M., Tsu, H., Hulley, G., Iwao, K., Pieri, D., Cudahy, T., Kargel, J., 2015. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) after fifteen years: Review of global products. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 38, 292-301. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.01.013>.

Álvarez, M., Gast, F., Umaña, A. M., Mendoza, H., & Schiele, R. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. (C. M. Villa, Ed.) (Segunda ed., p. 236). Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Bolaños, S., Salazar, J. F., Betancur, T., Werner, M., 2021. GRACE reveals depletion of water storage in northwestern South America between ENSO extremes. *Journal of Hydrology*, 596, 125687. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125687>.

Brower, J; Zar, J; Von, E. (1997). *Field and laboratory methods for general ecology*. WCB/McGraw-Hill. Boston, E.E.U.U. 273 p.

Cano, M. C., López, C. E., Méndez, R., 2021. Archaeological evidences on early peopling in the fluvio-volcanic Pereira-Armenia fan (Colombia): Volcanic activity influence on cultural adaptation and depopulation events. *Quaternary International*, 578, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.08.037>.

Ciraci, E., Velicogna, I., Swenson, S., 2020. Continuity of the mass loss of the world's glaciers and ice caps from the GRACE and GRACE Follow-On missions. *Geophysical Research Letters*, 47(9), e2019GL086926. <https://doi.org/10.1029/2019GL086926>.

Cole, T. M., & Wells, S. A. (2013). *CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.71 User Manual* (Issue March, p. 680).

Colwell, R. K. (2013). *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User's Guide and application*.

CRQ (2018). *Evaluación Regional del Agua del departamento del Quindío*. Armenia-Quindío.

CRQ, 2018. *Planificación para la gestión integral del recurso hídrico. Plan de acción institucional 2016-2019*. Corporación Autónoma Regional del Quindío, pp. 1-80.

CRQ, 2021. Avances en el conocimiento hidrogeológico en el abanico de Quindío. Corporación Autónoma Regional del Quindío, pp. 1-69.

Cude, C. G. (2001). OREGON WATER QUALITY INDEX A TOOL FOR EVALUATING WATER QUALITY MANAGEMENT EFFECTIVENESS1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 37(1), 125-137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb05480.x>

Custodio, E., Llamas, M. R, 2001. Hidrología subterránea. Omega.2, pp. 1-1192

Davie, T. (2008). Fundamentals of Hydrology (Second edition ed.). New York, NY: Taylor & Francis Group.

Decreto 1076 de 2015, Pub. L. No. 1076, 398 (2021).

Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656.

Echeverry Ospina, A. M., & Álzate Moreno, J. A. (2003). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del río roble, Quindío.

Espinosa-Baquero, A., 2001. Erupciones históricas de los volcanes Colombianos (1500-1995). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No. 16, pp. 1-291. ISBN 0121-7917.

Espinosa-Baquero, A., 2020. A model of the Quindío and Risaralda Quaternary deposits. In: Gómez, J. & Pinilla-Pachon, A.O. (editors), The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 333-352. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.09>.

Frappart, F., Ramillien, G., 2018. Monitoring groundwater storage changes using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite mission: A review. Remote Sensing, 10(6), 829. <https://doi.org/10.3390/rs10060829>.

Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979. Groundwater. London, UK: Prentice-Hall.

Guarín, F. 2008. Etude sédimentologique du fan volcanoclastique du Quindío-Risaralda (Colombie) et sa relation avec la morphonéotectonique. Doctoral thesis, Université de Genève, pp. 1-146. Genève, Switzerland. <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:3960>.

Guevara-Ochoa, C., Vives, L., Zimmermann, E., Masson, I., Fajardo, L., Scioli, C., 2019. Analysis and Correction of Digital Elevation Models for Plain Areas. *Photogrammetric Engineering y Remote Sensing*. 85(3), 209-219. <https://doi.org/10.14358/PERS.85.3.209>.

Guía Nacional De Modelación Del Recurso Hídrico Para Aguas Superficiales Continentales, Pub. L. No. Decreto 1076 de 2015, 39 (2018). http://www.andi.com.co/Uploads/Guía_modelación_Final_aguasuperficialcontinental.pdf

Hamed, K. H., 2008. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*. 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>.

Hamed, K. H., Rao, A. R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*. 204(1-4), 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X).

Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58, 3-37.

Hingray, B., Picouet, C., & Musy, A. (2015). *Hydrology: A science for engineers*: CRC Press.

Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (No. 83). Agroamérica.

IDEAM, 2010. *Estudio Nacional del Agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

IDEAM, 2018. *Estudio Nacional del Agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, pp. 1-434.

IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua*. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19713>

IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del 2014*.

IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*.

Jaramillo-Rodríguez, V., Polanía, J., & Mancera-Rodríguez, N. J. (2022). Macroinvertebrados acuáticos en una quebrada andina con alteraciones antrópicas en Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1).

Kendall, M., 1987. *Advanced theory of statistics*. Oxford University Press

Kumar, L., Mutanga, O., 2018. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*. 10(10), 1509. pp. 1-408. Doi:10.3390/rs10101509.

Lemoine, J. M., Bourgogne, S., 2020. RL05 monthly and 10-day gravity field solutions from CNES/GRGS (No. GSTM2020-51). Copernicus Meetings. <https://doi.org/10.5194/gstm2020-51>.

Londoño, C. (2008). Diagnóstico de la calidad ambiental del agua para uso agrícola de la quebrada "Los Micos" afluente de la microcuenca "El Pencil" Filandia-Quindío. *REVISTA DE LA ASOCIACION COLOMBIANA DE CIENCIAS BIOLOGICAS*, 1(20).

Longuevergne, L., Wilson, C. R., Scanlon, B. R., Crétaux, J. F., 2013. GRACE water storage estimates for the Middle East and other regions with significant reservoir and lake storage. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17(12), 4817-4830. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4817-2013>.

Machado, T. (Octubre de 1989). Distribución Ecológica e Identificación de los Coleópteros Acuáticos en Diferentes Pisos Altitudinales en el Departamento de Antioquia. *Distribución Ecológica e Identificación de los Coleópteros Acuáticos en Diferentes Pisos Altitudinales en el Departamento de Antioquia*. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.

Mann, H. B., 1945. Non-parametric test against trend. *Econometrika*. 13, 245-259.

Marín-Villegas, N. C., Corredor-Coy, N. V., & Bustamante-Toro, C. A. (2011). Aspectos ecológicos de comunidades bénticas de un sistema fluvial andino, Armenia-Quindío, Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 22(1), 58-69.

Merritt, R., Cummins, K., & Berg, M. (2008). *An introduction to the Aquatic Insects of North América*. Kendall: Kendall/Hunt Publishing Company.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial , & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2019). *Metodología para la Estimación del Caudal Ambiental en el río Bogotá*. In (pp. 158). Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2019). Metodología para la Estimación del Caudal Ambiental en el río Bogotá. In (pp. 158). Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Osorio Duque, A. L., & Betancur Ochoa, C. (2002). Diagnóstico de la calidad del agua para la cuenca baja del río quindío con macroinvertebrados acuáticos como indicadores ambientales.

Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., Factor, J. K., 2012. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 117(B4), 1-38. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JB008916>.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.

Posada, J. & G. Roldán. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. *Caldasia* 25: 169-192.

Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R., 2003. The shuttle radar topography mission-a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 57(4), 241-262. Doi:10.1016/S0924-2716(02)00 124-7.

Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Título E, Pub. L. No. Decreto 216 de 2003, 22 De Novi Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico 150 (2000). http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título B., Pub. L. No. Decreto 216 de 2003, 480 (2010).

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS. Título D, Pub. L. No. Decreto 216 de 2003, 282 (2016).

Resolución 0330 de 2017, Pub. L. No. Resolución 0330 del 08jun2017, 182 (2017). <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>

Resolución 799 de 2021, Pub. L. No. 799, 16 (2021).

Rivera-Usme, J. J., Pinzon, D. L. C., & BOTERO, A. B. (2008). Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío-Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 13(2), 133-146.

Roldan, G. & Ramirez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (Vol. 15). Universidad de Antioquia.

Rosenqvist, A., Shimada, M., Ito, N., Watanabe, M., 2007. ALOS PALSAR: A pathfinder mission for global-scale monitoring of the environment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 45(11), 3307-3316. Doi: 10.1109/TGRS.2007. 901027.

SGC, 2016. Modelo hidrogeológico de la zona sur del eje cafetero departamento del Quindío. Servicio Geológico de Colombia, pp. 1-328.

Strassberg, G., Scanlon, B. R., Chambers, D., 2009. Evaluation of groundwater storage monitoring with the GRACE satellite: Case study of the High Plains aquifer, central United States. *Water Resources Research*, 45(5). <https://doi.org/10.1029/2008WR006892>.

Suter, F., Neuwerth, R., Gorin, G., Guzmán, C., 2008. (Plio-) Pleistocene alluvial-lacustrine basin infill evolution in a strike-slip active zone (Northern Andes, Western-Central Cordilleras, Colombia). *Geologica Acta: an international earth science journal*, 6(3), 231-249.

Tachikawa, T., Hato, M., Kaku, M., Iwasaki, A., 2011. Characteristics of ASTER GDEM version 2. In *Geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)*. 3657-3660. Doi:10.1109/IGARSS.2011.6050017.

Taylor, K., E., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183-7192. <https://doi.org/10.1029/2000JD900719>.

Tistl, M., 2006. La Formación Geológica del Paisaje en el Piedemonte del Eje Cafetero Colombiano. *Cambios Ambientales en Perspectiva Histórica*. 2. 79-92.

Universidad del Tolima, & CRQ. (2019). *Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío*.

Vásquez, J., & Reinoso, G. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*, 351-358.

Wantzen, R. & Rueda-Delgado, G. (2009). Técnica de muestreo de macroinvertebrados bentónicos. En: Domínguez, E. y H. Fernández (Eds.), *Macroinvertebrados bentónicos Sudamericano: sistemática y biología*. Primera edición. Tucumán - Argentina. Fundación Miguel Lillo.

World Meteorological Organization. (2008). Guide to Hydrological Practices WMO-168. In World Meteorological Organization: Vol. I (Sixth, Issue WOM-No.168). World Meteorological Organization. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.546602>

World Meteorological Organization. (2012). International Glossary of Hydrology (Vol. WMO-No. 385): World Meteorological Organization.

Wouters, B., Gardner, A. S., Moholdt, G., 2019. Global glacier mass loss during the GRACE satellite mission (2002-2016). *Frontiers in earth science*. 7, 96. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00096>

Yue, S., Wang, C., 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water resources management*. 18(3), 201-218. <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>.

Zink, M., Bachmann, M., Brautigam, B., Fritz, T., Hajnsek, I., Moreira, A., Krieger, G., 2014. TanDEM-X: The new global DEM takes shape. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2(2), 8-23. Doi: 10.1109/MGRS.2014.2318895.

Anexos

Anexo 1. Modelos Hidrológicos Implementados

Anexo 2. Geodatabase Oferta Hídrica

Anexo 3. Oferta Hídrica en Escenarios de Cambio Climático

Anexo 4. Reportes de Laboratorio de Calidad del Agua

Anexo 5. Reportes de Monitoreo Hidrobiológico

Anexo 6. Indicadores del Recurso Hídrico