

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA



PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO
RÍO ROBLE
QUEBRADA CAJONES
QUEBRADA PORTACHUELO

 **Universidad
del Tolima**


Corporación Autónoma Regional del Quindío
Protegiendo el Futuro

Convenio Interadministrativo 004-2018

PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO

RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES

Corporación Autónoma Regional del Quindío

Universidad del Tolima

Armenia, 2019

Contenido

| | |
|--|-----------|
| PRESENTACIÓN | 24 |
| 1. FASE DIAGNÓSTICO | 26 |
| 1.1. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL ÁREA DE ESTUDIO | 26 |
| 1.1.1. Localización de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento | 26 |
| 1.1.2. Unidad hidrográfica del río Roble..... | 27 |
| 1.1.3. Unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo | 30 |
| 1.1.4. Unidad hidrográfica de la quebrada Cajones..... | 33 |
| 1.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE INSTRUMENTOS EXISTENTES | 37 |
| 1.2.1. Información De Oferta Hídrica | 37 |
| 1.2.2. Información De Demanda | 47 |
| 1.2.3. Información De Calidad Del Agua..... | 49 |
| 1.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN | 53 |
| 1.3.1. Enfoque Metodológico..... | 53 |
| 1.3.2. Talleres De Participación..... | 59 |
| 1.3.3. Cartografía Social: Mapas Parlante..... | 73 |
| 1.3.4. Valoración de la Percepción de Pertenencia en el Proceso..... | 76 |
| 1.3.5. Conflictos del Agua Identificados por los Actores en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones..... | 77 |
| 1.3.6. Potencialidades del Recurso Hídrico en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones Identificados por los Actores | 79 |
| 1.4. USUARIOS Y USOS ACTUALES DEL RECURSO HÍDRICO | 81 |
| 1.4.1. Usuarios de concesiones de agua..... | 82 |
| 1.4.2. Usuarios de permisos de vertimiento | 88 |
| 1.4.3. Definición de tramos para el ordenamiento | 92 |
| 1.4.4. Clasificación de los usos actuales del agua..... | 94 |
| 1.5. OFERTA HÍDRICA..... | 95 |
| 1.5.1. Red de monitoreo hidrometeorológico..... | 95 |
| 1.5.2. Análisis de tendencia | 104 |
| 1.5.3. Balance hídrico de largo plazo a escala mensual..... | 108 |
| 1.5.4. Modelación hidrológica continua a escala diaria en las unidades hidrográficas | 114 |
| 1.5.5. Caudal ambiental..... | 126 |
| 1.5.6. Indicadores de estado del recurso hídrico..... | 140 |
| 1.6. DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL..... | 150 |
| 1.6.1. Demandas para uso domestico | 150 |
| 1.6.2. Demandas para Uso Pecuario | 161 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 1.6.3. | <i>Demandas para Uso Industrial</i> | 164 |
| 1.6.4. | <i>Demandas para Uso Agrícola</i> | 166 |
| 1.6.5. | <i>Demandas para Uso Piscícola</i> | 169 |
| 1.6.6. | <i>Conclusiones</i> | 171 |
| 1.7. | INDICADORES DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL..... | 172 |
| 1.7.1. | <i>Índice de uso del agua</i> | 172 |
| 1.7.2. | <i>Índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento</i> | 177 |
| 1.7.3. | <i>Amenaza y riesgo por reducción de la oferta</i> | 181 |
| 1.8. | ESTADO DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA..... | 187 |
| 1.8.1. | <i>Tramos y sectores de análisis</i> | 187 |
| 1.8.2. | <i>Definición de la estructura conceptual para la modelación de la calidad del agua</i> | 190 |
| 1.8.3. | <i>Diseño y Ejecución del Plan de Monitoreo</i> | 198 |
| 1.8.4. | <i>Construcción de la Línea Base</i> | 207 |
| 1.8.5. | <i>Estimación de la vulnerabilidad, amenaza y Riesgos</i> | 250 |
| 1.9. | ESTADO DE CALIDAD HIDROBIOLÓGICA DEL AGUA..... | 257 |
| 1.9.1. | <i>Diseño del Plan de Monitoreo Hidrobiológico</i> | 258 |
| 1.9.2. | <i>Análisis de calidad por Perifiton</i> | 273 |
| 1.9.3. | <i>Análisis de calidad por Macroinvertebrados Acuáticos</i> | 288 |
| 1.9.4. | <i>Análisis de calidad por Ictiofauna</i> | 305 |
| 1.10. | SÍNTESIS DE PROBLEMÁTICAS Y CONFLICTOS DERIVADOS DEL USO DEL RECURSO HÍDRICO..... | 331 |
| 1.10.1. | <i>Problemática del recurso hídrico río Roble y quebrada Portachuelo municipio de Filandia..</i> | 331 |
| 1.10.2. | <i>Problemática río Roble y quebrada Cajones en el municipio de Circasia</i> | 333 |
| 1.10.3. | <i>Problemática en el río Roble en el municipio de Montenegro</i> | 335 |
| 1.10.4. | <i>Problemática en el río Roble en el municipio de Quimbaya</i> | 338 |
| 2. | FASE: IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES | 340 |
| 2.1. | PERSPECTIVA DE ACTORES SOBRE USOS PROSPECTIVOS DEL AGUA..... | 341 |
| 2.1.1. | <i>Enfoque participativo</i> | 341 |
| 2.1.1.2. | <i>MOMENTOS METODOLÓGICOS</i> | 343 |
| 2.1.2. | <i>Usos potenciales identificados por los actores</i> | 344 |
| 2.2. | MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SIMULACIÓN DE ESCENARIOS..... | 352 |
| 2.2.1. | <i>Información Hidrológica para su ingreso al modelo de calidad del agua</i> | 352 |
| 2.2.2. | <i>Componente Hidráulico para la modelación de la calidad del agua</i> | 352 |
| 2.3. | FORMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN..... | 365 |
| 2.3.1. | <i>Proyección de cargas contaminantes</i> | 367 |
| 2.3.2. | <i>Resultados de la simulación de Escenarios</i> | 371 |
| 2.4. | CLASIFICACIÓN DEL CUERPO DE AGUA Y USOS POTENCIALES..... | 401 |
| 2.4.1. | <i>Clasificación en función de los vertimientos</i> | 401 |
| 2.4.2. | <i>Identificación De Los Usos Potenciales Del Recurso</i> | 405 |
| 2.5. | REVISIÓN Y AJUSTE DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 407 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 2.5.1. | <i>Objetivos De Calidad Del Agua Para El Cauce Principal Del Río Roble</i> | 408 |
| 2.5.2. | <i>Objetivos de Calidad para LOS TRAMOS EN la quebrada cajones</i> | 410 |
| 2.5.3. | <i>Objetivos de Calidad para la quebrada PORTACHUELO</i> | 412 |
| 2.6. | ZONAS DE PROHIBICIÓN DE USOS ESPECÍFICOS | 413 |
| 2.6.1. | <i>Uso Recreativo por contacto primario:</i> | 413 |
| 2.6.2. | <i>Uso Recreativo por contacto secundario:</i> | 414 |
| 2.7. | ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE RIESGOS ASOCIADOS A REDUCCIÓN DE LA OFERTA Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO | 414 |
| 2.7.1. | <i>Vulnerabilidad</i> | 414 |
| 2.7.2. | <i>Amenaza</i> | 417 |
| 2.7.3. | <i>Riesgo</i> | 420 |
| 3. | FASE: ELABORACIÓN DEL PLAN | 422 |
| 3.1. | ARTICULACIÓN CON EL POMCA DEL RÍO LA VIEJA | 422 |
| 3.2. | ARTICULACIÓN CON OTROS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN | 423 |
| 3.3. | PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL RECURSO HÍDRICO | 424 |
| 3.3.1. | <i>Seguimiento y monitoreo hidrometeorológico</i> | 424 |
| 3.3.2. | <i>Seguimiento y monitoreo fisicoquímico y microbiológico en aguas superficiales</i> | 428 |
| 3.3.3. | <i>Seguimiento y monitoreo de aguas subterráneas</i> | 433 |
| 3.3.4. | <i>Seguimiento y monitoreo hidrobiológico</i> | 434 |
| 3.3.5. | <i>Diseño e implementación de un sistema de parcelas permanentes de monitoreo de vegetación</i> | 435 |
| 3.4. | PROGRAMAS, PROYECTOS Y ACTIVIDADES PARA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO | 436 |
| 3.4.1. | <i>Programas y proyectos propuestos para el PORH del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones</i> | 436 |
| 4. | REFERENCIAS | 447 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| TABLA 1. CODIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO..... | 26 |
| TABLA 2. MORFOMETRÍA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE (CRQ, 2017). | 37 |
| TABLA 3. CAUDAL, OFERTA Y RENDIMIENTO PROMEDIO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE SEGÚN EL PLAN DE MANEJO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO ROBLE (CRQ, 2011). | 38 |
| TABLA 4. CAUDALES REPORTADOS PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE EN EL AÑO 2010 (CRQ, 2011). | 38 |
| TABLA 5. RENDIMIENTO HÍDRICO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE (CRQ, 2017). | 39 |
| TABLA 6. CAUDAL MEDIO DE LARGO PLAZO PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO ROBLE Y SUS MICROCUENCAS ABASTecedorAS SEGÚN EL POMCA DEL RÍO LA VIEJA (CRQ, 2018) | 41 |
| TABLA 7. CAUDALES MEDIOS MENSUALES Y RENDIMIENTO HÍDRICO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE Y SUS PRINCIPALES MICROCUENCAS ABASTecedorAS (CRQ, 2018) | 42 |
| TABLA 8. CAUDALES MÍNIMOS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE Y SUS MICROCUENCAS ABASTecedorAS (CRQ, 2018)..... | 42 |
| TABLA 9. CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE Y SUS MICROCUENCAS ABASTecedorAS (CRQ, 2018)..... | 43 |
| TABLA 10. ÍNDICE DE ESCASEZ PARA LA CORRIENTE PRINCIPAL DEL RÍO ROBLE (CRQ, 2011) | 47 |
| TABLA 11 DEMANDA HÍDRICA MENSUAL SECTORIAL Y TOTAL EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE (CRQ, 2017) | 48 |
| TABLA 12. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE DEMANDA HÍDRICA POR TIPO DE USO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE (CRQ, 2015; 2017) | 49 |
| TABLA 13. FUENTES HÍDRICAS IMPACTADAS POR VERTIMIENTO DE AGUAS SERVIDAS URBANAS DENTRO DE LA UNIDAD LHIDROGRÁFICA DEL RIO ROBLE (CRQ, 2015) | 49 |
| TABLA 14. CALIDAD DEL AGUA EN EL CAUCE PRINCIPAL DEL RIO ROBLE EN EL PERIODO 2011 A 2015 (CRQ, 2015) | 50 |
| TABLA 15. ICA EN PUNTOS DE MONITOREO EN EL RÍO ROBLE Y TRIBUTARIOS (CRQ, 2017)..... | 51 |
| TABLA 16. OBJETIVOS DE CALIDAD RIO ROBLE SEGÚN RESOLUCIÓN 1035 DE 2008 (CRQ, 2008) | 52 |
| TABLA 17. ACTORES IDENTIFICADOS COMO RELEVANTES PARA PARTICIPAR EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO | 54 |
| TABLA 18. CLASIFICACIÓN DE ACTORES PARTICIPANTES EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE | 55 |
| TABLA 19. FUNCIONES DE ACTORES DEL SECTOR PÚBLICO..... | 55 |
| TABLA 20. FUNCIONES DE ACTORES DEL SECTOR PRIVADO | 56 |
| TABLA 21. FUNCIONES DE ACTORES DE ORGANIZACIONES SIN ÁNIMO DE LUCRO | 56 |
| TABLA 22. FUNCIONES DE ACTORES DE ORGANIZACIONES SOCIALES..... | 56 |
| TABLA 23. NÚMERO DE ACTORES CONVOCADOS Y QUE ASISTIERON A LOS TALLERES DE DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES..... | 59 |
| TABLA 24. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE FILANDIA EN CUANTO A LA CANTIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA PORTACHUELO | 61 |

TABLA 25. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE FILANDIA EN CUANTO A LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA PORTACHUELO 62

TABLA 26. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE FILANDIA EN CUANTO A LA OPORTUNIDAD DE ACCESO AL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA PORTACHUELO..... 62

TABLA 27. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE FILANDIA EN CUANTO A LA CONTINUIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA PORTACHUELO..... 63

TABLA 28. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE FILANDIA EN CUANTO AL COMPORTAMIENTO SOCIAL FRENTE AL RÍO ROBLE Y QUEBRADA PORTACHUELO 63

TABLA 29. EXPRESIONES MANIFESTADAS POR LOS ACTORES DEL MUNICIPIO DE FILANDIA PARA IDENTIFICAR ÁREAS CRÍTICAS EN RELACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO RÍO ROBLE Y QUEBRADA PORTACHUELO..... 64

TABLA 30. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE CIRCASIA EN CUANTO A LA CANTIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA CAJONES ... 65

TABLA 31. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE CIRCASIA EN CUANTO A LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA CAJONES..... 65

TABLA 32. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE CIRCASIA EN CUANTO A LA OPORTUNIDAD DE ACCESO AL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA CAJONES 66

TABLA 33. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE CIRCASIA EN CUANTO A LA CONTINUIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE Y QUEBRADA CAJONES 66

TABLA 34. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE CIRCASIA EN CUANTO AL COMPORTAMIENTO SOCIAL FRENTE AL RÍO ROBLE Y QUEBRADA CAJONES 67

TABLA 35. EXPRESIONES MANIFESTADAS POR LOS ACTORES DEL MUNICIPIO DE CIRCASIA PARA IDENTIFICAR ÁREAS CRÍTICAS EN RELACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO RÍO ROBLE Y QUEBRADA CAJONES. 67

TABLA 36. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE MONTENEGRO EN CUANTO A LA CANTIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE 68

TABLA 37. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE MONTENEGRO EN CUANTO A LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE..... 69

TABLA 38. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE MONTENEGRO EN CUANTO A LA OPORTUNIDAD DE ACCESO AL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE 69

TABLA 39. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE MONTENEGRO EN CUANTO A LA CONTINUIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE 70

TABLA 40. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE MONTENEGRO EN CUANTO AL COMPORTAMIENTO SOCIAL FRENTE AL RÍO ROBLE 70

TABLA 41. EXPRESIONES MANIFESTADAS POR LOS ACTORES DEL MUNICIPIO DE MONTENEGRO PARA IDENTIFICAR ÁREAS CRÍTICAS EN RELACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO RÍO ROBLE..... 71

TABLA 42. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE QUIMBAYA EN CUANTO A LA CANTIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE 72

TABLA 43. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE QUIMBAYA EN CUANTO A LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE 72

TABLA 44. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE QUIMBAYA EN CUANTO A LA OPORTUNIDAD DE ACCESO AL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE 72

TABLA 45. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE QUIMBAYA EN CUANTO A LA CONTINUIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE.. 72

TABLA 46. EXPRESIONES RELACIONADAS CON PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES, MANIFESTADAS POR LOS ACTORES PARTICIPANTES EN EL MUNICIPIO DE QUIMBAYA EN CUANTO AL COMPORTAMIENTO SOCIAL FRENTE AL RÍO ROBLE 73

TABLA 47. EXPRESIONES MANIFESTADAS POR LOS ACTORES DEL MUNICIPIO DE QUIMBAYA PARA IDENTIFICAR ÁREAS CRÍTICAS EN RELACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO RÍO ROBLE 73

TABLA 48. NIVEL DE INTERÉS POR TIPO DE ACTOR EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO 76

TABLA 49. CONFLICTOS IDENTIFICADOS POR LOS ACTORES EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS 79

TABLA 50. CAPTACIONES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ROBLE..... 84

TABLA 51. CAPTACIÓN DEL MUNICIPIO DE CIRCASIA. 87

TABLA 52. CAPTACIÓN DEL MUNICIPIO DE FILANDIA. 87

TABLA 53. CAPTACIÓN DEL MUNICIPIO DE MONTENEGRO..... 88

TABLA 54. VERTIMIENTOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ROBLE. 89

TABLA 55. DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE VERTIMIENTO POR UNIDADES MÍNIMAS DE ANÁLISIS- UMA..... 89

TABLA 56. USOS ACTUALES DEL AGUA EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO 94

TABLA 57. INFORMACIÓN BÁSICA DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS CON REGISTROS HISTÓRICOS EN LA REGIÓN DE UBICACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE 96

TABLA 58. HIPÓTESIS DE LA PRUEBA MANN-KENDALL MODIFICADA POR HAMMED (2008)..... 104

TABLA 59. RESULTADO DE LA PRUEBA DE TENDENCIA MANN-KENDALL PARA LA PRECIPITACIÓN MENSUAL 104

TABLA 60. RESULTADO DE LA PRUEBA DE TENDENCIA MANN-KENDALL PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA MENSUAL 106

TABLA 61. RESULTADO DE LA PRUEBA DE TENDENCIA MANN-KENDALL PARA LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA MENSUAL 108

TABLA 62. PRINCIPALES MODELOS HIDROLÓGICOS PARA SIMULAR EL PROCESO LLUVIA-ESCORRENTÍA A ESCALA DE CUENCA 115

TABLA 63. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS 117

TABLA 64. ÍNDICES DE EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO HIDROLÓGICO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE 118

TABLA 65. TENDENCIA MANN-KENDALL PARA EL CAUDAL MEDIO MENSUAL EN LOS SIETE TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO 120

TABLA 66. OBJETIVO AMBIENTAL Y SERVICIO ECOSISTÉMICO PRIORIZADO PARA CADA TRAMO 130

TABLA 67. ÍNDICES HIDROLÓGICOS CARACTERÍSTICOS DEL RÉGIMEN DE CAUDALES CON RELEVANCIA ECOLÓGICA 131

TABLA 68. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DEL TIEMPO EN EL QUE SE IGUALA O EXCEDE EL CAUDAL QT-Q AL IMPLEMENTAR LA REGLA DE APROVECHAMIENTO DE CAUDALES EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO 135

TABLA 69. VARIACIÓN DEL PERIODO DE RETORNO EN AÑOS DEL CAUDAL A BANCA LLENA AL IMPLEMENTAR LA REGLA DE APROVECHAMIENTO MÁXIMO DE CAUDALES EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO..... 136

TABLA 70. CAUDAL MEDIO MENSUAL DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL PARA LAS TRES CONDICIONES HIDROLÓGICAS 138

TABLA 71. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA 144

TABLA 72. POBLACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE CIRCASIA, FILANDIA, MONTENEGRO Y QUIMBAYA 150

| | |
|---|-----|
| TABLA 73. DEMANDAS HÍDRICAS ACTUALES DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA URBANA DE CADA MUNICIPIO, SIN POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO I) | 154 |
| TABLA 74. DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA URBANA DE CADA MUNICIPIO, SIN POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO I) | 155 |
| TABLA 75. DEMANDAS HÍDRICAS ACTUALES DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA RURAL DE CADA MUNICIPIO, SIN POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO II) | 155 |
| TABLA 76. DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA RURAL DE CADA MUNICIPIO, SIN POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO II) | 155 |
| TABLA 77.. DEMANDAS HÍDRICAS ACTUALES DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA URBANA DE CADA MUNICIPIO, CON POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO III)..... | 155 |
| TABLA 78.. DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA URBANA DE CADA MUNICIPIO, CON POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO III)..... | 156 |
| TABLA 79. DEMANDAS HÍDRICAS ACTUALES DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA RURAL DE CADA MUNICIPIO, CON POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO IV) | 156 |
| TABLA 80. DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS DE USO DOMÉSTICO PARA LA ZONA RURAL DE CADA MUNICIPIO, CON POBLACIÓN FLOTANTE (ESCENARIO IV) | 156 |
| TABLA 81. DEMANDA HÍDRICA TOTAL PARA USO DOMÉSTICO DE CADA UNA DE LAS CABECERAS MUNICIPALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE DEL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO, SIN CONSIDERAR LA POBLACIÓN FLOTANTE..... | 157 |
| TABLA 82. DEMANDA HÍDRICA TOTAL PARA USO DOMÉSTICO DE LOS CENTROS RURALES POR MUNICIPIO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE, SIN CONSIDERAR LA POBLACIÓN FLOTANTE | 158 |
| TABLA 83. DEMANDA HÍDRICA TOTAL PARA USO DOMÉSTICO DE CADA UNA DE LAS CABECERAS MUNICIPALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE, CONSIDERANDO LA POBLACIÓN FLOTANTE | 159 |
| TABLA 84. DEMANDA HÍDRICA TOTAL PARA USO DOMÉSTICO DE LOS CENTROS RURALES POR MUNICIPIO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE, CONSIDERANDO LA POBLACIÓN FLOTANTE | 160 |
| TABLA 85. MÓDULOS DE CONSUMO POR ESPECIE. | 161 |
| TABLA 86. DEMANDA PECUARIA POR MUNICIPIO (2019-2030). | 161 |
| TABLA 87. DEMANDA HÍDRICA HISTÓRICA DEL SECTOR MANUFACTURERO EN LOS MUNICIPIOS DE CIRCASIA Y MONTENEGRO. | 164 |
| TABLA 88. DEMANDA INDUSTRIAL PARA LOS MUNICIPIOS DE CIRCASIA Y MONTENEGRO (2019-2030) | 164 |
| TABLA 89. COEFICIENTES DE CULTIVO. | 166 |
| TABLA 90. DEMANDA AGRÍCOLA MENSUAL PARA LOS MUNICIPIOS DE CIRCASIA, FILANDIA Y MONTENEGRO. | 167 |
| TABLA 91. MÓDULOS DE CONSUMO DE ESPECIES PISCÍCOLAS..... | 169 |
| TABLA 92. CENSO PISCÍCOLA 2017. | 169 |
| TABLA 93. DEMANDA PISCÍCOLA PARA LOS MUNICIPIOS DE CIRCASIA, FILANDIA Y MONTENEGRO (2019-2030) | 169 |
| TABLA 94. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE USO DEL AGUA | 172 |
| TABLA 95. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO | 177 |
| TABLA 96. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA | 182 |
| TABLA 97. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA | 182 |
| TABLA 98. CATEGORÍAS DE RIESGO DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA..... | 182 |
| TABLA 99. UNIDADES MÍNIMAS O TRAMOS DE ANÁLISIS | 189 |
| TABLA 100. TRAMOS ESTABLECIDOS PARA LA DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE CALIDAD..... | 190 |

| | |
|---|-----|
| TABLA 101 DETERMINANTES DE CALIDAD DEL AGUA MONITOREADOS | 196 |
| TABLA 102. PUNTOS DE MONITOREO. | 206 |
| TABLA 103 USOS DEFINIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015..... | 207 |
| TABLA 104 USOS CONCESIONADOS ACTUALES PARA LAS UNIDADES MÍNIMAS DE ANÁLISIS..... | 208 |
| TABLA 105. AGRUPACIÓN DE ZONAS DE MONITOREO. | 210 |
| TABLA 106. VALORES DE REFERENCIA PARA MONITOREOS HISTÓRICOS. | 210 |
| TABLA 107 RESUMEN DE CONFLICTOS USO-CALIDAD SEGÚN EL ARTÍCULO 2.2.3.3.2.1 DEL DECRETO 1076 DE 2015..... | 228 |
| TABLA 108. INFORMACIÓN DEL MONITOREO. | 229 |
| TABLA 109. RESULTADOS DE ANÁLISIS IN SITU..... | 231 |
| TABLA 110. RESULTADOS AFORO Y CAUDAL | 232 |
| TABLA 111. RESULTADOS DE ANÁLISIS INMEDIATOS | 233 |
| TABLA 112. RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS..... | 234 |
| TABLA 113. RESULTADO DE ANÁLISIS IONES Y METALES..... | 235 |
| TABLA 114 VARIABLES Y PESOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ICA A NIVEL REGIONAL. FUENTE IDEAM (2013)..... | 237 |
| TABLA 115. DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DEL ÁMBITO NUMÉRICO DEL ICA. FUENTE IDEAM (2010) | 242 |
| TABLA 116. CÁLCULO DEL ICA PARA EL RÍO ROBLE..... | 245 |
| TABLA 117. CÁLCULO DEL ICA PARA LA QUEBRADA CAJONES..... | 247 |
| TABLA 118. CÁLCULO DEL ICA PARA LA QUEBRADA PORTACHUELO..... | 248 |
| TABLA 119. CÁLCULO ICA AFLUENTES DE LA QUEBRADA PORTACHUELO | 250 |
| TABLA 120 CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO | 254 |
| TABLA 121 ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR DISPONIBILIDAD EN EL RÍO ROBLE..... | 255 |
| TABLA 122 ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR DISPONIBILIDAD EN LA QUEBRADA CAJONES..... | 255 |
| TABLA 123 ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR DISPONIBILIDAD EN LA QUEBRADA PORTACHUELO | 256 |
| TABLA 124. ESTACIONES DE MUESTREO ESTABLECIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO ROBLE, DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO. | 263 |
| TABLA 125. VALORES E INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO. | 266 |
| TABLA 126. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS, EXPRESADOS EN DENSIDAD (IND/MM ²). | 275 |
| TABLA 127. VALORES DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 285 |
| TABLA 128. COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 290 |
| TABLA 129. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 295 |
| TABLA 130. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL (BMWP/COL) DE LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 301 |
| TABLA 131. PORCENTAJES GRAVIMÉTRICO Y DE FRECUENCIA E ÍNDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA (IIR) DE LOS ÍTEMS ALIMENTICIOS DE <i>A. GRIXALVII</i> , EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 322 |
| TABLA 132. PORCENTAJES GRAVIMÉTRICO Y DE FRECUENCIA E ÍNDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA (IIR) DE LOS ÍTEMS ALIMENTICIOS DE <i>B. HENNI</i> , EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 323 |
| TABLA 133. PORCENTAJES GRAVIMÉTRICO Y DE FRECUENCIA E ÍNDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA (IIR) DE LOS ÍTEMS ALIMENTICIOS DE <i>C. BOQUILLAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 325 |
| TABLA 134. PORCENTAJES GRAVIMÉTRICO Y DE FRECUENCIA E ÍNDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA (IIR) DE LOS ÍTEMS ALIMENTICIOS DE <i>H. PALOMAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 326 |

| | |
|---|-----|
| TABLA 135. PORCENTAJES GRAVIMÉTRICO Y DE FRECUENCIA E ÍNDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA (IIR) DE LOS ÍTEMS ALIMENTICIOS DE <i>T. CHAPMANI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 328 |
| TABLA 137. ÁREAS O SECTORES CRÍTICOS EN LA JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE FILANDIA. | 333 |
| TABLA 2. ÁREAS O SECTORES CRÍTICOS EN LA JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE CIRCASIA. | 335 |
| TABLA 138. ÁREAS O SECTORES CRÍTICOS EN LA JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE MONTENEGRO..... | 338 |
| TABLA 4. ÁREAS O SECTORES CRÍTICOS EN LA JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE QUIMBAYA. | 339 |
| TABLA 137. ACTORES CONVOCADOS Y PARTICIPANTES EN EL TALLER DE USOS POTENCIALES DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ROBLE | 342 |
| TABLA 138. DESCRIPCIÓN USOS Y ACCIONES POTENCIALES EN EL TRAMO 1..... | 346 |
| TABLA 139. DESCRIPCIÓN USOS Y ACCIONES POTENCIALES EN EL TRAMO 2..... | 346 |
| TABLA 140 DESCRIPCIÓN USOS POTENCIALES TRAMO 3. TALLER..... | 347 |
| TABLA 141. DESCRIPCIÓN USOS POTENCIALES TRAMO 4. TALLER..... | 347 |
| TABLA 142. DESCRIPCIÓN USOS POTENCIALES TRAMO 5. TALLER..... | 348 |
| TABLA 143. DESCRIPCIÓN USOS POTENCIALES TRAMO 6. TALLER..... | 349 |
| TABLA 144. DESCRIPCIÓN USOS POTENCIALES TRAMO 7. TALLER..... | 350 |
| TABLA 145 ABCISADO DEL RÍO ROBLE | 354 |
| TABLA 146 RÍO ROBLE. COEFICIENTES DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN TIPO LEOPOLD–MADDOCK PARA EL SECTOR ESTUDIADO. | 355 |
| TABLA 147 ABCISADO DE LA QUEBRADA CAJONES..... | 359 |
| TABLA 148 QUEBRADA CAJONES ÉPOCA SECA. CAUDALES USADOS PARA LA CALIBRACIÓN Y PARA LA SIMULACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO..... | 359 |
| TABLA 149 QUEBRADA CAJONES TEMPORADA SECA. COEFICIENTES DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN TIPO LEOPOLD–MADDOCK PARA EL SECTOR ESTUDIADO..... | 360 |
| TABLA 150 ABCISADO DE LA QUEBRADA PORTACHUELO | 362 |
| TABLA 151 QUEBRADA PORTACHUELO ÉPOCA SECA. CAUDALES USADOS PARA LA CALIBRACIÓN Y PARA LA SIMULACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO..... | 363 |
| TABLA 152 QUEBRADA PORTACHUELO TEMPORADA SECA. COEFICIENTES DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN TIPO LEOPOLD–MADDOCK PARA EL SECTOR ESTUDIADO. | 363 |
| TABLA 153 COMPORTAMIENTO DE LA UBICACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LAS DESCARGAS DE ARD PARA LA CONDICIÓN BASE, MEDIANO Y LARGO PLAZO | 366 |
| TABLA 154 CAUDALES MÍNIMOS UTILIZADOS EN LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN..... | 367 |
| TABLA 155. CAPTACIONES DIRECTAS SOBRE EL RÍO ROBLE Y QUEBRADA CAJONES. | 367 |
| TABLA 156 CAUDALES ESTIMADOS PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN EL RÍO ROBLE..... | 368 |
| TABLA 157 CAUDALES ESTIMADOS PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN LA QUEBRADA CAJONES | 368 |
| TABLA 158 CAUDALES ESTIMADOS PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN LA QUEBRADA PORTACHUELO..... | 369 |
| TABLA 159 RANGOS TÍPICOS DE CONCENTRACIÓN PARA DIFERENTES DETERMINANTES REPRESENTATIVOS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS | 369 |
| TABLA 160 VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS VERTIMIENTOS. NORMA NACIONAL RESOLUCIÓN MADS 0631 DE 2015 | 370 |
| TABLA 161 VALORES DE INGRESO DE CONCENTRACIONES DE ARD EN QUAL2K..... | 370 |

| | |
|--|-----|
| TABLA 162 CATEGORÍAS DE USOS POTENCIALES DEL AGUA PARA EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 371 |
| TABLA 163 CRITERIOS DE CALIDAD PARA DIFERENTES USOS. FUENTE: ADAPTADO DE SIERRA (2011) | 372 |
| TABLA 164 LONGITUD DE MEZCLA EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 403 |
| TABLA 165. CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS 5, Y 6A EN FUNCIÓN DE LOS USOS POTENCIALES EN LA ÉPOCA SECA EN EL RÍO ROBLE | 406 |
| TABLA 166. CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS 6B, Y 7 EN FUNCIÓN DE LOS USOS POTENCIALES EN LA ÉPOCA SECA EN EL RÍO ROBLE | 406 |
| TABLA 167 CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS 3, 4A Y 4B EN FUNCIÓN DE LOS USOS POTENCIALES EN LA ÉPOCA SECA EN LA QUEBRADA CAJONES | 407 |
| TABLA 168 CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS 1, 2A Y 2B EN FUNCIÓN DE LOS USOS POTENCIALES EN LA ÉPOCA SECA EN LA QUEBRADA PORTACHUELO | 407 |
| TABLA 169 CLASIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES EN EL RÍO ROBLE | 409 |
| TABLA 170 OBJETIVOS DE CALIDAD PARA EL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO ROBLE | 409 |
| TABLA 171 CLASIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES EN LA QUEBRADA CAJONES | 411 |
| TABLA 172 OBJETIVOS DE CALIDAD PARA LA QUEBRADA CAJONES | 411 |
| TABLA 173 CLASIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES EN LA QUEBRADA PORTACHUELO | 412 |
| TABLA 174 OBJETIVOS DE CALIDAD PARA LA QUEBRADA PORTACHUELO | 413 |
| TABLA 175 DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DE LA AMENAZA A PARTIR DEL I_A | 418 |
| TABLA 176 RÍO ROBLE. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE AMENAZA I_A | 418 |
| TABLA 177 QUEBRADA CAJONES. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE AMENAZA I_A | 419 |
| TABLA 178 QUEBRADA PORTACHUELO. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE AMENAZA I_A | 419 |
| TABLA 179 CATEGORÍAS PARA LA DEFINICIÓN DEL RIESGO | 420 |
| TABLA 180 ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR DISPONIBILIDAD EN EL RÍO ROBLE | 420 |
| TABLA 181 ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR DISPONIBILIDAD EN LA QUEBRADA CAJONES | 421 |
| TABLA 182 ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR DISPONIBILIDAD EN LA QUEBRADA PORTACHUELO | 421 |
| TABLA 183. ARTICULACIÓN PROGRAMÁTICA ENTRE EL PORH Y EL POMCA DEL RÍO LA VIEJA | 423 |
| TABLA 184. ESTACIONES PROPUESTAS PARA FORTALECER EL MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 424 |
| TABLA 185. LOCALIZACIÓN ALTERNATIVA DE DOS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PROYECTADAS PARA FORTALECER EL MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 426 |
| TABLA 186. RED RECOMENDADA DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 429 |
| TABLA 187. RED MÍNIMA DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 430 |
| TABLA 188. DETERMINANTES A MEDIR POR ESTACIÓN Y TIPO DE MUESTREO | 432 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. CUERPOS DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO..... | 27 |
| FIGURA 2. UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELO (A) Y COBERTURAS DE USO (B) DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE.... | 29 |
| FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELO (A) Y COBERTURAS DE USO (B) DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE..... | 30 |
| FIGURA 4. UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELO (A) Y COBERTURAS DE USO (B) DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA PORTACHUELO..... | 32 |
| FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELO (A) Y COBERTURAS Y USO (B) DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA PORTACHUELO..... | 33 |
| FIGURA 6. UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELO (A) Y COBERTURAS DE USO (B) DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CAJONES..... | 35 |
| FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA DE LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELO (A) Y COBERTURAS Y USO (B) DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CAJONES..... | 36 |
| FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES PROMEDIO MENSUALES MULTIANUALES EN EL RÍO ROBLE (CRQ, 2015)..... | 39 |
| FIGURA 9. OFERTA HÍDRICA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE Y SUS PRINCIPALES MICROCUENCAS ABASTECEDORAS PARA LOS MUNICIPIOS DE CIRCASIA Y MONTENEGRO SEGÚN LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (CRQ, 2017)..... | 40 |
| FIGURA 10. CAUDALES AMBIENTALES PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO ROBLE Y LAS MICROCUENCAS ABASTECEDORAS A) UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE, B) RÍO ROBLE BOCATOMA CIRCASIA, C) RÍO ROBLE BOCATOMA MONTENEGRO, D) CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO PARA LAS MICROCUENCAS ABASTECEDORAS, E) CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO PARA LAS MICROCUENCAS ABASTECEDORAS, F) CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO PARA LAS MICROCUENCAS ABASTECEDORAS (CRQ, 2018)..... | 43 |
| FIGURA 11. OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO ROBLE Y LAS MICROCUENCAS ABASTECEDORAS A) CAUCE PRINCIPAL RÍO ROBLE, B) MICROCUENCAS ABASTECEDORAS (CRQ, 2018)..... | 44 |
| FIGURA 12. OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL ANUAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE REPORTADA POR ESTUDIOS ANTERIORES (CRQ, 2008, 2011, 2015, 2017, 2018)..... | 45 |
| FIGURA 13. OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE REPORTADA POR CRQ (2015), CRQ (2017) Y CRQ (2018)..... | 45 |
| FIGURA 14. PERFIL DE CAUDAL MEDIO DIARIO PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE (CRQ, 2017)..... | 46 |
| FIGURA 15. PORCENTAJES DEL CAUDAL DEMANDADO POR TIPO DE USO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE (CRQ, 2015)..... | 48 |
| FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE ACTORES PARTICIPANTES POR MUNICIPIO Y SECTOR..... | 60 |
| FIGURA 17. MESA MUNICIPAL DE DIAGNÓSTICO EN EL MUNICIPIO DE FILANDIA..... | 74 |
| FIGURA 18. MESA MUNICIPAL DE DIAGNÓSTICO EN EL MUNICIPIO DE CIRCASIA..... | 74 |
| FIGURA 19. MESA MUNICIPAL DE DIAGNÓSTICO EN EL MUNICIPIO DE MONTENEGRO..... | 75 |
| FIGURA 20. MESA MUNICIPAL DE DIAGNÓSTICO EN EL MUNICIPIO DE QUIMBAYA..... | 75 |
| FIGURA 21. SOCIALIZACIÓN Y PLENARIA DE CONFLICTOS PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES DEL RECURSO..... | 76 |
| FIGURA 22. MAPA DE PERTENENCIA DE ACTORES EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO..... | 77 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 24. CAPTACIONES POR MUNICIPIO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE..... | 85 |
| FIGURA 25. CAPTACIONES POR SUBCUENCA Y CAUDAL APROVECHADO EN CADA CUENCA DE ESTUDIO..... | 85 |
| FIGURA 26. UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS USUARIOS DE CONCESIONES DE AGUA EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LOS CUERPOS DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO | 86 |
| FIGURA 27. UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS USUARIOS DE VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LOS CUERPOS DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO | 90 |
| FIGURA 28. CAUDALES DE VERTIMIENTO REPRESENTATIVOS DE ÉPOCA HÚMEDA (IZQUIERDA) Y SECA (DERECHA) EN LA ZONA DE ESTUDIO | 92 |
| FIGURA 29. MAPA DE TRAMOS PARA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO | 93 |
| FIGURA 30. MAPA DE CLASIFICACIÓN DE LOS USOS ACTUALES DEL RECURSO HÍDRICO EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO | 94 |
| FIGURA 31. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS, CLIMATOLÓGICAS E HIDROLÓGICAS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE Y SU ÁREA CIRCUNDANTE | 95 |
| FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES DIARIOS DE PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN LA ESPAÑOLA..... | 96 |
| FIGURA 33. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN LA ESPAÑOLA..... | 97 |
| FIGURA 34. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES DIARIOS DE PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES LA PLAYA, BREMEN, CRQ Y AEROPUERTO MATECAÑA | 98 |
| FIGURA 35. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES DIARIOS DE PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES AEROPUERTO EL EDÉN, ALCALÁ, PALMASOLA Y OBANDO | 99 |
| FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN..... | 100 |
| FIGURA 37. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES DIARIOS DE TEMPERATURA MÁXIMA | 101 |
| FIGURA 38. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES DIARIOS DE TEMPERATURA MÍNIMA..... | 102 |
| FIGURA 39. DISTRIBUCIÓN DE PERCENTILES MENSUALES DE TEMPERATURA MÁXIMA (IZQUIERDA) Y MÍNIMA (DERECHA)..... | 103 |
| FIGURA 40. ANOMALÍA DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LAS ESTACIONES CRQ, LA PLAYA, AEROPUERTO MATECAÑA, BREMEN, LA ESPAÑOLA | 105 |
| FIGURA 41. ANOMALÍA DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LAS ESTACIONES PALMASOLA, OBANDO, AEROPUERTO EL EDÉN Y ALCALÁ..... | 106 |
| FIGURA 42. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL EN LAS ESTACIONES E26125060, E26135040, E26105140 Y E26125130 | 107 |
| FIGURA 43. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL EN LAS ESTACIONES E26125060, E26135040, E26105140 Y E26125130 | 107 |
| FIGURA 44. ESQUEMATIZACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO CALCULADO POR UNIDAD HIDROGRÁFICA | 108 |
| FIGURA 45. CAMPOS ESPACIALES DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTIMADOS POR EL MÉTODO DEL INVERSO DE LA DISTANCIA PONDERADA CON LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS. | 110 |
| FIGURA 46. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE..... | 111 |
| FIGURA 47. BALANCE HÍDRICO GLOBAL DE LARGO PLAZO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE | 111 |
| FIGURA 48. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MEDIA MENSUAL MULTIANUAL CALCULADA PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE | 112 |
| FIGURA 49. BALANCE HÍDRICO GLOBAL DE LARGO PLAZO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA CAJONES..... | 112 |
| FIGURA 50. MAPA DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD EN EL SUELO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE | 113 |

FIGURA 51. BALANCE HÍDRICO GLOBAL DE LARGO PLAZO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA PORTACHUELO 113

FIGURA 52. ESQUEMA CONCEPTUAL DE CELDA DEL MODELO TETIS (FRANCÉS, VÉLEZ, & VÉLEZ, 2007)..... 116

FIGURA 53. COMPARACIÓN CAUDAL MEDIO MENSUAL OBSERVADO Y SIMULADO CALCULADOS A PARTIR DE CAUDALES DIARIOS . 118

FIGURA 54. PERCENTILES DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS SIMULADOS EN LOS TRAMOS 1, 2, 3 Y 4..... 119

FIGURA 55. PERCENTILES DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS SIMULADOS EN LOS TRAMOS 5, 6 Y 7 120

FIGURA 56. ANOMALÍAS DE LOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS ESTIMADOS MEDIANTE SIMULACIÓN EN LOS SIETE TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO 121

FIGURA 57. CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIDAS EN EL TRAMO 1. SE REPRESENTA EL PERIODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN EL EJE X, Y EL CAUDAL MÁXIMO DIARIO EN EL EJE Y 122

FIGURA 58. CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIDAS EN EL TRAMO 2. SE REPRESENTA EL PERIODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN EL EJE X, Y EL CAUDAL MÁXIMO DIARIO EN EL EJE Y 122

FIGURA 59. CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIDAS EN EL TRAMO 3. SE REPRESENTA EL PERIODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN EL EJE X, Y EL CAUDAL MÁXIMO DIARIO EN EL EJE Y 123

FIGURA 60. CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIDAS EN EL TRAMO 4. SE REPRESENTA EL PERIODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN EL EJE X, Y EL CAUDAL MÁXIMO DIARIO EN EL EJE Y 123

FIGURA 61. CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIDAS EN EL TRAMO 5. SE REPRESENTA EL PERIODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN EL EJE X, Y EL CAUDAL MÁXIMO DIARIO EN EL EJE Y 124

FIGURA 62. CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIDAS EN EL TRAMO 6. SE REPRESENTA EL PERIODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN EL EJE X, Y EL CAUDAL MÁXIMO DIARIO EN EL EJE Y 124

FIGURA 63. CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIDAS EN EL TRAMO 7. SE REPRESENTA EL PERIODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN EL EJE X, Y EL CAUDAL MÁXIMO DIARIO EN EL EJE Y 125

FIGURA 64. MODELO CONCEPTUAL DE LA RELACIÓN ENTRE UN RÉGIMEN DE FLUJO NATURAL CON LOS PRINCIPIOS HIDROECOLÓGICOS EN UN ECOSISTEMA ACUÁTICO DE CORRIENTE (FUENTE: ARTHINGTON, 2012)..... 128

FIGURA 65. CAUDAL QT-Q EN FUNCIÓN DEL ÁREA DE CUENCA DRENANTE A CADA TRAMO EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES..... 132

FIGURA 66. CAUDAL A BANCA LLENA EN FUNCIÓN DEL ÁREA DRENANTE EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. 133

FIGURA 67. PORCENTAJE DE CAUDALES DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO MÁXIMO MENSUAL EN LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO 134

FIGURA 68. PORCENTAJE DE CAUDALES DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO MÁXIMO MENSUAL EN LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO..... 135

FIGURA 69. PORCENTAJE DE CAUDALES DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO MÁXIMO MENSUAL EN LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO..... 136

FIGURA 70. PORCENTAJES DE ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO NATURAL PARA CADA TRAMO POR ÍNDICE DE ALTERACIÓN 137

FIGURA 71. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES DIARIOS EN EL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL..... 139

FIGURA 72. ÍNDICE DE ARIDEZ (IA) MENSUAL PARA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. 141

FIGURA 73. ÍNDICE DE ARIDEZ (IA) MENSUAL PARA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. 142

| | |
|--|-----|
| FIGURA 74. ÍNDICE DE ARIDEZ (IA) MENSUAL PARA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES..... | 143 |
| FIGURA 75. ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA MENSUAL EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES..... | 144 |
| FIGURA 76. OFERTA HÍDRICA NATURAL EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO..... | 145 |
| FIGURA 77. OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO..... | 146 |
| FIGURA 78. OFERTA HÍDRICA NATURAL MENSUAL EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO SOBRE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. | 147 |
| FIGURA 79. OFERTA HÍDRICA NATURAL MENSUAL EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO SOBRE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. | 147 |
| FIGURA 80. OFERTA HÍDRICA NATURAL MENSUAL EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO SOBRE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. | 148 |
| FIGURA 81. OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE MENSUAL EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO SOBRE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. | 148 |
| FIGURA 82. OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE MENSUAL EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO SOBRE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. | 149 |
| FIGURA 83. OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE MENSUAL EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO SOBRE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES. | 149 |
| FIGURA 84. AJUSTE DE LOS MODELOS DE PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN FILANDIA (IZQUIERDA: CABECERA, DERECHA: RESTO) | 152 |
| FIGURA 85. AJUSTE DE LOS MODELOS DE PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN CIRCASIA (IZQUIERDA: CABECERA, DERECHA: RESTO) | 153 |
| FIGURA 86. AJUSTE DE LOS MODELOS DE PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN MONTENEGRO (IZQUIERDA: CABECERA, DERECHA: RESTO)..... | 153 |
| FIGURA 87. AJUSTE DE LOS MODELOS DE PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN QUIMBAYA (IZQUIERDA: CABECERA, DERECHA: RESTO) | 153 |
| FIGURA 88. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DOMÉSTICA TOTAL DE CADA UNA DE LAS CABECERAS MUNICIPALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE, SIN CONSIDERAR LA POBLACIÓN FLOTANTE | 157 |
| FIGURA 89. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DOMÉSTICA TOTAL DE LOS CENTROS RURALES POR MUNICIPIO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE, SIN CONSIDERAR LA POBLACIÓN FLOTANTE | 158 |
| FIGURA 90. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DOMÉSTICA TOTAL DE CADA UNA DE LAS CABECERAS MUNICIPALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE, CONSIDERANDO LA POBLACIÓN FLOTANTE | 159 |
| FIGURA 91. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DOMÉSTICA TOTAL DE LOS CENTROS RURALES POR MUNICIPIO DEL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO ROBLE, CONSIDERANDO LA POBLACIÓN FLOTANTE | 160 |
| FIGURA 92 ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA PECUARIA 2019. | 162 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 93. ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA PECUARIA 2030. | 162 |
| FIGURA 94. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA PECUARIA EN LOS MUNICIPIOS CIRCASIA, FILANDIA Y MONTENEGRO. | 163 |
| FIGURA 95. ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA INDUSTRIAL 2019. | 165 |
| FIGURA 96. ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA INDUSTRIAL 2030. | 165 |
| FIGURA 97. VARIACIÓN DEL PIB DEL SECTOR AGRÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO. | 167 |
| FIGURA 98. DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA ANUAL PARA LOS MUNICIPIOS DE CIRCASIA, FILANDIA Y MONTENEGRO. | 168 |
| FIGURA 99. ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA AGRÍCOLA (2019-2030). | 168 |
| FIGURA 100. ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA PISCÍCOLA AÑO 2019. | 170 |
| FIGURA 101. ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA PISCÍCOLA AÑO 2030. | 170 |
| FIGURA 102. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 173 |
| FIGURA 103. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 174 |
| FIGURA 104. ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 175 |
| FIGURA 105. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE USO DEL AGUA MENSUAL PARA LOS ESCENARIOS DE DEMANDA HÍDRICA DE 2025 (IZQUIERDA) Y 2029 (DERECHA) POR CONDICIÓN HIDROLÓGICA. | 176 |
| FIGURA 106. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA MENSUAL PARA LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 178 |
| FIGURA 107. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA MENSUAL PARA LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 179 |
| FIGURA 108. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA MENSUAL PARA LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 180 |
| FIGURA 109. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA MENSUAL PARA LOS ESCENARIOS DE DEMANDA HÍDRICA DE 2025(IZQUIERDA) Y 2029 (DERECHA) POR CONDICIÓN HIDROLÓGICA. | 181 |
| FIGURA 110. AMENAZA DE REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO PARA EL ESCENARIO ACTUAL 2019 DURANTE LAS TRES CONDICIONES HIDROLÓGICAS. | 183 |
| FIGURA 111. AMENAZA DE REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN LOS TRAMOS OBJETO DE ORDENAMIENTO PARA LOS ESCENARIOS 2025 Y 2029 DURANTE LAS TRES CONDICIONES HIDROLÓGICAS. | 183 |
| FIGURA 112. CATEGORÍAS DE RIESGO MENSUAL POR REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO HÚMEDO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 184 |
| FIGURA 113. CATEGORÍAS DE RIESGO MENSUAL POR REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO NEUTRO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 185 |
| FIGURA 114. CATEGORÍAS DE RIESGO MENSUAL POR REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE AÑO SECO EN LAS ÁREAS HIDROGRÁFICAS AFERENTES A CADA TRAMO OBJETO DE ORDENAMIENTO. | 186 |
| FIGURA 115. PROTOCOLO DE MODELACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA (MADS, 2018) | 191 |
| FIGURA 116. ESQUEMA CONCEPTUAL DEL RÍO ROBLE. | 193 |
| FIGURA 117. ESQUEMA CONCEPTUAL DE LA QUEBRADA PORTACHUELO. | 194 |
| FIGURA 118. ESQUEMA CONCEPTUAL DE LA QUEBRADA CAJONES. | 195 |
| FIGURA 119. TOPOLOGÍA DE LA RED DE DRENAJE DEL RÍO ROBLE. PUNTOS DE MONITOREO POMCA (2018), ERA (2017), MODELO DE CALIDAD EL AGUA (2015) Y RED DE CALIDAD CRQ (2014-2018) | 199 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 120. DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO PREVIOS. | 199 |
| FIGURA 121. TOPOLOGÍA DE LA RED DE DRENAJE DEL RÍO ROBLE. PUNTOS DE MONITOREO PARA LAS CAMPAÑAS DEL AÑO 2019 | 202 |
| FIGURA 122. DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDOS PARA LAS CAMPAÑAS DEL AÑO 2019. | 202 |
| FIGURA 123. CANTIDAD DE CAPTACIONES POR ACTIVIDAD Y CAUDAL APROVECHADO. | 208 |
| FIGURA 124. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DESARROLLADOS CON ANTERIORIDAD. | 209 |
| FIGURA 125. VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 211 |
| FIGURA 126. VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 212 |
| FIGURA 127. VARIACIÓN DE PH EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 212 |
| FIGURA 128. VARIACIÓN DE PH EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 213 |
| FIGURA 129. VARIACIÓN DE DBO5 EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 214 |
| FIGURA 130. VARIACIÓN DE DBO5 EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 214 |
| FIGURA 131. VARIACIÓN DE DQO EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 215 |
| FIGURA 132. VARIACIÓN DE DQO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 215 |
| FIGURA 133. VARIACIÓN DE COLIFORMES FECALIS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 216 |
| FIGURA 134. VARIACIÓN DE COLIFORMES FECALIS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 217 |
| FIGURA 135. VARIACIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 217 |
| FIGURA 136. VARIACIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 218 |
| FIGURA 137. VARIACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 218 |
| FIGURA 138. VARIACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 219 |
| FIGURA 139. VARIACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO ROBLE. | 219 |
| FIGURA 140. VARIACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ROBLE. | 220 |
| FIGURA 141. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE OXÍGENO DISUELTO EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 221 |
| FIGURA 142. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE DBO5 EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 222 |
| FIGURA 143. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE DQO EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 223 |
| FIGURA 144. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE COLIFORMES TOTALES EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 224 |
| FIGURA 145. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE COLIFORMES FECALIS EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 225 |
| FIGURA 146. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE PH EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 226 |
| FIGURA 147. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE SST EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 227 |
| FIGURA 148. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE GRASAS Y ACEITES EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA CAJONES Y QUEBRADA PORTACHUELO. | 228 |
| FIGURA 149. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO. | 230 |
| FIGURA 150. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO. | 231 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 151 ESPACIALIZACIÓN DEL ICA PARA LOS SITIOS DE MEDICIÓN EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES | 243 |
| FIGURA 152 ESPACIALIZACIÓN DEL SUBÍNDICE DE COLIFORMES PARA LOS SITIOS DE MEDICIÓN EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES..... | 243 |
| FIGURA 153. ESQUEMA CON LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD EN LOS TRAMOS DEFINIDOS PARA EL RÍO ROBLE | 251 |
| FIGURA 154. ESQUEMA CON LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD EN LOS TRAMOS DEFINIDOS PARA LA QUEBRADA CAJONES . | 252 |
| FIGURA 155. ESQUEMA CON LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD EN LOS TRAMOS DEFINIDOS PARA LA QUEBRADA PORTACHUELO | 253 |
| FIGURA 156 DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DE AMENAZA A PARTIR DEL ICA..... | 253 |
| FIGURA 157. RÍO ROBLE ESTACIÓN 2..... | 258 |
| FIGURA 158. RÍO ROBLE ESTACIÓN 3..... | 259 |
| FIGURA 159. RÍO ROBLE ESTACIÓN 4..... | 259 |
| FIGURA 160. RÍO ROBLE ESTACIÓN 5..... | 260 |
| FIGURA 161. QUEBRADA LAS CRUCES | 260 |
| FIGURA 162. QUEBRADA PORTACHUELO ESTACIÓN 1..... | 261 |
| FIGURA 163. QUEBRADA PORTACHUELO ESTACIÓN 2..... | 261 |
| FIGURA 164. QUEBRADA PORTACHUELO ESTACIÓN 3..... | 262 |
| FIGURA 165. QUEBRADA CAJONES ESTACIÓN 1 | 262 |
| FIGURA 166QUEBRADA CAJONES ESTACIÓN 2 | 263 |
| FIGURA 167. COLECTA Y FIJACIÓN DEL PERIFITON EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO ESTABLECIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO ROBLE | 264 |
| FIGURA 168. METODOLOGÍA DE COLECTA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LAS ESTACIONES ESTABLECIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO ROBLE..... | 267 |
| FIGURA 169. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LAS ESPECIES COLECTADAS DEL PERIFITON EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 273 |
| FIGURA 170. DENSIDAD RELATIVA DE LOS FILOS, CLASE Y ORDENES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS | 275 |
| FIGURA 171. DENSIDAD RELATIVA DE TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN EL RÍO ROBLE | 276 |
| FIGURA 172. DENSIDAD RELATIVA DE TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LAS QUEBRADAS EVALUADAS | 277 |
| FIGURA 173. DENSIDAD TOTAL DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS, EN EL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO..... | 277 |
| FIGURA 174. DENSIDAD TOTAL Y NÚMERO DE TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS, DURANTE EL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO. | 278 |
| FIGURA 175. DENSIDAD DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS, DURANTE EL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO..... | 279 |
| FIGURA 176. DENSIDAD DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA POR SUSTRATOS EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS, DURANTE EL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO. | 280 |
| FIGURA 177. DIVERSIDAD DEL PERIFITON EXPRESADO EN NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES $Q=0$, $Q=1$ Y $Q=2$ PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 280 |
| FIGURA 178. EXTRAPOLACIÓN DEL NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES $Q=0$ (A), $Q=1$ (B) Y $Q=2$ (C), EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 281 |
| FIGURA 179. ÍNDICE DE JACCARD DEL PERIFITON REGISTRADO EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 282 |

FIGURA 180. DIVERSIDAD DEL PERIFITON EXPRESADO EN NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES $Q=0$, $Q=1$ Y $Q=2$ PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS EN LOS SUSTRATOS EVALUADOS. 282

FIGURA 181. EXTRAPOLACIÓN DEL NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES $Q=0$ (A), $Q=1$ (B) Y $Q=2$ (C), EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS EN LOS SUSTRATOS EVALUADOS. 283

FIGURA 182. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN EMNM DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 284

FIGURA 183. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA DE LOS TAXONES DEL PERIFITON Y LAS VARIABLES FÍSICAS EVALUADAS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS 285

FIGURA 184. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... 289

FIGURA 185. ABUNDANCIA RELATIVA DE ÓRDENES REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... 291

FIGURA 186. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 291

FIGURA 187. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE.... 292

FIGURA 188. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES REGISTRADAS EN LAS QUEBRADAS. 293

FIGURA 189. ABUNDANCIA RELATIVA EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... 294

FIGURA 190. ABUNDANCIA POR MUESTREOS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 296

FIGURA 191. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 297

FIGURA 192. EXTRAPOLACIÓN DEL NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE. 298

FIGURA 193. EXTRAPOLACIÓN DEL NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES EN LAS QUEBRADAS EVALUADAS..... 298

FIGURA 194. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 299

FIGURA 195. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FÍSICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 300

DE ACUERDO CON LO OBTENIDO POR LA CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES EN LOS MUESTREOS REALIZADOS EN LA CUENCA DEL RÍO ROBLE Y SUS PRINCIPALES TRIBUTARIOS, LOS ESTIMADORES DE RIQUEZA ACE Y CHAO 1, LAS ESPECIES OBSERVADAS REPRESENTAN EL 66.48% Y 71.42% RESPECTIVAMENTE, DE LAS ESPECIES ESPERADAS, VALORES QUE PERMITEN ESTABLECER QUE HUBO UNA BUENA EFICACIA Y REPRESENTATIVIDAD DEL MUESTREO, A PESAR DE LAS LLUVIAS Y EL INCREMENTO EN EL CAUDAL DE LOS CUERPOS DE AGUA (FIGURA 196)..... 305

FIGURA 197. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 305

FIGURA 198. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES PRESENTES EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 306

FIGURA 199. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES PRESENTES EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO DEL RÍO ROBLE..... 307

FIGURA 200. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES PRESENTES EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO UBICADAS EN LAS QUEBRADAS DE LA CUENCA DEL RÍO ROBLE..... 308

FIGURA 201. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES PRESENTES EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS, DURANTE EL PRIMER MUESTREO..... 308

FIGURA 202. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN EL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS, DURANTE EL SEGUNDO MUESTREO..... 309

FIGURA 203. DIVERSIDAD EXPRESADA EN NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES $Q=0$, $Q=1$ Y $Q=2$ PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. 310

| | |
|---|-----|
| FIGURA 204. EXTRAPOLACIÓN DEL NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES Q= 0 (A), Q= 1 (B) Y Q= 2 (C), EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 311 |
| FIGURA 205. DIVERSIDAD EXPRESADA EN NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES Q= 0, Q= 1 Y Q= 2 PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE..... | 312 |
| FIGURA 206. EXTRAPOLACIÓN DEL NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES Q= 0 (A), Q= 1 (B) Y Q= 2 (C), EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE..... | 312 |
| FIGURA 207. DIVERSIDAD EXPRESADA EN NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES Q= 0, Q= 1 Y Q= 2 PARA LAS ESTACIONES LAS QUEBRADAS..... | 313 |
| FIGURA 208. EXTRAPOLACIÓN DEL NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES DE LOS ÓRDENES Q= 0 (A), Q= 1 (B) Y Q= 2 (C), EN LAS ESTACIONES DE LAS QUEBRADAS..... | 314 |
| FIGURA 209. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN EMNM PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 315 |
| FIGURA 210. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA DE LAS ESPECIES Y LAS VARIABLES FÍSICAS EVALUADAS EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 316 |
| FIGURA 211. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>A. GRIMALVII</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 317 |
| FIGURA 212. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>A. CHAPMANI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 317 |
| FIGURA 213. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>B. HENNI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 318 |
| FIGURA 214. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>C. AUROCAUDATUS</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 318 |
| FIGURA 215. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>C. BOQUILLAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 319 |
| FIGURA 216. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>CHAETOSTOMA</i> SP. EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 319 |
| FIGURA 217. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>C. BREVIPINNIS</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 320 |
| FIGURA 218. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>H. PALOMAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 320 |
| FIGURA 219. DISTRIBUCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE <i>T. CHAPMANI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 321 |
| FIGURA 220. ESTADOS DE MADUREZ SEXUAL Y VALOR DEL ÍNDICE GONADOSOMÁTICO DE <i>A. GRIMALVII</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 322 |
| FIGURA 221. ESPECTRO TRÓFICO DE <i>A. GRIMALVII</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 322 |
| FIGURA 222. ESTADOS DE MADUREZ SEXUAL Y VALOR DEL ÍNDICE GONADOSOMÁTICO DE <i>B. HENNI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 323 |
| FIGURA 223. ESPECTRO TRÓFICO DE <i>B. HENNI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 324 |
| FIGURA 224. ESTADOS DE MADUREZ SEXUAL Y VALOR DEL ÍNDICE GONADOSOMÁTICO DE <i>C. BOQUILLAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 324 |
| FIGURA 225. ESPECTRO TRÓFICO DE <i>C. BOQUILLAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 325 |
| FIGURA 226. ESTADOS DE MADUREZ SEXUAL Y VALOR DEL ÍNDICE GONADOSOMÁTICO DE <i>H. PALOMAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 326 |
| FIGURA 227. ESPECTRO TRÓFICO DE <i>H. PALOMAE</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 327 |
| FIGURA 228. ESTADOS DE MADUREZ SEXUAL Y VALOR DEL ÍNDICE GONADOSOMÁTICO DE <i>T. CHAPMANI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS. | 327 |
| FIGURA 229. ESPECTRO TRÓFICO DE <i>T. CHAPMANI</i> EN LAS ESTACIONES DEL RÍO ROBLE Y SUS TRIBUTARIOS..... | 328 |
| FIGURA 230. PROBLEMÁTICAS IDENTIFICADAS MEDIANTE LA PARTICIPACIÓN COMUNITARIA..... | 339 |
| FIGURA 230 DESARROLLO DE LA FASE DE IDENTIFICACIÓN DE USOS POTENCIALES | 340 |

FIGURA 231. PARTICIPACIÓN DE ACTORES EN LOS TALLERES DE ANÁLISIS DE USOS POTENCIALES DEL RECURSO HÍDRICO EN RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES..... 342

FIGURA 232. PARTICIPACIÓN DE ACTORES POR MUNICIPIO. TALLER USOS POTENCIALES RECURSO HÍDRICO EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES..... 343

FIGURA 233. MAPA ESCENARIO DESEADO, CARTOGRAFÍA SOCIAL. DEFINICIÓN DE USOS POTENCIALES DEL RECURSO HÍDRICO RÍO ROBLE 351

FIGURA 234 ESQUEMA CONCEPTUAL SOBRE LA UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE AFORO DE CAUDALES. 354

FIGURA 235 AJUSTE DEL NIVEL OBSERVADO EN EL RÍO ROBLE. ÉPOCA SECA..... 356

FIGURA 236 CURVAS DE CALIBRACIÓN VELOCIDAD VS CAUDAL Y PROFUNDIDAD VS CAUDAL RÍO ROBLE. ÉPOCA SECA 357

FIGURA 237 ESQUEMA CONCEPTUAL SOBRE LA UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE AFORO DE CAUDALES EN LA QUEBRADA CAJONES.. 358

FIGURA 238 AJUSTE DEL NIVEL OBSERVADO EN LA QUEBRADA CAJONES. ÉPOCA SECA..... 360

FIGURA 239 CURVAS DE CALIBRACIÓN VELOCIDAD VS CAUDAL Y PROFUNDIDAD VS CAUDAL QUEBRADA CAJONES. ÉPOCA SECA 361

FIGURA 240 ESQUEMA CONCEPTUAL SOBRE LA UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE AFORO DE CAUDALES EN LA QUEBRADA PORTACHUELO 362

FIGURA 241 AJUSTE DEL NIVEL OBSERVADO EN LA QUEBRADA PORTACHUELO. ÉPOCA SECA 364

FIGURA 242 CURVAS DE CALIBRACIÓN VELOCIDAD VS CAUDAL Y PROFUNDIDAD VS CAUDAL QUEBRADA PORTACHUELO. ÉPOCA SECA 365

FIGURA 243. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LOS SST EN EL RÍO ROBLE..... 374

FIGURA 244. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA DBO₅ EN EL RÍO ROBLE 375

FIGURA 245. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL OXÍGENO DISUELTO EN EL RÍO ROBLE..... 376

FIGURA 246. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL PH EN EL RÍO ROBLE 377

FIGURA 247. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA COLIFORMES TOTALES EN EL RÍO ROBLE 378

FIGURA 248. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL NITRÓGENO AMONICAL EN EL RÍO ROBLE..... 380

FIGURA 249. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL NITRITO Y NITRATO EN EL RÍO ROBLE 381

FIGURA 250. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL FOSFORO TOTAL EN EL RÍO ROBLE 382

FIGURA 251. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LOS SST EN LA QUEBRADA CAJONES..... 383

FIGURA 252. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LA DBO₅ EN LA QUEBRADA CAJONES..... 384

FIGURA 253. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL OXÍGENO DISUELTO EN LA QUEBRADA CAJONES 386

FIGURA 254. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL PH EN LA QUEBRADA CAJONES 387

FIGURA 255. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LOS COLIFORMES TOTALES EN LA QUEBRADA CAJONES 388

FIGURA 256. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES EL NITRÓGENO AMONICAL EN LA QUEBRADA CAJONES..... 389

FIGURA 257. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DEL NITRITO Y NITRATO EN LA QUEBRADA CAJONES 390

FIGURA 258. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DEL FÓSFORO TOTAL EN LA QUEBRADA CAJONES 391

FIGURA 259. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LOS SST EN LA QUEBRADA PORTACHUELO..... 393

FIGURA 260. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LA DBO₅ EN LA QUEBRADA PORTACHUELO..... 394

FIGURA 261. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL OXÍGENO DISUELTO EN LA QUEBRADA PORTACHUELO 395

FIGURA 262. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA EL PH EN LA QUEBRADA PORTACHUELO 396

FIGURA 263. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LOS COLIFORMES TOTALES EN LA QUEBRADA PORTACHUELO 397

FIGURA 264. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES EL NITRÓGENO AMONICAL EN LA QUEBRADA PORTACHUELO..... 399

FIGURA 265. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DEL NITRITO Y NITRATO EN LA QUEBRADA PORTACHUELO 400

FIGURA 266. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DEL FÓSFORO TOTAL EN LA QUEBRADA PORTACHUELO 401

FIGURA 267. LONGITUD DE MEZCLA EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES EN TEMPORADA CLIMÁTICA SECA. 403

FIGURA 268. LONGITUD DE MEZCLA EN EL RÍO ROBLE, QUEBRADA PORTACHUELO Y QUEBRADA CAJONES EN TEMPORADA CLIMÁTICA HÚMEDA. 404

FIGURA 269. ESQUEMA CON LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD EN LOS TRAMOS DEFINIDOS PARA EL RÍO ROBLE 415

FIGURA 270. ESQUEMA CON LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD EN LOS TRAMOS DEFINIDOS PARA LA QUEBRADA CAJONES . 416

FIGURA 271. ESQUEMA CON LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD EN LOS TRAMOS DEFINIDOS PARA LA QUEBRADA PORTACHUELO 417

FIGURA 272. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES PROYECTADAS PARA SER INSTALADAS Y PUESTAS EN OPERACIÓN EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS (VERDE), Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS (ROJO). 425

FIGURA 273 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICA PROYECTADAS (OPCIÓN 2) PARA SER INSTALADAS Y PUESTAS EN OPERACIÓN EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO ROBLE. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS (VERDE), Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS (ROJO). 426

Presentación

En el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico cuyo objetivo es “Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico mediante una gestión y uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente”, las Autoridades Ambientales Regionales deben elaborar el ordenamiento de los recursos hídricos de sistemas hídricos priorizados como estratégicos para el desarrollo ambiental y territorial de su área de jurisdicción.

En tal sentido, la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) priorizó los cauces principales del río Roble, la quebrada Portachuelo y la quebrada Cajones para realizar el ordenamiento de sus aguas. De acuerdo con el Artículo 2.2.3.3.1.8 del Decreto 1076 de 2015, el Proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico, comprende las fases de declaratoria, diagnóstico, identificación de los usos potenciales y elaboración del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH. En la fase de diagnóstico se caracteriza la situación ambiental actual del cuerpo de agua, involucrando variables físicas, químicas y bióticas y aspectos antrópicos que influyen en la calidad y cantidad del recurso.

En el presente documento se presentan los resultados de las fases Diagnóstico, Identificación de Usos Potenciales y Elaboración del PORH. Se presenta la revisión, organización, clasificación y análisis de la información relacionada con la oferta, la demanda y la calidad del agua y los problemas sociales derivados del uso del recurso, como también de sus usos potenciales. Se incluye la consolidación del análisis de la información de demandas de agua en las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, los indicadores de cantidad y calidad del agua en los tramos objeto de ordenamiento, a partir de los resultados de medición correspondientes a dos campañas de monitoreo de calidad fisicoquímica realizadas en época seca y húmeda, así como los resultados consolidados de monitoreos históricos sobre los cuerpos de agua estudiados. El desarrollo de este proyecto integra el conocimiento técnico del equipo de trabajo y el saber empírico de los actores relevantes y representativos partícipes del proceso de ordenamiento. El documento ilustra los procedimientos y resultados de modelación hidrológica y de calidad del agua que condujeron a identificar los usos potenciales del agua, definir sus objetivos de calidad, identificar amenazas y riesgos y definir restricciones y prohibiciones en los tramos objeto de ordenamiento. En la última sección se presentan la articulación del PORH con otros instrumentos de planificación ambiental de la entidad, el programa de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico y los programa y proyectos enfocados al ordenamiento de los cuerpos de agua estudiados.

La formulación del PORH se ajusta a lo establecido en la Guía Técnica para el Ordenamiento del Recurso Hídrico Continental Superficial elaborada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2018). Por ello, el PORH del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones se constituye en instrumento de planificación del recurso hídrico para un horizonte de 10 años, que permite a la CRQ establecer las normas de preservación de la calidad del recurso hídrico,

las condiciones y el programa de seguimiento para alcanzar y mantener los usos actuales y potenciales del agua, además de conservar los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies conforme a lo estipulado en la normativa vigente.

1. FASE DIAGNÓSTICO

1.1. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1.1. Localización de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento

El cauce principal del río Roble nace a los 2137 m.s.n.m al noreste del municipio de Circasia, en la vereda El Roble con coordenadas 1008889.55 N – 1163816.35 W y desemboca sobre el Río La Vieja a 1235 m.s.n.m, al suroeste del municipio de Quimbaya, en la vereda La Española entre las coordenadas 997825.66 N - 1134254.87 W (proyección Magna Colombia Oeste EPSG 3115). Recorre los municipios de Circasia, Filandia, Montenegro y Quimbaya, atravesando las veredas El Roble, Membrillal, La Concha, San Antonio, Barcelona Alta y Baja, Llanada, La Siria, La Cabaña, Cruces, El Vergel, La Cauchera, El Vigilante, Morelia, Naranjal, La Unión, El Castillo, El Gigante, La Carmelita, Puerto Rico, El Chaquiro, Santa Ana, El Guayabo, El Laurel y La Española.

Nace a 2132 m.s.n.m al noreste del municipio de Filandia, en la vereda Cruces con coordenadas 1009336.68 N – 1163432.92 W y converge al este del municipio de Circasia sobre el Río Roble a 1014 m.s.n.m, en la vereda La Concha (Paso de los Aguadeños) con coordenadas 1003609.74 N - 1155686.78 W (proyección Magna Colombia Oeste EPSG 3115). Cubre las veredas del municipio de Filandia: Cruces, Vergel y La Cauchera y del municipio de Circasia: El Roble y La Concha.

Nace al oeste del municipio de Salento, en la vereda El Agrado a 1938 m.s.n.m entre las coordenadas 1004672.21 N – 1162638.63 W y desemboca sobre el Río Roble, al noroeste del casco urbano de Circasia a los 1661 m.s.n.m, en la vereda Membrillal con coordenadas 1003297.08 N - 1158792.56 W (proyección Magna Colombia Oeste EPSG 3115). Cubre las veredas del municipio de Salento: El Agrado y Los Pinos, y del municipio de Circasia: San Antonio, Membrillal y Barcelona Alta.

| Área hidrográfica | Código | Zona hidrográfica | Código | Subzona hidrográfica | Código | Nivel subsiguiente | Código | Microcuenca | Código |
|---|--------|----------------------|--------|-------------------------|--------|------------------------|--------|----------------------|--------|
| Macrocuena Magdalena - Cauca | 2 | Cuenca del Río Cauca | 6 | Cuenca del río La Vieja | 12154 | Cuenca del río Roble | 09 | - | - |
| Macrocuena Magdalena - Cauca | 2 | Cuenca del Río Cauca | 6 | Cuenca del río La Vieja | 12154 | Cuenca del río Roble | 09 | Quebrada Portachuelo | 02 |
| Macrocuena Magdalena - Cauca | 2 | Cuenca del Río Cauca | 6 | Cuenca del río La Vieja | 12154 | Cuenca del río Roble | 09 | Quebrada Cajones | 07 |
| Cuerpo de agua | | | | | | Código completo | | | |
| Cauce principal del río Roble | | | | | | 2612154090000 | | | |
| Cauce principal de la quebrada Portachuelo | | | | | | 2612154090200 | | | |
| Cauce principal de la quebrada Cajones | | | | | | 2612154090700 | | | |

Tabla 1. Codificación de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento

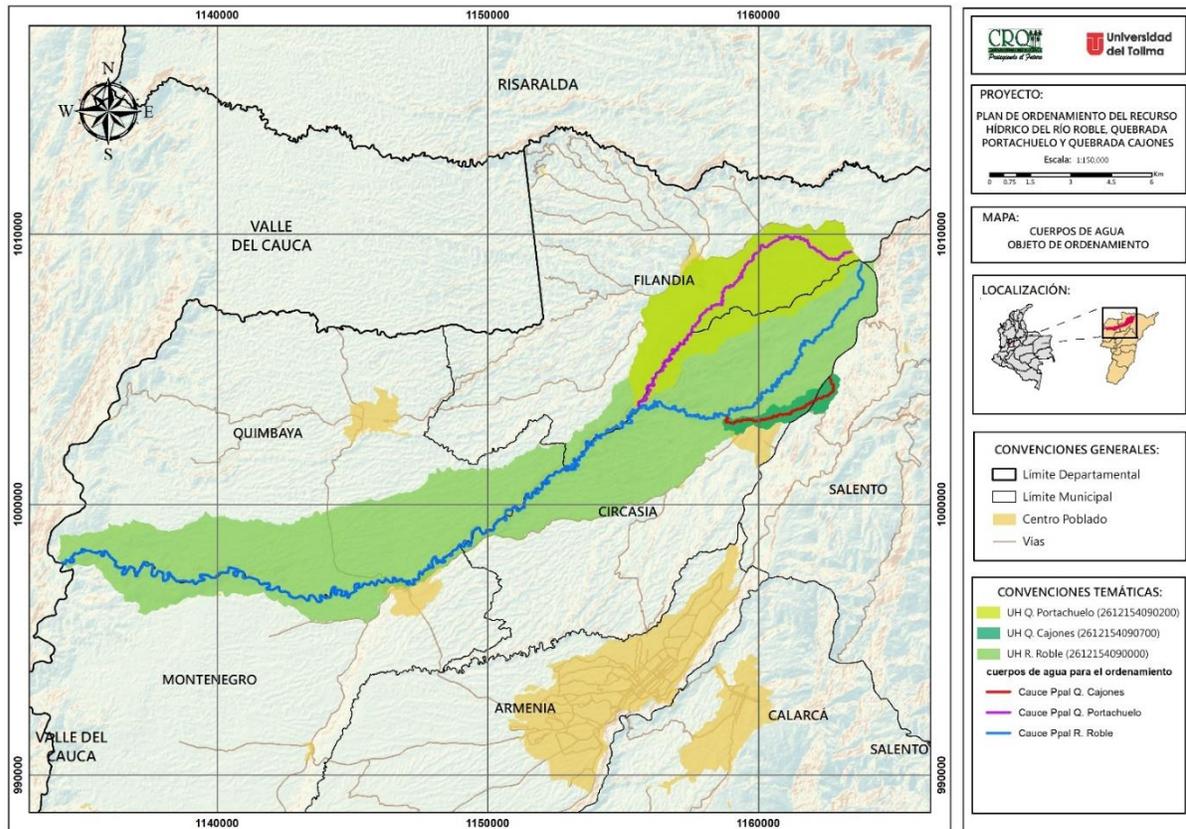


Figura 1. Cauce principal del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones. Cuerpos de agua objeto de ordenamiento.

1.1.2. Unidad hidrográfica del río Roble

El río Roble drena sus aguas en la vertiente derecha de la cuenca hidrográfica del río La Vieja, posee un área drenante de 124.36 km² con una pendiente media de cuenca del 18.3 %, una densidad de drenaje de 2.6 Km/km² y un tiempo de concentración de 4.8 horas (CRQ, 2017).

1.1.2.1. Suelos

Esta Unidad Hidrográfica es integrada principalmente por los suelos de las consociaciones La Esperanza (LEb, LEb1, LEc, LEc1 y LEc2) en un 39% (48,89 km²) y Membrillal (MMe, MMe1, MMe2 y MMf2) en un 36% (44,74 km²), como se observa en la Figura 2 y Figura 3.

Los suelos ocupan áreas de pendientes ligeramente inclinadas (3-7%) a moderadamente escarpadas (50-75%), con erosión ligera y moderada. Son suelos desarrollados de cenizas volcánicas sobre depósitos torrenciales volcánicos y rocas volcano-sedimentarias; profundos a moderadamente superficiales; bien drenados; fuertemente ácidos; de baja fertilidad. Tienen altos contenidos de carbono orgánico (CO), con valores entre 3,5 y 4,5%. Las texturas son moderadamente gruesas a moderadamente finas. La estructura se presenta en bloques

subangulares finos y medios, de débiles a moderados. La consistencia en húmedo es friable, mientras que en mojado varía desde no pegajosa y no plástica hasta ligeramente pegajosa y plástica (IGAC, 2013).

Presentan alta capacidad de retención de humedad a distintas tensiones; la humedad aprovechable presenta valores entre 19 y 24%. La porosidad total es superior al 55%, con la cantidad adecuada de micro y macroporosidad para proporcionar buena aireación, drenaje y retención de agua. La densidad real presenta valores inferiores a $2,4 \text{ g.cm}^{-3}$ y la densidad aparente menores de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ (IGAC, 2013).

1.1.2.2. Coberturas y Usos de la Tierra

En esta área son dominantes los Pastos (38% - $47,47 \text{ km}^2$), los Cultivos permanentes (27% - $33,93 \text{ km}^2$) principalmente de Café (15% - $19,01 \text{ km}^2$) y Plátano (8% - $10,41 \text{ km}^2$), y los Bosques (22% - $27,03 \text{ km}^2$) principalmente de galería en un 20% ($25,12 \text{ km}^2$); el área restante (12% - $14,32 \text{ km}^2$) es integrada por Zonas urbanizadas, Zonas industriales, comerciales y redes de comunicación, Zonas verdes artificializadas, Cultivos transitorios, Áreas agrícolas heterogéneas, Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, Áreas abiertas, sin o con poca vegetación, Aguas húmedas como zonas pantanosas y Aguas continentales con ríos y cuerpos de agua artificiales (Figura 2 y Figura 3). El IGAC (2013) menciona la presencia de especies como yarumo blanco (*Cecropia telealba*) y (*Cecropia teleincana*), yarumo negro (*Cecropia angustifolia*), sietecueros (*Tibouchina lepidota*), nogal (*Cordia alliodora*), quebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*) y camargos (*Verbesina arborea*), al igual que algunas piperáceas, lianas, helechos y heliconias.

1.1.2.3. Geología

Según CRQ (2018), la litología predominante se explica por actividad del complejo Ruiz-Tolima y depósitos aluviales, por lo que en la parte alta y media de la unidad hidrográfica predomina la formación Armenia (Qta-TQa) con depósitos de cenizas volcánicas, flujos de lodo y depósitos de piedemonte en un área de 120.85 km^2 , mientras que en el área aledaña a su confluencia con el río la vieja predomina la formación de depósitos aluviales recientes (Qal), definida por un área de 2.41 km^2 y compuesta por material aluvial y coluvio-aluvial heterométrico y heterogéneo sin estratificación y depositados a los lados de la red de drenaje. En la parte baja de la unidad hidrográfica también hay presencia de la formación Cinta de Piedra (Tocp) en un área 1.1 km^2 , constituida por areniscas líticas, conglomerados polimicticos, areniscas conglomeráticas interestratificadas y arcillolitas.

En términos estructurales predomina el sistema de fallas de Romeral, con direcciones de fallamiento principal de N20-30E que controlan el cauce principal del río Roble hasta su parte media, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, otra dirección de fallamiento frecuente es N60-70E asociada a los sistemas de fallas de Romeral, Sevilla y Potrerillos (CRQ, 2018), estos sistemas de fallamiento cubren una longitud total de 72.91 km en toda la unidad hidrográfica.

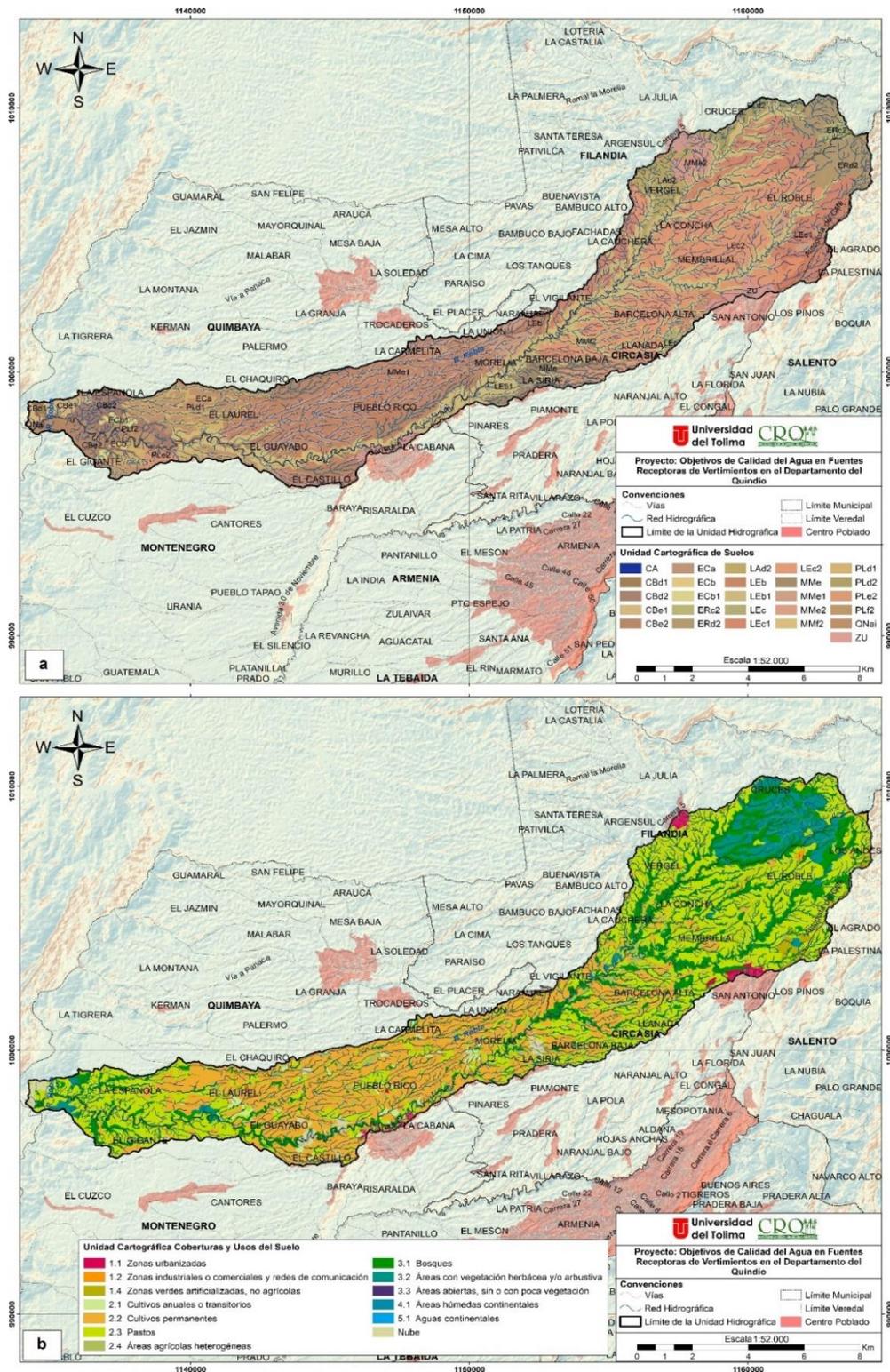
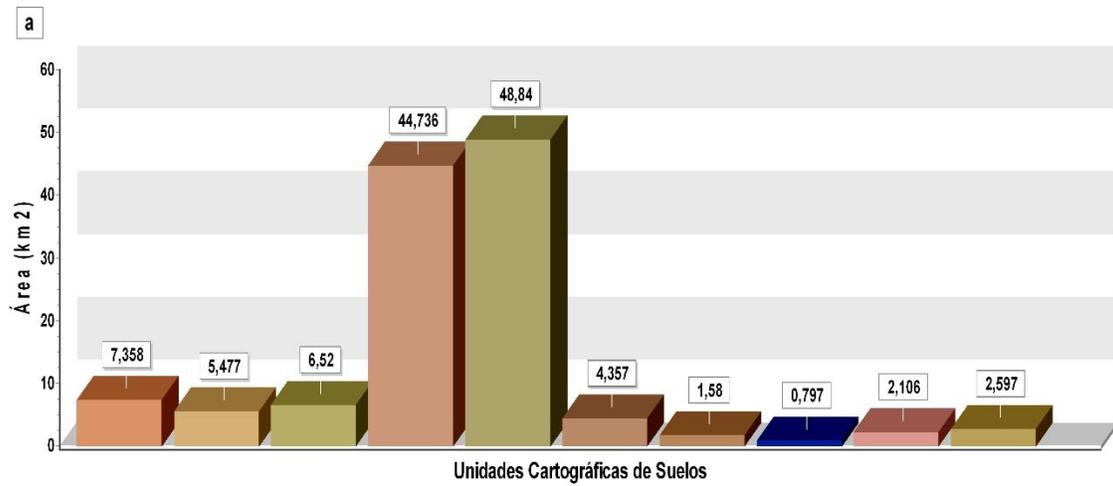
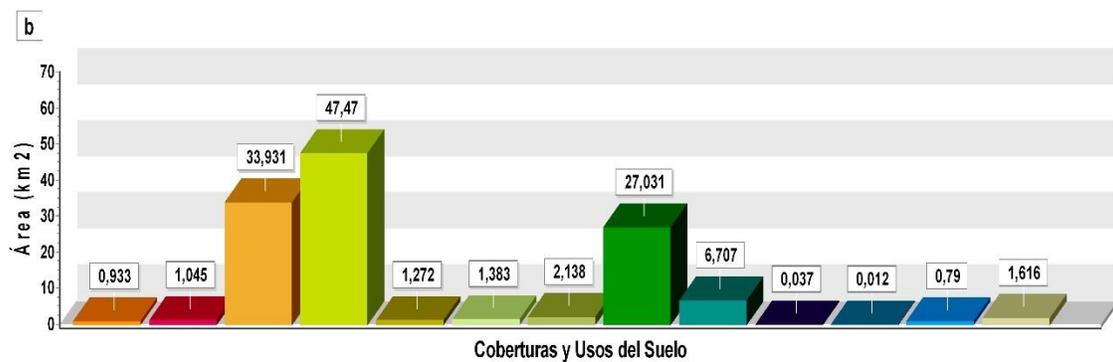


Figura 2. Unidades cartográficas de suelo (a) y coberturas de Uso (b) de la unidad hidrográfica del río Roble.



Distribución porcentual de las Unidades Cartográficas

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|----|--------|----|--------|----|---------|----|---------|----|-------|----|--------|----|--------|
| PL | 5,92 % | CB | 4,4 % | ER | 5,24 % | MM | 35,97 % | LE | 39,27 % | EC | 3,5 % | QN | 1,27 % | CA | 0,64 % |
| ZU | 1,69 % | LA | 2,09 % | | | | | | | | | | | | |



Distribución porcentual de las Unidades Cartográficas

| | | | |
|--|---------|---|---------|
| 1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación | 0,75 % | 1.1 Zonas urbanizadas | 0,84 % |
| 2.2 Cultivos permanentes | 27,28 % | 2.3 Pastos | 38,17 % |
| 1.4 Zonas verdes artificializadas, no agrícolas | 1,02 % | 2.1 Cultivos anuales o transitorios | 1,11 % |
| 2.4 Áreas agrícolas heterogéneas | 1,72 % | 3.1 Bosques | 21,74 % |
| 3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva | 5,39 % | 3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación | 0,03 % |
| 4.1 Áreas húmedas continentales | 0,01 % | 5.1 Aguas continentales | 0,64 % |
| Nube | 1,3 % | | |

Figura 3. Distribución porcentual del área de las unidades cartográficas de suelo (a) y coberturas de Uso (b) de la unidad hidrográfica del río Roble.

1.1.3. Unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo

La unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo tiene un área de 25 km² y una pendiente promedio de 25.46%. Drena sus aguas superficiales al río Roble con un tiempo de concentración de 5.39 horas y una densidad de drenaje de 1.88 km/km².

1.1.3.1. Suelos

Las principales consociaciones que integran esta Unidad Hidrográfica, según la Figura 4 y Figura 5 son, Membrillal (MMe2 y MMf2) con el 35% (8,80 km²), La Esperanza (LEb1, LEc1 y LEc2) con el 33% (8,33 km²), El Roble (ERc2 y ERd2) con el 14% (3,52 km²) y Los Alpes (LAd2) con el 10% (2,60 km²).

Ocupan pendientes ligeramente inclinadas (3-7%) a moderadamente escarpadas (50-75%); algunos con procesos erosivos del grado ligero y moderado. Su material de origen está constituido por anfibolitas, esquistos, cenizas volcánicas sobre rocas volcano-sedimentarias y depósitos torrenciales volcánicos. Se caracterizan por ser suelos profundos a moderadamente superficiales; bien drenados; moderada a fuertemente ácidos; de fertilidad baja y moderada. Los contenidos de carbono orgánico (CO) son altos y bajos que fluctúan entre 4,9 y 1,6% en el horizonte superficial y entre 2 y 0,35% en los más profundos. Presentan texturas moderadamente gruesas a finas. La estructura es en bloques subangulares finos y gruesos, débiles a moderadamente desarrollados. La consistencia es friable en húmedo, mientras que en mojado varía desde no plástica y no pegajosa a ligeramente pegajosa y plástica; suelos muy susceptibles a la erosión (IGAC, 2013).

Retienen cantidades altas y medias de humedad a diferentes tensiones; la humedad aprovechable oscila entre el 9 y 37%. La porosidad total se encuentra entre el 44 y 72%, con una distribución adecuada entre macro y microporos que garantiza buena retención de agua, aireación y drenaje del suelo. La densidad real alcanza valores hasta 2,6 g.cm⁻³ y la aparente hasta 1,4 g.cm⁻³ (IGAC, 2013).

1.1.3.2. Coberturas y Usos de la Tierra

La quebrada Portachuelo está representada principalmente por Pastos limpios, Bosques de galería y Áreas de vegetación herbácea y arbustiva, las cuales representan el 41 (10,30 km²), 33 (8,25 km²) y 21% (5,21 km²) del área total, respectivamente; las coberturas de menor impacto (5% - 1,14 km²) dentro del territorio son, las Zonas urbanizadas, Zonas industriales, comerciales y redes de comunicación, Zonas verdes artificializadas, Cultivos permanentes de Café, y Áreas agrícolas heterogéneas asociadas a mosaicos de pastos y cultivos (Figura 4 y Figura 5). Según el IGAC (2013), dentro de la cobertura vegetal de la zona se encuentran árboles como el yarumo blanco (*Cecropia telealba*) y (*Cecropia teleincana*), yarumo negro (*Cecropia angustifolia*), sietecueros (*Tibouchina lepidota*), nogal (*Cordia alliodora*), quebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*) y camargos (*Verbesina arborea*), además de algunas piperáceas, lianas, helechos y heliconias.

1.1.3.3. Geología

El material geológico predominante en la unidad hidrográfica es de origen volcánico por actividad del complejo Ruiz-Tolima y depósitos aluviales, el total del área drenante a la quebrada Portachuelo se encuentra en la formación armenia (Qta-TQa) con presencia de depósitos de cenizas volcánicas, flujos de lodo y depósitos de piedemonte. En su parte alta hay influencia de la falla Consota, mientras que en su parte media y baja el cauce principal está definido por el sistema de fallas de Romeral con una dirección principal de fallamiento N60-70E y una longitud total de 15.68 km (CRQ, 2018).

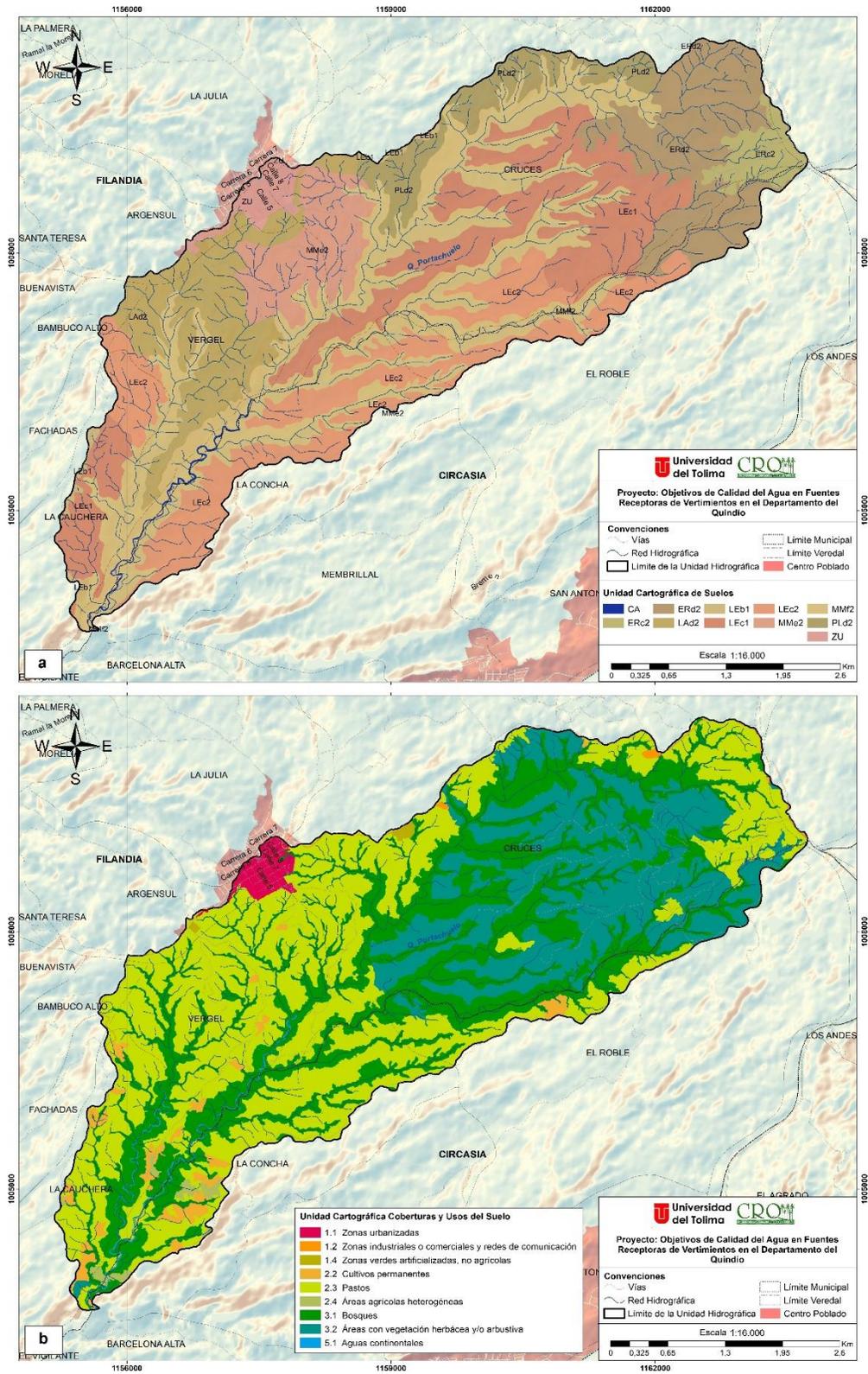


Figura 4. Unidades cartográficas de suelo (a) y coberturas de uso (b) de la unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo.

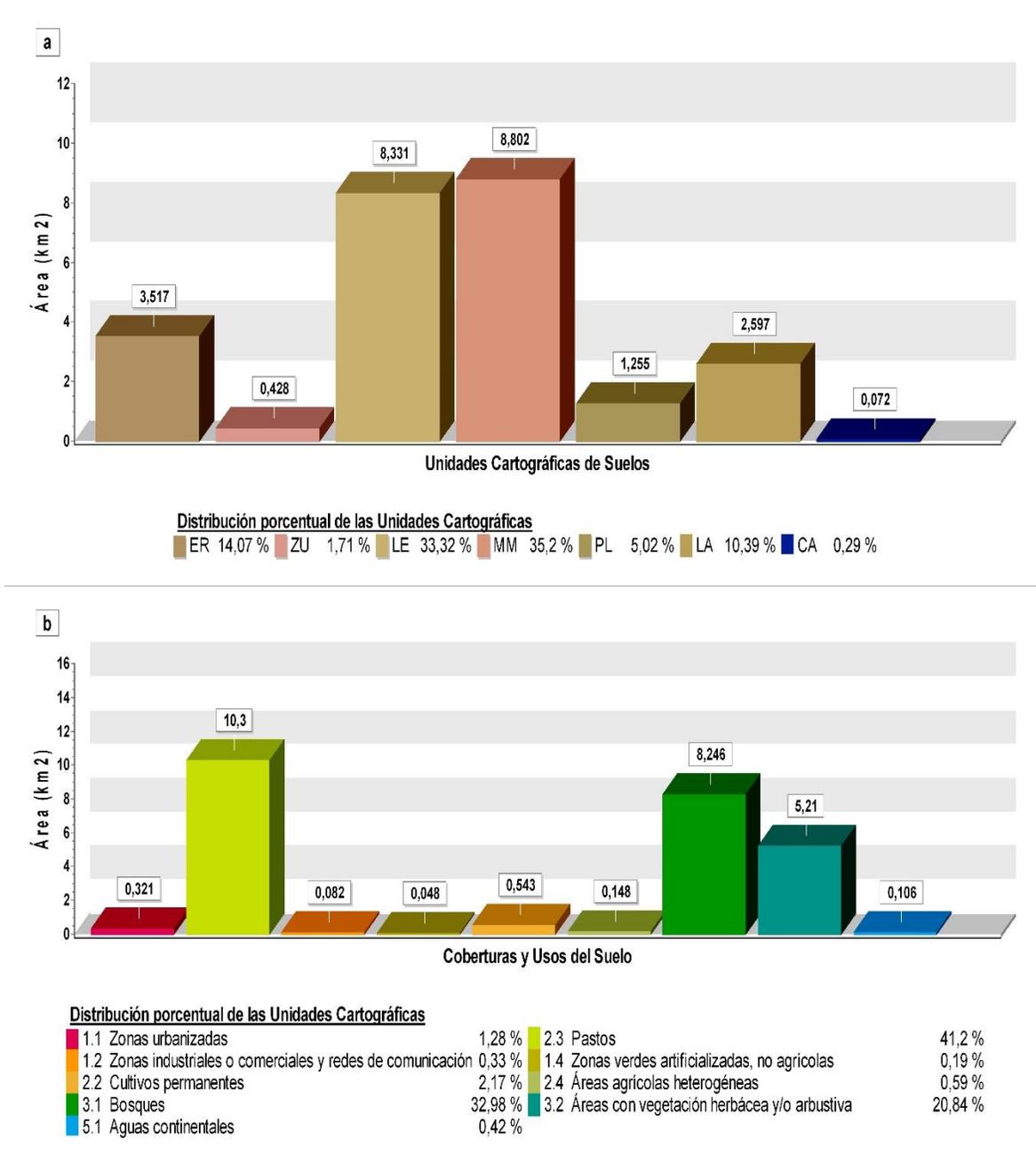


Figura 5. Distribución porcentual del área de las unidades cartográficas de suelo (a) y coberturas y uso (b) de la unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo.

1.1.4. Unidad hidrográfica de la quebrada Cajones

La unidad hidrográfica de la quebrada Cajones tiene un área de 2.94 km² y una pendiente promedio de 14.13%. Drena sus aguas superficiales al río Roble con un tiempo de concentración de 1.04 horas y una densidad de drenaje de 5.87 km/km².

1.1.4.1. **Suelos**

Los suelos que integran esta Unidad Hidrográfica hacen parte de la consolidación La Esperanza (LE) y Membrillal (MM) en un 70 (2,06 km²) y 6% (0,17 km²) del área total, respectivamente, con las unidades cartográficas LEc1, LEc2 y MMf2. De acuerdo con la Figura 6 y Figura 7, el 24% (0,72 km²) del área es representado por la Zona Urbana (ZU) y algunos Cuerpos de Agua (CA).

Comprenden sectores de pendientes moderadamente inclinadas (7-12%) a moderadamente escarpadas (50-75%), con presencia de erosión en grado ligero o moderado en algunos casos. Son suelos originados a partir de cenizas volcánicas sobre depósitos torrenciales volcánicos y rocas volcano-sedimentarias; profundos a moderadamente superficiales limitados por fragmentos de roca; bien drenados; fuertemente ácidos; de baja fertilidad. Presentan altos contenidos de materia orgánica con valores de CO de 4,5%; se reportan texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas. Su estructura se presenta en bloques subangulares finos y medios, de moderados a débilmente desarrollados. La consistencia en húmedo es friable, desde no pegajosa y no plástica hasta ligeramente pegajosa y plástica en mojado; susceptibles a movimientos en masa según el IGAC (2013).

La retención de humedad es alta a distintas tensiones, al igual que el almacenamiento de humedad aprovechable que varía entre el 19 y 24%. La porosidad total es superior al 55%, con mayor predominio de microporosidad, que garantiza la adecuada retención de agua, pero con la macroporosidad apropiada para facilitar el drenaje y la aireación del suelo. La densidad real es inferior a 2,4 g.cm⁻³ y la densidad aparente menor a 1,04 g.cm⁻³ (IGAC, 2013).

1.1.4.2. **Coberturas y Usos de la Tierra**

Las coberturas más representativas dentro del área de la quebrada Cajones, tal como lo indica la Figura 6 y Figura 7, son en su orden, los Pastos en un 41% (1,2 km²) básicamente limpios, los Bosques en un 23% (0,68 km²) en su totalidad Bosques de galería arbolado, las Zonas verdes artificializadas en un 15% (0,43 km²) integradas por Áreas turísticas, y las Zonas urbanizadas en un 13% (0,39 km²). Las coberturas de menor cubrimiento (8% - 0,24 km²), corresponden a las Zonas comerciales y redes de comunicación, los Cultivos transitorios como la Habichuela, los Cultivos permanentes como el Café, las Áreas de vegetación herbácea y/o arbustiva y algunas Superficies de agua que representa la cobertura de Aguas continentales. Las especies de queiebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*), piperáceas, lianas, helechos y heliconias, también se evidencian en esta zona (IGAC, 2010).

1.1.4.3. **Geología**

La geología predominante en la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones es de origen volcánico y depósitos aluviales, por lo que toda la microcuenca tiene presencia de la formación armenia (Qta-TQa) con depósitos de cenizas volcánicas, flujos de lodo y depósitos de piedemonte. El sistema de fallas Romeral domina la estructura geológica de esta zona (CRQ, 2018), definiendo en N20-30E la dirección del cauce principal de la quebrada y una longitud de fallamiento de 4.67 km.

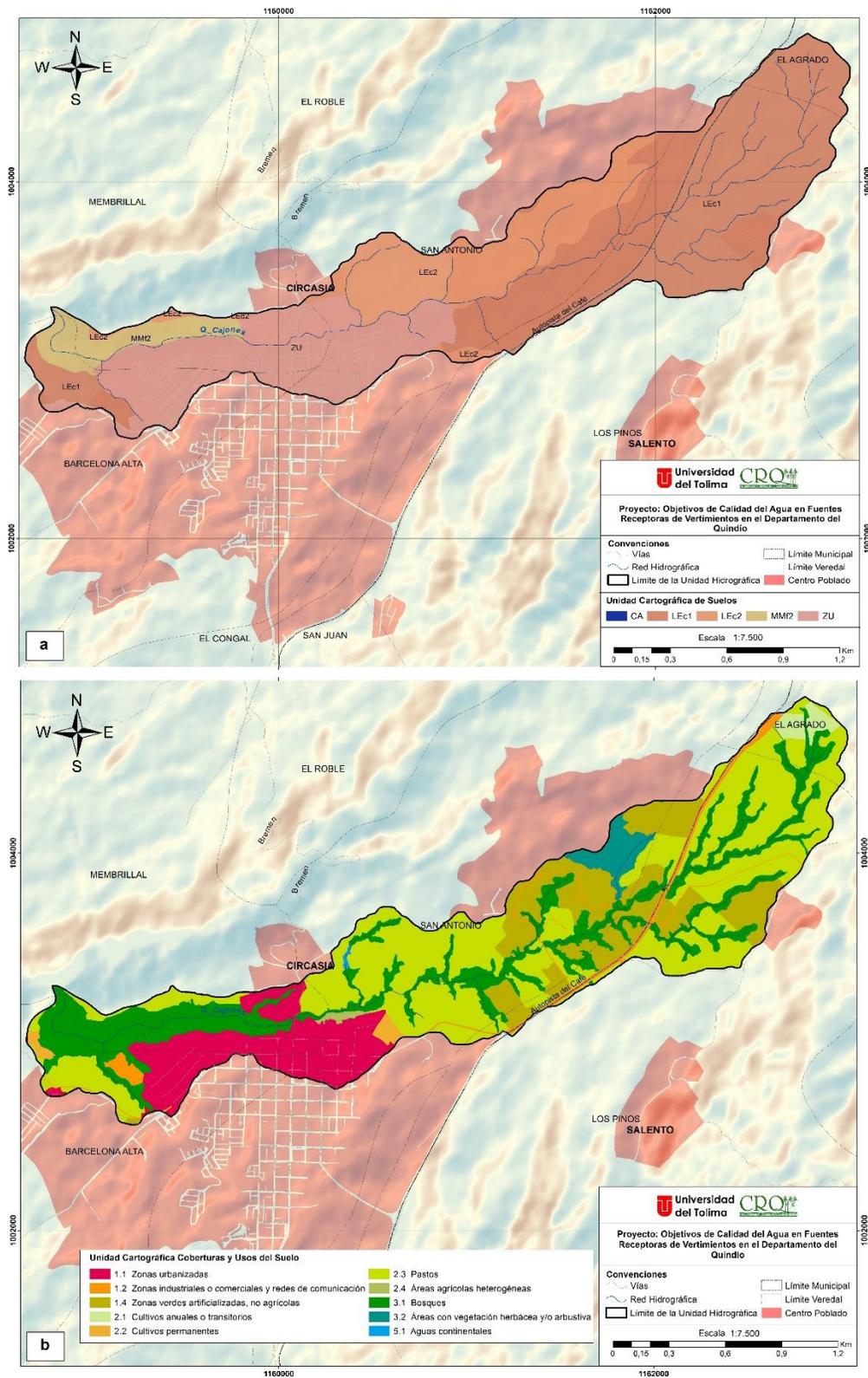


Figura 6. Unidades cartográficas de suelo (a) y coberturas de uso (b) de la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones.

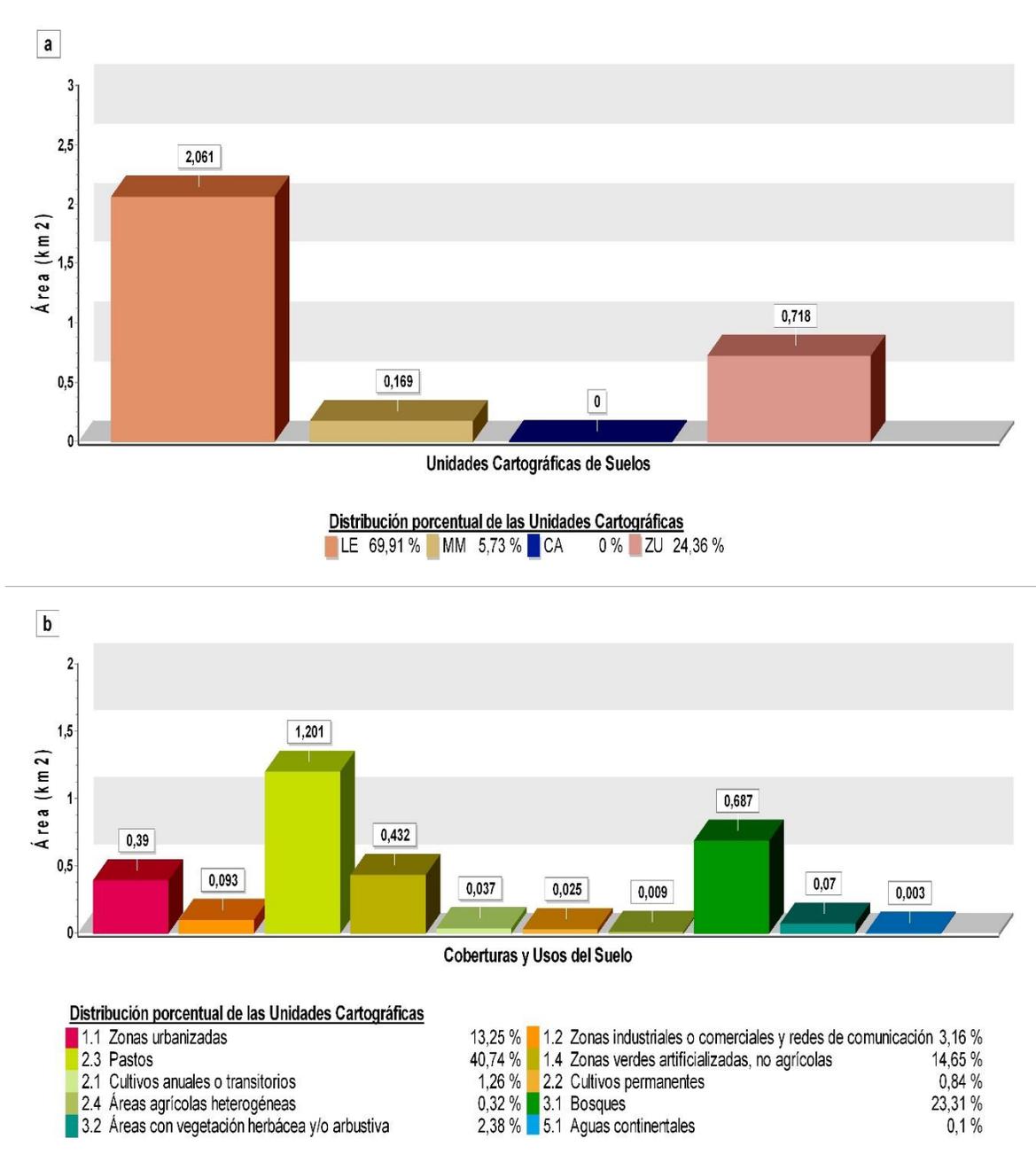


Figura 7. Distribución porcentual del área de las unidades cartográficas de suelo (a) y coberturas y uso (b) de la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones.

1.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE INSTRUMENTOS EXISTENTES

La consolidación del análisis situacional de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento (río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones), partió de la revisión de instrumentos orientados a brindar información sobre el estado del recurso hídrico, lineamientos de regulación y planificación del uso del agua y el suelo. Los principales estudios consultados fueron el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río la Vieja (CRQ et al., 2018), la Evaluación Regional del Agua del departamento del Quindío (CRQ, 2017), el Plan de Manejo del Río Roble (CRQ, 2011), Estudio de Modelación de Calidad de Agua del río Roble (CRQ, 2015), y las bases de datos de monitoreo de calidad y cantidad del agua de CRQ en los últimos cinco (5) años.

1.2.1. Información De Oferta Hídrica

La unidad hidrográfica del Río Roble constituye un elemento fundamental en la dinámica hídrica en el norte del departamento del Quindío principalmente para los municipios de Circasia y Montenegro, presentando baja torrencialidad en sus puntos de captación y un constante escurrimiento superficial a lo largo del año con un área de 123.2 km² y un cauce principal con 40.11 km de longitud (CRQ, 2017).

| Parámetro | Símbolo | Río Roble | Unidades |
|-------------------------|----------|-----------|--------------------|
| Área | A | 123.2 | Km ² |
| Perímetro | P | 81.74 | Km |
| Coefficiente Forma | Kf | 0.129 | Adimensional |
| Coefficiente Compacidad | Kc | 2.062 | Adimensional |
| Índice Alargamiento | IA | 7.748 | Adimensional |
| Índice asimétrico | Iasim | 0.786 | Adimensional |
| Pendiente media cuenca | δ | 18.34 | % |
| Orden Cauce Ppal | Orden | 5 | Adimensional |
| Densidad drenaje | Da | 2.614 | Km/Km ² |
| Longitud cauce Ppal | Lc | 40.110 | Km |
| Sinuosidad | Sm | 1.318 | Km/Km |
| Pendiente cauce Ppal | Sc | 0.026 | m/m |

Tabla 2. Morfometría de la unidad hidrográfica del río Roble (CRQ, 2017).

La unidad hidrográfica abastece de agua para uso doméstico a los municipios de Circasia y Montenegro desde afluentes tales como las quebradas Portachuelo, Membrillal, San Luis, Cajones, La Arenosa, El Bosque y San Julián, los cuales son afluentes de torrencialidad baja y con cauces del orden 2. Estos afluentes presentan tiempo de concentración menores de 1 hora, lo cual se relaciona con cortas longitudes de cauce. Otros afluentes como La Soledad, Las Cruces, Santa Bárbara, San José, Agua Bonita y La Floresta, entre otros, son utilizados por la comunidad rural para suplir sus necesidades de agua.

EL río Roble, las quebradas Lajas-Turín, La Paloma y La Soledad son fuentes abastecedoras de recurso superficial para el municipio de Montenegro y representan uno de los principales corredores hídricos de la región y uno de los límites geográficos con el municipio de Quimbaya.

El Plan de Manejo de la subcuenca Río Roble (CRQ, 2011), indica que la cuenca del Río Roble corresponde a una de las cuencas de mayor índice de rendimiento hídrico del departamento, con

un caudal promedio de 4.84 m³/s, una oferta anual de 152.63 Mm³/año y un rendimiento de 41.89 L/s/km² (**Tabla 3**).

| FUENTE | CAUDAL M ³ /seg. | OFERTA Mm ³ /año | ÁREA Km ² | RENDIMIENTO L/seg/km ² |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Río Roble | 4.84 | 152.63 | 115.54 | 41.89 |

Tabla 3. Caudal, oferta y rendimiento promedio de la unidad hidrográfica del río Roble según el Plan de Manejo de la Subcuenca del río Roble (CRQ, 2011).

Según el Plan de Manejo de la Subcuenca del río Roble (CRQ, 2011), el máximo caudal promedio mensual del mes de junio de 2010 fue 17.93 m³/s, correspondiente a un mes próximo al periodo histórico de lluvias intensas (abril – mayo). El caudal mínimo promedio mensual observado para el mes de febrero de 2010 con 2.7 m³/s (**Tabla 4**).

| MES | CAUDAL MÁXIMO (m ³ /s) | CAUDAL MÍNIMO (m ³ /s) | CAUDAL PROMEDIO (m ³ /s) |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Enero | 4.45 | 2.9 | 3.25 |
| Febrero | 4.24 | 2.7 | 3.1 |
| Marzo | 9.14 | 3.14 | 5.72 |
| Abril | 12.23 | 4.03 | 6.26 |
| Mayo | 10.37 | 4.38 | 6.73 |
| Junio | 17.93 | 7.11 | 10.58 |
| Julio | - | - | - |
| Agosto | 8.94 | 5.4 | 6.53 |
| Septiembre | 16.51 | 5.71 | 9.46 |
| Octubre | 11.37 | 7.88 | 9.57 |
| Noviembre | 14.88 | 5.36 | 8.93 |
| Diciembre | - | - | - |

Tabla 4. Caudales Reportados para la unidad hidrográfica del río Roble en el año 2010 (CRQ, 2011).

En el estudio de Modelación de Calidad de Agua Río Roble (CRQ, 2015), se presentan una serie de caudales medios mensuales multianuales para la unidad hidrográfica, que indican un comportamiento bimodal con volúmenes altos para los meses de mayo y diciembre (meses lluviosos) de 2.99 y 3.5 m³/s respectivamente, según dicho estudio se presentan bajos caudales para los meses de marzo y julio (meses secos) con 2.23 y 2.03 m³/s respectivamente (**Figura 8**).

La Evaluación Regional del Agua del departamento del Quindío (CRQ, 2017) calculó la oferta hídrica del río Roble y sus principales tributarios clasificando tres (3) condiciones hidrológicas en función de las fases del fenómeno ENSO (año hidrológico medio, año hidrológico seco y año hidrológico húmedo). Para la condición hidrológica de año medio el río Roble presentó valores de rendimiento promedio del orden de los 26 L/s/km². En la condición hidrológica de año seco se estimaron valores promedio de 16.8 L/s/km² representando una pérdida o disminución volumétrica cercana a los 10 L/s/km² indicando una alta susceptibilidad a las alteraciones de producción de escorrentía en la fase cálida del fenómeno ENSO (CRQ, 2017).

Los valores de rendimiento hídrico para la unidad hidrográfica del Río Roble en sus fases extremas (año seco y año húmedo) presentan un alto grado de disminución en el rendimiento hídrico mínimo mensual con valores del orden de los 8.2 L/s/km² con respecto a su condición en un año húmedo presentando un rango de variación elevado siendo su máximo rendimiento 80.2 L/s/km² (Tabla 5).

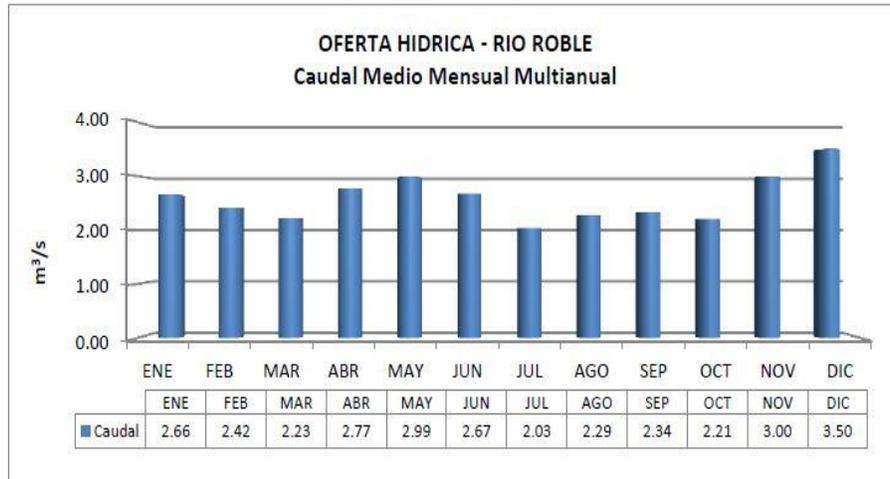


Figura 8. Distribución de caudales promedio mensuales multianuales en el río Roble (CRQ, 2015)

| RENDIMIENTO HÍDRICO | AÑO SECO (L/s/km²) | AÑO HÚMEDO (L/s/km²) |
|---------------------|--------------------|----------------------|
| Mínimo mensual | 8.2 | 23.4 |
| Medio mensual | 17.6 | 39.2 |
| Máximo mensual | 36.5 | 80.2 |

Tabla 5. Rendimiento hídrico de la unidad hidrográfica del río Roble (CRQ, 2017).

La Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) en la ERA (CRQ, 2017) se estimó por medio de simulaciones de caudales diarios en el periodo 1985 – 2017 a partir de modelación hidrológica implementada en las unidades hidrográficas y en las microcuencas abastecedoras. En términos generales, la cuenca del Río Roble y cada uno de sus principales tributarios presentan un régimen hidrológico bimodal característico de la región andina, con dos periodos secos y dos periodos húmedos (Figura 9). En dicha figura, se hace referencia a las siguientes unidades hidrográficas: A) Unidad hidrográfica Río Roble, B) Bocatoma Circasia, C) Bocatoma Montenegro, D) Microcuenca Cajones (Circasia), E) Microcuenca El Bosque, F) Microcuenca La Arenosa, G) Microcuenca La Paloma, H) Microcuenca La Marina, I) Microcuenca La Soledad, J) Microcuenca Las Lajas.

La Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD) es “el resultado de sustraer el caudal ambiental a la Oferta Hídrica Total Superficial”; según la ERA (CRQ, 2017) la OHTD en la unidad hidrográfica del río Roble presenta variaciones con meses críticos como julio, agosto y septiembre donde la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) alcanza a suplir el caudal ambiental dejando una baja oferta del recurso para consumo, con caudales de 0.67, 0.35 y 0.78 m³/s respectivamente.

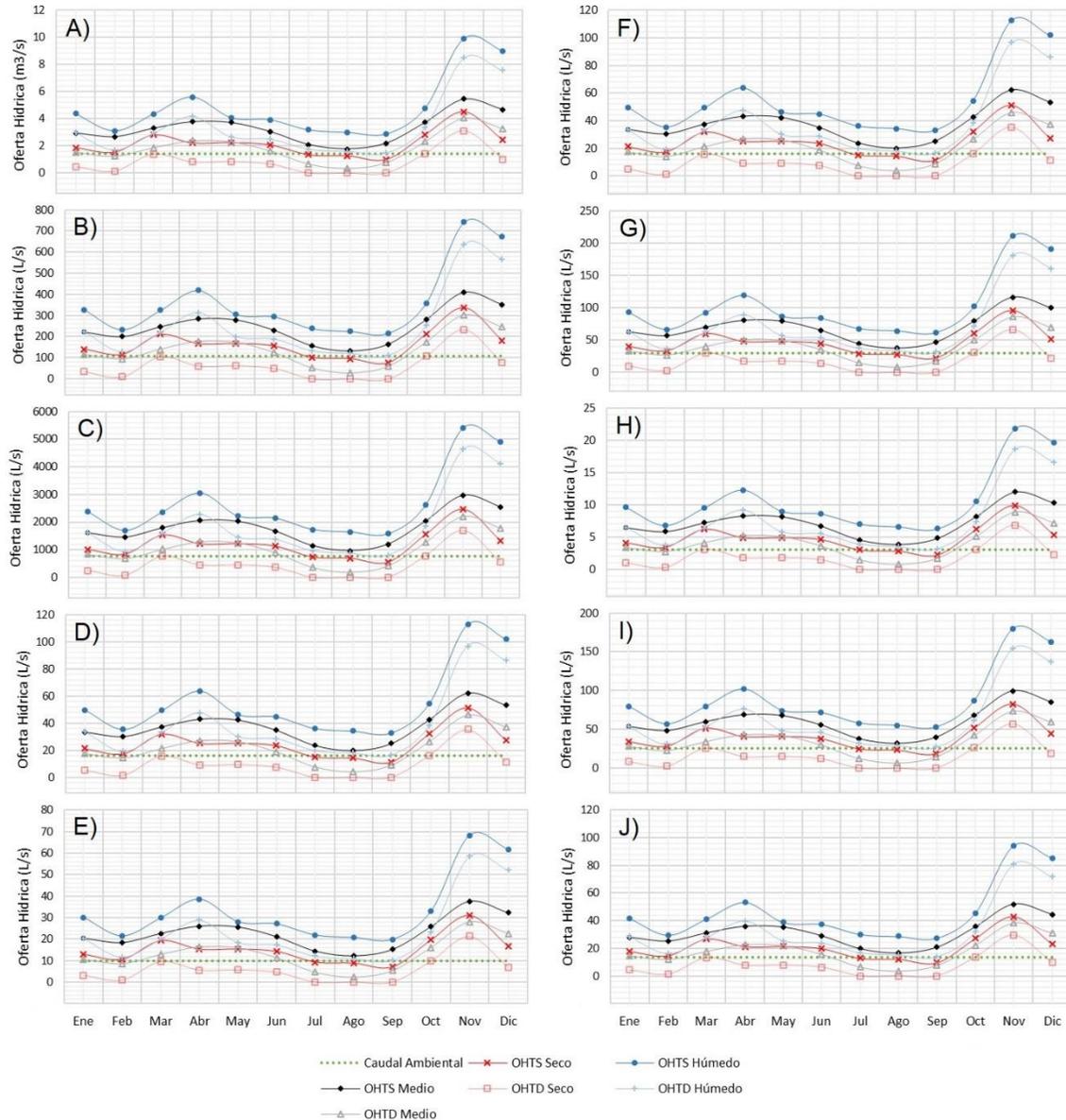


Figura 9. Oferta Hídrica para la unidad hidrográfica del Río Roble y sus principales microcuencas abastecedoras para los municipios de Circasia y Montenegro según la Evaluación Regional del Agua (CRQ, 2017).

En las microcuencas abastecedoras se presenta una condición similar a la mencionada anteriormente con bajos niveles de caudal para los meses de julio, agosto y septiembre ocasionando una disminución sustancial en la OHTD para cada una de las fuentes. Durante la condición hidrológica de año seco, la OHTS para todas las microcuencas del río Roble presenta un periodo de sequía principalmente para los meses de julio, agosto y septiembre por lo que la oferta superficial tanto en la fuente hídrica más alta (microcuenca el Bosque) como en la más baja (bocatoma Montenegro) dispone de caudales relativamente bajos incluso para suplir las necesidades básicas del ecosistema, dejando sin OHTD a los municipio de Circasia y Montenegro durante este período de tiempo.

Para la condición hidrológica de año húmedo, se observa un aumento de la oferta en el río Roble que llega a un 50% de incremento con relación al caudal ofertado en la condición hidrológica de año medio. Durante un periodo de lluvias intensas los volúmenes de agua aumentan al punto de subir un 100% la OHTS sobre los cauces implicando un aumento de la OHTD para consumo.

En la reciente actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río La Vieja se estimó un balance hídrico de largo plazo, con base en la formulación de ecuaciones de continuidad de volúmenes de control en la interfase suelo – atmósfera (CRQ, 2018). En dicho estudio el balance hídrico se formuló mediante la siguiente expresión:

$$P - E = R$$

Donde:

P: Precipitación.

E: Evapotranspiración real.

R: Flujo de agua hacia afuera de la columna de suelo.

Los resultados del caudal obtenido por el método de balance hídrico de largo plazo muestran la posible oferta para las subcuencas y microcuencas abastecedoras de acueductos de centros poblados sobre la unidad hidrográfica del río Roble (**Tabla 6**).

Para la caracterización del régimen hidrológico en el POMCA (CRQ, 2018) se consideró la implementación de metodologías de estimación de caudales medios diarios, caudales máximos y caudales mínimos para diferentes periodos de retorno. Para ello, emplearon el sistema de modelación hidrológica HMS, configurado con el modelo SMA (Soil Moisture Accounting) en simulación continua (CRQ, 2018). Este modelo estima el exceso de precipitación observando la interceptación, infiltración, percolación y evapotranspiración mediante el uso de un modelo de almacenamiento de cinco almacenamientos.

| | NOMBRE | ÁREA (Km ²) | PRECIPITACIÓN (mm/año) | ETR (mm/año) | ESCORRENTÍA (mm/año) | CAUDAL MEDIO (m ³ /s) |
|----------------------------|------------|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|----------------------------------|
| Subcuenca | Río Roble | 124.2 | 2423.3 | 1076.3 | 1347 | 5.3 |
| | NOMBRE | ÁREA (Km ²) | PRECIPITACIÓN (mm/año) | ETR (mm/año) | ESCORRENTÍA (mm/año) | CAUDAL MEDIO (L/s) |
| Microcuencas Abastecedoras | El Bosque | 0.9 | 2716.7 | 1035.5 | 1681.1 | 46 |
| | La Marina | 0.3 | 2663.8 | 1036.5 | 1627.3 | 13.5 |
| | La Arenosa | 1.4 | 2592.9 | 1043.4 | 1549.5 | 68.5 |
| | Cajones | 1.3 | 2544 | 1035 | 1509 | 62 |
| | La Soledad | 2.3 | 2373.1 | 1079 | 1294.1 | 94.6 |
| | La Paloma | 0.3 | 2331.7 | 1085.2 | 1246.5 | 10.4 |
| | Las Lajas | 1.1 | 2340.4 | 1085.3 | 1255.1 | 45.4 |

Tabla 6. Caudal medio de largo plazo para la subcuenca del río Roble y sus microcuencas abastecedoras según el POMCA del río La Vieja (CRQ, 2018)

El POMCA del río La Vieja indica que existe una escasa disponibilidad de estaciones limnimétricas sobre la cuenca del río La Vieja, por lo que el modelo desarrollado por CRQ (2018) fue alimentado con poca información para las subcuencas, en consecuencia, según los autores se presenta una sobre estimación aproximada del 30 al 50% de los caudales modelados (CRQ, 2018). Sin embargo, se logró calcular los caudales medios mensuales y el rendimiento hídrico a lo largo del año para la unidad hidrográfica del río Roble y sus principales tributarios (Tabla 7), con base en las series de caudales diarios simulados se determinaron los caudales mínimos y máximos para diferentes periodos de retorno (Tabla 8 y Tabla 9).

El POMCA río La Vieja (CRQ, 2018) utilizó la metodología del ENA 2010 para el cálculo del caudal ambiental, encontrándose una alta fluctuación mensual especialmente en la condición hidrológica de año neutro y año seco, ya que en el caso de los meses de agosto y septiembre en el río Roble se llega a un caudal ambiental inferior a 0.5 m³/s (Figura 10).

| | NOMBRE | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | CAUDAL MEDIO (m ³ /s) | R. HÍDRICO (L/s/Km ²) |
|----------------------------|-----------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Unidad Hidrográfica | Río Roble | 2.9 | 2.3 | 2.7 | 3.2 | 3.1 | 2.6 | 1.6 | 1 | 1.4 | 2.7 | 4.3 | 4 | 2.6 | 21.3 |
| | NOMBRE | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | CAUDAL MEDIO (L/s) | R. HÍDRICO (L/s/Km ²) |
| Microcuencas Abastecedoras | El Bosque | 20 | 15.7 | 18.4 | 22 | 21.5 | 18 | 11.2 | 7.2 | 10 | 18.7 | 30.1 | 28.1 | 18.4 | 21.32 |
| | La Marina | 6.1 | 4.8 | 5.6 | 6.7 | 6.5 | 5.5 | 3.4 | 2.2 | 3 | 5.7 | 9.1 | 8.5 | 5.6 | 21.3 |
| | R. Roble (Circasia) | 210.1 | 165 | 194.1 | 232 | 226.6 | 189.1 | 118 | 76.3 | 105.6 | 196.7 | 317.1 | 296.1 | 193.9 | 21.34 |
| | La Arenosa | 32.3 | 25.3 | 29.8 | 35.6 | 34.8 | 29 | 18.1 | 11.7 | 16.2 | 30.2 | 48.7 | 45.5 | 29.8 | 21.34 |
| | Cajones | 30 | 23.5 | 27.7 | 33.1 | 32.3 | 27 | 16.8 | 10.9 | 15.1 | 28.1 | 45.2 | 42.2 | 27.7 | 21.33 |
| | R. Roble (Montenegro) | 1553 | 1219 | 1434 | 1714 | 1674 | 1397 | 872 | 563 | 780 | 1453 | 2343 | 2188 | 1433 | 21.34 |
| | La Soledad | 53.3 | 41.9 | 49.2 | 58.9 | 57.5 | 48 | 29.9 | 19.3 | 26.8 | 49.9 | 80.4 | 75.1 | 49.2 | 21.34 |
| | La Paloma | 6.1 | 4.8 | 5.6 | 6.7 | 6.6 | 5.5 | 3.4 | 2.2 | 3.1 | 5.7 | 9.2 | 8.6 | 5.6 | 21.6 |
| | Las Lajas | 26.4 | 20.7 | 24.3 | 29.1 | 28.4 | 23.7 | 14.8 | 9.6 | 13.3 | 24.7 | 39.8 | 37.2 | 24.3 | 21.33 |

Tabla 7. Caudales medios mensuales y rendimiento hídrico para la unidad hidrográfica del río Roble y sus principales microcuencas abastecedoras (CRQ, 2018)

| | NOMBRE | Periodo de retorno (Años) Caudales Mínimos (m ³ /s) | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------|--|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 |
| Unidad Hidrográfica | Río Roble | 0.46 | 0.26 | 0.19 | 0.16 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.09 |
| | NOMBRE | Periodo de retorno (Años) Caudales Mínimos (l/s) | | | | | | | | |
| Microcuencas Abastecedoras | El Bosque | 3.2 | 1.8 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.7 |
| | La Marina | 1.0 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| | R. Roble (Circasia) | 33.8 | 18.8 | 13.6 | 11.6 | 10.5 | 9.8 | 9.2 | 8.0 | 6.9 |
| | La Arenosa | 5.2 | 2.9 | 2.1 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 |
| | Cajones | 4.8 | 2.7 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| | R. Roble (Montenegro) | 249.7 | 138.9 | 100.6 | 85.8 | 77.6 | 72.1 | 68.2 | 59.3 | 50.9 |
| | La Soledad | 8.6 | 4.8 | 3.5 | 2.9 | 2.7 | 2.5 | 2.3 | 2.0 | 1.7 |
| | La Paloma | 1.0 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| | Las Lajas | 4.2 | 2.4 | 1.7 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 0.9 |

Tabla 8. Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno en la unidad hidrográfica del río Roble y sus microcuencas abastecedoras (CRQ, 2018)

| Unidad Hidrográfica | NOMBRE | Periodo de retorno (Años) Caudales Máximos (m³/s) | | | | | | | | |
|---------------------|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 |
| Río Roble | | 27.46 | 34.77 | 40.66 | 43.96 | 46.26 | 49.48 | 53.50 | 58.95 | 71.72 |

| Microcuencas Abastecedoras | NOMBRE | Periodo de retorno (Años) Caudales Máximos (l/s) | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 |
| El Bosque | | 0.35 | 0.45 | 0.53 | 0.58 | 0.61 | 0.66 | 0.72 | 0.80 | 0.99 |
| La Marina | | 0.12 | 0.16 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 0.35 |
| R. Roble (Circasia) | | 2.74 | 3.52 | 4.14 | 4.50 | 4.74 | 5.09 | 5.53 | 6.12 | 7.52 |
| La Arenosa | | 0.53 | 0.68 | 0.81 | 0.88 | 0.93 | 1.00 | 1.09 | 1.21 | 1.49 |
| Cajones | | 0.49 | 0.64 | 0.76 | 0.82 | 0.87 | 0.94 | 1.02 | 1.13 | 1.40 |
| R. Roble (Montenegro) | | 15.98 | 20.29 | 23.76 | 25.72 | 27.08 | 28.99 | 31.37 | 34.60 | 42.20 |
| La Soledad | | 0.82 | 1.06 | 1.25 | 1.36 | 1.44 | 1.54 | 1.68 | 1.87 | 2.30 |
| La Paloma | | 0.12 | 0.16 | 0.19 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.26 | 0.28 | 0.35 |
| Las Lajas | | 0.44 | 0.57 | 0.68 | 0.74 | 0.78 | 0.84 | 0.91 | 1.01 | 1.26 |

Tabla 9. Caudales máximos para diferentes períodos de retorno en la unidad hidrográfica del río Roble y sus microcuencas abastecedoras (CRQ, 2018)

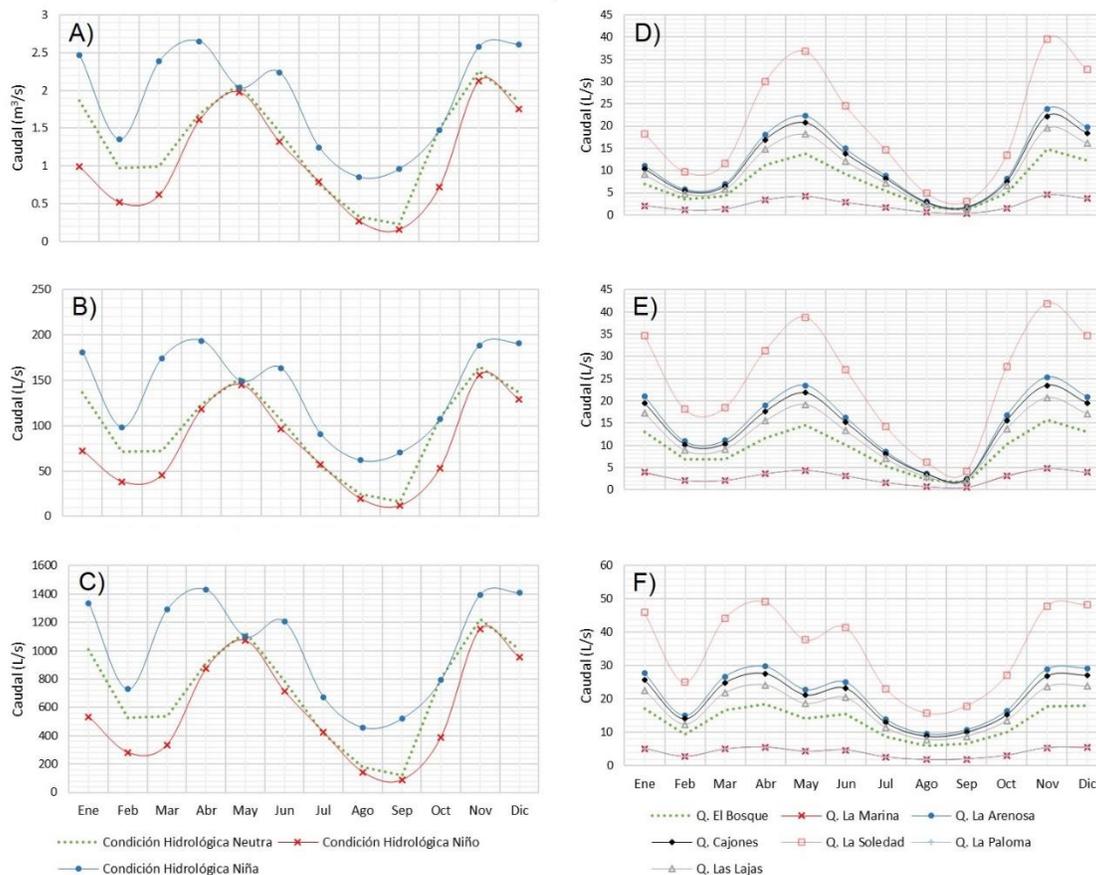


Figura 10. Caudales ambientales para la subcuenca del río Roble y las microcuencas abastecedoras A) Unidad Hidrográfica del río Roble, B) Río Roble bocatoma Circasia, C) Río Roble bocatoma Montenegro, D) Condición hidrológica de año seco para las microcuencas abastecedoras, E) Condición hidrológica de año neutro para las microcuencas abastecedoras, F) Condición hidrológica de año húmedo para las microcuencas abastecedoras (CRQ, 2018).

Según el POMCA (CRQ, 2018), la oferta hídrica disponible llega a ser aproximadamente cero (0) para el mes de agosto en los tres puntos de referencia sobre el cauce principal del río Roble (Bocatoma Circasia, Bocatoma Montenegro y sector La Española) y las microcuencas abastecedoras (**Figura 11**). Esta disponibilidad se ve influenciada por los cambios pluviométricos que se presentan sobre la unidad hidrográfica.

Al realizar una síntesis de la información secundaria recopilada sobre los estudios de oferta hídrica implementados en la unidad hidrográfica del río Roble, se observa una tendencia a la reducción del caudal medio anual (Figura 12), para los años 2008 y 2011 se reportaron caudales medios anuales 4.84 m³/s y 7.00 m³/s mientras que en los estudios de 2015, 2017 y 2018 se reportaron caudales medios anuales de 2.59 m³/s, 3.28 m³/s y 2.59 m³/s respectivamente.

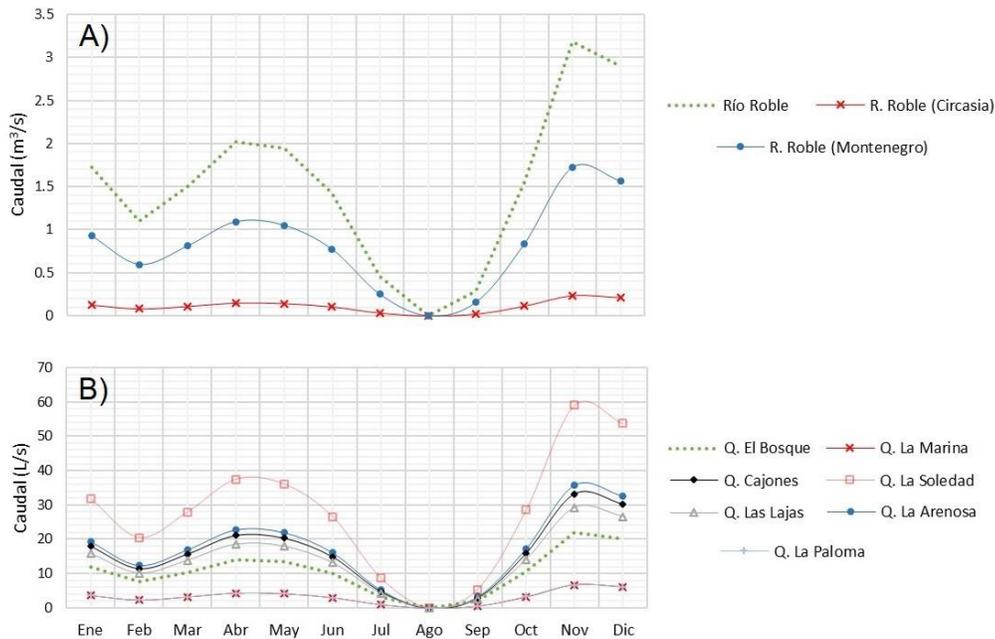


Figura 11. Oferta hídrica disponible para la subcuenca del río Roble y las microcuencas abastecedoras A) Cauce principal río Roble, B) Microcuencas abastecedoras (CRQ, 2018).

La OHTD estimada por CRQ (2015) muestran un caudal relativamente alto con respecto a la OHTS estimada en la ERA y el POMCA (CRQ, 2017, 2018) para la mayoría de los meses, excepto noviembre, donde se evidencia un leve incremento en el caudal disponible (Figura 13). Otro hecho importante de resaltar es que tanto la ERA (CRQ, 2017) como el POMCA (CRQ, 2018) registran un patrón similar de variabilidad mensual del caudal en la unidad hidrográfica, a diferencia de la distribución mensual reportada por el estudio de modelación del año 2015 (CRQ, 2015). Lo cual indica que la oferta hídrica para los meses de julio, agosto y septiembre presentan una alta reducción al punto de presentar problemas para suministrar recurso a las diferentes demandas sectoriales.

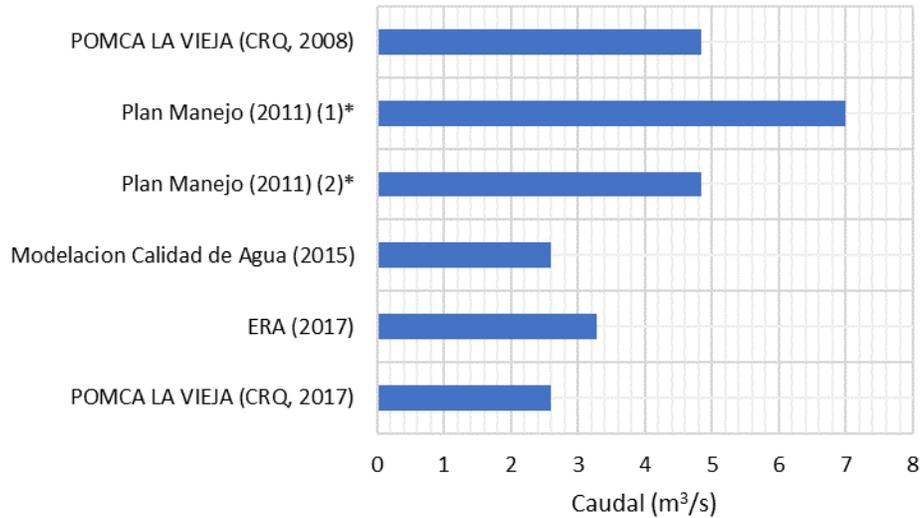


Figura 12. Oferta hídrica superficial anual de la unidad hidrográfica del río Roble reportada por estudios anteriores (CRQ, 2008, 2011, 2015, 2017, 2018)

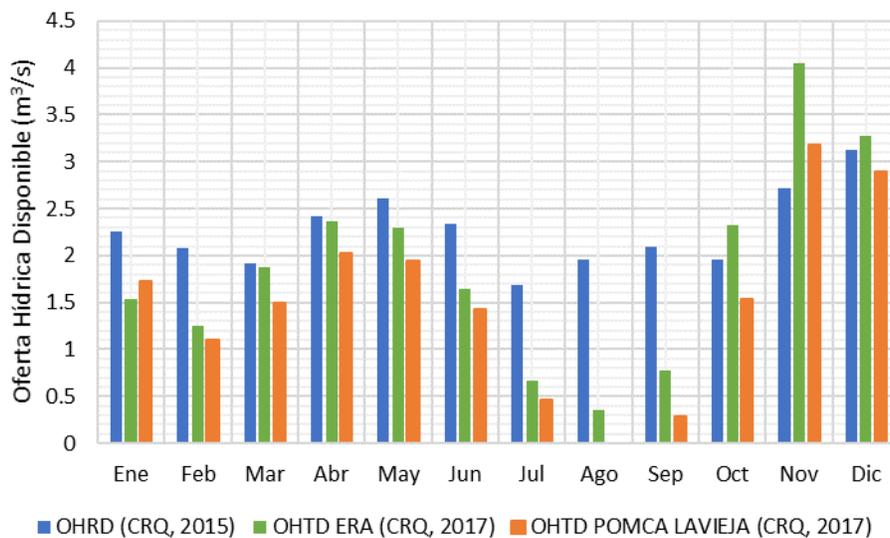


Figura 13. Oferta hídrica total disponible para la unidad hidrográfica del río Roble reportada por CRQ (2015), CRQ (2017) y CRQ (2018)

Tomando como referencia información de la ERA (CRQ, 2017), se realizó un perfil del caudal líquido en el cauce del río Roble indicando los diferentes aportes de caudal y captaciones (Figura 14). Se consideraron los estimativos de caudal volumétrico simulado para el afluente en los diferentes puntos de la cuenca sobre quebradas y arroyos que vierten sus aguas al río.

Sobre el cauce principal del Río Roble se proyectan cinco puntos de aporte hídrico principalmente localizados en la parte alta de la cuenca. El primer aporte al cauce es entregado por las quebradas El Bosque y La Marina, representado en caudales de 22.64 y 7.21 l/s respectivamente, el cual es

utilizado aproximadamente en su totalidad para uso doméstico. Aguas abajo se observan dos aportes, el primero, de la quebrada La Arenosa (afluente principal para el abastecimiento hídrico al municipio de Circasia por medio de bocatoma) y el segundo, de la quebrada Cajones con caudales promedio de 37.36 y 37.42 l/s respectivamente. Por último, se estimaron dos aportes localizados sobre la mitad de la cuenca, el primero de ellos corresponde a la unión de las quebradas La Soledad y La Paloma con un caudal de 129.66 l/s y el segundo, a la quebrada Las Lajas (Turín) con un aporte de 31.27 l/s al cauce principal.

En cuanto a las captaciones sobre el cauce, diferentes a las realizadas por las bocatomas de Circasia y Montenegro, se encontraron tres registros distribuidos en la parte alta, media y baja de la cuenca. En la parte alta se registra una captación sobre el arroyo La Clarita con un caudal de 1.34 l/s utilizado para uso pecuario por parte de la comunidad, mientras en las partes media y baja de la cuenca, sobre las quebradas Innominada La Margarita y La Praderita el volumen captado de 0.07 y 0.013 l/s respectivamente, es utilizado para uso doméstico.

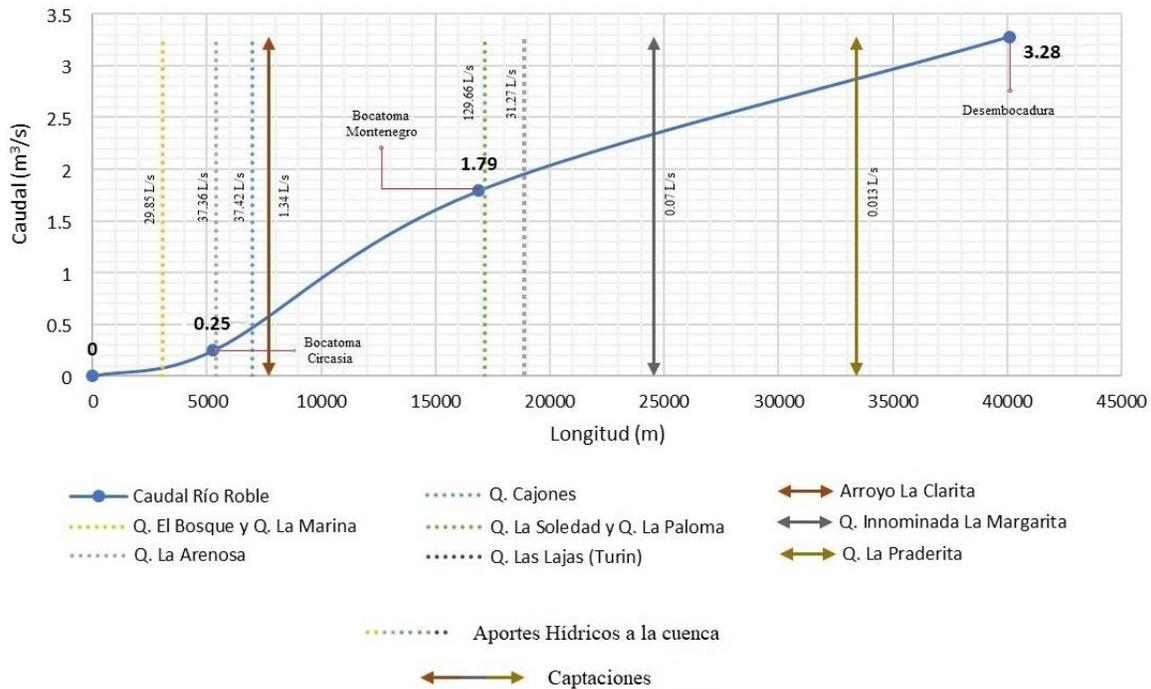


Figura 14. Perfil de caudal medio diario para la unidad hidrográfica del río Roble (CRQ, 2017)

Por último, los caudales registrados sobre el curso principal de Río Roble corresponden a las bocatomas de Circasia y Montenegro. El primero registra un estimativo volumétrico por unidad de tiempo de 0.25 m³/s, de los cuales son concesionados cerca de 30 l/s para abastecimiento hídrico del municipio; el segundo registra un caudal de 1.79 m³/s, de los que se concesionan aproximadamente 100 l/s para abastecer el municipio de Montenegro. La estimación de caudal en el punto de salida o desembocadura del Río Roble al Río La Vieja según la modelación hidrológica

realizada para la ERA (CRQ, 2017) corresponde a un volumen promedio de 3.28 m³/s, con un rendimiento hídrico medio de 26 l/s/Km².

1.2.2. Información De Demanda

La principal fuente abastecedora de agua para el municipio de Circasia es el Río Roble, bien sea por puntos de bombeo como Las Águilas, El Roble y La Arenosa, o por gravedad como Villa Dora, El Bosque y San Julián, con caudales de aproximadamente 90.05 l/s (CRQ, 2011). Según este mismo estudio, la unidad hidrográfica del río Roble representa para el municipio de Montenegro un sustento hídrico del cual es demandado un caudal de 0.10 m³/s principalmente para abastecer el centro urbano.

En una primera relación oferta – demanda para el año 2011 sobre el Río Roble, se determinó el volumen demandado sobre el afluente en relación con su producción hídrica, con el fin de estimar un Índice de Escasez y analizar los posibles factores de riesgo que supone un aumento al consumo (Tabla 10). Como resultado del análisis se expone que la oferta hídrica del Río Roble se ve afectada principalmente por la pobre caracterización y reglamentación que se tiene sobre el volumen de agua demandado para los diferentes usos, lo cual conlleva a problemas tales como “alta demanda concentrada en los centros urbanos, ineficiente administración del agua por parte de las empresas prestadoras del servicio, deficiente manejo social del agua y disminución en la capacidad de regulación de caudales de las corrientes a consecuencia de cambio en el uso y manejo del suelo, la deforestación en los nacimientos y las zonas altas de la cuenca” (CRQ, 2011).

| FUENTE | OFERTA HÍDRICA (Mm ³ /año) | DEMANDA HÍDRICA (Mm ³ /año) | BALANCE HÍDRICO (Mm ³ /año) | ÍNDICE DE ESCASEZ (%) |
|-----------|---------------------------------------|--|--|-----------------------|
| Río Roble | 152.63 | 10.7 | 141.93 | 7.01 |

Tabla 10. Índice de Escasez para la corriente principal del río Roble (CRQ, 2011)

Los sectores con mayor consumo hídrico para el año 2014 en la unidad hidrográfica del río Roble son el consumo humano y uso doméstico, representando el 79% y el uso agrícola con un 20% del caudal total concesionado (CRQ, 2015; Figura 15).

Según la Evaluación Regional de Agua (CRQ, 2017), sobre la unidad hidrográfica del Río Roble son demandados aproximadamente 83.9 L/s, siendo esta la quinta fuente hídrica con mayor caudal en demanda para el departamento del Quindío. Un desglose de la distribución hídrica por consumo a lo largo del año se presenta en la **Tabla 11**. Se observa que los mayores volúmenes mensuales demandados corresponden a uso doméstico urbano en los municipios de Montenegro y Circasia, con 83.4 L/s y 54.88 L/s respectivamente. Los usos, pecuario y doméstico rural, representan el 10.7% y el 9.2% respectivamente del caudal mensual demandado para la mayoría de los meses durante el año, correspondientes a 19.55 L/s y 16.8 L/s.

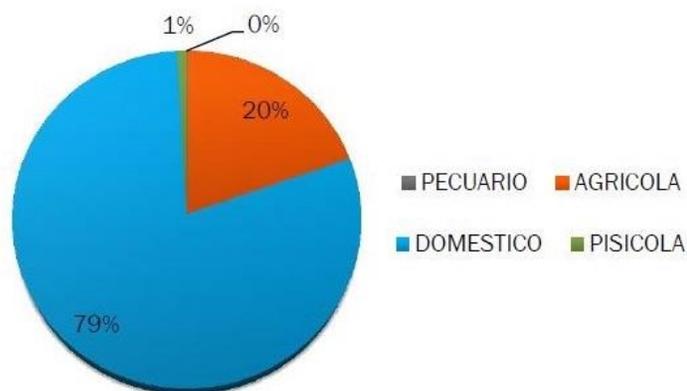


Figura 15. Porcentajes del caudal demandado por tipo de uso en la unidad hidrográfica río Roble (CRQ, 2015)

| Tipo de Demanda | Demanda Hídrica en la Unidad Hidrográfica del Río Roble (l/s) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| Doméstica Urbana Circasia | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 | 54.88 |
| Doméstica Urb. Montenegro | 83.4 | 83.4 | 83.44 | 83.44 | 83.44 | 83.44 | 83.44 | 83.44 | 83.44 | 83.44 | 83.44 | 83.44 |
| Doméstica Rural | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 | 16.80 |
| Agrícola | 5.43 | 0.00 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.82 | 101.34 | 143.90 | 1.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pecuaría | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 | 19.55 |
| piscícola | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Industrial | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 |
| Generación Eléctrica | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Recreación y Deporte | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 181.2 | 175.8 | 176.0 | 175.8 | 175.8 | 176.6 | 277.1 | 319.7 | 176.9 | 175.8 | 175.8 | 175.8 |

Tabla 11 Demanda hídrica mensual sectorial y total en la unidad hidrográfica del río Roble (CRQ, 2017)

Realizando una síntesis de la información documentada para la demanda hídrica sobre el río Roble (Tabla 12), se observan variaciones en los valores porcentuales por tipo de uso entre el estudio del año 2015 (CRQ, 2015) y la Evaluación Regional de Agua (CRQ, 2017). En la demanda para uso doméstico la proporción se mantiene estable, una disminución de 0.2% no representa un cambio significativo para la cuenca, por el contrario, la proporción de demanda para uso pecuario presenta un incremento del 9.9% para el 2017. Otro cambio evidente se observa en el sector agrícola, que para el 2015 representaba un 20% del caudal total demandado y para el 2017 en la ERA, se reduce a un 10.7%. La demanda para uso piscícola al igual que la demanda agrícola se ve reducida, para este uso pasa del 1% (2015) al 0.5% (ERA 2017) de la demanda total. Por último, se observa que para el 2017 se reporta una demanda para el sector industrial, que para el 2015 no presentó registro. Si bien es cierto que solo representa un 0.1%, es probable que para años futuros esta demanda se vea incrementada, de la mano con la expansión y modernización de las industrias.

| Tipo de Demanda | Porcentaje Modelación 2015 (%) | Porcentaje ERA 2017 (%) |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------|
| Doméstico | 79 | 78.8 |
| Agrícola | 20 | 10.7 |
| Piscícola | 1 | 0.5 |
| Pecuario | 0 | 9.9 |
| Industrial | NR | 0.1 |

Tabla 12. Distribución porcentual de demanda hídrica por tipo de uso para la Unidad Hidrográfica del río Roble (CRQ, 2015; 2017)

1.2.3. Información De Calidad Del Agua

El Río Roble es la principal fuente abastecedora de agua para el norte del departamento del Quindío. Se han realizado estudios para determinar la calidad del recurso y los posibles agentes contaminantes provenientes de centros urbanos, actividades agrícolas y turísticas en la región.

La bocatoma principal del municipio de Montenegro ubicada en la parte media del río Roble recibe cargas contaminantes provenientes de los municipios de Filandia y Circasia (ubicados en la parte alta de la cuenca), por lo que se han implementado proyectos ambientales con el fin de reducir la contaminación aguas arriba de la bocatoma. Aguas abajo de este municipio siguiendo el curso del río, la calidad del agua se ve afectada por residuos químicos provenientes de actividades agrícolas, los cuales alcanzan el cauce de la red hídrica por efecto de escorrentía a través del área aferente.

Cambios en la cobertura y uso del suelo en la cabecera y riberas del cauce han ocasionado reducción de aproximadamente 30% del caudal principal en los últimos 25 años, al eliminar de las riberas de los ríos y quebradas especies retenedoras y reguladores del recurso hídrico como guaduales y matorrales, y establecer en las cabeceras bosques plantados que acidifican el suelo y no son retenedores de agua. Sumado a lo anterior, las actividades turísticas contribuyen al deterioro de la calidad del agua en esta corriente hídrica (Plan de Manejo Río Roble, 2011).

En la **Tabla 13**, se muestra la proporción de los vertimientos depositados por los municipios de Filandia y Circasia a través de las quebradas Portachuelo (81% del total de la población) y Cajones (27.1% del total de la población), las cuales desembocan al cauce principal del Río Roble. El municipio de Montenegro aporta aguas residuales de manera directa al río producidas por los barrios La Isabela, Pablo VI y barrios aledaños (CRQ, 2015).

| ÁREA URBANA | FUENTE RECEPTORA |
|---|---|
| Filandia (Casco urbano, zona sur) | Quebrada. Portachuelo (81% de la población) |
| Circasia (Casco urbano, zona noroccidental) | Quebrada Cajones (27.1% de la población) |
| Montenegro | Río Roble (Directo río Roble 9,3%) |

Tabla 13. Fuentes hídricas impactadas por vertimiento de aguas servidas urbanas dentro de la unidad hidrográfica del río Roble (CRQ, 2015)

En el estudio de "Modelación de la Calidad de Agua Río Roble Municipios de Circasia y Montenegro" (CRQ, 2015) se compilaron resultados históricos de monitoreos de calidad del agua mediante

algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tales como Temperatura, pH, DBO, Sólidos Suspendidos, Oxígeno Disuelto y Coliformes Totales y Fecales (Tabla 14). Los valores de temperatura muestran un aumento principalmente en la parte media de la cuenca de 3.4°C respecto al promedio de los últimos cuatro años. En cuanto al pH estimado, se presentan niveles aceptables de acidez, con valores entre 6.17 a 8.9 unidades, rango permitido, acorde con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso al uso doméstico establecidos por el Decreto 1594/84.

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) se encuentra entre los 0.4 y 6.2 mg/L para los municipios de Circasia y Montenegro presentando una buena capacidad de dilución de los agentes contaminantes para el río Roble. Los Sólidos Suspendidos Totales presentan tendencia a incrementar sus valores hacia el final del tramo, cerca de la confluencia con el río La Vieja. El mayor valor registrado (9.1 mg/L) se observa en el muestreo realizado en junio de 2014 sobre la parte media del río, luego de recibir parte de los vertimientos de aguas residuales del municipio de Circasia y Montenegro. Para el 2015 la concentración más baja de este parámetro, se presentan en sitios de velocidades bajas y reducción significativa del caudal.

| Fecha | Tramo | Longitud (km) | Q (L/s) | T (°C) | pH | DBO (mg/L) | DQO (mg/L) | SST (mg/L) | ST (mg/L) | OD (mg/L) | CT (NMP/100mL) | CF (NMP/100mL) |
|--------|-------------|---------------|---------|--------|------|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| jul-11 | Nacimiento | 0.5 | 202 | 17.1 | 7.26 | 0.66 | - | 4.4 | - | 8 | 1.80E+02 | 1.80E+02 |
| | Parte Media | 23.2 | S.D | 20.2 | 7.42 | 1.66 | - | 4.4 | - | 7.37 | 2.80E+04 | 2.20E+04 |
| | Parte Baja | 41.4 | 2416 | 22 | 7.34 | 0.78 | - | 7.2 | - | 6.2 | 7.80E+02 | 7.80E+02 |
| sep-11 | Nacimiento | 0.5 | 110 | 17.4 | 7.43 | 1.25 | 2.16 | 1.25 | 51.8 | 6 | 1.80E+02 | 1.80E+02 |
| | Parte Media | 23.2 | 1246 | 20 | 7.85 | 1.08 | 9.4 | 4.5 | 84 | 6 | 1.60E+05 | 1.60E+05 |
| | Parte Baja | 41.4 | 1485 | 18 | 7.8 | 1.03 | 10.2 | 6 | 129 | 7.4 | 7.80E+02 | 7.80E+02 |
| mar-10 | Nacimiento | 0.5 | 181 | 18.2 | 6.33 | <5.7 | <9.4 | - | - | 9.4 | 2.00E+02 | 2.00E+02 |
| | Parte Media | 23.2 | 828 | 19.9 | 7.79 | <5.7 | 13.8 | - | - | 5.7 | 7.90E+04 | 7.90E+04 |
| | Parte Baja | 41.4 | 1317 | | 7.05 | <5.7 | 12.9 | - | - | 6.1 | 1300 | 180 |
| sep-13 | Nacimiento | 0.5 | 125 | 16 | 7.61 | <5.7 | <9.4 | <4.4 | 61.9 | 7.97 | 3300 | 780 |
| | Parte Media | 23.2 | 1108 | 21 | 7.67 | <5.7 | <9.4 | 4.6 | 86.9 | 6.27 | 1.60E+07 | 1.60E+06 |
| | Parte Baja | 41.4 | 1222 | 22 | 8.9 | <5.7 | <9.4 | <4.4 | 107 | 7.66 | 2.40E+05 | 4.90E+04 |
| jun-14 | Nacimiento | 0.5 | 104 | 17.5 | 7.13 | 0.48 | 6.6 | 0.95 | 67.7 | 7.5 | 2.40E+04 | 2.70E+03 |
| | Parte Media | 23.2 | 1846 | 22.3 | 7.74 | 1.45 | 5 | 9.1 | 72.3 | 7 | 1.60E+05 | 1.60E+05 |
| | Parte Baja | 41.4 | 2641 | 21.8 | 7.92 | 1.01 | 13.7 | 6.5 | 93.9 | 7.3 | 7.90E+04 | 2.70E+04 |
| sep-15 | Nacimiento | 0.5 | 55 | 16.9 | 6.17 | 0.4 | 9.55 | 0.93 | 9.55 | 6.64 | 4.90E+03 | 2.30E+03 |
| | Parte Media | 23.2 | 371.4 | 24.1 | 7.91 | 6.2 | 19.8 | 2.7 | 19.8 | 6.1 | 9.20E+05 | 3.50E+05 |
| | Parte Baja | 41.4 | 747.6 | 25.7 | 8.64 | 2.18 | 21.9 | 2.2 | 21.9 | 5.52 | 2.30E+04 | 4.50E+03 |

Tabla 14. Calidad del agua en el cauce principal del río Roble en el periodo 2011 a 2015 (CRQ, 2015)

Para el Oxígeno Disuelto se evidencia una tendencia decreciente del parámetro, medido desde su nacimiento con valores de 9.4 mg/L para marzo del 2010 hasta los 5.52 mg/L para septiembre del 2015, este último tomado aguas arriba de la desembocadura al río La Vieja luego de recibir vertimientos de las zonas urbanas de los municipios de Circasia y Montenegro en la parte media y baja del cauce principal del río Roble.

Se presentan concentraciones de hasta 1.6E+07 NMP/100ml en Coliformes Totales (CT) y 1.6E+06 UMP/100ml en Coliformes Fecales (CF), sobre la cuenca media en cercanías a los vertimientos del casco urbano del municipio de Montenegro para el año 2013. Entre junio de 2014 a septiembre de 2015 se ve vertiginosamente incrementado el valor de los CT y CF en un 475% y 119% respectivamente sobre la cuenca media. De otro lado, se evidencia una notable disminución en el valor de este parámetro cerca a la confluencia con el río La Vieja, lo cual indica una alta capacidad de autodepuración del cuerpo de agua debido a los procesos naturales que se producen en

corrientes de montaña, sumado a la inexistencia de vertimientos significativos en la parte baja de la cuenca.

Según la ERA (CRQ, 2017), la calidad del agua del río Roble y sus principales tributarios se encuentra dentro de la categoría "Aceptable", salvo dos puntos de monitoreo en la que se encuentra en la categoría de "Regular" (quebrada La Marina y el río Roble antes de la llegada de la quebrada Cajones). La bocatoma de Circasia en río Roble también tiene valores muy bajos del subíndice de coliformes fecales, así como en menor medida los puntos de las bocatomas en las quebradas La Arenosa, El Bosque y la Soledad. El documento expone que la principal presión es ejercida por la materia orgánica ya que los subíndices de coliformes fecales y DQO se encuentran en valores muy bajos; lo cual puede ser debido a aportes de actividades pecuarias (presencia de pastos aguas arriba), actividades agrícolas (presencia de cultivos de café aguas arriba de la quebrada Soledad) o posiblemente por aguas residuales domésticas del municipio de Circasia.

| Punto de monitoreo | I _{CF} | I _{CE} | I _{DQO} | I _{N/P} | I _{OD} | I _{pH} | I _{SST} | ICA | Descriptor de calidad |
|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------|-----------------------|
| Quebrada La Marina | 0.10 0 | 0.91 5 | 0.26 0 | 0.80 0 | 0.78 3 | 1.00 0 | 1.00 0 | 0.69 6 | Regular |
| Quebrada El Bosque | 0.39 4 | 0.87 8 | 0.51 0 | 0.80 0 | 0.74 3 | 1.00 0 | 1.00 0 | 0.76 0 | Aceptable |
| Río Roble bocatoma Circasia | 0.10 0 | 0.90 3 | 0.51 0 | 0.80 0 | 0.81 0 | 1.00 0 | 0.98 4 | 0.73 1 | Aceptable |
| Quebrada La Arenosa (Circasia) | 0.39 4 | 0.91 0 | 0.71 0 | 0.80 0 | 0.81 7 | 1.00 0 | 0.95 0 | 0.79 8 | Aceptable |
| Río Roble aguas arriba de confluencia con quebrada Cajones | 0.10 0 | 0.32 8 | 0.26 0 | 0.60 0 | 0.80 2 | 1.00 0 | 0.97 8 | 0.58 6 | Regular |
| Quebrada Cajones aguas arriba de confluencia con río Roble | 0.73 1 | 0.89 0 | 0.91 0 | 0.80 0 | 0.77 7 | 1.00 0 | 1.00 0 | 0.87 1 | Aceptable |
| Quebrada Portachuelo aguas debajo de Filandia | 0.84 5 | 0.91 5 | 0.91 0 | 0.80 0 | 0.81 8 | 1.00 0 | 1.00 0 | 0.89 7 | Aceptable |
| Río Roble aguas arriba de confluencia con quebrada Portachuelo | 0.10 0 | 0.87 8 | 0.51 0 | 0.80 0 | 0.82 2 | 1.00 0 | 0.97 4 | 0.72 8 | Aceptable |
| Quebrada Portachuelo aguas arriba de confluencia con río Roble | 0.34 8 | 0.88 9 | 0.71 0 | 0.80 0 | 0.81 8 | 1.00 0 | 1.00 0 | 0.79 5 | Aceptable |
| Quebrada La Soledad (Bocatoma de Montenegro) | 0.54 8 | 0.89 9 | 0.91 0 | 0.80 0 | 0.82 5 | 0.92 1 | 1.00 0 | 0.84 3 | Aceptable |
| Río Roble (Bocatoma Montenegro) | 0.68 6 | 0.85 6 | 0.91 0 | 0.80 0 | 0.82 2 | 1.00 0 | 0.94 7 | 0.85 9 | Aceptable |
| Quebrada La Paloma | 0.81 3 | 0.85 9 | 0.91 0 | 0.80 0 | 0.78 7 | 1.00 0 | 1.00 0 | 0.87 9 | Aceptable |
| Quebrada Las Lajas (Bocatoma Montenegro) | 0.79 9 | 0.88 3 | 0.71 0 | 0.80 0 | 0.78 5 | 1.00 0 | 1.00 0 | 0.85 2 | Aceptable |
| Río Roble (Puente vía Montenegro Quimbaya) | 0.10 0 | 0.84 9 | 0.51 0 | 0.80 0 | 0.79 3 | 1.00 0 | 0.95 3 | 0.71 6 | Aceptable |
| Río Roble (Sector La Española) | 0.26 9 | 0.79 0 | 0.91 0 | 0.80 0 | 0.82 2 | 0.77 2 | 1.00 0 | 0.76 7 | Aceptable |

Tabla 15. ICA en puntos de monitoreo en el río Roble y tributarios (CRQ, 2017)

La resolución 1035 de 2008 de CRQ establece los objetivos de calidad para las fuentes hídricas del departamento del Quindío, en el caso del río Roble, el cuerpo de agua se divide en dos tramos: un primer tramo definido entre la bocatoma de circasia y la bocatoma de Montenegro, y un segundo tramo definido entre el casco urbano de Montenegro y la confluencia con el río La Vieja (Tabla 16).

| TRAMO DEL RIO | PARÁMETRO DE CALIDAD | OBJETIVO DE CALIDAD ESPERADA PARA EL AÑO 2017 |
|---|---|---|
| Tramo I Comprendido entre la bocATOMA de Circasia y la bocATOMA de Montenegro | Oxígeno disuelto (mg/l) | Mayor o igual a 7.5 |
| | DBO (mg/l O ₂) | Menor a 5.0 |
| | SST (mg/l) | Menor a 20 |
| | DQO (mg/l O ₂) | 7.8 |
| | Coliformes totales (NMP/100 m) | 20000 |
| | Coliformes fecales (NMP/100 m) | 2000 |
| | Amoniaco (mg/l N) | 1.0 |
| | Arsénico (mg/l As) | 0.05 |
| | Bario (mg/l Ba) | 1.0 |
| | Cadmio (mg/l Cd) | 0.01 |
| | Zinc (mg/l Zn) | 15 |
| | Cianuro (mg/l Cn ⁻) | 0.2 |
| | Cloruros (mg/l Cl ⁻) | 250 |
| | Cromo (mg/l Cr+6) | 0.05 |
| | Cobre (mg/l Cu) | 0.02 |
| | Fenol | 0.002 |
| | Difenil policlorados | No detectables |
| | Color real (unidades Platino cobalto) | No detectable |
| | Mercurio (mg/l Hg) | 0.002 |
| | Nitratos (mg/l N) | 10 |
| | Nitritos (mg/l N) | 1.0 |
| | pH (unidades) | Mayor a 6.5 y menor a 9 |
| | Plata (mg/l Ag) | 0.05 |
| | Plomo (mg/l Pb) | 0.05 |
| | Selenio (mg/l Se) | 0.01 |
| | Sulfatos (mg/l SO ₄) | 400 |
| | Tensoactivos (sustancias activas al azul de metileno) | 0.5 |
| | Película visible de grasas y aceites flotantes | Ausente |
| Radioisótopos | Ausente | |
| Material flotante y espumas, provenientes de actividad humana | Ausente | |
| Tramo II Comprendido entre el casco urbano de Montenegro y la desembocadura en el Río La Vieja | Aluminio (mg/l Al) | 5.0 |
| | Cadmio (mg/l Cd) | 0.01 |
| | Arsénico (mg/l As) | 0.1 |
| | Boro (mg/l B) | Entre 0.3 y 4.0 dependiendo del tipo de suelo y cultivo |
| | Zinc (mg/l Zn) | 2.0 |
| | Nitratos + Nitritos | 100 |
| | Hierro (mg/l Fe) | 5.0 |
| | Cromo (mg/l Cr+6) | 0.1 |
| | Cobre (mg/l Cu) | 0.2 |
| | Mercurio (mg/l Hg) | 0.01 |
| | Nitritos (mg/l N) | 10 |
| | pH | Mayor a 6.5 y menor a 9 |
| | Plomo (mg/l Pb) | 0.1 |
| | Selenio (mg/l Se) | 0.02 |
| | Vanadio (V) | 0.1 |
| | Flúor (F) | 1.0 |
| | Litio (Li) | 2.5 |
| Manganeso (Mn) | 0.2 | |
| Molibdeno (Mo) | 0.01 | |

Tabla 16. Objetivos de calidad río Roble según Resolución 1035 de 2008 (CRQ, 2008)

1.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN

La Gestión Integral del del Recurso Hídrico GIRH se define como “*un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales*”, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia considera la formulación de los planes y programas necesarios para garantizar la disponibilidad del recurso hídrico en calidad y cantidad, como una de las acciones importantes a desarrollar, a partir de una perspectiva de cuenca hidrográfica y considera la participación social en torno a las dinámicas generadas por el agua como eje de articulación social y territorial se constituye en un elemento estratégico esencial dentro del proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

En la fase de Diagnóstico del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico se busca establecer la situación ambiental de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento (Río Roble, Quebrada Portachuelo y Quebrada Cajones), con el fin de identificar conflictos y restricciones del recurso contextualizado en un análisis situacional de la relación sociedad – naturaleza en espacio y tiempo. Un enfoque participativo es una estrategia que contribuye con la caracterización acertada de las problemáticas y necesidades, así como de potencialidades que conducen a la construcción de alternativas de soluciones concertadas en pro de la sostenibilidad del recurso hídrico en cantidad y calidad.

El plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico tendrá un horizonte mínimo de diez años, sin embargo el proceso de ordenamiento es un ciclo de gestión continuo que obedece a las dinámicas de un territorio cambiante y en consecuencia requiere acciones de monitoreo, seguimiento y evaluación que permitan el ajuste o actualización del instrumento en términos espaciales, temporales, cuantitativos y cualitativos, así como los cambios en la funcionalidad y prestación de servicios ecosistémicos de los cuerpos de agua. Para el apropiado desarrollo de este proceso y su ejecución, es fundamental identificar y caracterizar los actores participantes, teniendo en cuenta el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, que reconoce la importancia de los procesos de participación incidente, a través de la cual se propicia el empoderamiento y reconocimiento de las comunidades, para la buena toma de decisiones concertadas, que minimizan los conflictos alrededor del recurso.

1.3.1. Enfoque Metodológico

1.3.1.1. Identificación de actores

Un actor social es un sujeto colectivo estructurado a partir de una conciencia de identidad propia, portador de valores, poseedor de un cierto número de recursos que le permiten actuar en el seno de una sociedad con vistas a defender los intereses de los miembros que lo componen y/o de los individuos que representa, para dar respuesta a las necesidades identificadas como prioritarias. También puede ser entendido como un grupo de intervención, tal que percibe a sus miembros

como productores de su historia, para la transformación de su situación. O sea que el actor social actúa sobre el exterior, pero también sobre sí mismo. En ambos casos, el actor se ubica como sujeto colectivo, entre el individuo y el Estado. En dicho sentido es generador de estrategias de acción (acciones sociales), que contribuyen a la gestión y transformación de la sociedad. (Touraine, 1984). En un proceso de planificación y gestión se deben identificar los actores sociales que intervienen en el contexto definido, es decir todos aquellos que tiene responsabilidades o resultan beneficiados o perjudicados por la configuración actual de la situación, o porque tendrán responsabilidades, beneficios o perjuicios en las distintas configuraciones futuras posibles (Kullock, 1993).

Una de las acciones requeridas para el Ordenamiento del recurso Hídrico corresponde a la identificación de actores relevantes y representativos. Los actores relevantes se definen como usuarios que captan y/o vierten al cuerpo de agua de interés y todos aquellos que capten de los tributarios principales al cuerpo de agua en el área de drenaje, por el impacto en cantidad y/o calidad que se generan sobre éste, mientras que los actores representativos son definidos como actores interesados en el ordenamiento localizados en cuerpos de agua que tributan a los cuerpos de agua priorizados. Para el desarrollo la identificación de actores se diseñó una estrategia de comunicación, donde se utilizó como fuente de información las bases de datos de usuarios suministradas por funcionarios de la CRQ, y representantes de ASOJUNTAS con quienes se alimentó una base de datos de contacto de los presidentes de juntas de acción comunal, presidentes de asociaciones de acueducto, asociaciones de comercio, personas naturales, jurídicas, públicas y privadas, entre otros.

1.3.1.2. *Tipología y clasificación de actores*

Los actores identificados se relacionan de diversas formas con los recursos hídricos de la unidad hidrográfica del río Roble, representan los diferentes tipos de interés dentro de la unidad hidrográfica (actores públicos, privados, ONGS, alcaldías, asociaciones, juntas de acción comunal, **Tabla 17**), y cumplen una variedad de funciones (**Tabla 19**, **Tabla 20**, **Tabla 21** y **Tabla 22**). Una vez identificados los actores, se consolidó una base de datos con la información necesaria para convocarlos a participar en las actividades del proceso de ordenamiento en los municipios de Filandia, Quimbaya, Montenegro y Circasia.

| ACTORES IDENTIFICADOS |
|--|
| Gobernación del Quindío |
| Secretaría de Educación Departamental |
| Secretaría de Salud Pública |
| Secretaría de Agricultura Desarrollo Rural y Medio Ambiente |
| Corporación Autónoma Regional del Quindío |
| Alcaldías Municipales de Filandia, Circasia, Montenegro y Quimbaya |
| Consejos municipales |
| Ongs Ambientalistas |
| Juntas de Acción Comunal |
| Asociaciones Campesinas |
| Empresas de Servicios Públicos |
| Asociación de Mineros Artesanales |
| Asociación de Curtiembres |
| Asociación de Areneros |
| Asociaciones de Productores |
| Asociación De Turismo |

Tabla 17. Actores identificados como relevantes para participar en el proceso de ordenamiento

| INSTITUCIONES PÚBLICAS | ORGANIZACIONES | INSTITUCIONES PRIVADAS |
|---|-------------------------------------|--|
| Alcaldías | J.A.C. | Comité de Cafeteros |
| Gobernación del Quindío | Asociaciones de Mineros Artesanales | Turismo (Hoteles, restaurantes, sitios recreacionales) |
| Corporación Autónoma Regional del Quindío | Asociación de Areneros | |
| Empresas de Servicio Público | Juntas de Acueductos | |
| Universidades | Ganaderos | |
| Consejos municipales | Cafeteros | |
| | Agricultores | |
| | Piscicultores | |
| | Turismo | |
| | O.N.G. | |
| | Mesa Ciudadana | |

Tabla 18. Clasificación de actores participantes en el proceso de ordenamiento de la unidad hidrográfica río Roble

| ACTOR | FUNCIONES |
|---|---|
| Gobernación del Quindío | Administrar los asuntos departamentales y prestar los servicios públicos que determine la ley. |
| Secretaría Departamental de Educación | Interpretar la voluntad soberana de sus habitantes y en el marco de la Constitución, la ley y el Reglamento. |
| Secretaría de Salud Pública | Ordenar el desarrollo de su territorio y construir las obras que demande el progreso municipal. |
| Secretaría de Agricultura Desarrollo Rural y Medio Ambiente | Planificar el desarrollo económico, social y ambiental de su territorio, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades |
| Corporación Autónoma Regional del Quindío | Ejecutar las políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental, así como diseñar y ejecutar planes y programas ambientales de orden regional conforme a la ley, dentro del ámbito de su jurisdicción. |
| Alcaldías municipales | Administrar los asuntos municipales y prestar los servicios públicos que determine la ley. Interpretar la voluntad soberana de sus habitantes y en el marco de la Constitución, la ley y el Reglamento. Ordenar el desarrollo de su territorio y construir las obras que demande el progreso municipal. Planificar el desarrollo económico, social y ambiental de su territorio, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades |
| Consejos Municipales | Ejercer el control político y administrativo a la administración municipal Estudiar y aprobar proyectos de acuerdo |
| Empresas De Servicio Público De Acueducto, Alcantarillado Y Aseo | Administrar la red de acueducto y alcantarillado, distribuir el agua a los domicilios y velar por el servicio de aseo. |

Tabla 19. Funciones de actores del sector público

| ACTOR | FUNCIONES |
|--|--|
| Turismo (Hoteles, Sitios Recreacionales y Turísticos) | SERVICIO: Explotación comercial de hoteles, restaurantes y agencias de turismo, con todas sus actividades complementarias propias de la hotelería y turismo. |
| Comité Departamental de Cafeteros | Orientar, fomentar y regular la caficultura colombiana procurando el bienestar del caficultor a través de mecanismos de participación y fomento comercial |

Tabla 20. Funciones de actores del sector privado

| ACTOR | FUNCIONES |
|-----------------------|--|
| ONG's | Supervisan las Políticas y alientan la participación de la comunidad. |
| Mesa Ciudadana | Representan los intereses de sus comunidades y organizaciones para incidir en el modelo ambiental de su territorio |

Tabla 21. Funciones de actores de organizaciones sin ánimo de lucro

| ACTOR | FUNCIONES |
|-----------------------------------|--|
| JAC | Representación comunitaria, gestión |
| Asociaciones de Acueductos | Gestionar, planear, velar por la administración sostenible del recurso en pro de la frecuencia del servicio de agua con calidad y cantidad |
| Asociación de Areneros | Representación sectorial, gestión |
| Asociación de Cafeteros | Representación sectorial, gestión |
| Asociación de Ganaderos | Representación sectorial, gestión |
| Asociación de Avicultores | Representación sectorial, gestión |
| Asociación de Guadueros | Representación sectorial, gestión |
| Asociación de Curtiembres | Representación sectorial, gestión |

Tabla 22. Funciones de actores de organizaciones sociales

1.3.1.3. *Diseño Del Mecanismo De Participación*

El diseño de un mecanismo de participación de los actores identificados es importante para conocer las posturas que ellos tienen o adoptarán con respecto a la situación actual y prospectiva del recurso hídrico. La participación de los actores en el proceso de ordenamiento del recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada cajones se implementó mediante la aplicación de herramientas metodológicas fundamentadas conceptualmente en la Investigación Acción participativa (IAP) y la teoría del Construcciónismo Social, indispensables en el diálogo de saberes y el conocimiento de la realidad. Entre esas herramientas, la Planeación de Proyectos Orientada a Objetivos (ZOPP) permite al grupo de trabajo definir en forma consensada las acciones a realizar y su secuencia para alcanzar los objetivos propuestos (Helming & Gobel, 1998), la cartografía social (mapas parlantes) facilita a los actores el intercambio de saberes para la identificación de conflictos y potencialidades de uso del agua. Adicionalmente el mapeo de actores a través de la herramienta mapa de pertenencia, permite visibilizar la incidencia que cada actor tiene frente al proyecto, rangos de interés o de motivación.

Además, las técnicas y herramientas de trabajo comunitario aportan valiosa información para el análisis cualitativo en la formulación del plan de ordenamiento. Para ello se generan espacios de encuentro en los que se desarrollan actividades de tipo individual y colectivo.

1.3.1.3.1. *Herramientas de trabajo individual*

El trabajo individual se ejecutó mediante la implementación de dos herramientas de recopilación de información: 1) Fichas básicas de identificación de conflictos socioambientales por el agua y 2) Mapa de pertenencia (Anexo 1).

Ficha básica de identificación de conflictos socioambientales por el agua. Este mecanismo de participación guía a los actores en la identificación de problemas, potencialidades y conflictos presentes en el río Roble y sus tributarios con relación a las siguientes categorías de análisis:

- Cantidad del recurso hídrico
- Calidad del recurso hídrico
- Oportunidad de acceso al recurso hídrico
- Continuidad y sostenibilidad del recurso hídrico
- Comportamiento social con respecto al recurso hídrico

Con base en la información correspondiente a los referentes de análisis mencionados, se identifican áreas críticas (áreas afectadas por vertimientos, ocupación de cauces, sedimentos, erosión o quemas, asentamientos humanos en zonas de riesgo y disminución de caudal).

Mapa de pertenencia. Mediante esta herramienta se implementó el mapeo de actores, el cual consiste en el diligenciamiento de un esquema concéntrico, en la cual se ubican de manera gráfica los actores institucionales y comunitarios, como aliados, opositores o indecisos e indiferentes. El grado de interés de los actores frente al plan, es representado por un número, en una valoración de 1 a 3 y una ubicación específica.

En el hemisferio derecho de la circunferencia, el cuadrante superior corresponde a actores institucionales y el cuadrante inferior corresponde a los actores comunitarios, la interpretación de la escala de valores es la siguiente:

- Número 1. El actor manifiesta un alto grado de interés ante el PORH
- Número 2. El actor manifiesta un mediano grado de interés ante el PORH
- Número 3. El actor manifiesta poco grado de interés ante el PORH

En el hemisferio izquierdo de la circunferencia, el cuadrante superior corresponde a actores institucionales y el cuadrante inferior corresponde a los actores comunitarios, la interpretación de la escala de valores es la siguiente:

- Número 1. El actor manifiesta un bajo grado de indiferencia ante el PORH (indeciso)
- Número 2. El actor manifiesta un mediano grado de indiferencia ante el PORH
- Número 3. El actor manifiesta un alto grado de indiferencia ante el PORH

1.3.1.3.2. *Herramientas de trabajo colectivo*

Se establecieron dos instrumentos de participación en esta instancia, mediante un trabajo por grupos se elaboró la cartografía social y a través de una plenaria se socializaron los mapas desarrollados por cada grupo.

Cartografía social. Mediante la aplicación de mapas parlante se creó un espacio de interacción y consenso entre los actores, para ello se organizaron grupos de trabajo utilizando como referencia la cartografía básica de la unidad hidrográfica del río Roble (límites de la unidad hidrográfica y red hídrica) y ubicación de los municipios e infraestructuras presentes (cascos urbanos, vías, límites veredales), con el objetivo de facilitar la localización de lugares que presentan problemas, conflictos o potencialidades con respecto al uso y aprovechamiento del recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

Plenaria de socialización de la información aportada por cada uno de los actores. Una vez desarrollada la actividad anterior, se realizó un ejercicio de socialización en el que se retroalimentó el trabajo de cada uno de los grupos, visibilizando los puntos de coincidencia y las diferencias de los participantes frente a los conflictos y problemas identificados sobre el recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

La identificación de conflictos se llevó a cabo tomando como referencia la Guía metodológica para el diseño y la implementación de procesos de prevención y transformación de conflictos por el agua: Conceptos y herramientas de diálogo y negociación (Ayala Plata & Camargo Olave, 2018). Se realizó la tipología de conflictos por el agua, con el fin de tener una aproximación sobre las posibles causas o factores por los cuales se manifiestan las situaciones conflictivas, en aras de construir de manera participativa propuestas de intervención para la transformación de conflictos relacionados con el agua.

Los conflictos tipificados fueron los siguientes:

- **Conflicto entre usos:** estos conflictos ocurren cuando el recurso no satisface cuantitativa, cualitativamente o en el tiempo, las demandas que generan los diferentes destinos del agua en una cuenca.
- **Conflicto entre usuarios:** este tipo de conflicto se centra en los intereses de cada uno de los actores que comparten el recurso hídrico y sus intereses en competencia.
- **Conflictos con actores no usuarios:** los conflictos no solo se producen entre quienes comparten el recurso sino también frente a terceros, por razones diversas a la competencia directa entre usos. Este tipo de conflictos no son vinculados directamente al uso del agua. Su fuente puede ser por ejemplo la extracción de áridos, deforestación o construcciones que afectan la capacidad natural para captar, retener, depurar, infiltrar, recargar, evacuar, transportar y distribuir agua en cantidad, calidad y oportunidad.
- **Conflictos interjurisdiccionales:** este tipo de conflicto refleja la tensión entre los objetivos y las competencias de las diferentes divisiones político-administrativas, como resultado de las faltas de correspondencia con los límites físicos o territoriales de la cuenca y los problemas de fragmentación y falta de coordinación que ello trae. Estos conflictos pueden darse entre municipios y territorios que comparten una misma cuenca.
- **Conflictos institucionales:** ponen de manifiesto las disputas entre los diferentes actores públicos y privados cuyos ámbitos de actuación impactan en la gestión y aprovechamiento del agua. A nivel gubernamental se plasman en la falta de coordinación entre las autoridades y las áreas encargadas de obras e infraestructura, medio ambiente, ordenamiento territorial, planificación, generación de energía, servicios de agua potable, agricultura y otros sectores.

1.3.2. Talleres De Participación

En la fase de diagnóstico se llevó a cabo el primer taller de participación con actores relevantes y representativos del sector productivo, académico, organizativo, gremios y servicios, (**Figura 16**), el cual se desarrolló en cada uno de los cuatro municipios involucrados en el ordenamiento del recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones: Filandia, Quimbaya, Montenegro y Circasia. Como punto de inicio a estos ejercicios participativos el equipo técnico socializó el proyecto de ordenamiento del recurso hídrico ante las Mesas Municipales con el propósito de contextualizar a los participantes.

Previamente a la aplicación de las herramientas de participación, se presentó el concepto de conflicto ambiental y su diferencia con problema ambiental, tomando como referencia el concepto de La Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL y la Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Las herramientas de trabajo a nivel individual y colectivo descritas en la metodología se aplicaron en todos los talleres. A continuación, se resumen los resultados correspondientes al análisis de información proporcionada por los actores participantes mediante la aplicación de los diferentes mecanismos de participación.

| Municipio | Actores convocados | Actores Participantes |
|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Armenia | 19 | 15 |
| Circasia | 26 | 9 |
| Filandia | 28 | 16 |
| Montenegro | 24 | 17 |
| Quimbaya | 27 | 5 |
| Total | 124 | 62 |

Tabla 23. Número de actores convocados y que asistieron a los talleres de diagnóstico del recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

La mayor participación se presentó en el municipio de Filandia (22 personas), seguida por el municipio de Montenegro (20 personas). La asistencia y participación en los municipios de Circasia y Quimbaya fue reducida, posiblemente debido a que los actores de Quimbaya sienten mayor pertenencia al recurso hídrico de a quebrada Buenavista. Diversos sectores participaron en los talleres, siendo los más representativos el sector institucional, el social organizativo y el comunitario. La presencia institucional estuvo representada por la Corporación Autónoma Regional del Quindío y la Secretaría Departamental de Agricultura. Del sector social organizativo se contó con la asistencia y activa participación de representantes de Consejos de Desarrollo Rural, Asociaciones de Ambientalistas, Grupos Organizados de la Sociedad Civil. Por parte de la comunidad se contó con la presencia de líderes comunitarios, juntas de acción comunal y propietarios de predios.

1.3.2.1. Taller de diagnóstico en el municipio de Filandia

En el municipio de Filandia se trabajó en la identificación de problemas y conflictos concernientes al río Roble en su parte alta y la quebrada Portachuelo. El factor más sentido, es la disminución

de los caudales en las épocas de sequía en los meses de junio, julio, agosto y parte de septiembre en donde el recurso es escaso.

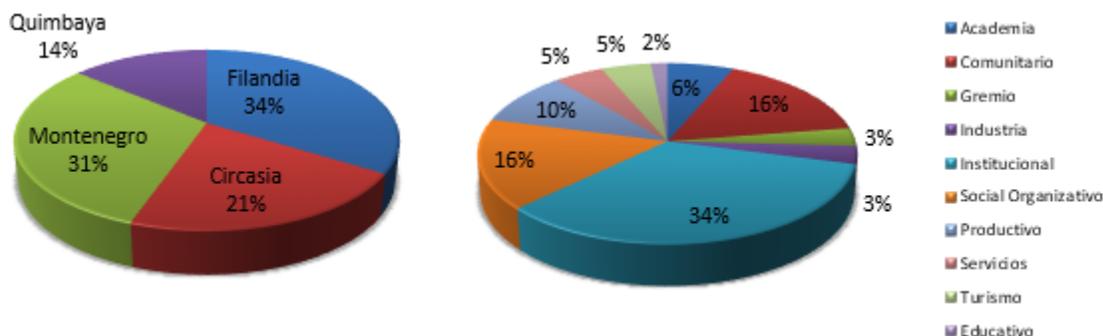


Figura 16. Distribución de actores participantes por municipio y sector

Los actores consideran que esto puede ser debido a varios factores como cambios en el uso del suelo en zonas de nacimientos y rondas hídricas del río Roble, la quebrada Portachuelo y sus tributarios. Han desaparecido paulatinamente las coberturas boscosas naturales debido al estableciendo cultivos y potreros, reduciendo la capacidad de regulación del caudal. Adicionalmente se presenta un crecimiento de la demanda del recurso hídrico debido al aumento de infraestructura destinada para servicios turísticos (hoteles y restaurantes) lo que a su vez conlleva al incremento de población flotante (turistas y visitantes).

En cuanto a los factores relacionados con la calidad del agua, se evidencian vertimientos en las veredas Cruces, el vergel, la Cauchera y el Vigilante producto de actividades productivas agrícolas, pecuarias y turísticas, y cargas contaminantes recibidas por el río Roble y la quebrada Portachuelo proveniente de actividades domésticas y comerciales de gran parte de la zona urbana de Filandia. El uso de agroquímicos, principalmente los cultivos de aguacate y lulo, genera aportes difusos que van al río Roble y a la quebrada Portachuelo. Existen predios que no emplean sistemas de control adecuados de sus desechos orgánicos y químicos, por lo que el uso de productos de saneamiento animal en las actividades porcícolas, avícolas y ganaderas afecta la calidad del agua en estas fuentes hídricas.

El incremento en la actividad turística en Filandia, implica la generación de residuos líquidos y sólidos, que afectan directamente el río y la quebrada, coincidiendo la temporada de mitad de año en la cual se incrementa la actividad turística, con el periodo de mayor escasez de agua. Filandia no cuenta con una Planta de tratamiento de aguas residuales en la zona urbana, y la insuficiente cobertura de sistemas de pozos sépticos en la zona rural (chorro de las madres, en pavas y el laurel), agravan la situación. Los pobladores de la zona rural se abastecen del recurso hídrico distribuido por el Comité de Cafeteros, el cual es destinado para uso agropecuario, sin embargo, es utilizado además para uso doméstico. El tratamiento de potabilización al agua para el consumo humano no es el apropiado o no se tiene, lo cual compromete la salud de esta población.

Los productores que se encuentran en proceso de certificación de buenas prácticas agrícolas y pecuarias requieren la utilización de agua potable en los procesos de producción. Asociado a ello,

se presentan captaciones irregulares o ilegales, los actores asocian esta situación a debilidades en las acciones restrictivas en cuanto a la captación y uso del recurso. En consecuencia, los sistemas de acueducto requieren revisión y ajuste concerniente a la infraestructura de bocatomas y redes de distribución para tener mejores garantías de acceso al agua por parte de los usuarios.

Se presenta desprotección de nacimientos y franjas de ronda hídrica, asociada a la ampliación de la frontera agrícola, ocupación de cauces con cultivos y potreros, acceso de ganado al río para beber, por lo que se infiere que falta una adecuada planificación y divulgación sobre planes y programas e incentivos para la conservación en favor de la sostenibilidad y continuidad del recurso. Un caso particular corresponde a la quebrada La Arenosa, tributaria de la quebrada Portachuelo, de la cual se surte la comunidad de la vereda El Vergel.

Los actores perciben además una debilidad institucional en la implementación de técnicas de manejo de laderas inestables, y ausencia de proyectos de reservorios de agua. Se identifica debilidad en cultura ambiental asociada al desconocimiento de la normatividad, pocas campañas de educación ambiental, indiferencia generalizada de la población frente al recurso hídrico reflejada en el uso irracional del agua, en donde el interés particular prevalece sobre el bienestar colectivo y poca credibilidad de la comunidad frente a instituciones responsables del manejo y gestión del recurso y empresas prestadoras de servicios. Las expresiones manifestadas por los actores en el taller realizado en Filandia se presentan en las tablas **Tabla 24**, **Tabla 25**, **Tabla 26**, **Tabla 27** y **Tabla 28**.

| Problemas | Potencialidades |
|---|--|
| Cambios en el uso del suelo en las zonas de nacimientos y rondas hídricas del Roble y la quebrada portachuelo y sus tributarios | Existencia de normas y planes de manejo ambiental |
| Aumento en la demanda a causa del aumento de población visitantes y turistas | Frecuentes lluvias en el año |
| Problemas de oferta y demanda | Distrito de conservación Barbas Bremen |
| El río Roble es una cuenca pequeña hasta la bocatoma, por tanto, no alcanza a recoger mayores tributarios que aporten a su caudal | Restauración ecológica en ciertas franjas |
| Grandes áreas de potrerización en nacimientos y riveras del río Roble | Hay muchas posibilidades de reforestar y proteger los nacimientos y las orillas |
| En algunas épocas del año disminuye el caudal del río y coloca a la comunidad en situación de vulnerabilidad | Existencia de la Ley de adquisición de predios y de recursos para ello. |
| El agua es captada desde los nacimientos para el consumo y se disminuye el caudal aguas abajo, no hay caudal de vida en tiempo de verano en la quebrada la Arenosa | El predio donde nace la quebrada la Arenosa está priorizado en el acuerdo 005 de 2017. |
| El agua de la Quebrada Portachuelo escasea y cada vez la demanda es mayor | Áreas de interés de conservación de Recurso Hídrico |
| Disminución de caudal en épocas de verano junio julio agosto y hasta principios de septiembre. | Algunos predios sobre la cuenca respetan los márgenes del cauce. |
| La Quebrada la Arenosa está desprotegida, hay desabastecimiento para los usuarios que toman de allí. | Sobre la quebrada hay áreas de fácil acceso para reforestar |
| Disminución del caudal y aumento de la demanda, tanto para el río como para la quebrada | Aún se conserva el agua, el caudal |
| No se respeta el lecho del río, tala de árboles y siembras inapropiadas bajan el flujo del caudal | Diversos tipos de suelo |
| Humedales drenados en la parte alta vereda Cruces y el Roble | |

Tabla 24. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Filandia en cuanto a la cantidad del recurso Hídrico del río Roble y quebrada Portachuelo

| Problemas | Potencialidades |
|---|---|
| Vertimientos de actividades productivas agrícolas, pecuarias y turísticas | Normatividad existente |
| Vertimientos de aguas residuales domésticas en áreas urbanas del municipio | Presencia institucional |
| La Autopista del Café incide en la contaminación desde el nacimiento por el tránsito de vehículos, se ha observado desagües de carrotanques en la vía vereda el Roble | Capacidad de autorecuperación del recurso |
| Contaminación en la quebrada Portachuelo por el chorro de las madres | Posibilidades de PTARS y construcción de pozos sépticos |
| Predios rurales sin sistemas de tratamiento de aguas (pozos sépticos) veredas El vergel, Cauchera y el vigilante | Aplicación de correctivos en algunos casos |
| Faltan estudios de calidad del agua tanto del río como de la Quebrada | La calidad de la quebrada portachuelo donde se toma es buena |
| Falta de aplicación de correctivos por vertimientos en la parte alta, nacimiento del río Roble | Oportunidad de ampliación de áreas de conservación, reforestación desde las partes altas de la quebrada portachuelo |
| El agua del Río y de la Quebrada no es potable para el consumo humano, El comité de cafeteros presta el servicio solo para uso agropecuario pero las comunidades rurales consumen de ahí | Iniciativas para trabajar con instituciones y población |
| No hay tratamiento de potabilización apropiado al recurso hídrico del Río y de la Quebrada | Existe un sistema de depuración natural |
| Aumento de cultivos de aguacate, lulo y otros de clima frío, con escorrentía de residuos a la quebrada la Arenosa y Portachuelo en la vereda el Vergel | |
| Incremento de Contaminación de algunas fuentes abastecedoras, en la Quebrada Portachuelo por actividad ganadera | |

Tabla 25. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Filandia en cuanto a la calidad del recurso Hídrico del río Roble y quebrada Portachuelo

| Problemas | Potencialidades |
|---|--|
| Falta de infraestructura apropiada de bocatomas | Oferta hídrica |
| No hay clara identificación de nacimientos y su importancia de conservación | Conocimiento del territorio, empresa prestadora de servicio de acueducto |
| En la quebrada portachuelo zonas de captación sin regulación | Acueducto de Comité abastece a muchas veredas de los cuatro municipios |
| Acceso al recurso sin calidad, en la zona rural los propietarios que se certifiquen en buenas prácticas deben tener agua potable y no la hay | Instalación de tuberías |
| El acceso en la zona rural es para uso agrícola y se pone en riesgo la salud pública ya que no hay acceso a agua potable | Se cuenta con buena red de distribución |
| Captaciones ilegales en la Quebrada Portachuelo | Los nacimientos siempre están aportando caudal |
| Servicio ineficiente, baja capacidad de almacenamiento de los acueductos | |
| Acceso al río y la Quebrada para actividades recreativas y de turismo | |
| Pocas alternativas de otras fuentes de abastecimiento | |
| Falencias en las acciones restrictivas para la captación y uso del recurso | |
| Acceso limitado en épocas de sequía | |

Tabla 26. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Filandia en cuanto a la oportunidad de acceso al recurso Hídrico del río Roble y quebrada Portachuelo

| Problemas | Potencialidades |
|---|---|
| Falta de aplicación de los mecanismos de acción sobre conservación del recurso hídrico | Normatividad existente |
| Falta regulación para el buen uso del agua quebrada Portachuelo, y falta de regulación de vertimientos | Estudios estratégicos para áreas de conservación del recurso |
| En la quebrada portachuelo hay desprotección de rondas hídricas | Aplicación de planes de manejo ambiental |
| La sostenibilidad del río depende ambiental y técnicamente de la oferta | Aplicación de mecanismos de protección Ambiental |
| Continuidad limitada por variaciones climáticas con veranos prolongados | Áreas en conservación como Barbas Bremen |
| Poca articulación entre los instrumentos municipales para regular los usos y la conservación | Reconocimiento de la cuenca del río Roble como prioritaria para su ordenamiento |
| Desprotección de nacimientos y ocupación de cauces con ganadería y cultivos, aumento paulatino de frontera agrícola en el río Roble y la Quebrada Portachuelo | Potencial en la quebrada para la creación de reservorios |
| Desprotección del Nacimiento de la Quebrada la Arenosa la cual surte gran parte de la vereda el Vergel | Hay bosques reguladores |
| Poca voluntad de propietarios para hacer reforestación y posibilitar las franjas de protección en las riberas | Existen procesos de restauración ecológica de ronda hídrica |
| Falta incentivos para el fomento de reforestación en quebradas | |
| Falta de planes de contingencia eficientes por parte de EPQ En la quebrada uso inadecuado por parte de EPQ | |
| Hay erosión del suelo, faltan técnicas de contención y barreras | |

Tabla 27. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Filandia en cuanto a la continuidad y sostenibilidad del recurso Hídrico del río Roble y quebrada Portachuelo

| Problemas | Potencialidades |
|---|---|
| Falta de consciencia y cultura Ambiental | Normatividad, código de policía |
| Interés de suplir la necesidad personal a nivel productivo sin importar la afectación de usuarios del recurso | Educación ambiental en instituciones educativas |
| Uso recreativo en la quebrada portachuelo, las personas depositan basuras y el agua ya viene contaminada con heces de ganadería y de humanos falta de conocimiento de la importancia de esta quebrada | La comunidad de la vereda el Vergel está empoderada y animada para hacer algo en pro de la quebrada portachuelo |
| Solo se acude al cuidado cuando hay alerta de escasez | EPQ |
| Algunos productores con pocas técnicas para mitigar la contaminación del agua | Establecimiento de cultivos orgánicos o limpios |
| Poca participación de sector educativo, salud, gestión del riesgo en los procesos de planificación | La comunidad del Vergel está luchando por sus derechos, la Junta de Acción Comunal está Organizada |
| Falta la observancia del problema y diseño de estrategias conjuntas | Socialización de estudios e investigaciones |
| Falta de orientación y control para propietarios que hacen talas, quemas, contaminación por fungicidas | |
| Falta de educación para la comunidad, sobre el manejo de los residuos | |
| Poca sensibilidad el propietario del Predio la Coronilla donde nace la Quebrada la Arenosa, pues no permite acciones de mejoramiento de cuidado y protección del nacimiento | |

Tabla 28. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Filandia en cuanto al comportamiento social frente al río Roble y quebrada Portachuelo

| Área crítica | Descripción |
|--|--|
| Áreas con vertimientos | Zonas aledañas a los nacimientos, escuela el Roble y restaurantes vereda el Roble, sector de restaurantes en cruces y vía autopistas del café, vertimientos de lixiviados por carros compactadores de basura en la quebrada portachuelo. Vertimientos por residuos de sistemas productivos, vereda cruces, el vergel, la cauchera. Vertimientos sobre el chorro de las madres, en pavas y el laurel. Observación de espumas y aguas residuales domésticas en la vereda Vergel parte baja ya que las fincas no cuentan con pozo séptico. Vertimientos en los nacimientos donde empieza la vereda la cauchera. Vertimientos de aguas residuales de una parte de los barrios del pueblo contaminando directamente la quebrada y el río Roble aguas abajo. Área de la quebrada la Coronilla que recibe aguas negras. La quebrada Portachuelo está contaminada por vertimientos del barrio Santiago López y gran parte de Filandia. En el paso de los aguadeños se hacen paseos de olla, actividad que deja residuos contaminantes. |
| Áreas con ocupación de cauces | Área de bocatoma, comité de cafeteros, quebrada portachuelo. Área de la quebrada portachuelo en confluencia con el Roble. Áreas cultivadas hasta la base del río por el paso de los aguadeños. |
| Áreas con sedimentos | Ronda hídrica vereda el Vigilante, sector del paso de los aguadeños, (peña) sector vereda la cauchera, sedimentos por erosión en la vereda el vergel, al comienzo del año 2019. Sedimentos por deslizamientos de tierra por la vereda Barcelona Alta después del paso de los Aguadeños. Sedimentos en la Arenosa y portachuelo Playa Azul, y en varios tramos en la Vereda Cruces. |
| Áreas con disminución de caudal | Cauces en las veredas la cauchera y el vigilante. La quebrada la Arenosa que tributa al portachuelo presenta gran disminución de caudal ya que la mayor parte del agua es captada en la bocatoma. |
| Otras áreas | El Comité de cafeteros no hace ningún tipo de seguimiento a las dos bocatomas que tiene en la vereda el Vergel en lo relacionado a la oferta. Presencia de quemas directas al bosque que protege el río Roble en la vereda Membrillal o la Concha de Circasia. |

Tabla 29. Expresiones manifestadas por los actores del Municipio de Filandia para identificar áreas críticas en relación con el recurso hídrico río Roble y quebrada Portachuelo.

1.3.2.2. Taller de diagnóstico en el municipio de Circasia

En el municipio de Circasia se trabajó en la identificación de problemas y conflictos concernientes al río Roble y la quebrada Cajones. Según los resultados del taller, el caudal del río Roble y de la quebrada Cajones presenta disminución principalmente en épocas secas, limitando la disponibilidad del recurso para abastecer la demanda del municipio en la zona urbana y rural. Para los participantes en el taller, no existe una adecuada planificación que prevea alternativas de abastecimiento y sostenimiento del recurso hídrico. Se presenta contaminación del río Roble y la quebrada Cajones desde su nacimiento, ocasionada por actividades de ganadería, recreativas, porcícolas, avícolas, agrícolas, construcción de condominios, aguas residuales de caseríos en la zona rural, vertimientos de aguas residuales domésticas y comerciales en el casco urbano. La calidad del agua se ve afectada por sedimentos y desechos de condominios en suelos suburbanos y el lavado de automotores.

Se encuentran captaciones no legalizadas, ocasionando limitación en el acceso al recurso, especialmente en épocas de sequía. No existe disposición de algunos propietarios de predios para realizar actividades de conservación en torno al recurso hídrico. Por lo que es importante considerar fuentes alternas para suplir las carencias de abastecimiento que se presentan especialmente en épocas secas. Se presenta disminución en áreas de bosques, ocupación de cauces y talas para el establecimiento de potreros, cultivos y patios de fincas. Se identifica debilidad en cultura ambiental asociada al desconocimiento de la normatividad, pocas campañas de educación ambiental. Indiferencia generalizada de la población frente al recurso hídrico reflejada en el uso irracional del agua, en donde el interés particular prevalece sobre el bienestar

colectivo y poca credibilidad de la comunidad frente a instituciones responsables del manejo y gestión del recurso y empresas prestadoras de servicios. En la **Tabla 30**, **Tabla 31**, **Tabla 32**, **Tabla 33**, **Tabla 34** y **Tabla 35** se aprecian las expresiones de diferentes actores manifestadas durante el taller realizado en Circasia.

| Problemas | Potencialidades |
|--|---|
| El caudal del río ha sido insuficiente, debido a la limitada disponibilidad del Recurso hídrico para abastecer el municipio | Aún hay áreas del río protegidas y un buen paisaje |
| Disminución de caudal en todas las quebradas que confluyen al río Roble principalmente en la Quebrada Cajones | Iniciativas de mejoramiento de oferta hídrica |
| Limitada cantidad en épocas de verano, variaciones climáticas, prolongados veranos e inviernos severos | Biodiversidad |
| Falta mayor planificación. Limitada disponibilidad del recurso en Cajones | Áreas conservadas, la cantidad en la quebrada cajones se mantiene |
| No hay reforestación adecuada por parte de la comunidad | Existen unas franjas protegidas |
| Ausencia de programas de restauración y planes de conservación para sostenimiento del caudal | Paisaje, áreas protegidas, vegetación riparia |
| Labores agrícolas en las aguacateras hacen zanjas de drenaje cada 10 m lo que afecta la cantidad de agua en el cauce | |

Tabla 30. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Circasia en cuanto a la cantidad del recurso Hídrico del río Roble y quebrada Cajones

| Problemas | Potencialidades |
|---|---|
| Contaminación por actividades porcícolas predio la Siria, aguas arriba de la bocatoma y cultivos de aguacate en la quebrada Cajones | La quebrada Cajones es un potencial hídrico en el Alto de la Tasa |
| Vertimientos y residuos (patas y plumas) de actividad Avícolas de Galpón empresa mediana aguas arriba de la bocatoma de Circasia, materiales irreversibles | Coberturas boscosas de protección |
| Contaminación por lixiviados de agroquímicos actividades agrícolas cultivos de aguacate | Posibilidades de Planta de tratamiento de aguas residuales |
| Contaminación por vertimientos del alcantarillado del casco urbano de Circasia Turbiedad y lixiviados, en la Quebrada Cajones | Existen normas de control |
| Vertimientos de aguas residuales al río en Barcelona Alta | |
| El agua no llega en óptimas condiciones para uso doméstico | |
| Contaminación por residuos orgánicos, lavado de motos | |
| Vertimientos de residuos en Barcelona Alta y Baja | |
| Sedimentación por actividades en el condominio residencial Zimbabwe arrojado de residuos sólidos, tanto en el río como en la quebrada | |
| Vertimiento de aguas residuales en el caserío el Triunfo en Barcelona Alta, pozo séptico clausurado | |

Tabla 31. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Circasia en cuanto a la calidad del recurso Hídrico del río Roble y quebrada Cajones

| Problemas | Potencialidades |
|--|--|
| Ilegalidad, captaciones ilegales | Existen acueductos en buenas condiciones |
| Conflicto competencia entre acueductos por el recurso | Se encuentra con la disponibilidad del agua en la mayoría de los meses del año |
| El acceso debe ser democratizado a todos, en la quebrada Cajones la oportunidad de acceso es poca ya que solo se toma una pequeña cantidad | |
| Limitada en sequia hay desabastecimiento | |
| Limitación en la disponibilidad, algunas personas no pueden acceder al recurso | |
| Se impide el acceso Hay sitios restringidos por propietarios para el cuidado del recurso | |
| Bajos caudales de abastecimiento en época de sequía, el acceso a la quebrada Cajones se ve limitado porque la mayor parte de su trayecto está contaminado | |
| No todos los predios tienen el servicio o el acceso, Falta de oferta hídrica y de acueducto que surta a los usuarios | |

Tabla 32. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Circasia en cuanto a la oportunidad de acceso al recurso Hídrico del río Roble y quebrada Cajones

| Problemas | Potencialidades |
|--|--|
| El caudal no es sostenible, falta mayor protección en el cauce, han talado árboles y guaduales | Existe la oferta |
| Falta aumentar áreas boscosas para mejorar la oferta y mantener el caudal | Buen abastecimiento para la zona rural |
| El recurso no ha sido continuo, debido a escasez y se ha acudido al racionamiento, en la quebrada Cajones se ha racionado para el casco urbano, pero se ha mantenido para la zona rural | |
| pérdida del potencial de abastecimiento por falta de fuentes hídricas locales con condiciones óptimas | |
| Deforestación, contaminación y cambio climático, disminución del cauce | |
| Falta de planificación y desabastecimiento por el crecimiento poblacional | |

Tabla 33. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Circasia en cuanto a la continuidad y sostenibilidad del recurso Hídrico del río Roble y quebrada Cajones

| Problemas | Potencialidades |
|--|--|
| Falta mayor sensibilidad y conciencia sobre la importancia del recurso hídrico | Algunos procesos de educación Ambiental |
| Poca participación social en el manejo del río, la participación no ha tenido repercusiones en los programas institucionales | Convocatorias para participación social en los planes sobre el río |
| Mal manejo del agua, desperdicio | Cada vez hay más conciencia ambiental, protección de rondas hídricas, cambios de actitud y valores a partir de procesos educativos ambientales |
| Poca cultura ambiental, creen que es inagotable y que es potable | Existencia del COMEDA |
| Hace falta más educación ambiental en la población, para el uso razonable del recurso, sensibilizar sobre el cuidado y buen manejo de las quebradas | |
| Intereses privados y particulares por encima del bienestar colectivo | |

| Problemas | Potencialidades |
|---|-----------------|
| Se carece de cultura con relación al cuidado de la cuenca y sus tributarios, falta implementar mayores procesos culturales y educativos | |
| Actividades recreativas en el río. Uso del recurso sin responsabilidad sobre su cuidado | |

Tabla 34. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Circasia en cuanto al comportamiento social frente al río Roble y quebrada Cajones

| Área crítica | Descripción |
|---|---|
| Áreas con vertimientos | Áreas de los condominios campestres y establecimientos como restaurantes veredas el Roble, San Antonio, la Siria, producción pecuaria en las veredas de las partes altas. Caserío Barcelona Alta Quebrada Cajones, vereda Barcelona Alta, tramo el Ataúd, Quebrada Manantial y Cajones. Vertimientos predio la Siria al lado de la quebrada Cajones, actividad pecuaria, en el puente que comunica con el predio porvenir Vertimientos en todo el cauce de la quebrada Cajones desde la parte alta hasta su unión con el río igualmente el río en la parte alta media y baja |
| Áreas con ocupación de cauces | Cauces cerrados por propietarios que impiden la conservación en el río Roble Fincas que no respetan ronda hídrica y llegan hasta el cauce con cultivos y pasto, problemas de reconversión ganadera |
| Áreas con sedimentos | Condominio residencial Zimbaue en la parte baja de la Cuenca |
| Asentamientos humanos en riesgo. | En la parte media casco urbano de Circasia Asentamiento humano caserío el silencio en la vereda Barcelona Alta |

Tabla 35. Expresiones manifestadas por los actores del Municipio de Circasia para identificar áreas críticas en relación con el recurso hídrico río Roble y quebrada Cajones.

1.3.2.3. Taller de diagnóstico en el municipio de Montenegro

El diagnóstico participativo en el municipio de Montenegro se orientó a identificación de problemas y conflictos concernientes al cauce principal del río Roble en el municipio. De acuerdo con la percepción de los actores, las principales problemáticas relacionadas con la cantidad del recurso hídrico del río Roble por su paso en el municipio de Montenegro son: disminución paulatina del caudal a causa de la deforestación y tala de guaduales, aumento en la demanda del recurso hídrico debido al crecimiento de las construcciones urbanas y por ende de la población, poca planificación en cuanto a la conservación del recurso hídrico y la ampliación de la frontera agrícola.

Por lo que es importante visibilizar y priorizar fuentes alternas para uso y aprovechamiento del agua, como las quebradas la Paloma, Cajones-Montenegro y la Soledad. En cuanto a la calidad del agua, se evidencia contaminación del río Roble ocasionado por vertimientos directos de aguas residuales de actividades domésticas, comerciales e industriales de la zona urbana, lavaderos clandestinos de motos y carros, y el municipio no cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales PTAR. Además, se presenta contaminación del río Roble ocasionado por vertimientos de actividades agropecuarias, entre ellas, predios sin sistemas de tratamiento de residuos orgánicos y químicos, manejo inapropiado de bolsas plásticas impregnadas de plaguicidas (utilizadas en cultivos de plátano para evitar afectaciones en el producto) y ocupación de cauce con cultivos y ganadería, se presenta contaminación adicional del río por actividades recreativas en algunos tramos.

Según los participantes, el servicio que presta el Comité de Cafeteros es costoso y la calidad del agua no es apta para el consumo humano en la zona rural. Por lo que los sistemas de acueducto requieren revisión y ajuste concerniente a la infraestructura de bocatomas y redes de distribución para tener mejores garantías de acceso al agua por parte de los usuarios. Y falta sentido de pertenencia y compromiso por el río Roble por parte de propietarios de predios, instituciones y comunidad en general, acompañado de inapropiada educación ambiental y desconocimiento de la normatividad. En la Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38, Tabla 39, Tabla 40 y Tabla 41 se aprecian las expresiones de diferentes actores manifestadas durante el taller realizado en Montenegro.

| Problemas | Potencialidades |
|--|---|
| Disminución del caudal en temporadas secas, falta regulación para que siempre haya agua | Las fuentes no se han secado totalmente |
| Mínimo recurso en tiempo de cosechas y altos costos en el servicio | La Pluviosidad Mantiene los caudales del río |
| Escasez de agua en el río sector La Paloma | Procesos de ordenamiento |
| Falta de planificación para mantener la oferta en las temporadas de alta demanda | Campesinos, bosques guadua, precipitaciones |
| Aumento de carga poblacional, alto consumo, aumento de la demanda | Normatividad |
| Uso desmedido del recurso y deforestación de laderas | Se ha mantenido el recurso y el acueducto |
| Tala de guaduales contribuyen a la disminución acelerada del caudal | Humedales que aún subsisten |
| Deforestación, expansión de la frontera agrícola, potrerización inciden en los bajos niveles del caudal | Prevención de erosión, programas de reforestación, Áreas protegidas |
| Falta de repoblamiento con especies nativas que ayuden a mantener estable el caudal | Algunas laderas están protegidas |

Tabla 36. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Montenegro en cuanto a la cantidad del recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|---|--|
| Descargas de contaminantes de las actividades domésticas comerciales, industriales y productivas de la zona urbana del municipio | Posibilidad de reducir los factores contaminantes, implementando la PTAR |
| Contaminación por actividades agropecuarias y aguas residuales sin tratamiento de zona rural | Posibilidad de limitación de actividades cerca el río con el PBOT |
| Lavaderos clandestinos de automotores, ocupación de cauce | Posibilidad de educación y estímulos a los propietarios de predio que lindan con el río, monitoreo |
| Ocupación de cauces por ganadería, el ganado bebe agua directa del río. Contaminación directa por ganadería | Mapa de riesgos que nos mantienen alerta, estudios de calidad |
| Afectaciones por vertimientos no controlados efecto escorrentía presencia de sustancias de interés sanitario | Plan resolución y control de vertimientos solo en la toma |
| Ocupación de cauce con cultivos que demandan uso de productos químicos | Autoridades Ambientales, saneamiento básico, participación institucional |
| Predios sin franjas de protección facilitan la llegada de vertimientos al río | El río todavía tiene oxígeno y no hay muerte de peces |
| Falta PTAR, Implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales, pozos sépticos | Estudios Universidad CRQ |
| Se observa espuma en el agua y color grisáceo | Resolución que obliga a EPQ a purificar el recurso especialmente en Montenegro |
| Contaminación por descargas desde Circasia. El agua no es apta para el consumo humano | Algunos tributarios en condiciones obligatorias |
| Contaminación con residuos sólidos de actividades de recreación en el río | |

| Problemas | Potencialidades |
|---|-----------------|
| Se presta el servicio, costoso y sin calidad. Agua no potable, acueducto del Comité de Cafeteros | |

Tabla 37. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Montenegro en cuanto a la calidad del recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|--|--|
| Captaciones ilegales sin suficiente control | Aplicación de norma Limitaciones por ley para captación de agua Normas y leyes, compromiso institucional |
| Falta de monitoreo a las fuentes hídricas abastecedoras | Es un río precioso, gran paisaje y riqueza natural |
| Falta de Planificación de zonas de desarrollo urbano y crecimiento poblacional que faciliten calcular las posibilidades de acceso al recurso | Actualización de usos del suelo |
| Captaciones y bocatomas del Comité de cafeteros no tratan el agua, limitando el uso para consumo doméstico en la zona rural | Continuidad con el servicio |
| Falta mayor capacidad de almacenamiento y distribución de los acueductos | Investigación, estudios, Conservación, Barbas Bremen |
| Falta visibilizar la posibilidad de mejorar fuentes hídricas alternas que puedan utilizarse en tiempos de desabastecimiento. quebrada Cajones, la Soledad y la paloma | El Sector turismo se ha vinculado en actividades de cuidado y protección |
| El recurso ya es limitado para el abastecimiento de la población en ciertas épocas y la infraestructura obsoleta para atender la demanda | Abastecimiento rural Existe buen acceso al recurso |
| Acceso a actividades turísticas en el río, con limitación para todos los visitantes | Se cuenta con recurso hídrico en caso de escasez. Existencia de acueductos y fuentes alternativas |
| Racionamiento continuo en el servicio y altos costos en las facturas | |

Tabla 38. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Montenegro en cuanto a la oportunidad de acceso al recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|--|--|
| Falta de eficacia en la aplicación de la ley respecto de la ronda hídrica del río Roble | Falta de eficacia en la aplicación de la ley respecto de la ronda hídrica del río Roble |
| Deforestación de árboles y guaduales desestabiliza la sostenibilidad del recurso, ausencia de control y vigilancia | Deforestación de árboles y guaduales desestabiliza la sostenibilidad del recurso, ausencia de control y vigilancia |
| Construcciones cerca del cauce del río ocupaciones no legalizadas, ausencia de control y seguimiento | Construcciones cerca del cauce del río ocupaciones no legalizadas, ausencia de control y seguimiento |
| Falta recuperar áreas de protección, pérdida paulatina de cobertura vegetal en ronda hídrica | Control por parte de las autoridades competentes |
| Falta información sobre la sostenibilidad de la cuenca a propietarios de predios y comunidad, ausencia de divulgación de incentivos | Existencia de incentivos como mecanismos de conservación de áreas protegidas |
| Zonas inestables, canal de conducción a cielo abierto | Mantenimiento de 2500 hectáreas de rondas de protección en fuentes hídricas |
| Falta de fortalecimiento de corredores biológicos, urbanos y rurales donde existen quebradas | Bosques de galería, normatividad ambiental, personas comprometidas |
| Actividades productivas de ganadería, sin un manejo amigable con el río, falta limitar el uso | Iniciativas y programas institucionales |

| Problemas | Potencialidades |
|---|---|
| Falta limitar el uso de actividades productivas de cultivos intensivos con manejo poco amigable con la protección del río | Acueducto por gravedad |
| Actividades de extracción minera con prácticas poco amigables con la protección del río, falta limitar el uso | Voluntad y compromiso de ONG |
| Actividades turísticas y recreativas poco comprometidas con el cuidado del río. falta limitar el uso | Iniciativas de trabajo integral, fortalezas institucionales |
| | Normatividad existente para el manejo y protección de la ronda hídrica. |
| | Ganado estabulado. |
| | Siembra de guadua. |

Tabla 39. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Montenegro en cuanto a la continuidad y sostenibilidad del recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|--|---|
| Falta de sentido de pertenencia y compromiso por nuestro río Roble de propietarios de predios instituciones y comunidad en general | Grupo empoderado del río Roble |
| Falta cultura ambiental, una apropiada educación ambiental en la familia y la escuela | Educación ambiental en las escuelas y colegios |
| Anualmente hay problemas de desabastecimiento y aun así falta conciencia en el buen uso del recurso | Mesa municipal del recurso hídrico |
| Desconocimiento de las normas, leyes, incentivos y beneficios | Reglamentación para riegos, usuarios según uso y necesidad |
| Inasistencia y falta de participación de actores fundamentales en el manejo del río | Algunas personas comprometidas |
| Desmotivación de las comunidades frente a procesos institucionales | Algunas instituciones comprometidas |
| Falta inversión para educación y campañas ambientales | Labores de educación en las Instituciones educativas por parte de promotores y alcaldía |
| Poca credibilidad de las comunidades frente a los planes y programas | Implementación de procesos de conservación de RH acorde a las necesidades |
| Prima el interés personal por encima del bienestar común | Existencia de las normas y leyes reguladoras |
| Indiferencia frente a la escasez del recurso, mal manejo en el uso, derroche | Medios de comunicación |
| Falta de programas de educación ambiental, de ahorro del agua y buen manejo del recurso institucionales de las autoridades ambientales y de los prestadores del servicio | Asociaciones comunitarias y líderes sociales empoderadas con la problemática Ambiental |
| La educación no solo debe descargarse a las instituciones educativas | |

Tabla 40. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Montenegro en cuanto al comportamiento social frente al río Roble

| Área crítica | Descripción |
|--|--|
| Áreas con vertimientos | Zona Urbana: Barrios La Isabela, Santa Elena, la Balastrera, La cabaña, Turín, Barrio Golfo y la Julia. En el sector del puente de Montenegro Quebrada Cajones por el casco urbano de Montenegro. problemas de residuos sólidos Barrio el Carmen |
| | Zona Rural: vertimientos directos sector de la Cascada, frente a la vereda la Frontera. En la Morelia Baja, actividades económicas sobre ronda hídrica del río. Vertimiento de varias fincas aledañas al río, y vereda la Julia. Porcícolas la Siria, Vereda Española Quimbaya cerca a la desembocadura, finca Playa azul, vereda el Gigante finca la pesquera |
| Áreas con ocupación de cauces | Zona llamada la Rocha, la cabaña, lugares de recreación, construcciones cerca del río en varios sectores, B/ La Isabela, Pablo VI y la Balastrera la octava, Golfo, salida para Pueblo Rico después del Puente. Deforestación y quemas en la finca la Irlanda, actividad ganadera, en varios predios aledaños al río no se respeta la ronda hídrica, afectación por actividades pecuarias y agrícolas. En toda la microcuenca Sector Cabaña, Sector de la finca el Quinto y Turín. Expansión de la frontera agrícola y ganadera en las riberas del río Roble, veredas el Gigante, Urania, la Montaña, Risaralda en diversas áreas en todo lo largo del cauce |
| Áreas con sedimentos | El Golfo Área la Frontera con el sur de Circasia, zonas deforestadas y afectadas por el cambio climático y movimientos en masa, altas pendientes a lo largo de la microcuenca. Finca la Montaña, Procesos erosivos veredas cercanas a la desembocadura con el río la Vieja - Puerto Samaria. Asentamientos en Puerto Samaria, Barrio la 18, el Golfo, zona urbana, B/ Marín Q/ Cajones, áreas deforestadas varias a lo largo del río Zona Granito de oro, la Rocha, el Siniestro, el Ataúd |
| Asentamientos humanos en riesgo | Zona llamada la 18 Casco urbano de Montenegro Pablo VI, la Balastrera, el Golfo, Santa Elena, B/Marín, Pueblo Nuevo, Álamos el Carmen, Turbay Invasiones finca con problemas de riesgo en la Cabaña, zonas sin acceso a saneamiento básico primario, Sector denominado la Cascada, río Roble La cabaña, la Rocha, parte de atrás. Desembocadura al río la Vieja Vivienda del ermitaño |
| Área con disminución de caudal | Todo el casco urbano del municipio, todo el río desde la Frontera hasta la desembocadura en la Vieja Todo el río ha disminuido su caudal zonas de captación con afectación por concesiones no legalizadas Q/ Cajones, deforestación en corredor biológico urbano, Quebrada Cajones Barrio Colón |
| | Vereda la frontera Actividades recreativas que dejan residuos, donde está la cascada aproximadamente 1.5 km vía circasia desde Montenegro. Granjas avícolas que están en la parte de las veredas el Gigante, Cuzco, Once Casas y la Urania, no hay Control y son más de 34 granjas avícolas Ruta de selección de residuos sólidos sector centro, primer colegio basura cero Santa María Goretti. |

Tabla 41. Expresiones manifestadas por los actores del Municipio de Montenegro para identificar áreas críticas en relación con el recurso hídrico río Roble

1.3.2.4. Taller de diagnóstico en el municipio de Quimbaya

En el municipio de Quimbaya se identificaron los problemas y conflictos concernientes al tramo del área drenante al río Roble en jurisdicción de Quimbaya. La asistencia de actores en el municipio de Quimbaya fue escasa debido a que los actores en Quimbaya sienten mayor pertenencia hacia la quebrada Buenavista. A pesar del menor conocimiento reconocido por ellos sobre el río Roble, la información proporcionada por los actores en este municipio en cuanto a cantidad, calidad, oportunidad de acceso y comportamiento social en general coincide con la información correspondiente a los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro. La tabla **Tabla 42**, **Tabla 43**, **Tabla 44**, **Tabla 45**, **Tabla 46** y **Tabla 47** presentan las expresiones manifestadas por los actores con respecto a este tramo del río Roble.

| Problemas | Potencialidades |
|---|--|
| Falta de regulación Hídrica por falta o pérdida de cobertura vegetal | Posibilidad de generación de corredores de conservación que aumenten las áreas de protección |
| Desabastecimiento del recurso hídrico por fenómenos climáticos (niño) especialmente en las veredas Trocaderos, La Unión, Naranjal, y las partidas | Se mantiene el recurso |

Tabla 42. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Quimbaya en cuanto a la cantidad del recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|---|--|
| Disminución en la capacidad de autodepuración, aumento en los problemas de calidad | Articulación interinstitucional, para la planificación de actividades. |
| Vertimiento de aguas residuales de los caseríos o centros poblados al Roble. | Articulación interinstitucional, para la planificación de actividades. |
| Residuos sólidos y líquidos y peligrosos. | |
| Agua Turbia llega a los usuarios por las tuberías proveniente de la quebrada portachuelo. | |
| afectación por agroquímicos principalmente por cultivo de plátano y embolsado. | |
| Vaciado de piscinas. | |

Tabla 43. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Quimbaya en cuanto a la calidad del recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|---|---|
| Conexiones fraudulentas, falta de legalidad, usos incompatibles | Programas para legalización optimización de conducción |
| Recreativo limita el acceso a otros usuarios para uso doméstico | El número de usuarios de Comité no aumenta, solo concesiona para uso agrícola |

Tabla 44. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Quimbaya en cuanto a la oportunidad de acceso al recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|--|---|
| Falta de programas de uso eficiente y ahorro del agua, tanques de reserva | Zonas de intervención con alto impacto sobre el RH, programas de sistemas productivos amigables con el ecosistema |
| Aprovechamiento desmedido de guadua y especies forestales protectoras de la cuenca | |

Tabla 45. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Quimbaya en cuanto a la continuidad y sostenibilidad del recurso Hídrico del río Roble

| Problemas | Potencialidades |
|---|--|
| Falta de conocimiento sobre la posibilidad de actividades prácticas de sostenibilidad ambiental frente a los conflictos de uso del suelo | Trabajo en comunidad, integración de actividades con otros actores con metas similares |
| Desconocimiento de la normativa legal aplicada, falta de aprovechamiento y conocimiento por parte de la población acerca del origen del Recurso Hídrico | |

Tabla 46. Expresiones relacionadas con problemas y potencialidades, manifestadas por los actores participantes en el Municipio de Quimbaya en cuanto al comportamiento social frente al río Roble

| Área crítica | Descripción |
|---------------------------------|---|
| Áreas con vertimientos | Aguas residuales Pueblo Rico, por vaciado de piscinas y actividades turísticas vereda la Morelia alta y baja, Naranjal, las partidas, zona hotelera del Chaquiro, el Castillo, caserío el Laurel, vertimientos vereda Santa Ana, fonda los arrieros |
| Áreas con ocupación de cauces | Pueblo rico, Construcción de Hotel el Acuario en la vereda el Castillo, minería ilegal en Puerto Samaria, deforestación para ganadería en veredas la cabaña y la española |
| Áreas con sedimentos | Construcción de Hotel el Acuario salida para Montenegro |
| Asentamientos humanos en riesgo | Pueblo Rico, Naranjal |
| Áreas con disminución de caudal | Tramos vereda Trocaderos, Naranjal y la Unión |

Tabla 47. Expresiones manifestadas por los actores del Municipio de Quimbaya para identificar áreas críticas en relación con el recurso hídrico río Roble

1.3.3. Cartografía Social: Mapas Parlante

La construcción de la cartografía social se implementó en los cuatro municipios involucrados en el ordenamiento del recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones. El en proceso participaron los diferentes actores, quienes, a través de un intercambio de saberes, plasmaron en los mapas su percepción del territorio, en especial en lo que concierne al estado actual del recurso hídrico en su relación con el hombre y aspectos socioeconómicos y culturales que inciden en la cantidad y calidad del recurso.

La cartografía básica de la unidad hidrográfica del río Roble, utilizada como insumo orientador en este ejercicio, permitió la identificación y localización de conflictos y potencialidades en torno al agua, constituyéndose en un instrumento facilitador del diálogo, propuesta de estrategias e intercambio de saberes empíricos y técnicos que soportan el proceso. La información suministrada por los actores (ideas compartidas y consensuadas), localizada espacialmente en los mapas utilizados para el ejercicio, sumado a las otras técnicas de participación, facilitaron la identificación de conflictos y potencialidades que se presentan en la unidad hidrográfica del río Roble. A continuación, se presenta el registro fotográfico de algunos momentos de reunión e intercambio de saberes en las diferentes mesas de trabajo implementadas para su desarrollo (Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21), los mapas parlantes de conflictos del recurso hídrico se presentan en el Anexo 1.



Figura 17. Mesa Municipal de Diagnóstico en el Municipio de Filandia



Figura 18. Mesa Municipal de Diagnóstico en el Municipio de Circasia



Figura 19. Mesa Municipal de Diagnóstico en el municipio de Montenegro



Figura 20. Mesa Municipal de Diagnóstico en el municipio de Quimbaya



Figura 21. Socialización y plenaria de conflictos problemas y potencialidades del recurso

1.3.4. Valoración de la Percepción de Pertenencia en el Proceso

El resultado indica que la mayor parte de los actores participantes presentan alto grado de interés frente al Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones (12 actores institucionales y 16 actores comunitarios), mientras 3 actores institucionales y 3 actores comunitarios manifiestan un mediano grado de interés, un actor institucional y dos actores comunitarios manifiestan poco grado de interés (Tabla 48). Es importante mencionar que no todos los asistentes participantes, diligenciaron el instrumento mapa de pertenencia.

En la **Figura 22** se observa el resultado del mapeo de actores realizado en los talleres desarrollados en los cuatro municipios que hacen parte de la cuenca del río Roble, el cual se aplicó con el fin de analizar el interés de los participantes, frente al Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

| NIVEL | ACTOR | No. Personas |
|-------|-----------------|--------------|
| 1 | Institucionales | 12 |
| | Comunitarios | 16 |
| 2 | Institucionales | 3 |
| | Comunitarios | 3 |
| 3 | Institucionales | 1 |
| | Comunitarios | 2 |

Tabla 48. Nivel de interés por tipo de actor en el proceso de ordenamiento del recurso hídrico

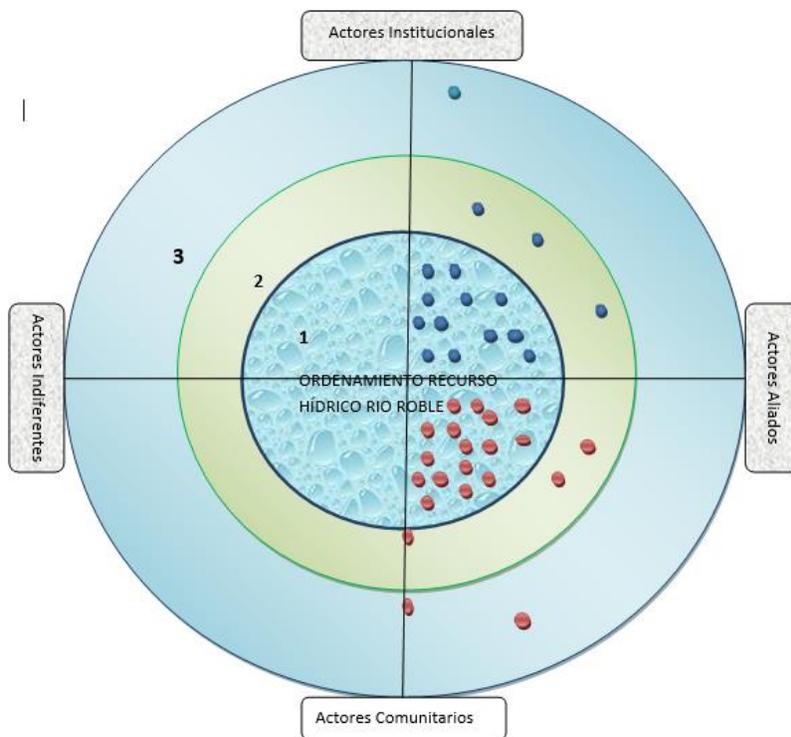


Figura 22. Mapa de pertenencia de actores en el proceso de ordenamiento del recurso hídrico

1.3.5. Conflictos del Agua Identificados por los Actores en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

En los talleres implementados en los municipios de Filandia, Circasia, Montenegro y Quimbaya se identificaron conflictos relacionados con vertimientos, desprotección de áreas estratégicas para la conservación del recurso, uso inadecuado del suelo, ocupación de cauces, disminución de áreas de bosques, disminución de caudales, desbalance entre oferta y demanda del recurso, contaminación del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, y agua no potable para consumo humano. Estos conflictos se presentan compilados y descritos en la **Tabla 49**. La documentación digitalizada de los conflictos identificados en los talleres de participación se puede consultar en el Anexo 1.

| Conflicto | Tipo-Conflicto | Descripción | Municipio |
|--|----------------------------|---|-----------|
| Zonas de conservación no definidas, calidad del recurso hídrico | Entre usos Fase latente | No se han definido las zonas de conservación para el río Roble, carga contaminante generada por los vertimientos de las zonas productivas y urbanas de Filandia. En la Quebrada Portachuelo cambios de uso del suelo con sistemas productivos intensivos (Aguacate, lulo y banano), generando demanda hídrica y vertimientos al cauce, recurso luego captado para uso agrícola y doméstico. Pequeños productores con pequeñas zonas de conservación a las rondas hídricas, falta apoyo en la regulación para el acceso al agua y sus vertimientos | Filandia |

| Conflicto | Tipo-Conflicto | Descripción | Municipio |
|---|-----------------------------------|--|------------|
| Desprotección, contaminación, captación ilegal | Entre usuarios Fase manifiesto | Quebrada La Arenosa, tributaria de la Q. Portachuelo y abastecedora del acueducto de la vereda El Vergel. En la Quebrada la Arenosa el propietario del predio no permite cuidar el nacimiento el cual está en un potrero, ni proteger la bocatoma de la cual se surte toda la vereda el Vergel. En esta quebrada hay tomas de aguas clandestinas ilegales, en el área no se cuenta con tratamiento de aguas residuales y en verano desaparece el caudal | Filandia |
| Contaminación Q. Portachuelo | Entre usos Fase latente | Vertimientos de aguas residuales de algunos barrios de la zona urbana del municipio de Filandia y aguas abajo, con residuos de productos agroquímicos usados en actividades agrícolas y pecuarias, sedimentos por deforestación por uso del suelo agrícola y ganadería | Filandia |
| Turismo: demanda del recurso hídrico y contaminación de la fuente de agua | Entre usos Fase latente | La actividad turística en el municipio incrementa la demanda del recurso y genera residuos contaminantes. Una de las épocas de mayor ocupación turística, coincide con el tiempo seco y de disminución de caudales, sumado a uso inadecuado del recurso, infraestructura obsoleta para brindar el servicio con calidad y la falta de alternativas de aprovechamiento de aguas lluvias por parte de prestadores de servicio | Filandia |
| Agua no potable para consumo humano | Entre usos Fase latente | Zona rural con agua distribuida por el Comité de Cafeteros, acueducto de la quebrada Portachuelo, sin tratamiento de potabilización, es solo para suministro agrícola, sin embargo, la población que no tiene más opciones la consume | Filandia |
| Disminución del caudal del río Roble y la Quebrada Cajones | Entre usos Fase latente | Disminución del caudal del río y la quebrada cajones, desabastecimiento en épocas de verano, ocasionando conflictos con la comunidad, no se respeta las franjas de protección en el sector de los condominios y en varios predios que ocupan el cauce con cultivos y ganadería, toma desmedida de agua del cauce para uso agrícola y pecuario. Se está dando privilegio para el uso agrícola y no para el consumo humano. Es insuficiente la oferta del recurso, ya que la demanda es superior a la cantidad de agua que se suministra, se requiere regular el uso y el acceso para la sostenibilidad de la cuenca | Circasia |
| Contaminación del río Roble y la Quebrada Cajones | Entre usos Fase latente | Vertimientos en la parte media de la quebrada Cajones, casco urbano del municipio de Circasia, algunas fincas de la parte alta vierten residuos orgánicos y químicos de actividades agropecuarias, a las laderas del río | Circasia |
| Contaminación del río Roble y la Quebrada Cajones | Entre usos Fase latente | vertimientos de aguas residuales disposición de basuras en la quebrada y ocupación de cauce, quemas y deslizamientos, no hay clara regulación de actividades recreativas en el río, las personas que toman el recuso aguas abajo, no están conformes, afecta la salud ya que se usa para consumo doméstico | Circasia |
| Intereses particulares por el acceso al recurso desconociendo el beneficio común | Entre usuarios Fase latente | Conflictos que obedecen a juegos de poder e intereses por el acceso, distribución y aprovechamiento del agua, por parte de los diferentes actores locales e institucionales. Incremento del consumo de agua para actividades productivas (agrícolas, pecuarias, agroindustriales y turísticas). En Cajones algunas personas no permiten que se haga un proceso correcto de protección en estos predios. Conflicto de intereses entre usuarios, mientras unos contaminan otros exigen calidad porque les conviene, falta articulación entre instituciones relacionada con la gestión del cauce. Conflicto entre actores que se benefician del cauce y lecho del río con quienes buscan conservar la calidad del agua para consumo humano. | Circasia |
| Desprotección de guaduales | Entre usuarios Fase latente | Entre vecinos de la vereda la Frontera se han presentado dificultades y conflictos por cortes de guadua, que han sido informados a la policía, y han acudido a un abogado para | Montenegro |

| Conflicto | Tipo-Conflicto | Descripción | Municipio |
|---|---------------------------------------|--|------------|
| en ronda hídrica | | proteger el gradual. Posterior a esa situación no se han presentado diferencias por este motivo. Finca el Quinto | |
| Contaminación del río Roble | Interjurisdiccionales Fase latente | Contaminación evidenciada en el color del agua, mal olor y espuma, vertimientos directos por lavaderos clandestinos de automotores y actividades de la zona urbana del municipio, vertimientos por agroquímicos de cultivos de aguacate, plátano y ganadería principalmente, vertimientos directos vereda el Gigante finca la pesquera. Poca responsabilidad de las empresas prestadoras del servicio, para el tratamiento de las aguas residuales. El río viene contaminado por descargas de quebradas como el Turpial en Circasia | Montenegro |
| Incremento en la demanda del recurso hídrico ocasionada por falta de planificación | Entre usos Fase latente | Aumento de construcciones en zonas rurales demanda mayor consumo del recurso, alta demanda para uso agrícola, mientras la oferta es la misma. Débil ordenamiento territorial, ocupación de cauces por actividades no legalizadas, construcciones improvisadas. No se prioriza la capacidad de fuentes hídricas alternas, (quebradas La Paloma Cajones y la Soledad), permitiendo su deterioro | Montenegro |
| Ocupación de cauces y pérdida de cobertura vegetal Ronda Hídrica | Entre usos Fase latente | Intereses particulares para invasión a la ronda hídrica del río, por parte de propietarios de predios población suburbana. Conflicto debido al permiso para concesionar el agua por parte del comité con respecto a su uso, entre los cuales intervienen ganaderos y agricultores. Abuso de los propietarios de predios ribereños, quienes no respetan la barrera protectora del cauce del río Roble causando erosión a gran escala que se ve reflejada en afectación de la infraestructura que surte de agua al municipio, potrerización y cultivos extensivos que deterioran las coberturas vegetales, además La no aplicabilidad de la normatividad en relación con el manejo de las rondas hídricas por parte de las autoridades ambientales | Montenegro |
| Perdida de cobertura de boscosa | Entre usos Fase latente | Conflictos de uso de suelo, diferencias de percepciones entre las comunidades de la zona de influencia frente a las problemáticas ambientales principalmente en pérdida de cobertura boscosa | Quimbaya |
| Contaminación por vertimientos de actividades productivas agropecuarias y turísticas | Entre usos Fase latente | Aguas residuales de los cacerías o centros poblados al río Roble (V/ Laurel, Pueblo Rico), Residuos sólidos y líquidos y peligrosos (Morelia, pueblo Rico, Laurel, Australia y la partida) Extracción de material del río (Pueblo rico, puente) Agua Turbia llega a los usuarios proveniente de la quebrada portachuelo, afectación por agroquímicos y vaciado de piscinas | Quimbaya |

Tabla 49. Conflictos identificados por los actores en el río Roble y sus tributarios

1.3.6. Potencialidades del Recurso Hídrico en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones Identificados por los Actores

Además de los conflictos, los resultados de los talleres también permitieron identificar potencialidades del recurso hídrico que contribuyen a mantener las condiciones de calidad y cantidad requeridas para garantizar su funcionalidad ecosistémica y usos potenciales.

Las condiciones de oferta natural de la unidad hidrográfica del río Roble como paisaje, relieve, biodiversidad y cobertura vegetal, sumado a factores meteorológicos, institucionales

(especialmente la normatividad), y comunitarios, son los principales aspectos considerados por los participantes como potencialidades para el ordenamiento del recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones. A continuación, se resume la información de potencialidades identificadas a través de los mecanismos de participación implementados en las Mesas Municipales:

De carácter biológico o natural:

- Se cuenta con disponibilidad del agua la mayor parte de los meses del año
- Capacidad de autodepuración del agua en el recorrido por el cauce.
- Los niveles de pluviosidad.
- Distrito de conservación Barbas Bremen
- Procesos de restauración ecológica. Algunos predios sobre la cuenca tienen áreas protectoras en márgenes del cauce
- Posibilidad de construir reservorios.
- Bosques reguladores, principalmente en las partes altas de la cuenca
- Biodiversidad
- Vegetación riparia, bosques de galería, humedales.
- La quebrada cajones es un potencial hídrico en el sector del Alto de la Tasa
- Presencia de ictiofauna
- Fuentes alternativas para suplir carencias del recurso en época seca.

De carácter Institucional:

- Normas y planes de manejo ambiental.
- Ley de adquisición de predios y recursos financieros para ello. El predio donde nace la quebrada la Arenosa está priorizado en el acuerdo 005 de 2017.
- Áreas de interés en conservación de Recurso Hídrico
- Presencia institucional y aplicación de correctivos en algunos casos.
- Posibilidades de construcción de PTAR y construcción de pozos sépticos.
- Empresa prestadora de servicio de acueducto
- Estudios estratégicos para áreas de conservación del recurso
- Reconocimiento de la cuenca del río Roble como prioritaria para su ordenamiento
- Educación ambiental en instituciones educativas.
- Normas de responsabilidad social de las empresas
- Proceso de ordenamiento del recurso hídrico
- Posibilidad de limitación de actividades cerca el río con actualizaciones de PBOT
- Incentivos y estímulos a los propietarios de predios como mecanismos de conservación de áreas protegidas
- Estudios de calidad del agua
- Resolución que obliga a EPQ a entregar agua de calidad
- Iniciativas de trabajo integral.
- Algunas instituciones comprometidas
- Medios de comunicación.

De carácter comunitario:

- Iniciativas de trabajo comunitario para proteger el recurso
- Comunidad de la vereda el Vergel empoderada en pro de la quebrada Portachuelo
- Algunas Juntas de Acción Comunal Organizadas
- Establecimiento de cultivos orgánicos o limpios
- Procesos de educación ambiental adelantados por organizaciones sociales
- Convocatorias para participación social en los planes sobre el río Roble
- Crecimiento de conciencia ambiental
- COMEDA.
- Vinculación del Sector turismo en actividades de cuidado y protección
- Mantenimiento de 2500 hectáreas de rondas de protección en fuentes hídricas en Montenegro
- Voluntad y compromiso de ONG. Grupo empoderado del río Roble en Montenegro
- Ganado estabulado, siembra de guadua
- Participación Mesa Municipal para el ordenamiento del recurso hídrico del río Roble
- Programas de sistemas productivos amigables con el ecosistema

1.4. USUARIOS Y USOS ACTUALES DEL RECURSO HÍDRICO

Las principales actividades en las cuales se da un uso benéfico al agua son la asimilación y transporte de desechos, la navegación, los servicios estéticos, explotación de recursos minerales, generación de energía, enfriamiento en procesos industriales, riego, consumo humano, procesos industriales, recreación, producción pecuaria y acuicultura, y servicios de soporte del hábitat físico. Por consistencia normativa, en este documento se definen los usos del agua de acuerdo con las nueve (9) categorías definidas en el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015:

- **Consumo Humano y Doméstico.** Bebida directa y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas.
- **Uso para la preservación de flora y fauna.** Actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres.
- **Uso para pesca, maricultura y acuicultura.** Actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas.
- **Uso agrícola.** Utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas.
- **Uso pecuario.** Utilización para el consumo del ganado y demás animales y actividades conexas.
- **Uso recreativo.** Actividades de contacto primario (natación, buceo, baños medicinales) y contacto secundario (deportes náuticos y pesca).
- **Uso Industrial.** Procesos manufactureros de transformación o explotación, generación de energía, minería, hidrocarburos, elaboración de alimentos destinados a su comercialización, fabricación o procesamiento de drogas, cosméticos, y productos similares.
- **Navegación y transporte acuático.** Movilización de embarcaciones o materiales por contacto directo con el agua.
- **Uso Estético.** Armonización y embellecimiento del paisaje.

Se consideran usuarios del recurso hídrico a aquellas personas naturales o jurídicas que aprovechan el agua para el desarrollo de alguna actividad asociada a los usos referidos con anterioridad. Por tanto, las concesiones de agua y los permisos de vertimiento se constituyen en el soporte legal para definir los usos y usuarios actuales en los cuerpos de agua objeto de ordenamiento (Anexo 2).

1.4.1. Usuarios de concesiones de agua

Mediante el análisis de la información disponible de concesiones de aprovechamiento del recurso hídrico superficial en los municipios de Montenegro, Quimbaya, Filandia y Circasia, se identificó un total de 191 captaciones, de las cuales, para el área de la cuenca del río Roble se ubican 79 captaciones (Tabla 50).

| NOMBRE DEL SOLICITANTE | MUNICIPIO | CAUDAL (L/s) | COORDENADAS ORIGEN MAGNA OESTE | | CORRIENTE | TIPO CAPTACIÓN | USO | OBSERVACIONES |
|---------------------------------------|------------|--------------|--------------------------------|--------------|--|-----------------|---------|---------------------------|
| | | | NORTE (x) (m) | ESTE (y) (m) | | | | |
| VILLA ISABEL | CIRCASIA | 0,34 | 1162314,77 | 1004086,78 | Q. CAJONES | OTRA | AB Y CH | |
| VILLA MARINA LOTE 23 | CIRCASIA | 0,2 | 1162154,11 | 1003649,509 | Q. CAJONES ZEBEDALIA | OTRA | AB Y CH | |
| VILLA MARINA LOTE 23 | CIRCASIA | 0,2 | 1162218,574 | 1003787,914 | Q. CAJONES ZEBEDALIA | OTRA | AB Y CH | |
| VILLA MARINA LOTE 22 CASA EL CASTILLO | CIRCASIA | 0,3 | 1162190,869 | 1003766,348 | Q. CAJONES ZEBEDALIA | OTRA | AB Y CH | |
| VILLA MARINA LOTE 11B | CIRCASIA | 0,01 | 1162080,349 | 1003535,667 | Q. CAJONES ZEBEDALIA | | RI Y SI | |
| VILLA MARINA LOTE 10 | CIRCASIA | 0,2 | 1162055,487 | 1003630,87 | Q. CAJONES ZEBEDALIA | OTRA | AB Y CH | |
| VILLA MARINA CASA 2 | CIRCASIA | 0,02 | 1162061,679 | 1003618,592 | Q. CAJONES CIRCASIA | OTRA | AB Y CH | |
| VERSALLES | CIRCASIA | 1,26 | 1158198,756 | 1001929,993 | Q. INNOMINADA-VERSALLES | OTRA | ABR | CERDOS, BOVINOS Y EQUINOS |
| VERAGUAS | MONTENEGRO | 0,09 | 1136121,668 | 997784,152 | Q. INNOMINADA VERAGUAS | TOMA SUMERGIDA | ABR | GANADO DE CRÍA |
| VENECIA | CIRCASIA | 0,5 | 1163746,018 | 1009088,472 | R. BARBAS | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | CIRCASIA | 30 | 1160136,757 | 1004115,504 | R. ROBLE | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | CIRCASIA | 5 | 1161298,569 | 1003476,91 | Q. CAJONES | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | CIRCASIA | 5 | 1161836,782 | 1005480,499 | Q. EL BOSQUE | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | CIRCASIA | 5 | 1161943,339 | 1005239,204 | Q. LA MARINA | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | MONTENEGRO | 100 | 1151388,241 | 1000196,011 | R. ROBLE | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | MONTENEGRO | 20 | 1151912,326 | 1000227,739 | Q. LA SOLEDAD | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | MONTENEGRO | 8 | 1151820,242 | 1000012,482 | Q. LA PALOMA | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARIOS PREDIOS | MONTENEGRO | 4,5 | 1150588,65 | 999119,089 | Q. LAS LAJAS (TURÍN) | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| VARGAS | FILANDIA | 4 | 1159857,835 | 1009350,799 | Q. MESONES (CONOCIDA COMO QUEBRADA VARGAS) | TOMA DE REJILLA | RI Y SI | |
| VARGAS | FILANDIA | 1,2 | 1159857,835 | 1009350,799 | Q. MESONES (CONOCIDA COMO QUEBRADA VARGAS) | TOMA DE REJILLA | ABR | VACAS DE LECHE |
| SAN RAMÓN | CIRCASIA | 0,41 | 1156651,783 | 1004630,842 | Q. INNOMINADA SAN RAMÓN | N/A | RI Y SI | GULUPA |
| SAN JULIÁN | CIRCASIA | 6 | 1163501,247 | 1006721,952 | Q. SAN JULIÁN | TOMA DE REJILLA | RI Y SI | |
| SAN JULIÁN | CIRCASIA | 2,15 | 1163501,247 | 1006721,952 | Q. SAN JULIÁN | TOMA DE REJILLA | ABR | |

| NOMBRE DEL SOLICITANTE | MUNICIPIO | CAUDAL (L/s) | COORDENADAS ORIGEN MAGNA OESTE | | CORRIENTE | TIPO CAPTACIÓN | USO | OBSERVACIONES |
|--|------------|--------------|--------------------------------|--------------|----------------------------|---------------------|--------------|-------------------------------|
| | | | NORTE (x) (m) | ESTE (y) (m) | | | | |
| ROBLE | CIRCASIA | 20 | 1156921,621 | 1002274,657 | R. EL ROBLE | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| PORTACHUELO | FILANDIA | 49,5 | 1160190,426 | 1009529,698 | Q. PORTACHUELO | TOMA DE REJILLA | RI Y SI | |
| PORTACHUELO | FILANDIA | 13,4 | 1160190,426 | 1009529,698 | Q. PORTACHUELO | TOMA DE REJILLA | ABR | |
| PLAYA AZUL | QUIMBAYA | 0,5 | 1138456,504 | 999041,7285 | Q. LA PALOMA | TOMA SUMERGIDA | AB Y CH | |
| PIEDECUESTA | MONTENEGRO | 0,03 | 1137030,06 | 996648,9127 | Q. LOS INDIOS | OTRA | AB, ABR Y RI | BOVINO ENGORDE |
| PIEDECUESTA | MONTENEGRO | 0,1 | 1137030,06 | 996648,9127 | Q. LOS INDIOS | OTRA | AB, ABR Y RI | BOVINO ENGORDE |
| PIEDECUESTA | MONTENEGRO | 0,1 | 1137030,06 | 996648,9127 | Q. LOS INDIOS | OTRA | AB, ABR Y RI | BOVINO ENGORDE |
| PATIO BONITO | CIRCASIA | 0,19 | 1155146,788 | 1001724,224 | Q. LA PALMA | PRESA DE DERIVACIÓN | PE | TILAPIA ROJA - SEMI-INTENSIVO |
| PATIO BONITO | CIRCASIA | 0,01 | 1155146,788 | 1001724,224 | Q. LA PALMA | PRESA DE DERIVACIÓN | RI Y SI | |
| MEMBRILLAL | CIRCASIA | 6 | 1160955,501 | 1006292,646 | Q. MEMBRILLAL | TOMA DE REJILLA | RI Y SI | |
| MEMBRILLAL | CIRCASIA | 1,86 | 1160955,501 | 1006292,646 | Q. MEMBRILLAL | TOMA DE REJILLA | ABR | |
| MEMBRILLAL | CIRCASIA | 0,5 | 1160741,621 | 1006851,439 | Q. CRUCES | PRESA DE DERIVACIÓN | AB Y RI | |
| MEMBRILLAL | CIRCASIA | 0,3 | 1160741,621 | 1006851,439 | Q. CRUCES | PRESA DE DERIVACIÓN | AB Y RI | |
| LOTE CONJ. RESIDENCIAL CAMPESTRE SAN MIGUEL DE LOS PINOS | CIRCASIA | 0,07 | 1159610,955 | 1003263,61 | Q. NN | | ABR | BOVINOS |
| LOTE 13, VILLA MARINA | CIRCASIA | 0,2 | 1162089,804 | 1003675,372 | Q. NN | | AB Y CH | |
| LOTE # 6 | CIRCASIA | 0,04 | 1161217,182 | 1003472,442 | Q. CAJONES CIRCASIA | OTRA | AB Y CH | |
| LOS ARRIEROS | QUIMBAYA | 5,5 | 1143945,511 | 998476,9202 | Q. LA CARMELITA | TOMA SUMERGIDA | AB Y PE | |
| LOS ARRIEROS | QUIMBAYA | 5,5 | 1143945,511 | 998476,9202 | Q. LA CARMELITA | TOMA SUMERGIDA | AB Y PE | |
| LOS ALPES | QUIMBAYA | 0,1 | 1137828,383 | 998561,3378 | Q. LA ESPAÑOLA QUIMBAYA | OTRA | AB Y ABR | BOVINO LECHE Y LEVANTE |
| LOS ALPES | QUIMBAYA | 0,3 | 1137828,383 | 998561,3378 | Q. LA ESPAÑOLA QUIMBAYA | OTRA | AB Y ABR | BOVINO LECHE Y LEVANTE |
| LAS VERANERAS | QUIMBAYA | 0,07 | 1146138,805 | 997352,6874 | Q. INNOMINADA LA MARGARITA | TOMA DE REJILLA | AB Y CH | |
| LAGUNA BENGALA | FILANDIA | 4 | 1160150,19 | 1009606,433 | Q. LOS CHORROS | | RI Y SI | |
| LAGUNA BENGALA | FILANDIA | 1,08 | 1160150,19 | 1009606,433 | Q. LOS CHORROS | | ABR | |
| LA MARGARITA | QUIMBAYA | 1 | 1146075,093 | 997291,7348 | Q. INNOMINADA LA MARGARITA | OTRA | AB Y CH | |
| LA MARGARITA | QUIMBAYA | 0,08 | 1146075,093 | 997291,7348 | Q. INNOMINADA LA MARGARITA | OTRA | AB Y CH | |
| LA JULIETA O LA JULIANA | QUIMBAYA | 0,2 | 1141669,252 | 997234,6301 | Q. INNOMINADA SHARON | OTRA | AB Y CH | |
| LA HOLANDA | CIRCASIA | 1,6 | 1156009,201 | 1002171,453 | Q. CHACHAFRUTO | OTRA | RI Y SI | TOMATE |
| LA GAVIOTA | FILANDIA | 0,09 | 1156464,84 | 1005613,717 | Q. CAJONES FILANDIA | | RI Y SI | TOMATE, CEBOLLA Y OTROS |
| LA ESPAÑOLA | QUIMBAYA | 0,1 | 1139509,087 | 998333,8328 | Q. LA ESPAÑOLA QUIMBAYA | OTRA | AB, ABR Y RI | GANADO DOBLE PROPÓSITO |
| LA ESPAÑOLA | QUIMBAYA | 0,2 | 1139509,087 | 998333,8328 | Q. LA ESPAÑOLA QUIMBAYA | OTRA | AB, ABR Y RI | GANADO DOBLE PROPÓSITO |
| LA ESPAÑOLA | QUIMBAYA | 0,2 | 1139509,087 | 998333,8328 | Q. LA ESPAÑOLA QUIMBAYA | OTRA | AB, ABR Y RI | GANADO DOBLE PROPÓSITO |
| LA CLARITA | CIRCASIA | 1,34 | 1158227,495 | 1002974,757 | A. LA CLARITA | OTRA | ABR | |
| LA ALDEA | CIRCASIA | 0,39 | 1162214,674 | 1004184,286 | Q. ARENOSA | | AB Y CH | |

| NOMBRE DEL SOLICITANTE | MUNICIPIO | CAUDAL (L/s) | COORDENADAS ORIGEN MAGNA OESTE | | CORRIENTE | TIPO CAPTACIÓN | USO | OBSERVACIONES |
|---|------------|--------------|--------------------------------|--------------|------------------------|-----------------|----------|-------------------------------|
| | | | NORTE (x) (m) | ESTE (y) (m) | | | | |
| INVERSIONES HOTELERAS Y TURÍSTICAS EJE CAFETERO | QUIMBAYA | 1,6 | 1143622,747 | 997938,6509 | Q. CHACHAFRUTO | OTRA | RI Y SI | AGUACATE, NARANJA, CARAMBOL O |
| HACIENDA EL OCASO | QUIMBAYA | 0,47 | 1138441,099 | 999035,5568 | Q. LA PALOMA | OTRA | ABR | GANADO VACUNO |
| HACIENDA EL OCASO | QUIMBAYA | 0,48 | 1138441,099 | 999035,5568 | Q. LA PALOMA | OTRA | RI Y SI | PASTOS |
| HACIENDA EL BOSQUE | CIRCASIA | 2 | 1162724,134 | 1005319,172 | Q. QUEBRADA EL BOSQUE | | ABR | CERDOS |
| GRANJA MEMBRILLAL | CIRCASIA | 0,4 | 1162089,59 | 1007451,922 | Q. MEMBRILLAL | | ABR | POLLOS |
| GRANJA MEMBRILLAL | CIRCASIA | 0,015 | 1162089,59 | 1007451,922 | Q. MEMBRILLAL | | AB Y CH | |
| FINCA LLANADAS | CIRCASIA | 0,5 | 1157614,049 | 1001375,747 | Q. INNOMINADA LLANADAS | OTRA | ABR | PORCINOS |
| FINCA LA PRADERA | MONTENEGRO | 0,013 | 1138744,124 | 996759,4068 | Q. LA PRADERITA | OTRA | AB Y ABR | VACUNO |
| FINCA LA PRADERA | MONTENEGRO | 0,013 | 1138744,124 | 996759,4068 | Q. LA PRADERITA | OTRA | AB Y ABR | VACUNO |
| FINCA LA MESA GRUPO LOS PINOS LTDA. | CIRCASIA | 1 | 1163612,623 | 1006537,821 | Q. SAN JULIÁN | OTRA | AB Y CH | |
| FINCA LA ARENOSA LOTE # 2 | CIRCASIA | 0,145 | 1154622,978 | 1001554,204 | Q. SAN JOSÉ ROBLE | | ABR | |
| EL VERGEL | FILANDIA | 1,35 | 1157154,297 | 1007722,936 | Q. LA ARENOSA | TOMA DE REJILLA | RI Y SI | |
| EL VERGEL | FILANDIA | 1,02 | 1157154,297 | 1007722,936 | Q. LA ARENOSA | TOMA DE REJILLA | ABR | |
| EL ROBLE | CIRCASIA | 11 | 1162733,597 | 1006701,917 | R. RIO ROBLE | TOMA DE REJILLA | RI Y SI | |
| EL ROBLE | CIRCASIA | 2,49 | 1162733,597 | 1006701,917 | R. EL ROBLE | TOMA DE REJILLA | ABR | |
| EL ENCANTO | FILANDIA | 0,14 | 1157139,475 | 1007427,931 | Q. LA ARENOSA | | RI Y SI | |
| CONDOMINIO CAMPESTRE LOS ÁNGELES | CIRCASIA | 0,18 | 1162294,526 | 1004335,014 | Q. LA ARENOSA | TOMA LATERAL | AB Y CH | |
| CASA # 35 | CIRCASIA | 0,021 | 1161889,661 | 1006300,716 | Q. ARENOSA | | AB Y CH | |
| CAJONES | FILANDIA | 5,2 | 1156440,388 | 1007051,667 | Q. CAJONES FILANDIA | TOMA DE REJILLA | RI Y SI | |
| CAJONES | FILANDIA | 1,6 | 1156440,388 | 1007051,667 | Q. CAJONES FILANDIA | TOMA DE REJILLA | ABR | |
| # 2 LOTE LA CASTILLA | CIRCASIA | 15 | 1160106,05 | 1004053,988 | Q. ARENOSA | | AB Y CH | |
| VILLA MARINA LOTE 11B | CIRCASIA | 0,2 | 1162070,865 | 1003649,338 | Q. CAJONES ZEBEDALIA | OTRA | AB Y CH | |
| VILLA MARINA LOTE 11 | Circasia | 0,02 | 1162036,906 | 1003670,777 | Q. CAJONES ZEBEDALIA | OTRA | AB Y RI | |

Tabla 50. Captaciones en la Subcuenca del río Roble.

- * AB y CH: Abastecimiento y Consumo Humano
- * RI: Riego
- * SI: silvicultura
- * ABR: Abrevadero
- * PE: Pesca

En relación con la distribución espacial del aprovechamiento del recurso, en la Figura 23 y Figura 24 aprecia la cantidad de captaciones por municipio, cuenca y por agrupaciones de actividades económicas.

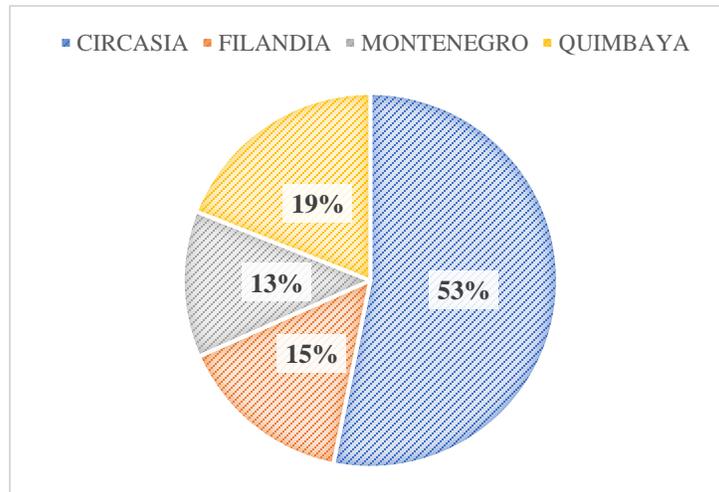


Figura 23. Captaciones por municipio en la unidad hidrográfica del río Roble.

En relación con la distribución por municipio se aprecia que la mayor cantidad de captaciones encuentran en el municipio de Circasia que cuenta con 42 aprovechamientos, seguido de las 15 captaciones en el municipio de Quimbaya, Filandia cuenta con 12 y en Montenegro 10 son puntos concesionados.

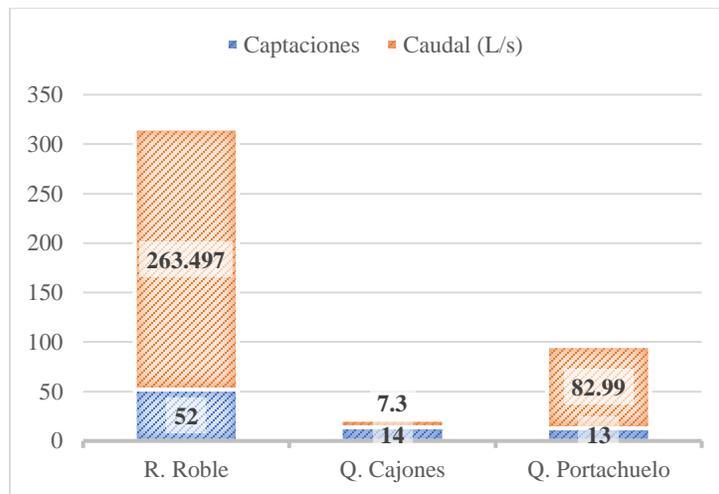


Figura 24. Captaciones por subcuenca y caudal aprovechado en cada cuenca de estudio.

En relación con la distribución de los puntos de captación por cuenca, se aprecia que la cuenca alta y baja del río Roble reúne la mayor cantidad de puntos de aprovechamiento con 52 puntos que suman un caudal de 263 L/s, la quebrada Cajones cuenta con un total de 14 que acumulan 7,3 L/s, y la quebrada Portachuelo reúne 13 puntos de aprovechamiento que suman 82,99 L/s. La distribución espacial de los puntos de captación se presenta en la Figura 25. El 78.44% de este caudal se destina para el uso agrícola, un 20.95% adicional se usa en actividades pecuarias y el 0.6% restante se emplea para el consumo humano. En la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones se encuentran concesionados 7.37 l/s, de los cuales el 98.6% es destinado al uso doméstico, un 0.95% al uso pecuario y el resto al uso mixto y agrícola. El 76% de caudal concesionado en la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones es usado por personas jurídicas.

El resto de las concesiones de agua en la unidad hidrográfica del río Roble se encuentran otorgadas principalmente para el consumo humano (216.51 l/s), uso mixto (entre doméstico y agrícola, 6.83 l/s), uso agrícola (26.69 l/s), uso pecuario (13.73 l/s) y pesca (0.19 l/s).

En toda la zona de estudio el caudal total concesionado es 353.78 l/s, el principal uso de este recurso hídrico es el doméstico (63.39 %), seguido del uso agrícola (25.83 %) y el uso pecuario (8.78 %). En la Figura 25 se presenta la distribución espacial de las captaciones de agua en toda el área drenante de los cuerpos de agua en ordenamiento.

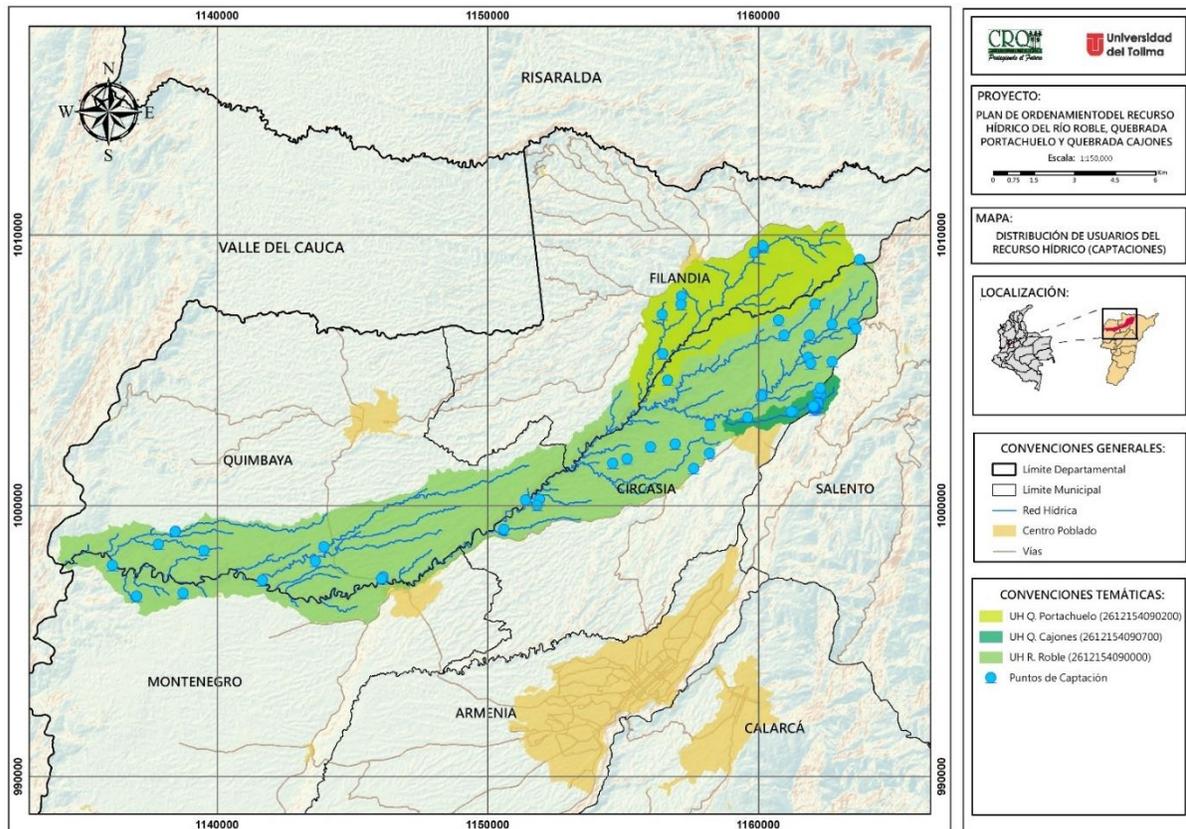


Figura 25. Ubicación espacial de los usuarios de concesiones de agua en las unidades hidrográficas de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento

En cuanto a las obras de captación de agua potable para el centro poblado de los municipios de la cuenca del río Roble, en las siguientes tablas se presentan de manera resumida las estructuras de ocupación de cauce y características de los sistemas de Captación de Agua Potable. En la Tabla 51 se encuentra la información del punto de captación de agua del municipio de Circasia. Mediante la Tabla 52 se presenta la información de captación del municipio de Filandia. Por último, en la Tabla 53 se realiza un resumen de la información de la captación del municipio Montenegro.

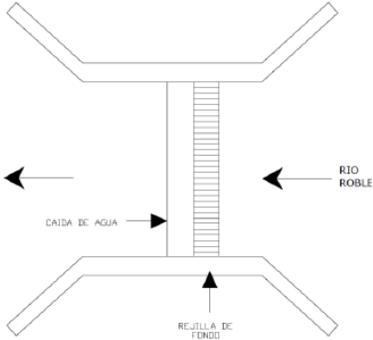
| REGISTRO FOTOGRAFICO | UBICACIÓN | ESQUEMA DE CAPTACION | |
|--|---|--|----------|
|  |  |  | |
| INFORMACIÓN | | | |
| Nombre | Bocatoma Circasia | COORDENADAS | |
| Dirección | Pradera Baja – La Milagrosa | E | N |
| Departamento | Quindío | 1004100 | 1160100 |
| Municipio | Circasia | Altura (m.s.n.m) | |
| Caudal | 30 L/s | 1700 | |
| OBSERVACIÓN | | | |
| Bocatoma con rejilla de fondo sobre todo la sección del cauce principal. Esta capta parte del agua para el consumo humano del municipio de Circasia. | | | |

Tabla 51. Captación del municipio de Circasia.

Fuente: Editado de Proyecto de Reglamentación de las Aguas del Río Roble y sus Tributarios (2011).

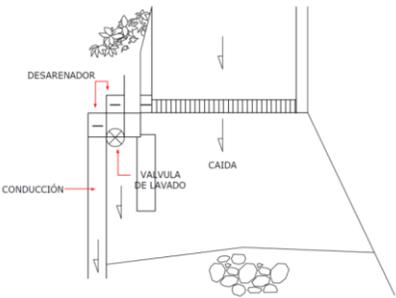
| REGISTRO FOTOGRAFICO | UBICACIÓN | ESQUEMA DE CAPTACION | |
|--|---|--|-----------|
|  |  |  | |
| INFORMACIÓN | | | |
| Nombre | Bocatoma Filandia (Portachuelo) | COORDENADAS | |
| Dirección | Entrada norte Casco urbano Filandia | E | N |
| Departamento | Quindío | 1009469,077 | 1160050,8 |
| Municipio | Filandia | Altura (m.s.n.m) | |
| Caudal | 53,5 L/s | 2000 | |
| OBSERVACIÓN | | | |
| Ambas bocatomas con rejilla de fondo. La bocatoma auxiliar toma casi toda el agua de la quebrada Los Chorros, no posee válvula reguladora. | | | |

Tabla 52. Captación del municipio de Filandia.

Fuente: Editado de Proyecto de Reglamentación de las Aguas del Río Roble y sus Tributarios (2011).

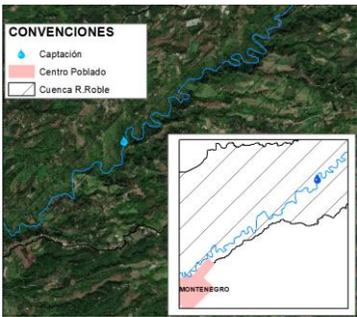
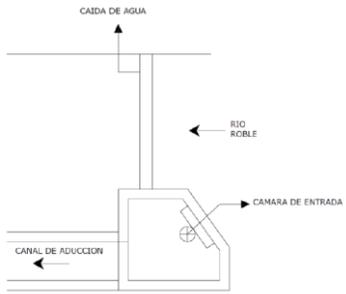
| REGISTRO FOTOGRAFICO | UBICACIÓN | ESQUEMA DE CAPTACION | |
|--|---|---|----------|
|  |  |  | |
| INFORMACIÓN | | | |
| Nombre | Bocatoma Montenegro | COORDENADAS | |
| Dirección | Buenos Aires Bajo | E | N |
| Departamento | Quindío | 1000214 | 1151388 |
| Municipio | Montenegro | Altura (m.s.n.m) | |
| Caudal | 110 L/s | 1310 | |
| OBSERVACIÓN | | | |
| Estructura de captación lateral. En época de estiaje los fontaneros utilizan barreras (bolsas de arena) para represar el caudal y poder captar el líquido necesario. | | | |

Tabla 53. Captación del municipio de Montenegro.

Fuente: Editado de Proyecto de Reglamentación de las Aguas del Río Roble y sus Tributarios (2011).

1.4.2. Usuarios de permisos de vertimiento

Se realizó la revisión de puntos de vertimiento identificados (PSMV y Permisos de Vertimientos) en la jurisdicción de los municipios de Filandia, Montenegro, Circasia y Quimbaya. De esta revisión, se obtuvo un total de 108 puntos de vertimiento, de los cuales, sobre la cuenca hidrográfica del río Roble se obtuvo un total de 27 puntos de Vertimiento, los cuales se presentan en la Tabla 54.

| MUNICIPIO | PUNTO | TIPO | FUENTE | COORDENADAS ORIGEN MAGNA OESTE | |
|------------|-------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------|
| | | | | NORTE (x) (m) | ESTE (y) (m) |
| Montenegro | RRD6 | Sin Información | Río Roble | 1147218,6 | 997004,08 |
| Montenegro | RRD5 | Sin Información | Río Roble | 1147266,48 | 997122,83 |
| Montenegro | RRD8 | Sin Información | Río Roble | 1146628,26 | 997124,31 |
| Montenegro | RRD7 | Sin Información | Río Roble | 1147069,78 | 997131,92 |
| Montenegro | RRD4 | Sin Información | Río Roble | 1147499,96 | 997239,28 |
| Montenegro | RRD9 | Sin Información | Río Roble | 1146531,28 | 997277,58 |
| Montenegro | RRD3 | Sin Información | Río Roble | 1147548,33 | 997441,36 |
| Montenegro | RRD2 | Sin Información | Río Roble | 1147683,16 | 997587,4 |
| Montenegro | RRD1 | Sin Información | Río Roble | 1147893,75 | 997637,27 |
| Circasia | QCD8 | Combinado | Quebrada Cajones | 1159175 | 1002954 |
| Circasia | QCD7 | Residual Domestica | Quebrada Cajones | 1159530 | 1003067 |
| Filandia | QPD4 | Sin Información | Quebrada Portachuelo. | 1157183,58 | 1008377,04 |
| Filandia | QPD5 | Sin Información | Quebrada Portachuelo. | 1157215,25 | 1008488,91 |

| MUNICIPIO | PUNTO | TIPO | FUENTE | COORDENADAS ORIGEN MAGNA OESTE | |
|-----------|--|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------|
| | | | | NORTE (x) (m) | ESTE (y) (m) |
| Filandia | QPD3 | Sin Información | Quebrada Portachuelo. | 1157957,75 | 1008635,99 |
| Filandia | QPD2 | Sin Información | Quebrada Portachuelo. | 1157805,38 | 1008656,62 |
| Filandia | QPD1 | Sin Información | Quebrada Portachuelo. | 1157975,8 | 1008758,46 |
| Circasia | QCD5 | Combinado | Quebrada Cajones | 1159947,94 | 1003038,67 |
| Circasia | QCD6 | Residual Doméstica | Quebrada Cajones | 1159780,24 | 1003076,32 |
| Circasia | QCD3 | Combinado | Quebrada Cajones | 1160074 | 1003103,7 |
| Circasia | QCD4 | Residual Doméstica | Quebrada Cajones | 1160055,13 | 1003124,27 |
| Circasia | QCD2 | Combinado | Quebrada Cajones | 1160089,88 | 1003125,4 |
| Circasia | QCD1 | Residual Doméstica | Quebrada Cajones | 1160318,47 | 1003150,02 |
| Circasia | QCD9 | Combinado | Quebrada Cajones | 1158848 | 1003197,35 |
| Circasia | RRD0 | Combinado | Río Roble | 1159841,69 | 1003697,55 |
| Circasia | Productos Avícolas Don Felipe | Residual Doméstica | Quebrada NN | 1159731,632 | 1006234,834 |
| Quimbaya | Central de Sacrificio Pollo Fresco_Salida PTAR | Residual No Doméstica | Quebrada NN | 1147925,154 | 998895,9351 |
| Quimbaya | Procesadora Avícola Pollo Fresco_Salida PTAR | Residual No Doméstica | Quebrada NN | 1147890,346 | 998883,8911 |

Tabla 54. Vertimientos en la Subcuenca del río Roble.

La distribución de los puntos de vertimiento se distribuye a nivel municipal 11 en Circasia, cinco (5) en Filandia, nueve (9) en Montenegro y dos (2) en Quimbaya. En la cuenca de la quebrada Portachuelo se ubican cinco (5) vertimientos, sobre la cuenca de la quebrada Cajones se encuentran nueve (9) y en la unidad hidrográfica del río Roble se ubican 13 vertimientos (Figura 26) Figura 26. Del total de vertimientos, 24 son de alcantarillado de tipo combinado y 3 agroindustrial. Estos tres (3) últimos se encuentran localizados en las quebradas Membrillal y Carmelita. En la Tabla 55 se presenta la distribución de los vertimientos identificados de acuerdo con la sectorización definida.

| TRAMO | FUENTE O MICROCUENCA ZONIFICACIÓN DEL RÍO LA VIEJA | UMA (SECTOR) | CUERPO DE AGUA | VERTIMIENTOS |
|-------|--|--------------|---------------------|---------------------------------|
| 5 | Río Roble | ROBLE_03 | R. Roble | RRD0 |
| 4 | Quebrada Cajones | CAJONES_02 | Q. Cajones | QCD1 a QCD8 |
| | | CAJONES_03 | Q. Cajones | QCD9 |
| 6 | Río Roble | ROBLE_04 | Afluente R. Roble | Avícola Don Felipe |
| 2 | Quebrada Portachuelo | MAD_01 | Q. Chorro de Madres | QPD1 a QPD3 |
| | | QNN_03 | Q. Innominada | QPD4 y QPD5 |
| 7 | Río Roble | ROBLE_09 | R. Roble | RRD1 a RRD9 |
| | | CARME_01 | Q. Carmelita | Pollo Fresco 1 y Pollo Fresco 2 |

Tabla 55. Distribución de puntos de vertimiento por Unidades Mínimas de Análisis- UMA

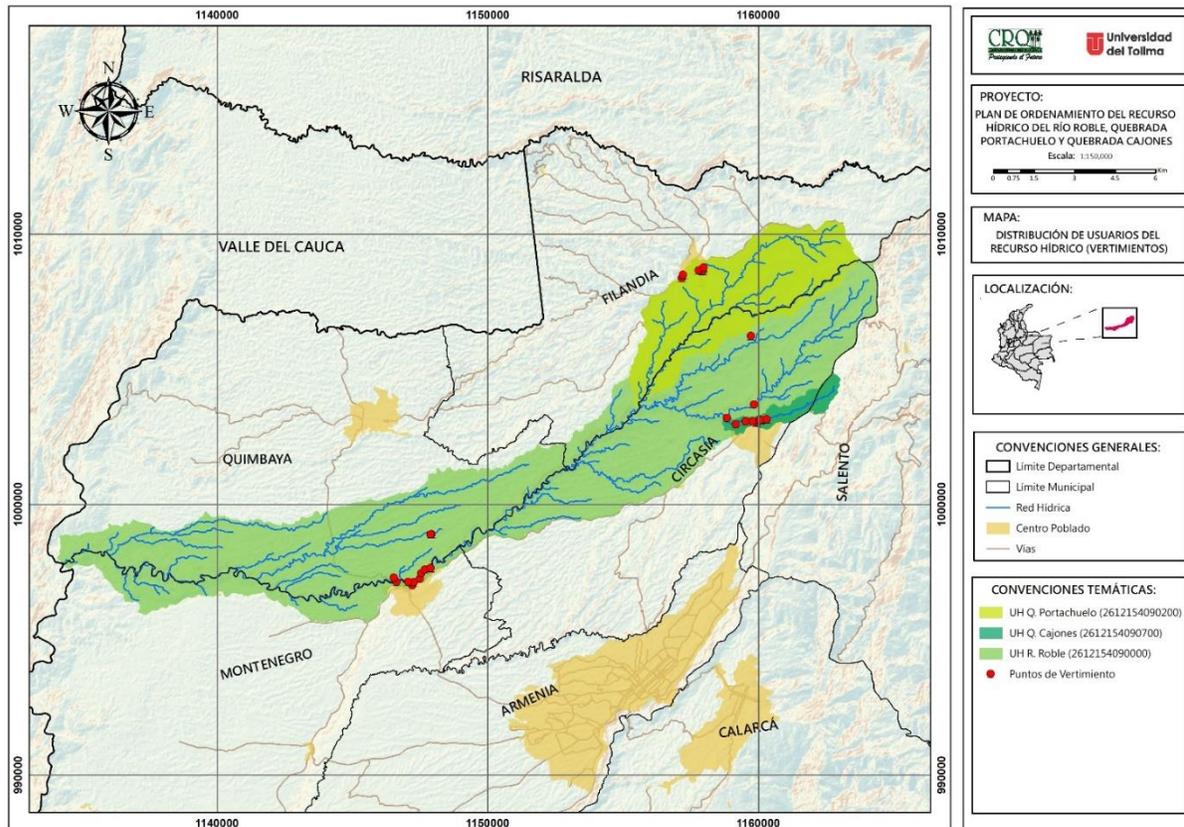


Figura 26. Ubicación espacial de los usuarios de vertimientos de aguas residuales en las unidades hidrográficas de los cuerpos de agua objeto de ordenamiento

El caudal de las aguas residuales aportadas por los vertimientos provenientes de las redes de alcantarillado está constituido por aguas residuales domésticas, industriales, comerciales, oficiales, caudal por infiltración y caudal por conexiones erradas. Este caudal para cada vertimiento se calculó siguiendo el siguiente procedimiento:

1.4.2.1. Caudal de aguas residuales domésticas (Q_d)

Inicialmente se determinaron las áreas sanitarias de cada vertimiento y la población correspondiente por proporción de áreas, luego se aplicó la siguiente expresión:

$$Q_d = \frac{C_R \times P \times D_{neta}}{86400}$$

Donde,

Q_d = Caudal de aguas residuales domésticas (m³/s)

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional)

P = Número de habitantes proyectados al periodo de diseño para el área sanitaria (No. Habitantes)

D_{neta} = Demanda neta (m³/habitante/día)

1.4.2.2. Caudal de aguas residuales comerciales (Q_c)

En la zona de estudio las zonas comerciales son fundamentalmente mixtas con áreas residenciales, lo cual dificulta un cálculo detallado del aporte de caudal comercial, por lo que fue necesario estimar un valor de aporte promedio definido asumiendo un coeficiente unitario de 0.5 l/s-Ha.

1.4.2.3. Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (Q_{ce})

Este caudal depende de la estructura del sistema de recolección y transporte de aguas lluvias y representa el aporte de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Q_{ce} = C_{ace} \times A_s$$

Donde,

C_{ace} = Caudal de aporte por conexiones erradas de aguas lluvias (l/s-Ha)

A_s = Área sanitaria (Ha)

Con base en mediciones de caudal de vertimientos en los sitios de estudio, se determinó que el C_{ace} para época seca es de 0.2 l/s-Ha y en época húmeda 0.73 l/s-Ha.

1.4.2.4. Caudales por infiltración (Q_{inf})

En la zona de estudio se estimó que el caudal unitario por infiltración es de 0.10 l/s-Ha para los vertimientos de Filandia y Circasia, y 0.2 l/s-Ha para los vertimientos de Montenegro.

$$Q_{inf} = C_{inf} \times A_s$$

Donde,

C_{inf} = Caudal unitario por infiltración de aguas lluvias (l/s-Ha)

A_s = Área sanitaria (Ha)

1.4.2.5. Caudal medio diario de aguas residuales (QMD)

El caudal medio diario de aguas residuales (QMD) corresponde a la suma de los caudales de aguas residuales domésticas y comerciales:

$$QMD = Q_d + Q_c + Q_{ce} + Q_{inf}$$

1.4.2.6. Caudal máximo horario (QMH)

El caudal máximo horario se calculó aplicando un factor de mayoración al caudal medio diario aplicando las siguientes expresiones:

$$QMH = F \times QMD$$

Donde,

$$F = 3.5 / p^{0.1}$$

QMD = Caudal medio diario

P = Población proyectada (No. habitantes)

Los factores de mayoración calculados fluctuaron entre 1.72 y 2.34 para la zona de estudio.

1.4.2.7. Caudal de diseño de vertimiento (QD)

El caudal de diseño de cada vertimiento corresponde a la suma del caudal máximo horario, el caudal por conexiones erradas y el caudal de infiltración:

$$QD = QMH + Q_{ce} + Q_{inf}$$

El procedimiento de cálculo descrito anteriormente se aplicó para las condiciones típicas de época húmeda y seca, variando el valor del coeficiente unitario de caudal por conexiones erradas, el cual es el principal factor para dicha variación estacional. Los caudales de vertimiento para época húmeda varían entre 15.65 l/s y 0.78 l/s, y entre 7.68 l/s y 0.41 l/s para época seca (Figura 27).

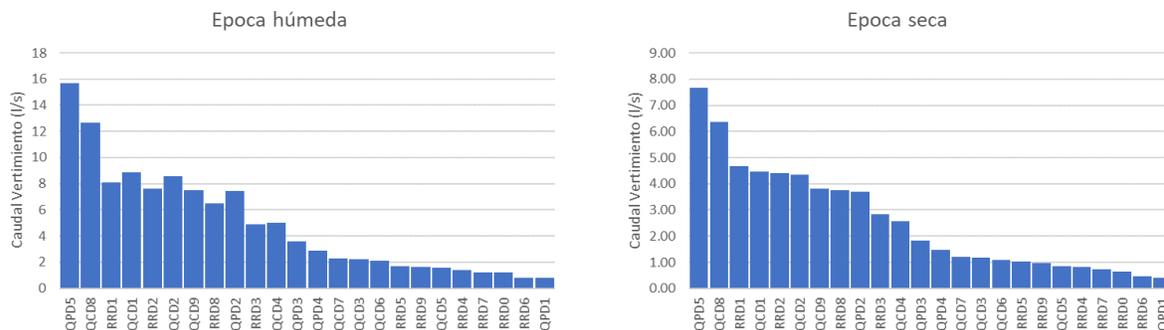


Figura 27. Caudales de vertimiento representativos de época húmeda (izquierda) y seca (derecha) en la zona de estudio

1.4.3. Definición de tramos para el ordenamiento

La actual resolución que define los objetivos de calidad del agua en el río Roble (Resolución de 2008) tiene establecidos dos tramos: el primero comprendido desde su nacimiento hasta la bocatoma de Montenegro y el segundo desde la bocatoma de Montenegro hasta su confluencia con el río La Vieja. A efectos del ordenamiento, se hace necesario modificar la discretización de tramos para considerar con un mayor detalle la variabilidad en los usos potenciales y actuales y

las presiones ejercidas por usuarios de concesiones de agua y vertimientos. En tal sentido, en el plan de ordenamiento se definieron siete (7) tramos en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones (Figura 28) con base en los siguientes criterios:

- Cambios en el estado de calidad del agua por vertimientos puntuales
- Tipos de uso del agua según la destinación de las concesiones
- Influencia de afluentes principales en el estado de calidad del agua en los segmentos aguas debajo de las confluencias

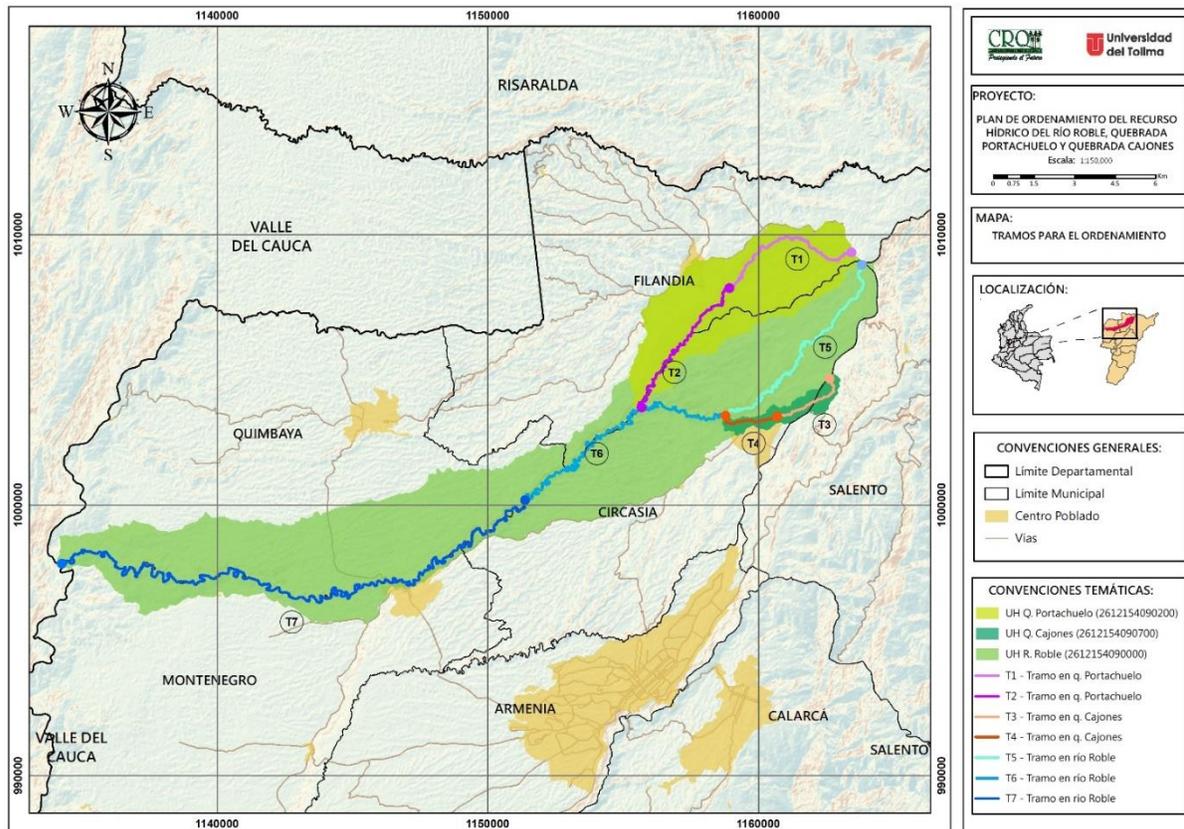


Figura 28. Mapa de Tramos para el Ordenamiento del Recurso Hídrico

Los tramos objeto de ordenamiento son (Figura 28):

Tramo 1 (T1): Desde el nacimiento de la quebrada Portachuelo hasta antes del centro urbano de Filandia.

Tramo 2 (T2): Desde el centro urbano de Filandia hasta la confluencia de la quebrada Portachuelo con el río Roble.

Tramo 3 (T3): Desde el nacimiento de la quebrada Cajones hasta la bocatoma de EPQ en Circasia.

Tramo 4 (T4): Desde la bocatoma de EPQ en Circasia sobre la quebrada Cajones hasta la confluencia de la quebrada Cajones con el río Roble.

Tramo 5 (T5): Desde el nacimiento del río Roble hasta su confluencia con quebrada Cajones.

Tramo 6 (T6): Desde el río Roble aguas debajo de su confluencia con la quebrada Cajones hasta la bocatoma de Montenegro sobre el río Roble.

Tramo 7 (T7): Desde la bocatoma de Montenegro en el río Roble hasta la desembocadura del río Roble en el río La Vieja.

1.4.4. Clasificación de los usos actuales del agua

Con base en la información consolidada de permisos de vertimiento, concesiones de agua y los resultados de los talleres de participación de actores se establecieron los usos actuales del agua siguiendo la categorización definida en el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015 y la incorporación de la categoría de uso adicional denominada: "Transporte y Asimilación de Contaminantes". En la Tabla 56 y la Figura 29 se presenta la clasificación de usos por cada tramo.

| Tramo | Usos Actuales |
|-------|--|
| T1 | Consumo Humano y Doméstico; Agrícola; Pecuario; Estético; Preservación de Flora y Fauna |
| T2 | Agrícola; Pecuario; Transporte y Asimilación de Contaminantes; Estético; Preservación de Flora y Fauna |
| T3 | Consumo Humano y Doméstico; Agrícola; Estético; Preservación de Flora y Fauna |
| T4 | Transporte y Asimilación de Contaminantes; Estético; Preservación de Flora y Fauna |
| T5 | Consumo Humano y Doméstico; Pecuario; Agrícola; Estético; Preservación de Flora y Fauna |
| T6 | Consumo Humano y Doméstico; Transporte y Asimilación de Contaminantes; Estético; Preservación de Flora y Fauna |
| T7 | Transporte y Asimilación de Contaminantes; Estético; Preservación de Flora y Fauna |

Tabla 56. Usos actuales del agua en los tramos objeto de ordenamiento

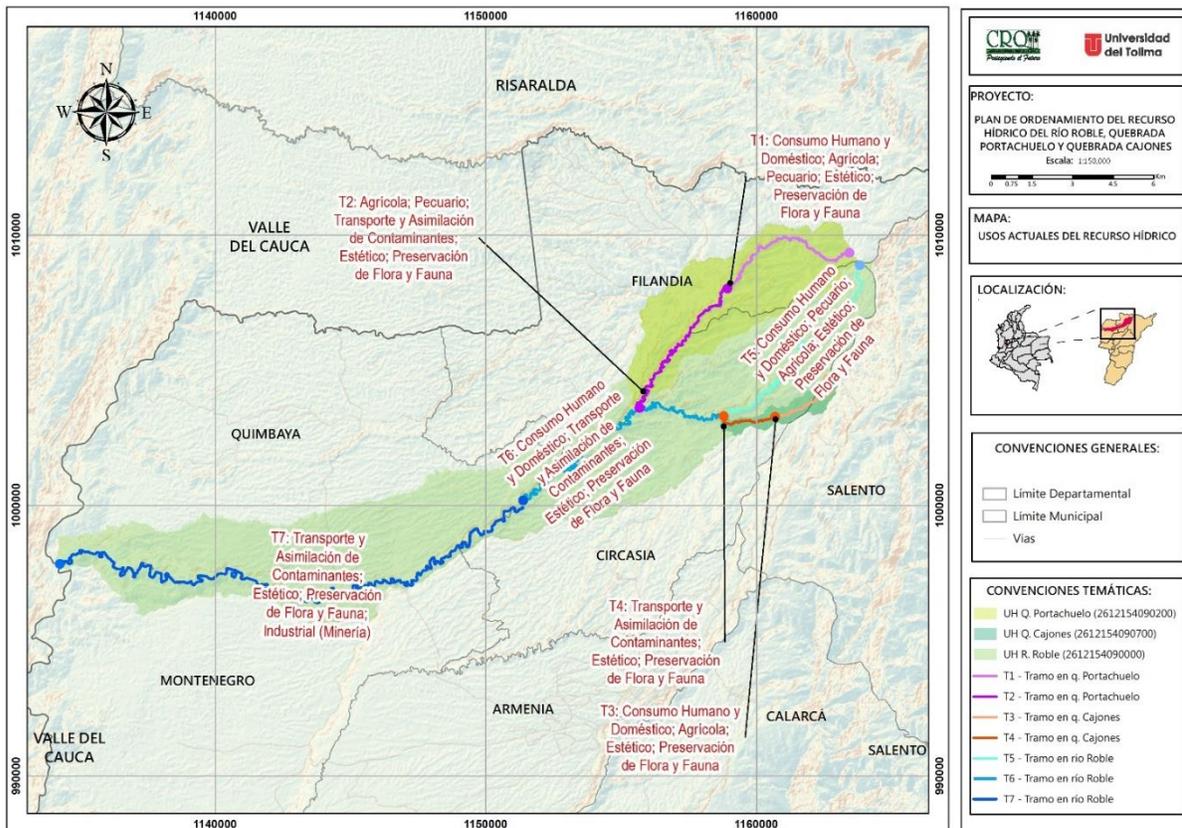


Figura 29. Mapa de clasificación de los usos actuales del recurso hídrico en los tramos objeto de ordenamiento

1.5. OFERTA HÍDRICA

1.5.1. Red de monitoreo hidrometeorológico

La unidad hidrográfica del río Roble cuenta con escasos registros históricos de variables hidrometeorológicas, dos (2) estaciones climatológicas (Bremen y La Española) y una estación Limnimétrica (La Española). En su área aledaña existen dos (2) estaciones sinópticas principales, dos (2) estaciones climatológicas y tres (3) estaciones pluviométricas, la mayoría de ellas con registros diarios de precipitación para el periodo comprendido entre los años de 1985 a 2019, con un porcentaje de datos faltantes entre 1.24% y 28.15% (Figura 30 y Tabla 57). Sin embargo, solo cuatro (4) estaciones climatológicas cuentan con información de temperatura mínima y máxima diaria para el mismo periodo (1985 a 2019), las cuales presentan un porcentaje de datos faltantes entre 7.11% y 27.12%, y 3.65% y 12.81% respectivamente.

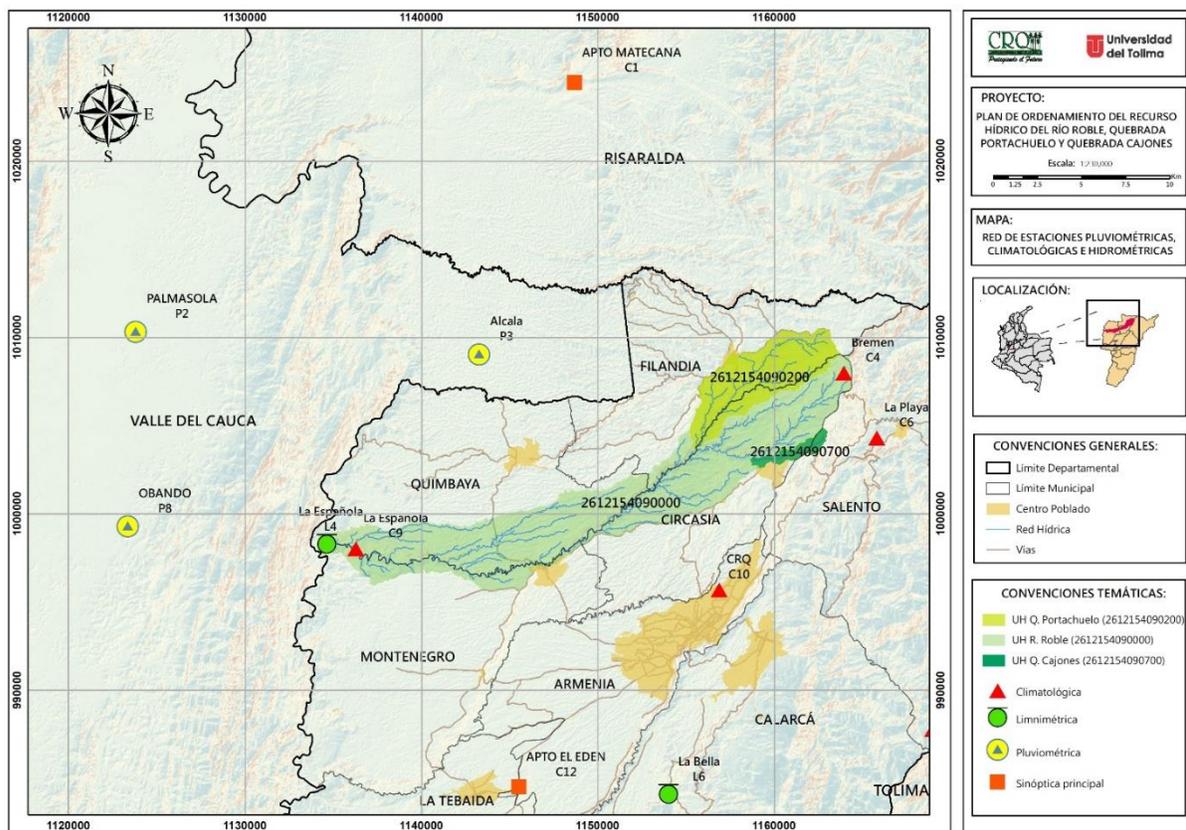


Figura 30. Localización de las estaciones pluviométricas, climatológicas e hidrológicas en la unidad hidrográfica del río Roble y su área circundante

Los datos faltantes de precipitación fueron imputados mediante una estimación espacial por inverso de la distancia al cuadrado. Dicha estimación permitió conservar alta consistencia entre los estadísticos de las series originales y las series imputadas, alcanzando coeficientes de determinación de 0.99, 0.95 y 0.90 para la media, desviación estándar y coeficiente de variación respectivamente. Los datos faltantes de temperatura diaria fueron imputados a través de la

aplicación del modelo estocástico RMAWGEN (Cordano y Eccel, 2012), obteniendo satisfactorios ajustes en los estadísticos de la serie diaria.

| Estación | Periodo de análisis | | Coordenadas Magna-SIRGAS Origen Oeste | | Tipo de estación | Porcentaje de datos faltantes de precipitación en la escala diaria |
|---------------------------------------|---------------------|------------|---------------------------------------|------------|---------------------|--|
| | Inicio | Fin | X | Y | | |
| AEROPUERTO EL EDEN - - AUT [26125060] | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1145527.74 | 984484.49 | Sinóptica principal | 4.8 |
| AEROPUERTO MATECANA [26135040] | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1148690.19 | 1024436.48 | Sinóptica principal | 1.24 |
| ALCALA [26120150] | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1143272.67 | 1009008.19 | Pluviométrica | 2.72 |
| OBANDO [26100300] | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1123364.77 | 999256.50 | Pluviométrica | 1.29 |
| PALMASOLA [26100830] | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1123809.75 | 1010296.00 | Pluviométrica | 2.43 |
| CRQ | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1156885.34 | 995659.18 | Climática principal | 13.44 |
| BREMEN | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1163951.86 | 1007964.28 | Pluviométrica | 8.3 |
| LA PLAYA | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1165809.49 | 1004280.89 | Climática principal | 12.4 |
| LA ESPAÑOLA | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1136284.73 | 997987.21 | Pluviométrica | 28.15 |
| Cumbarco [26125130] | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1138252.83 | 954644.97 | Climática ordinaria | - |
| Barragán [26105140] | 1/1/1985 | 31/12/2019 | 1132096.04 | 937823.62 | Climática ordinaria | - |

Tabla 57. Información básica de identificación de las estaciones hidrometeorológicas con registros históricos en la región de ubicación de la unidad hidrográfica del río Roble

La grafica de percentiles diarios de precipitación es un indicador de la forma como se ha distribuido históricamente la lluvia de cada día en el periodo de análisis. En la Figura 31 se observa que la mayor magnitud y volumen anual de lluvia en la estación "La Española" se registra en los meses de marzo, abril, mayo, octubre y noviembre (Figura 32) tomando valores promedios mensuales mayores en abril y octubre (del orden de 250 mm) los mínimos promedios mensuales ocurren en enero, julio y agosto (del orden de 90 mm en promedio). Las estaciones Bremen, La Playa y CRQ tienden a presentar la mayor parte de precipitación durante el periodo húmedo del segundo semestre (Figura 33), es decir octubre y noviembre, con valores medios del orden de 300 mm por mes, notándose un mayor régimen pluviométrico en Bremen (Figura 35). Por el contrario, las estaciones Obando y Palmasola tienden a tener mayor volumen de precipitación en el primer semestre del año durante los meses de abril y mayo. Las demás estaciones exhiben un régimen bimodal más equilibrado en los dos periodos húmedos del año (Figura 34).

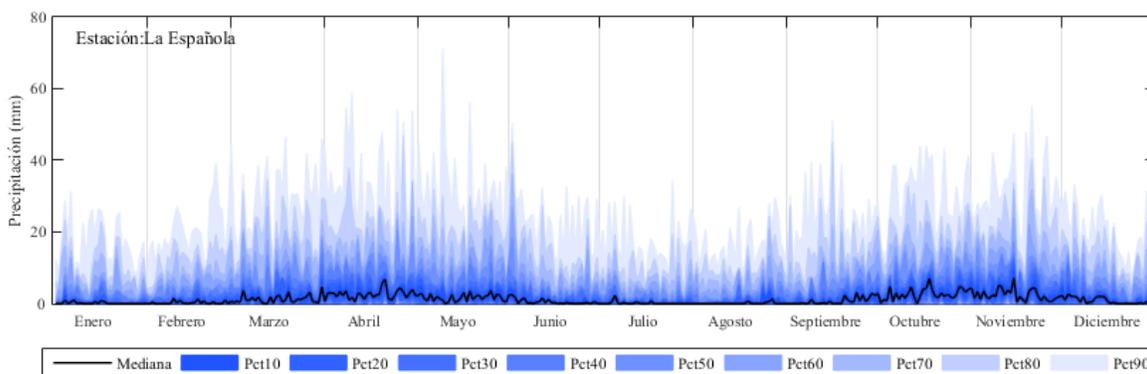


Figura 31. Distribución de percentiles diarios de precipitación en la estación La Española

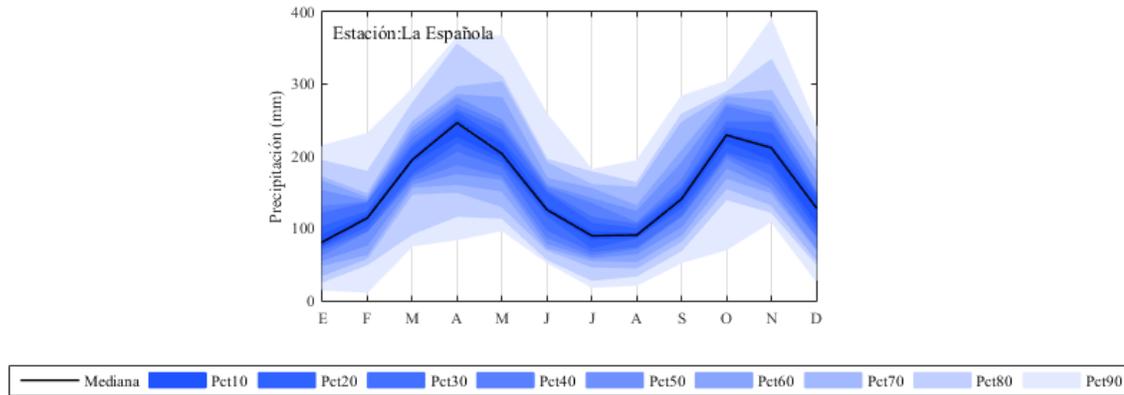


Figura 32. Distribución de percentiles mensuales de precipitación en la estación La Española

Las temperaturas máximas diarias oscilan alrededor de un rango de 6 grados de diferencia entre los diferentes años para un mismo día (Figura 36), dada la condición tropical de la zona de estudio no se observan oscilaciones o periodicidades mensuales apreciables visualmente en las series históricas, por lo que se esperan variaciones de mayor magnitud durante el transcurso del día. Es por ello por lo que se observan valores de temperaturas mínimas diarias inferiores en diez grados en promedio con respecto a las temperaturas máximas, pero con aún menos fluctuaciones intra anuales (Figura 37).

Al observar las distribuciones de percentiles mensuales de temperatura máxima y mínima diaria (Figura 38) se corrobora esta característica del patrón de variabilidad, las estaciones Aeropuerto El Edén, Cumbarco y Aeropuerto Matecaña permiten identificar una distribución bimodal de la temperatura máxima mensual consistente con la distribución de los percentiles mensuales de temperaturas máximas diarias, sin embargo, con relación a las temperaturas mínimas no se identifica de forma visual un patrón de variación intranual cuyo rango de variación interanuales (evidenciados por los percentiles) no supera los 3 grados.

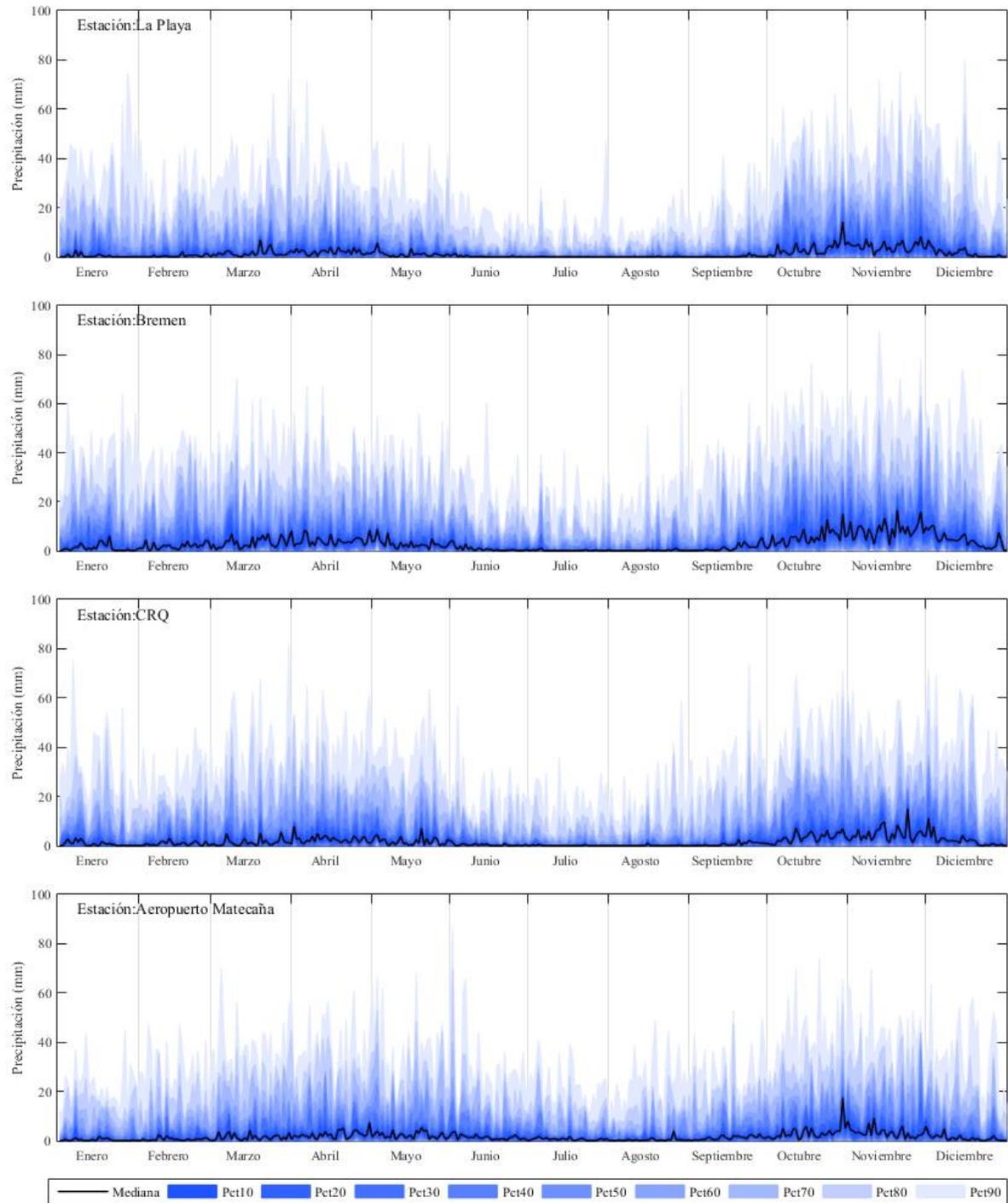


Figura 33. Distribución de percentiles diarios de precipitación en las estaciones La Playa, Bremen, CRQ y Aeropuerto Matecaña

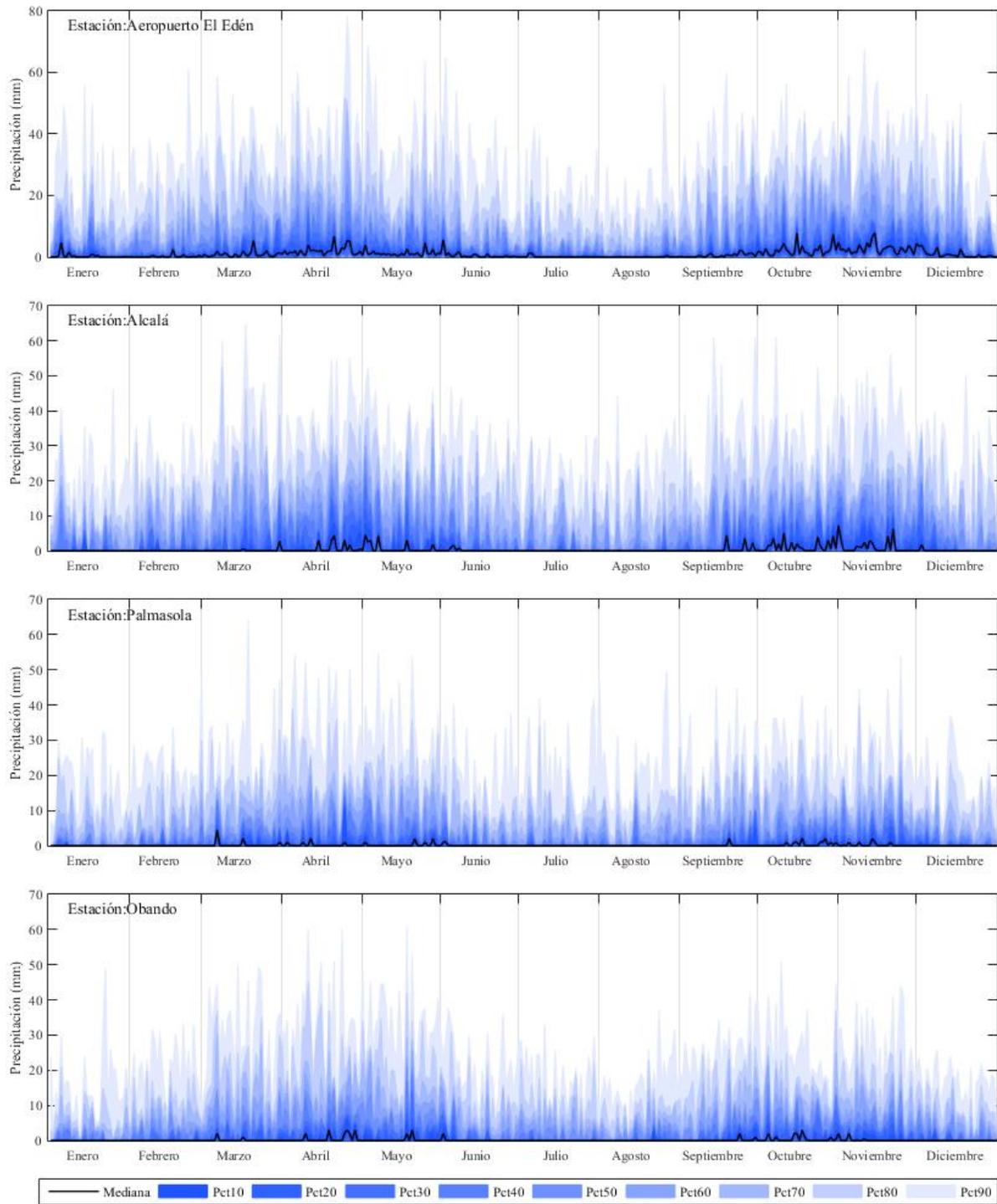


Figura 34. Distribución de percentiles diarios de precipitación en las estaciones Aeropuerto El Edén, Alcalá, Palmasola y Obando

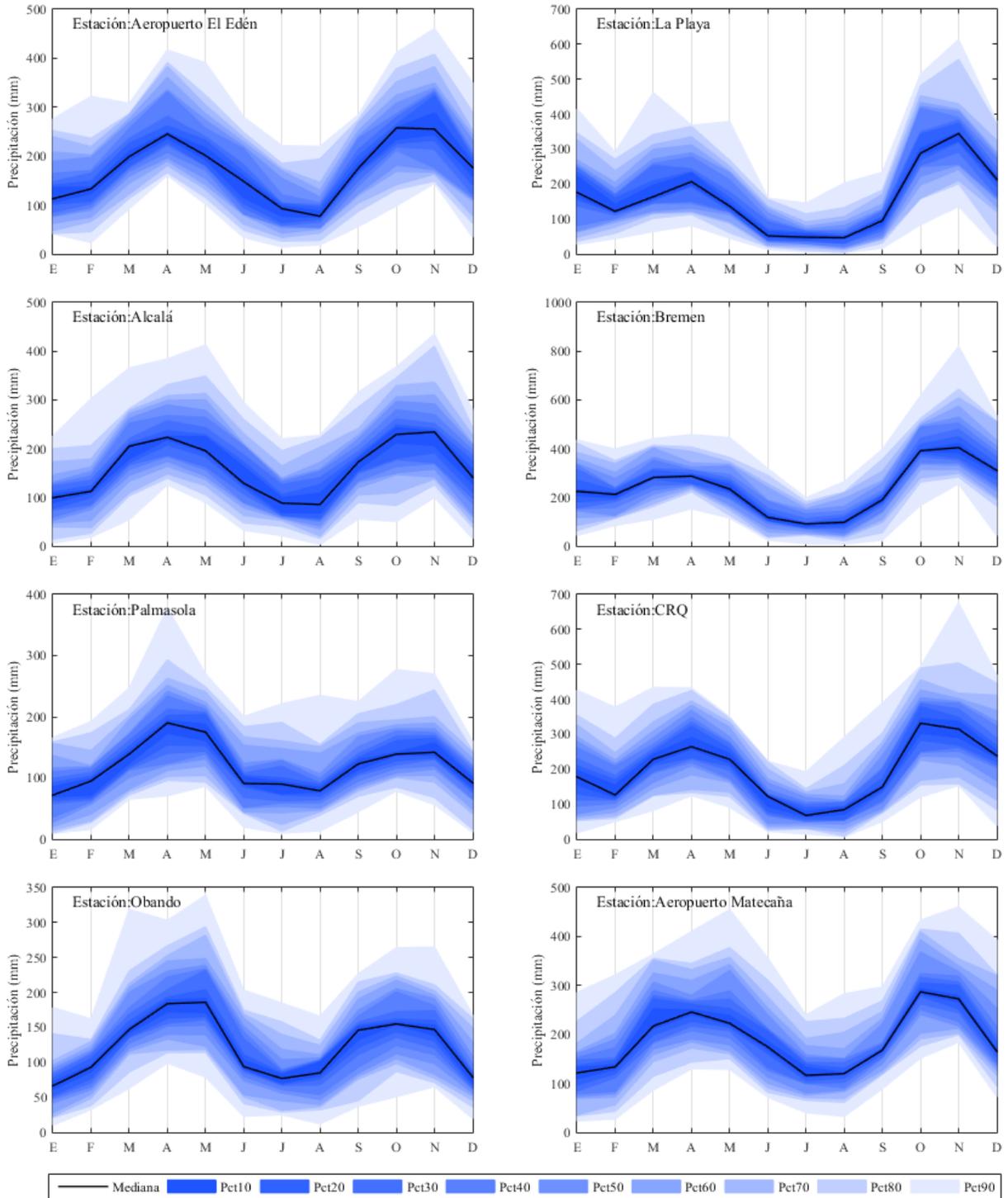


Figura 35. Distribución de percentiles mensuales de precipitación

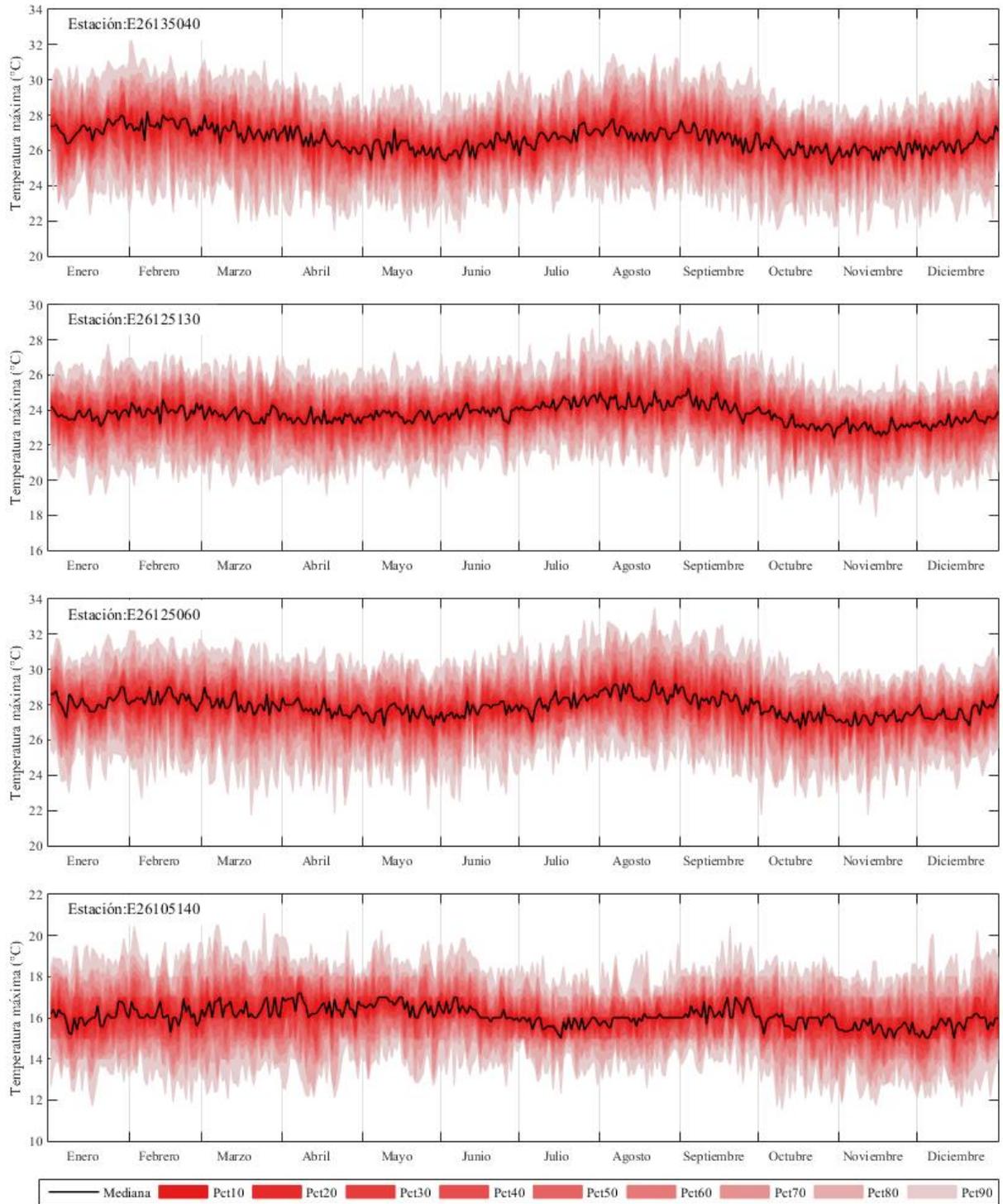


Figura 36. Distribución de percentiles diarios de temperatura máxima

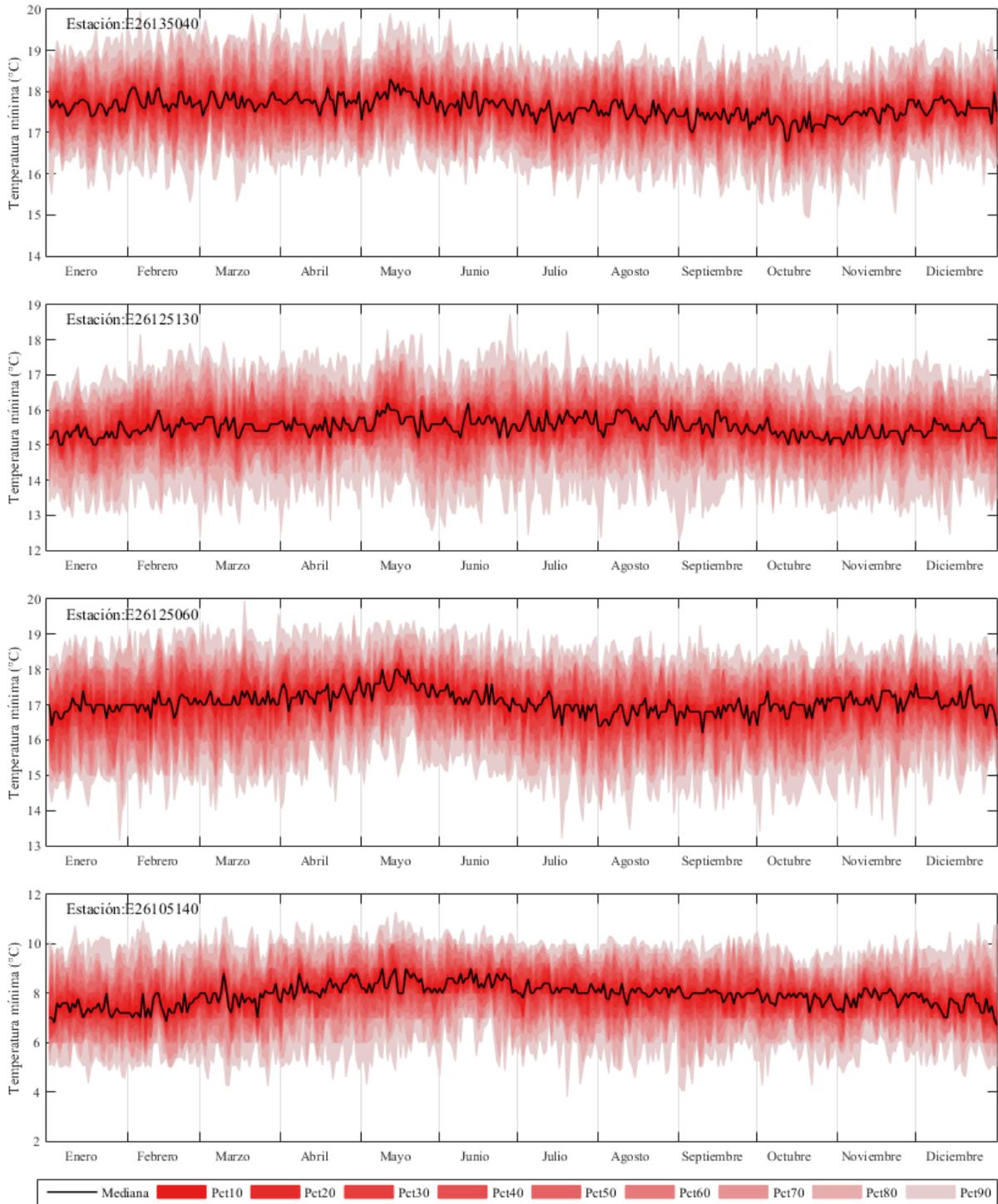


Figura 37. Distribución de percentiles diarios de temperatura mínima

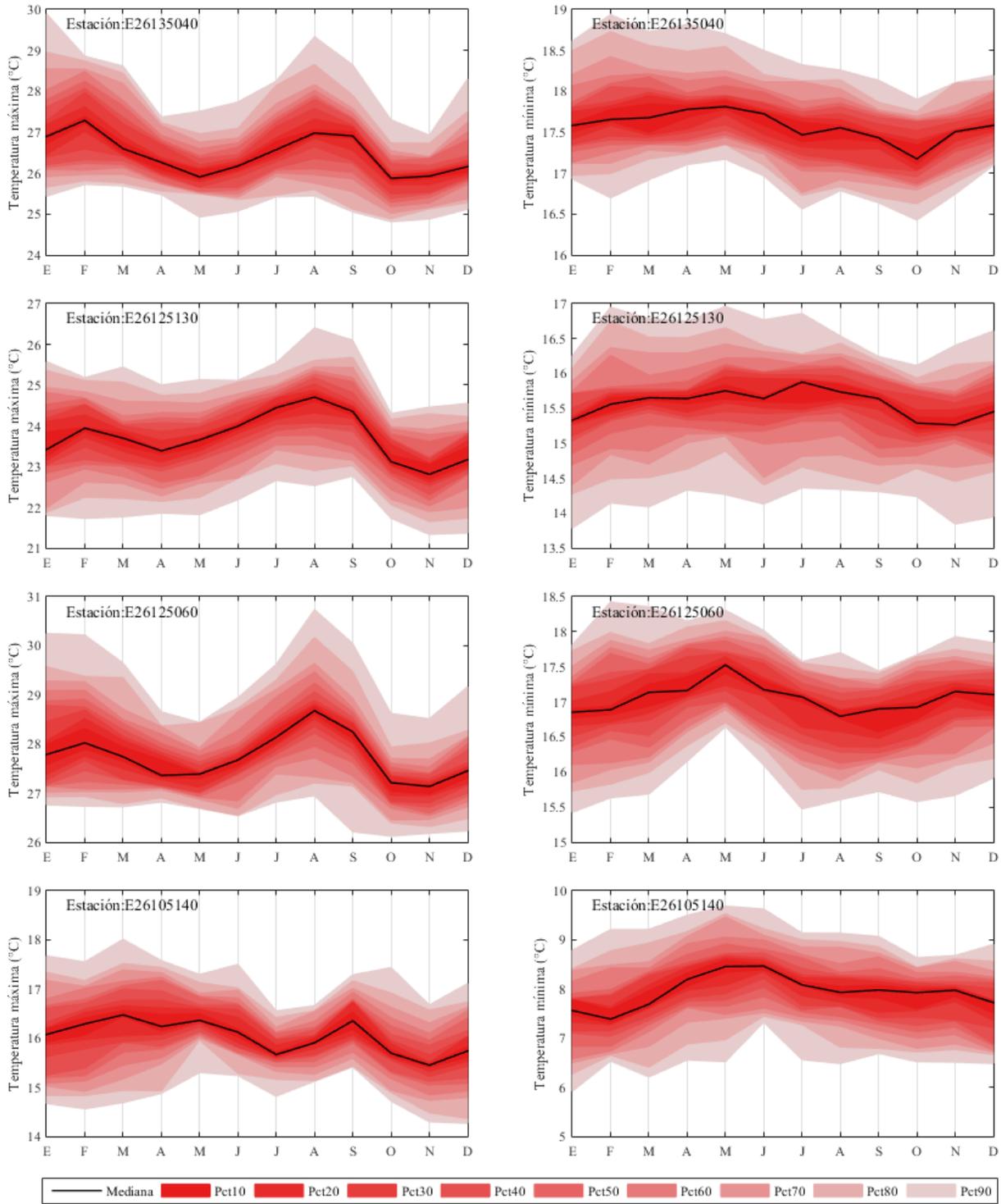


Figura 38. Distribución de percentiles mensuales de temperatura máxima (izquierda) y mínima (derecha)

1.5.2. Análisis de tendencia

La estimación de tendencias en datos hidroclimáticos acostumbra a ser realizada mediante técnicas paramétricas y no paramétricas, sin embargo, las primeras requieren asumir normalidad en la distribución de la serie temporal a ser analizada. Es por ello que en el ámbito hidrológico es preferible utilizar una técnica no-paramétrica, entre las cuales es muy utilizada la Prueba de Mann-Kendall, la cual puede ser afectada por la autocorrelación serial de los datos.

Por lo anterior, se ha decidido utilizar en este PORH la prueba de Mann-Kendall (MK) modificada por Hammed (2008) considerando una hipótesis de escalamiento y análisis de persistencia de largo plazo. La prueba MK bajo la hipótesis de escalamiento consiste en resolver tres hipótesis consecutivas, denotadas por O (Prueba MK original), H (prueba del parámetro de Hurst) y M (prueba de tendencia bajo el supuesto de persistencia). Denotando H_{0i} como la hipótesis nula, para cada prueba con $i = O, H$ y M se originan las siguientes definiciones:

| Hipótesis | Descripción |
|-----------|--|
| H_{0O} | No hay tendencia con el supuesto de independencia |
| H_{1O} | Tendencia significativa con el supuesto de independencia |
| H_{0H} | No hay persistencia de largo plazo en la serie |
| H_{1H} | Persistencia de largo plazo significativa |
| H_{0M} | No hay tendencia bajo la hipótesis de persistencia |
| H_{1M} | Tendencia significativa bajo el supuesto de persistencia |

Tabla 58. Hipótesis de la prueba Mann-Kendall modificada por Hammed (2008)

Los criterios de evaluación de la prueba son los siguientes: si se acepta H_{1O} y H_{0H} se concluye que existe tendencia significativa, si se cumple H_{1O} , H_{1H} y H_{1M} se acepta que existe tendencia significativa. Para resolver la prueba se utilizó el paquete HKProcess de R Project obteniendo los siguientes resultados para los datos de precipitación y temperatura.

1.5.2.1. Precipitación

Al inspeccionar visualmente las anomalías medias mensuales de precipitación para el periodo de análisis no se observan tendencias evidentes (Figura 40). Sin embargo, a partir de los resultados de las pruebas estadísticas MK se identificaron tendencias positivas significativas en seis (6) estaciones, en la estación Obando para cinco (5) meses, en la estación Bremen durante tres (3) meses, en la estación CRQ para dos (2) meses y en las estaciones Aeropuerto El Edén, Palmasola y La Playa durante un (1) mes (Tabla 59).

| ESTACIÓN | Periodo 1985 - 2019 | | | | | | | | | | | | Anual |
|---------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | |
| AEROPUERTO EL EDÉN | | | | | + | | | | | | | | |
| AEROPUERTO MATECAÑA | | | | | | | | | | | | | |
| ALCALÁ | | | | | | | | | | | | | |
| OBANDO | | + | | | | + | + | + | | | + | | + |
| PALMASOLA | | | | | | + | | | | | | | |
| CRQ | | | | | + | | | | | + | | | + |
| BREMEN | | + | + | | | | | | | | + | | |
| LA PLAYA | | | | | | | | | - | | + | | |
| LA ESPAÑOLA | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 59. Resultado de la prueba de tendencia Mann-Kendall para la precipitación mensual

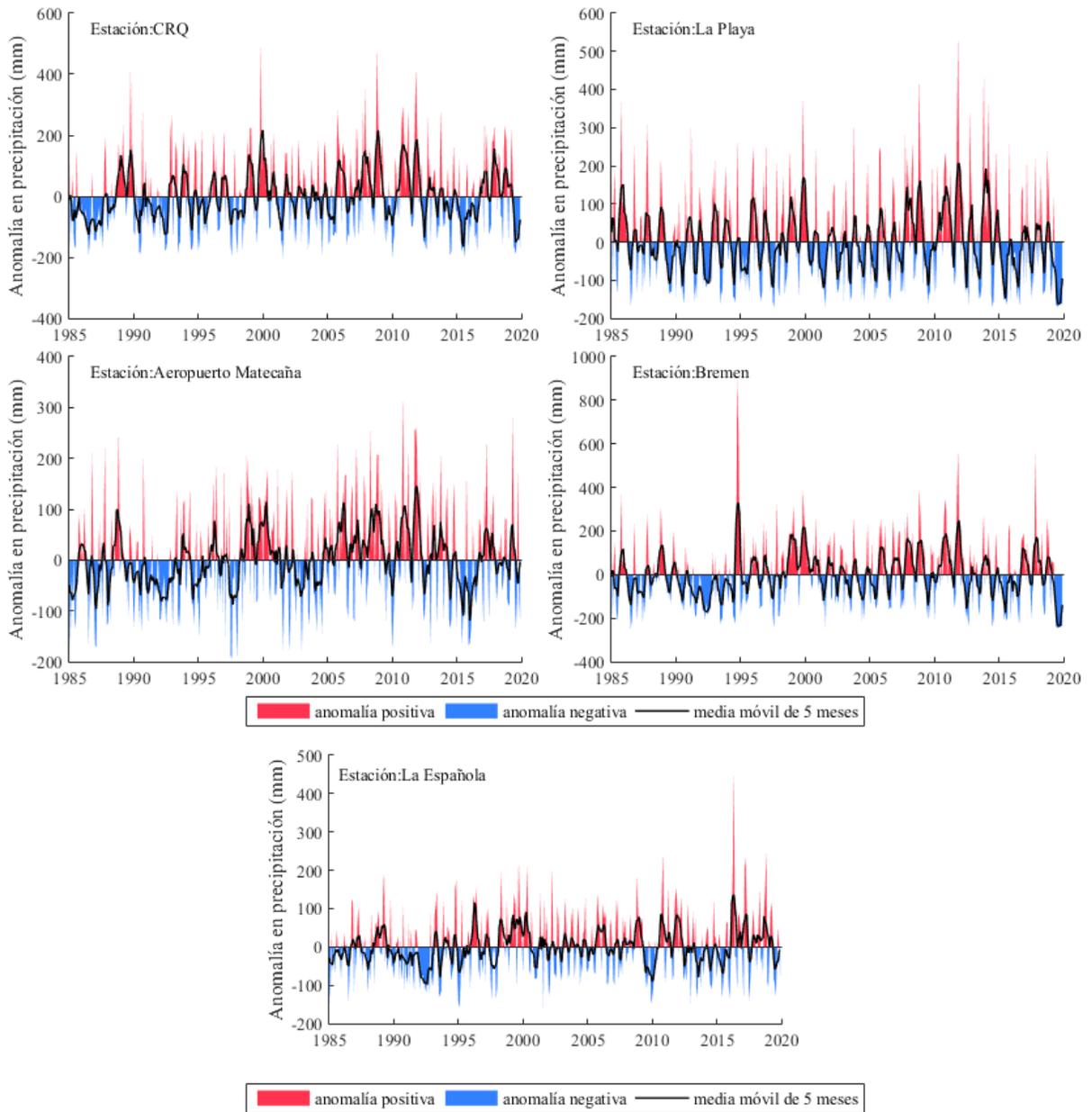


Figura 39. Anomalía de la precipitación media mensual en las estaciones CRQ, La Playa, Aeropuerto Matecaña, Bremen, La Española

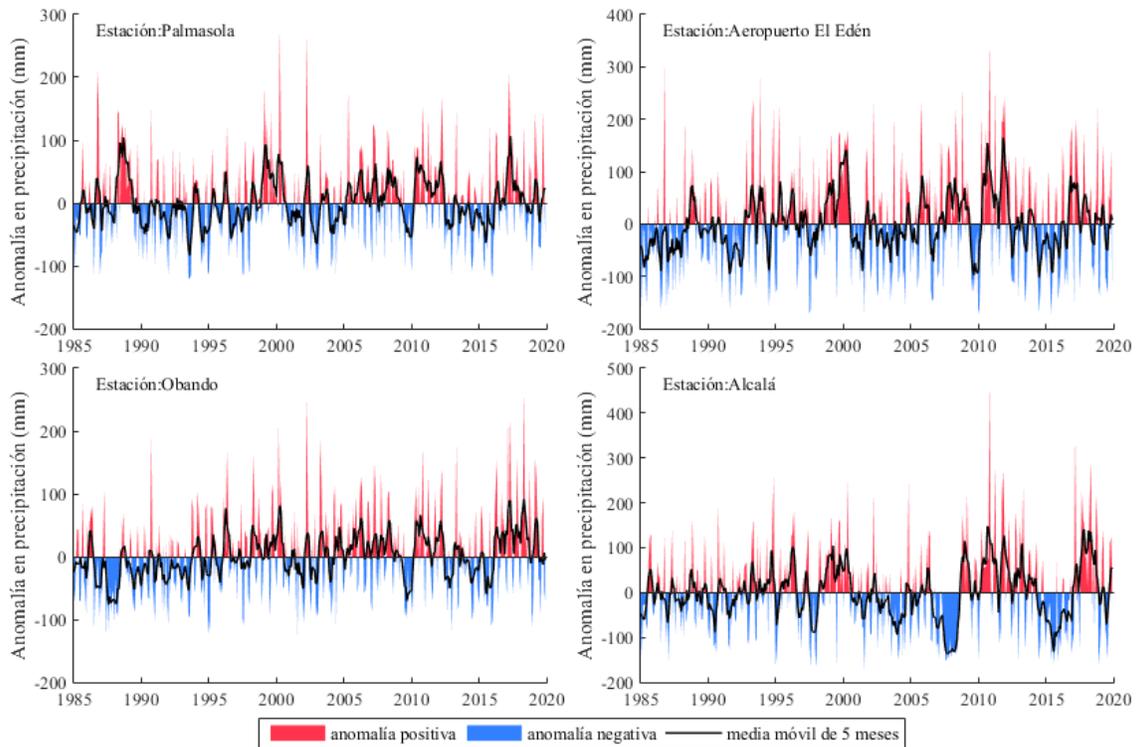


Figura 40. Anomalia de la precipitación media mensual en las estaciones Palmasola, Obando, Aeropuerto El Edén y Alcalá

1.5.2.2. Temperatura

Las gráficas de anomalía mensual permiten evidenciar una tendencia a incrementar los valores de temperaturas máximas diarias mensuales en las estaciones Aeropuerto EL Edén, Aeropuerto Matecaña y Cumbarco (Tabla 60). Lo cual se comprueba con el resultado de la prueba MK, durante los meses más secos se reportan tendencias a incrementar los valores máximos diarios de temperatura en las tres estaciones, mientras que el aumento para la estación Aeropuerto Matecaña se da en la mayoría de los meses (Tabla 61).

| ESTACIÓN | Periodo 1985 - 2019 | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
| E26105140 | | | | | | | | + | + | | | | |
| E26125060 | | | | | | | | | | | | | |
| E26125130 | | | | | | + | + | | | | | | |
| E26135040 | | + | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

Tabla 60. Resultado de la prueba de tendencia Mann-Kendall para la temperatura máxima diaria mensual

Se observa una persistente tendencia al incremento de las temperaturas mínimas diarias, a una mayor magnitud que la registrada para el caso de las temperaturas máximas (Figura 42). Los resultados de las pruebas MK de tendencia son contundentes en mostrar que la región experimenta un cambio en los estadísticos de largo plazo. Aunque la longitud de las series es corta (35 años) dada la escasa información histórica continua, esta observación genera una alerta para indagar su posible persistencia y su potencial efecto en el sistema hidroclimático regional.

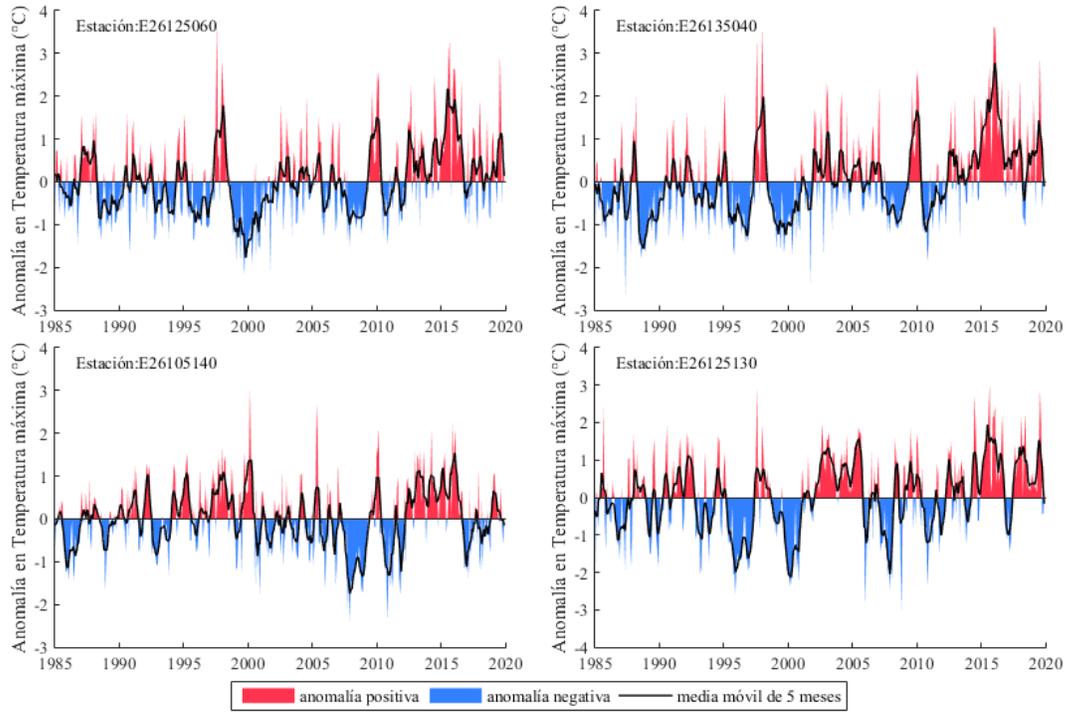


Figura 41. Anomalías de la temperatura máxima mensual en las estaciones E26125060, E26135040, E26105140 y E26125130

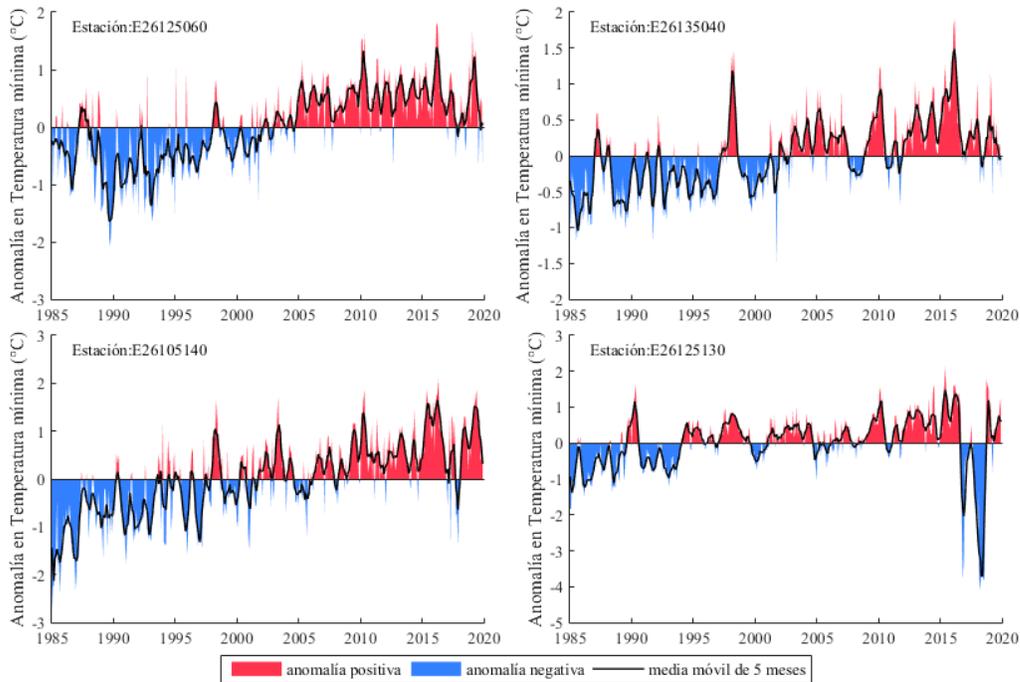


Figura 42. Anomalías de la temperatura mínima mensual en las estaciones E26125060, E26135040, E26105140 y E26125130

| ESTACIÓN | Periodo 1985 - 2019 | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
| E26105140 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| E26125060 | | + | + | + | + | + | + | | | | | | |
| E26125130 | + | + | + | | + | | + | | + | + | | + | |
| E26135040 | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

Tabla 61. Resultado de la prueba de tendencia Mann-Kendall para la temperatura mínima diaria mensual

1.5.3. Balance hídrico de largo plazo a escala mensual

El balance hidrológico de largo plazo permite expresar la distribución de los flujos y almacenamientos de agua en cualquier escala espacial, ya que su formulación matemática define el principio de conservación de la masa de agua en un volumen de control para un intervalo de tiempo determinado. En este estudio, se estableció un volumen de control delimitado en el plano horizontal (XY) por la divisoria de aguas superficiales de la unidad hidrográfica, la condición de contorno inferior en el eje vertical (Z) se estableció como un flujo por percolación, la condición de contorno superior en el eje vertical (Z) se estableció como el flujo de precipitación de entrada al sistema, se estableció una condición de contorno lateral definida por el flujo de escorrentía y se consideró que el volumen de control tiene una capacidad de almacenamiento (S). A continuación, se presenta la formulación conceptual del balance hidrológico aplicado (Figura 43):

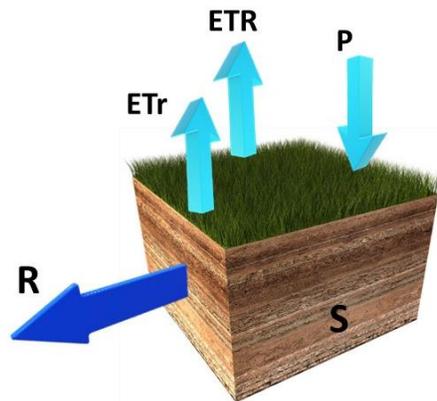


Figura 43. Esquematación del balance hidrológico calculado por unidad hidrográfica

El valor agregado de escorrentía y percolación ($R(t)$) se calculará a través de la ecuación 1:

$$R(t) = \max\{0; P(t) - [S_{max} - S(t - 1)]\} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

S_{max} es la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, y se calcula mediante la ecuación 2:

$$S_{max} = (\theta_{cc} - \theta_{MP}) \cdot z \cdot \rho_b / \rho_w \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

θ_{cc} es el contenido de humedad del suelo en capacidad de campo

θ_{MP} es el contenido de humedad del suelo en punto de marchitez permanente

ρ_b es la densidad aparente del suelo

ρ_w es la densidad del agua

z es la profundidad efectiva de raíces

La evapotranspiración real se calculó mediante la siguiente expresión:

$$ETr(t) = \left[ETR(t) \times P(t) \times \tanh\left(\frac{P(t)}{ETR(t)}\right) \times \left[1 - \cosh\left(\frac{ETR(t)}{P(t)}\right) + \sinh\left(\frac{ETR(t)}{P(t)}\right) \right] \right]^{1/2}$$

Ecuación 3

Donde,

$ETr(t)$ = es la evapotranspiración real (mm/mes)

$ETR(t)$ = es la evapotranspiración de referencia (mm/mes), calculada mediante el método propuesto por Jaramillo (2006).

$P(t)$ = es la precipitación media mensual (mm/mes)

Posteriormente, se calculó por balance el agua almacenada en el suelo:

$$S(t) = S(t-1) + P(t) - ETr(t) - R(t) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

$S(t)$ es la cantidad de agua almacenada en el suelo en el mes t, se expresa en mm

$P(t)$ es la precipitación en el mes t, se expresa en mm

$ETr(t)$ es la evapotranspiración real en el mes t, calculada según la ecuación 3, se expresa en mm

$R(t)$ es la suma de la escorrentía y percolación en el mes t, se expresa en mm

El campo de lluvia mensual multianual fue calculado mediante la implementación del método Inverso de la Distancia Ponderada (IDW), el cual se basa en establecer que la estimación de la lluvia en un sitio no medido es la suma de los promedios ponderados de la lluvia en los sitios con observaciones (ecuación 5):

$$\hat{P}_{est} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i^{-a}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-a}} \right) \times P_i \quad \text{Ecuación 5}$$

Son numerosas las aplicaciones de este método de interpolación en un contexto de información escasa dada su facilidad de implementación (Li, 2010, Kong y Tong, 2008) y consistencia. Debido a que la baja densidad de estaciones en la zona no es recomendable implementar métodos estocásticos mucho más exigentes en la identificación de la estructura de dependencia espacial. En dichas condiciones, un modelo muy complejo no aportará información adicional, sino podría sufrir un sobre ajuste por sus mayores grados de libertad.

El balance de largo plazo fue elaborado incorporando un parámetro que representa la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo (S_{max} , Figura 49), por lo que representa un control físico de retención de humedad dentro del balance. Su valor fue estimado a partir de información de estudios anteriores, como el Estudio Semidetallado de Suelos del Departamento del Quindío

(IGAC, 2013), la Zonificación de Áreas de Importancia Estratégica para la Conservación del Recurso Hídrico (CRQ, 2015) e información temática de cobertura y usos del suelo en la unidad hidrográfica del río Roble. La escorrentía media mensual calculada a partir de las mediciones históricas de caudales coincide con la estimada por el balance, lo que muestra una robustez del método de balance utilizado y confiabilidad de la estimación de las evapotranspiraciones real y de referencia (Figura 46, Figura 47, Figura 48, Figura 50, Figura 45). Los valores medios de precipitación, ETR y ETr anual para cada unidad hidrográfica son 2348.67 mm, 1125.49 mm y 900.61 mm para la unidad hidrográfica del río Roble, 2461.39 mm, 1062.78 mm y 858.64 mm para la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones, y 2645.74 mm, 1059.25 mm y 876.76 mm para la unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo. En el trimestre octubre-diciembre se presenta el 48.5% del volumen de recarga hídrica del año, en el bimestre abril-mayo el 24.1% de recarga y durante el trimestre junio-agosto solamente el 1.28% del volumen de recarga hídrica anual.

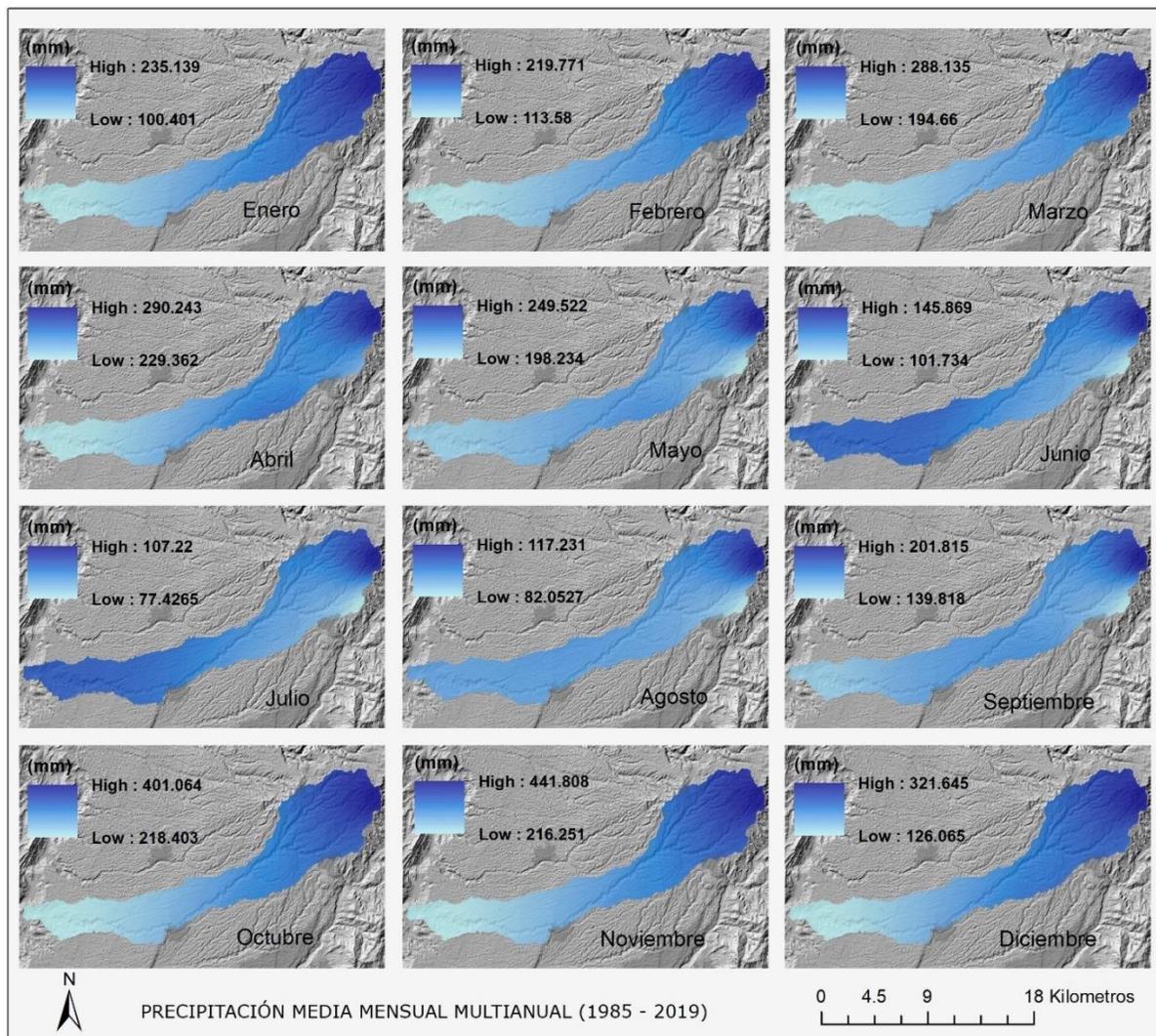


Figura 44. Campos espaciales de precipitación media mensual multianual estimados por el método del inverso de la distancia ponderada con las estaciones pluviométricas seleccionadas.

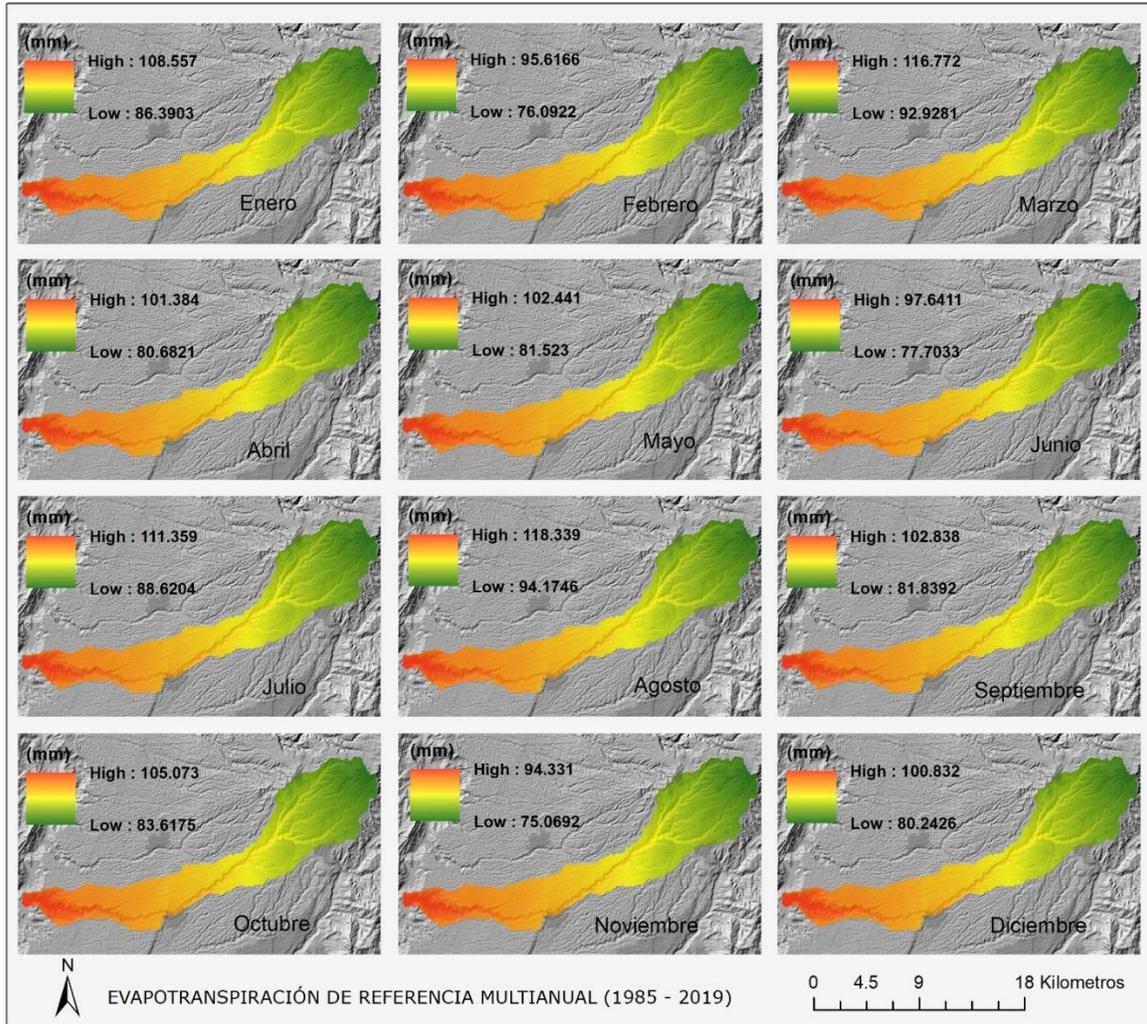


Figura 45. Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia en la unidad hidrográfica del río Roble

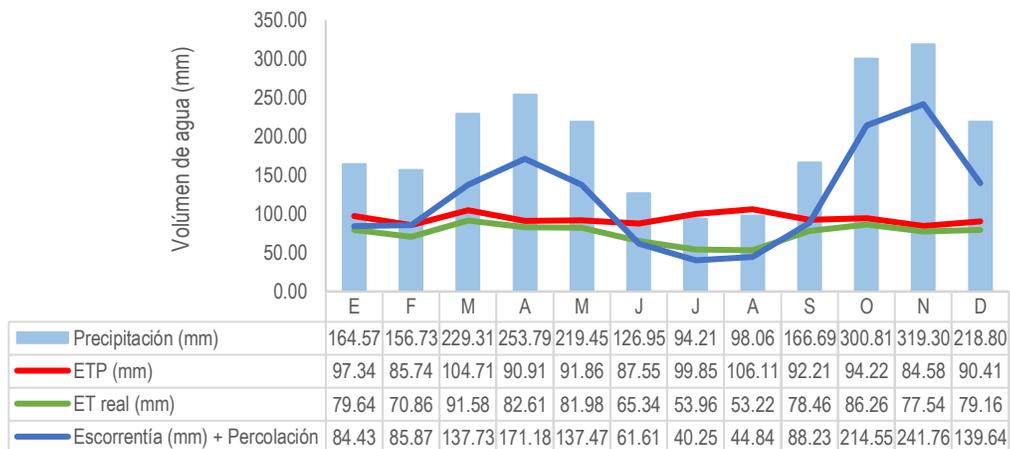


Figura 46. Balance hídrico global de largo plazo en la unidad hidrográfica del río Roble

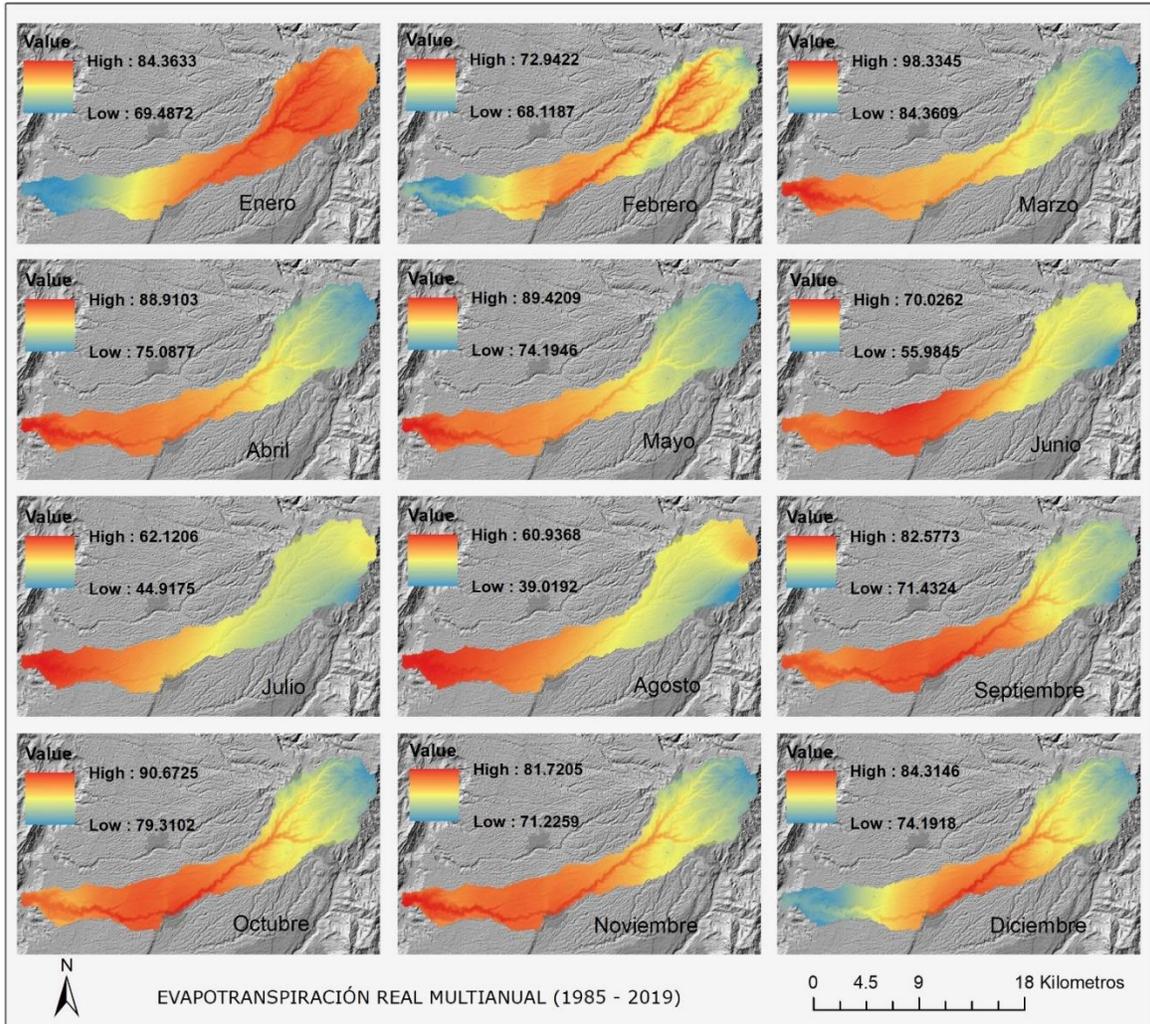


Figura 47. Evapotranspiración real media mensual multianual calculada para la unidad hidrográfica del río Roble

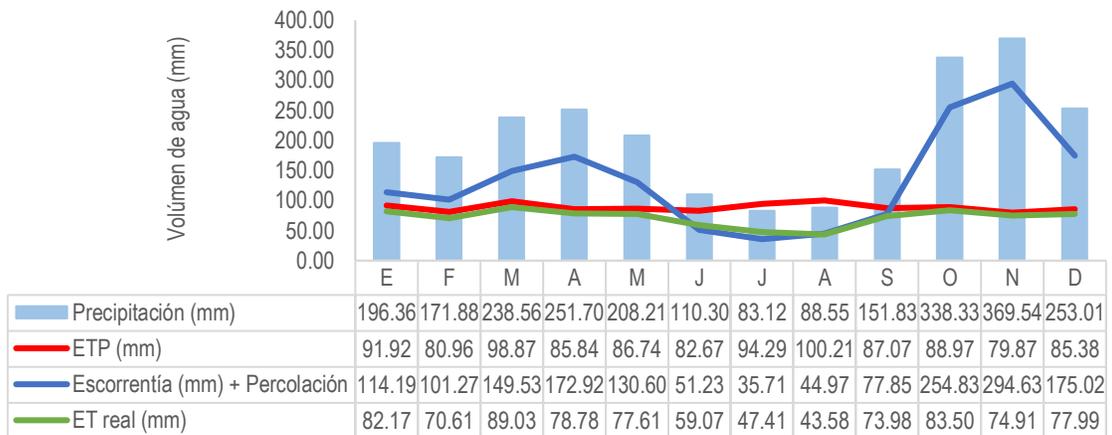


Figura 48. Balance hídrico global de largo plazo en la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones

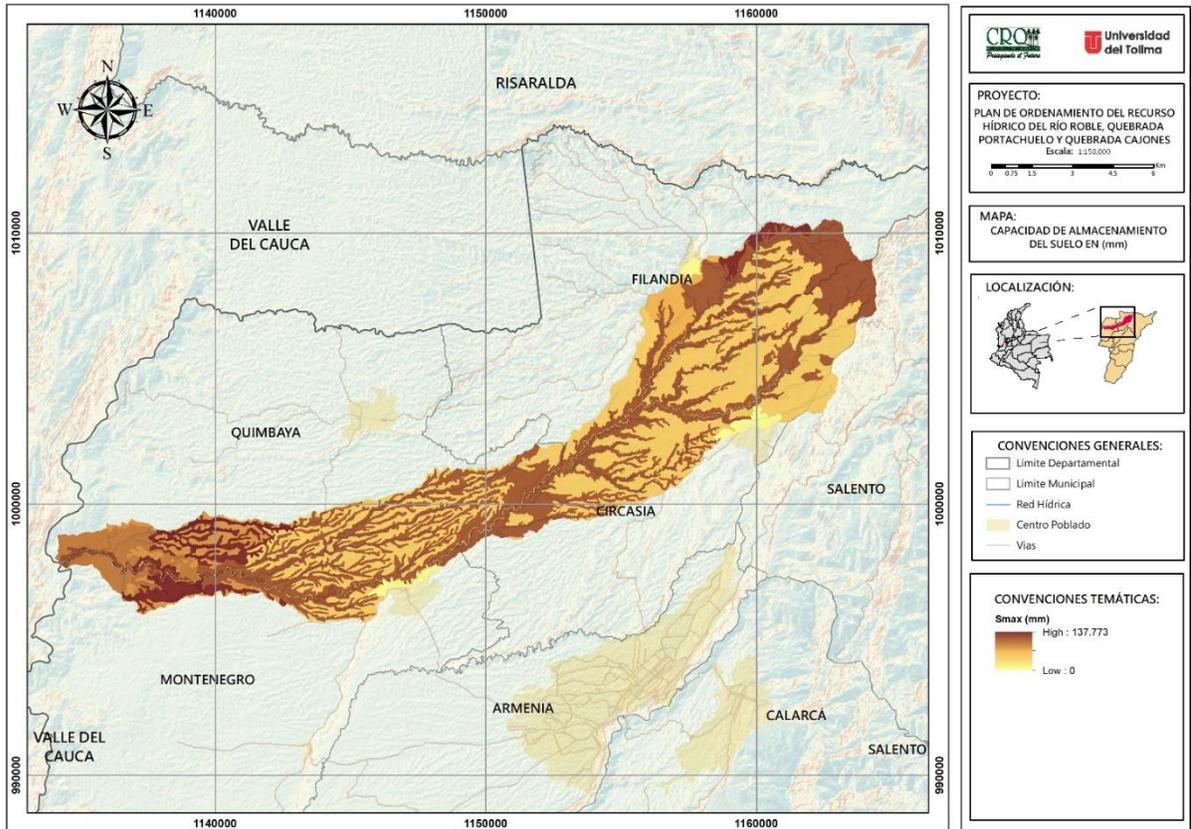


Figura 49. Mapa de capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo en la unidad hidrográfica del río Roble

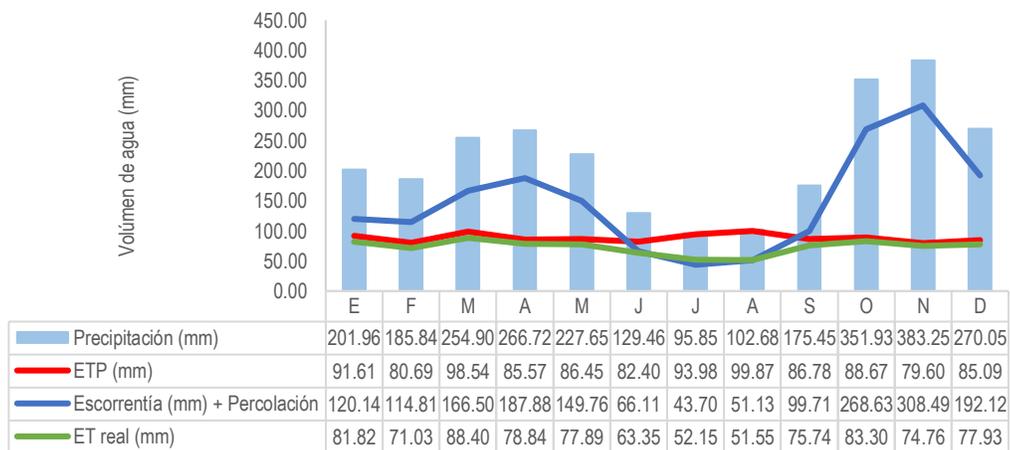


Figura 50. Balance hídrico global de largo plazo en la unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo

1.5.4. Modelación hidrológica continua a escala diaria en las unidades hidrográficas

Dada a la complejidad y diversidad de mecanismos de producción de escorrentía y procesos hidrológicos dominantes, existe una alta variedad de modelos hidrológicos en la literatura, los cuales se pueden clasificar como conceptuales, físicamente basados o definidos por los datos. Según su representación espacial pueden ser distribuidos o agregados, que a su vez pueden ser de simulación continua o de eventos según el tratamiento de los estados de humedad en cada intervalo temporal de cálculo, y según el tipo de ecuaciones utilizadas por el modelo se pueden definir como determinísticos o estocásticos.

La representación de los sistemas hidrológicos mediante ecuaciones diferenciales ha sido sometida a debate y controversia dadas las evidencias basadas en experimentos con trazadores de la invalidez del concepto de gradiente continuo en la zona no saturada. Lo anterior atribuido principalmente a la frecuente presencia del efecto de los caminos preferenciales del flujo subsuperficial ([Weiler & Beven, 2015](#)). Por ello, los hidrólogos en la actualidad prefieren recurrir a conceptualizaciones y modelos matemáticos más simples en casos con escasa información y reducido conocimiento específico acerca de la organización espacial y patrón de conectividad de los caminos preferenciales de flujo.

Los primeros modelos hidrológicos fueron de tipo lineal (Método racional, hidrogramas unitarios y sus variantes) y dada la no-linealidad de los sistemas hidrológicos se presentó un progresivo desarrollo de modelos, como Stanford ([Crawford & Linsley, 1966](#)), Tank ([Sugawarea, 1995](#)), Xinanjiang ([Zhao & Liu, 1995](#)), Hec-1 ([USACE, 1990](#)), Topmodel ([Beven & Kirkby, 1979](#)), SHE ([Abbott, Bathurst, Cunge, O'Connell, & Rasmussen, 1986](#)), y ARNO ([Todini, 1996](#)). Recientemente se han seguido desarrollando una amplia variedad de modelos hidrológicos buscando una mejor representación espacial de los procesos (la Tabla 62 presenta algunos de ellos). Todos estos avances en la comprensión y simulación de la parte continental del ciclo hidrológico ha permitido comprender la dificultad de encontrar un modelo generalizable para todos los propósitos de modelación, y se ha logrado comprender que la incertidumbre en la representación espacial de los procesos es un factor relevante para definir una aplicación particular.

En esta perspectiva, Dooge ([1986](#)) planteó de forma acertada que un alto nivel de detalle de la escala de modelación no implica necesariamente un resultado robusto en la simulación. Ya que, al implementar un modelo físico y complejo que considere explícitamente la variabilidad espacial de los parámetros se podría amplificar el problema de la identificabilidad de los parámetros, en tal caso, se incrementan los grados de libertad del modelo y se reduce su capacidad predictiva. Una alternativa sería establecer modelos con sentido físico a escala de cuenca con una parametrización del efecto global de la variabilidad espacial de las propiedades relevantes que condicionan el proceso hidrológico en estudio; para lo cual es fundamental el desarrollo de operadores de escalado y/o parametrizaciones que tengan en cuenta el efecto de este tipo de variabilidad de manera implícita ([Barrios & Francés, 2012](#); [Pau, Shen, Riley, & Liu, 2016](#)), en tal caso se reduce el nivel de representatividad física de los procesos hidrológicos simulados pero se incrementa la capacidad predictiva y robustez del modelo.

| Modelo | Tipo | Escala espacial | Escala Temporal | Institución | Aplicaciones |
|--|------|-----------------------------------|---------------------|--|---|
| TOPKAPI | SD | Variable: de Ladera a Cuenca | Continua | Department of Earth and Geo-Environmental Sciences University of Bologna, Italy | Río Reno, Cuencas Italianas |
| ARNO | SD | Cuenca y sub-cuenca | Continua | Department of Earth and Geo-Environmental Sciences University of Bologna, Italy | Ríos Arno y Tiber, Cuencas Italianas |
| SIRG | D | Celda | Continua | Department of Civil Engineering, Ajou University, Suwon, South Korea | Ríos Yang-yang Namdae-chun en Korea |
| DHSV-M-Distributed Hydrology Soil Vegetation Model | D | Celda | Continua | Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, U. S. | interacción clima-hidrología e impactos potenciales de cambio climático en los recursos hídricos |
| RSHM -Regional Scale Hydroclimate Model | D | Celda (del orden de 20 km) | Diaria a anual | Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, California, U. S. A. | Principalmente en cuencas hidrográficas en Japón |
| ISBA-MODCOU Coupled Model | D | Celda (1 km) | Mensual a anual | Ecole des Mines de Paris/CIG, UMR CNRS Sisyphé, Fontainebleau, France | Cuencas en Francia |
| ARC/EGMO-Hydrologic Modeling System | D | Área elemental rep. o celda | Diaria | Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany | Cuencas en Alemania (Ríos Saale, Stepenitz) |
| HMS-Hydrologic Modeling System | SD | Subcuencas | Evento y Continua | USACE | Diversos casos de estudio en todo el mundo |
| SHETRAN | D | Celdas (250 m aprox.) | Continua | Water Resource Systems Research Laboratory, University of New Castle, New Castle upon Tyne, U. K. | Cuenca del río Agri (Italia), Slapton Wood, Devon (Inglaterra), Murg (Suiza), y otras cuencas en Reino Unido. |
| LASCAM-Large Scale Catchment Model | D | Celda | diaria | Centre for Water Research, University of Western Australia, Nedlands, Australia | Varias cuencas en Australia, Malasia |
| WEAP (Water Evaluation And Planning System) | SD | Elementos conceptuales | Mensual y anual | Stockholm Environment Institute | Cuencas en Estados Unidos, Colombia, Perú, Chile, India, China, Sudáfrica |
| SWAT (Soil and Water Assessment Tool) | SD | Unidades de Respuesta Hidrológica | Diario | USDA, Agricultural Research Service; Texas A&M University | Diversos casos de estudio en el mundo |
| TETIS | D | Celda | Subhoraria a diaria | Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España | Diversos casos de estudio en España, Estados Unidos, Francia, Colombia. |
| Distributed Large Basin Runoff Model (DLBRM) | D | Celda | Subhoraria a diaria | NOAA/GLERL | Estados Unidos |
| TopoFlow | D | Celda | Subhoraria | CSDMS, INSTAAR, University of Colorado | Estados Unidos |

D: Distribuido; SD: Semidistribuido

Tabla 62. Principales modelos hidrológicos para simular el proceso lluvia-escorrentía a escala de cuenca

Dada la limitada información histórica y continua de caudales en las unidades hidrorráficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, se definió como principal criterio de selección del modelo hidrológico a implementar aquel que cuente con pocos parámetros y con antecedentes de verificación de su desempeño en la región. En este contexto, se tuvo en consideración que el modelo predijera todas las variables requeridas por los objetivos particulares del caso de estudio, y se verificó que las hipótesis del modelo son asumibles de acuerdo con el conocimiento que se tiene de la respuesta de las unidades hidrográficas en estudio (Beven, 2012). Dadas estas consideraciones, se realizó modelación lluvia-escorrentía agregada a través de la aplicación de los modelos hidrológicos TETIS (Francés, 2007).

1.5.4.1. 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 conceptuales

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 51).

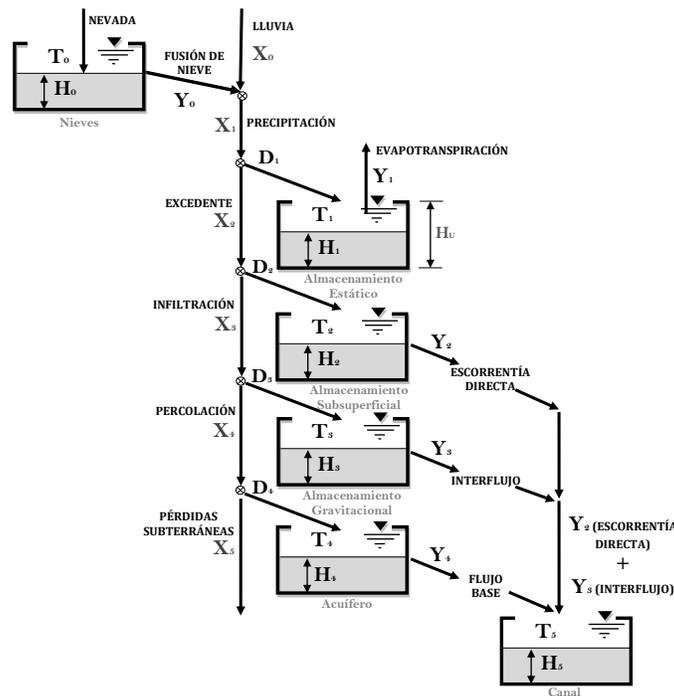


Figura 51. Esquema conceptual de celda del modelo TETIS (Francés, Vélez, & Vélez, 2007).

La principal virtud del modelo TETIS es la representación explícita de la variabilidad y el uso de una estructura separada de parámetros para la calibración de parámetros efectivos (Francés et al., 2007). Ha sido aplicado con resultados satisfactorios en diferentes condiciones climáticas y diferentes tamaños de cuenca (España, EUA, Francia, Colombia).

Para su aplicación en las tres unidades hidrográficas, se utilizó la siguiente información base de 1) Topografía, 2) Cobertura y uso de la tierra, 3) características físicas de los suelos, 4) geología, e 5) información hidrometeorológica.

- **Topografía:** se utilizó un modelo de elevación digital con resolución espacial de 12.5 m.
- **Cobertura y Uso de la tierra.** Mapas de cobertura y uso de la tierra disponible en el sistema de información geográfica de la CRQ.
- **Suelos.** Información proveniente del estudio semidetallados de suelos del departamento del Quindío, elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. Incluye 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.

- **Series Hidrometeorológicas.** Información de las estaciones meteorológicas y campañas históricas de aforo realizados en las unidades hidrográficas objeto de estudio.

1.5.4.2. Escala temporal y periodo de simulación

La simulación hidrológica se realizó con una resolución temporal diaria durante el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1985 y 31 de diciembre de 2019, ya que corresponde al periodo continuo de mejor consistencia en la información hidrometeorológica base. Las series simuladas de caudales diarias se consideran una resolución suficiente para calcular los índices de oferta hídrica e indicadores basados en las curvas de duración de caudales.

1.5.4.3. Evaluación de los modelos hidrológicos

Para verificar la eficiencia de los modelos, valorar su robustez en condiciones de simulación hidrológica y definir su potencial aplicación para estimar la oferta hídrica, se estableció su desempeño en simulación mediante la calibración con respecto a los caudales medios mensuales históricos observados en la estación "La Española", la cual se encuentra ubicada en las coordenadas x=1136284.73m y=997987.21m (Magna-Sirgas Oeste).

Debido a que los caudales observados de caudal no muestran una consistencia con la variabilidad intranual del patrón de lluvia durante el periodo anterior al año 2004, se decidió realizar la calibración del modelo con los datos observados entre 2011 y 2017. Para cuantificar el desempeño global de los modelos, se utilizaron los siguientes índices: el sesgo relativo, el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), la raíz cuadrada del error cuadrático medio, el coeficiente de determinación y el índice de eficiencia de Kling-Gupta (KGE), cuyas expresiones y rangos de referencia se presentan en la Tabla 63.

| Criterio | Ecuación | Rangos de valoración |
|--|--|---|
| Sesgo relativo % (P-Bias) | $PBIAS = \left[\frac{\sum_i^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_i^n (Y_i^{obs})} \right] * 100$ | Satisfactorio: < 10% Bueno: 10 - 15% Aceptable: 15 - 25% Bajo desempeño: > 25% |
| Eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE) | $NSE = 1 - \left[\frac{\sum_i^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_i^n (Y_i^{obs} - Y_{mean})^2} \right]$ | Satisfactorio: 0.75 - 1.00 Bueno: 0.65 - 0.75 Aceptable: 0.50 - 0.65 Bajo desempeño: < 0.5 |
| Error cuadrático medio (RMSE) | $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{n}}$ | NA |
| Coficiente de determinación (R²) | $R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_{mean}^{sim}) * (Y_i^{sim} - Y_{mean}^{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_{mean}^{obs})^2 * \sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_{mean}^{sim})^2}} \right]^2$ | Satisfactorio: 0.75 - 1.00 Bueno: 0.65 - 0.75 Aceptable: 0.50 - 0.65 Bajo desempeño: < 0.5 |
| 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 |

Tabla 63. Criterios de evaluación del desempeño de los modelos hidrológicos

1.5.4.4. Resultados de modelación

A pesar de que la unidad hidrográfica del río Roble se encuentra poco instrumentada fue posible implementar un modelo hidrológico a escala diaria que reproduce de forma razonable los

estadísticos de los caudales observados. Se obtuvieron criterios de evaluación clasificando el modelo como "satisfactorio" según PBIAS y KGE, y "Bueno" de acuerdo con NSE y R2 (Tabla 64). Además, la inspección visual de la correspondencia entre la serie mensual multianual simulada y observada corrobora la bondad del ajuste del modelo implementado (Figura 52). Cabe señalar que los valores observados tomados de referencia están sujetos a incertidumbre por la alta discontinuidad temporal de los registros.

| Periodo | PBIAS | NSE | RMSE | R ² | KGE |
|------------|---------------|-------|------|----------------|---------------|
| 2011 -2017 | 7.05 | 0.65 | 0.78 | 0.69 | 0.83 |
| Evaluación | Satisfactorio | Bueno | -- | Bueno | Satisfactorio |

Tabla 64. Índices de evaluación del funcionamiento del modelo hidrológico en la unidad hidrográfica del río Roble



Figura 52. Comparación caudal medio mensual observado y simulado calculados a partir de caudales diarios

A partir de esta modelación se realizó una simulación y reconstrucción de los caudales diarios en los siete tramos definidos para el ordenamiento del recurso hídrico en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, logrando crear una señal de variabilidad hidrológica del periodo 1985 a 2019, que se presenta de forma resumida en la Figura 53 y Figura 54. Cada valor en el eje de las abscisas de estas figuras representa un día del año, al cual le corresponden una serie de percentiles del caudal de ese día en el periodo 1985 a 2019. Por lo que es una representación compilada de las funciones de distribución de probabilidad de los caudales diarios para cada día del año. La información contenida en estas series de caudales es un insumo para análisis posteriores en la determinación del caudal ambiental de cada tramo y la formulación de los escenarios de calidad del agua.

La aplicación de la prueba de tendencia de Mann-Kendall en su versión modificada por Hammed (2008), revela que a pesar de haber identificado tendencias positivas en la mayoría de las series de lluvia y temperatura, su señal no se transfiere de forma directa a las series temporales de caudales (Figura 55 y Tabla 65), al haber identificado solamente una tendencia positiva para el mes de marzo en casi todos los tramos, conservándose una condición estacionaria el resto del tiempo.

Los resultados de ajuste de caudales máximos anuales se presentan en la Figura 56, Figura 57, Figura 58, Figura 59, Figura 60, Figura 61 y Figura 62 con sus respectivos límites de confianza.

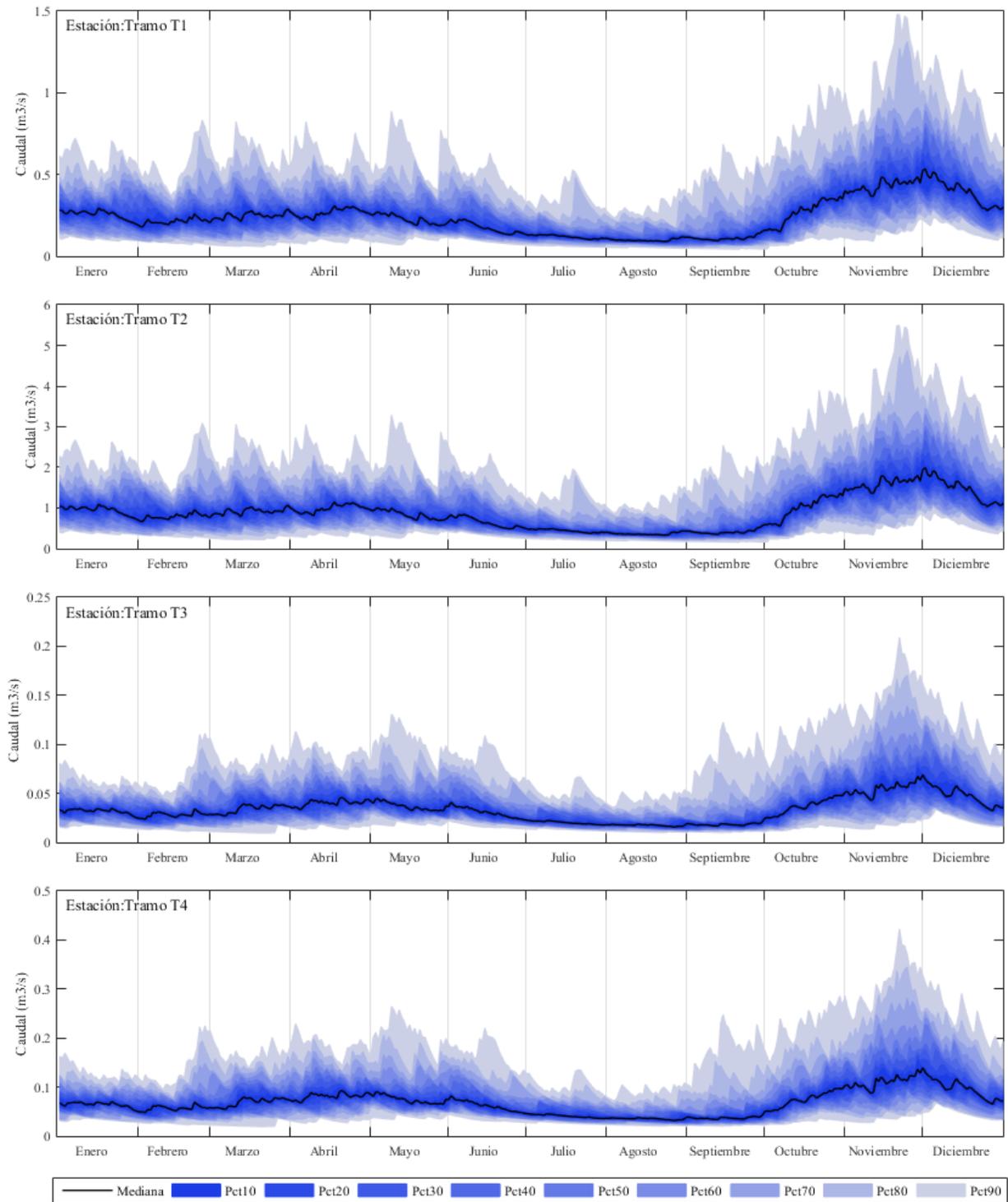


Figura 53. Percentiles de caudales medios diarios simulados en los tramos 1, 2, 3 y 4

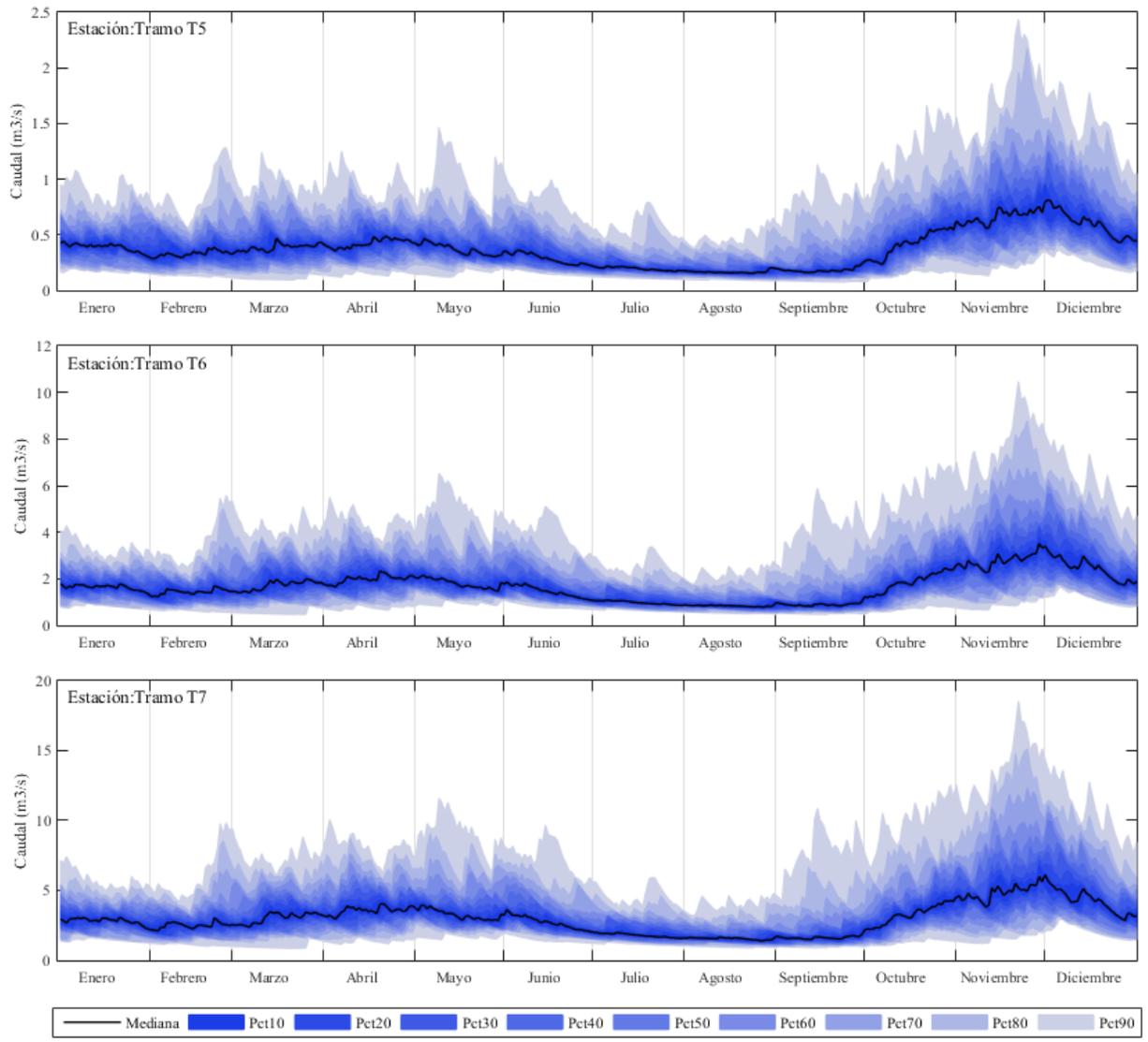


Figura 54. Percentiles de caudales medios diarios simulados en los tramos 5, 6 y 7

| Tramo | Periodo 1985 - 2019 | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
| Tramo1 | | | + | | | | | | | | | | |
| Tramo 2 | | | + | | | | | | | | | | |
| Tramo 3 | | | + | | | | | | | | | | |
| Tramo 4 | | | + | | | | | | | | | | |
| Tramo 5 | | | | | | | | | | | | | |
| Tramo 6 | | | + | | | | | | | | | | |
| Tramo 7 | | | + | | | | | | | | | | |

Tabla 65. Tendencia Mann-Kendall para el caudal medio mensual en los siete tramos objeto de ordenamiento

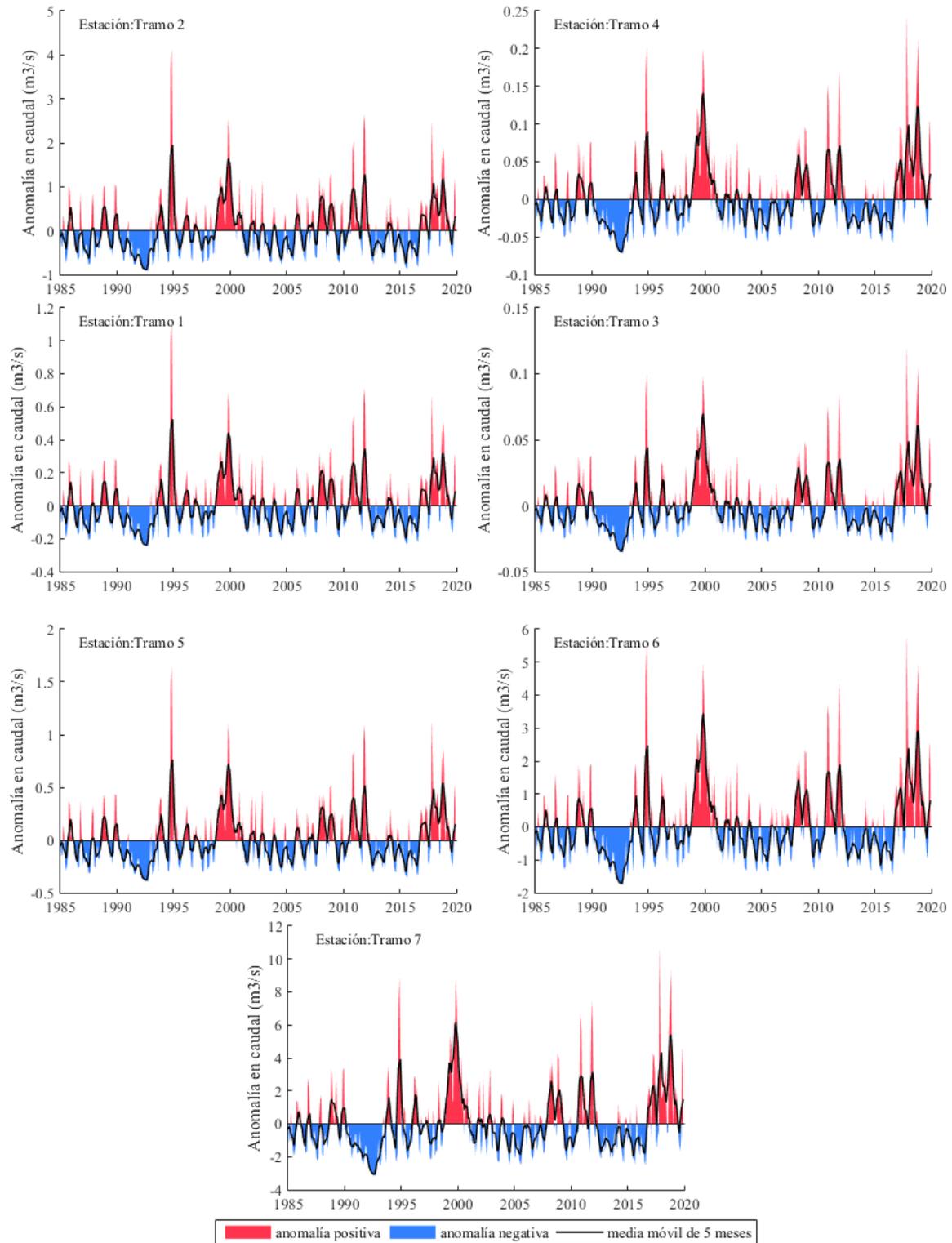


Figura 55. Anomalías de los caudales medios mensuales históricos estimados mediante simulación en los siete tramos objeto de ordenamiento

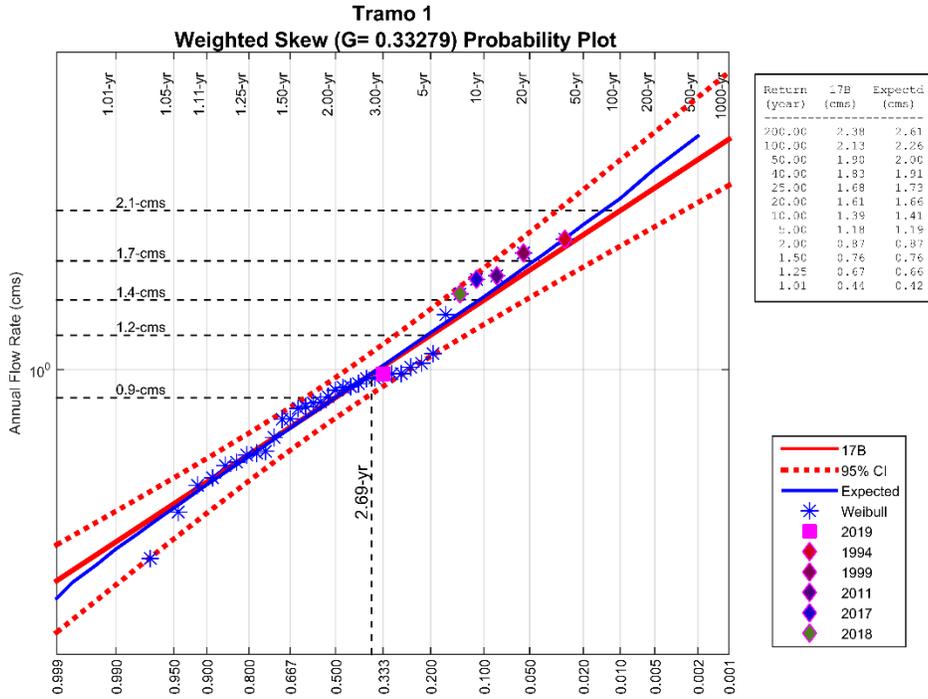


Figura 56. Curva de frecuencia de crecidas en el tramo 1. Se representa el periodo de retorno y probabilidad de excedencia en el eje x, y el caudal máximo diario en el eje y

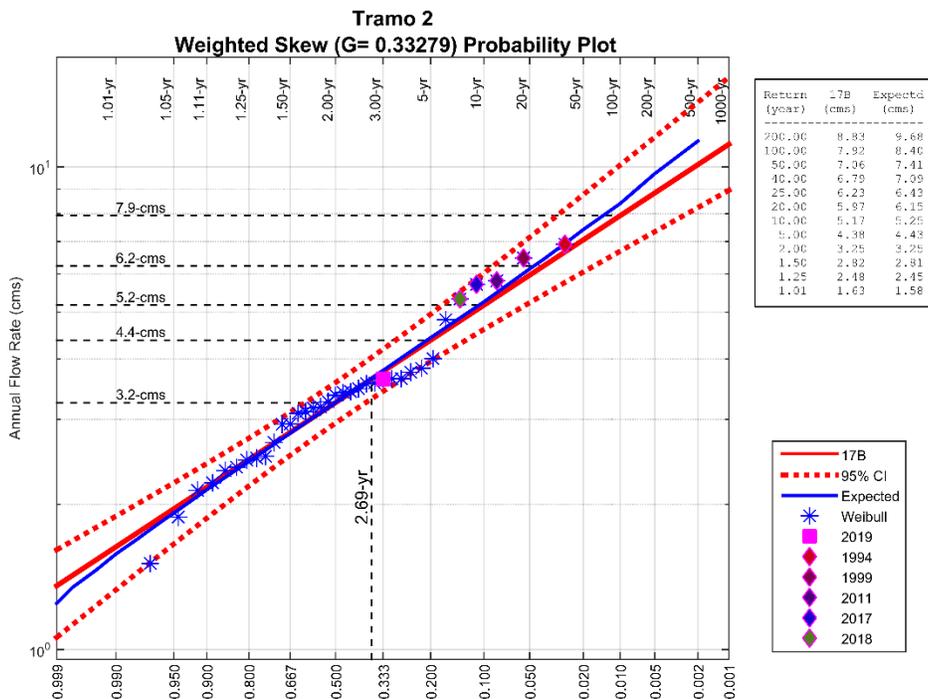


Figura 57. Curva de frecuencia de crecidas en el tramo 2. Se representa el periodo de retorno y probabilidad de excedencia en el eje x, y el caudal máximo diario en el eje y

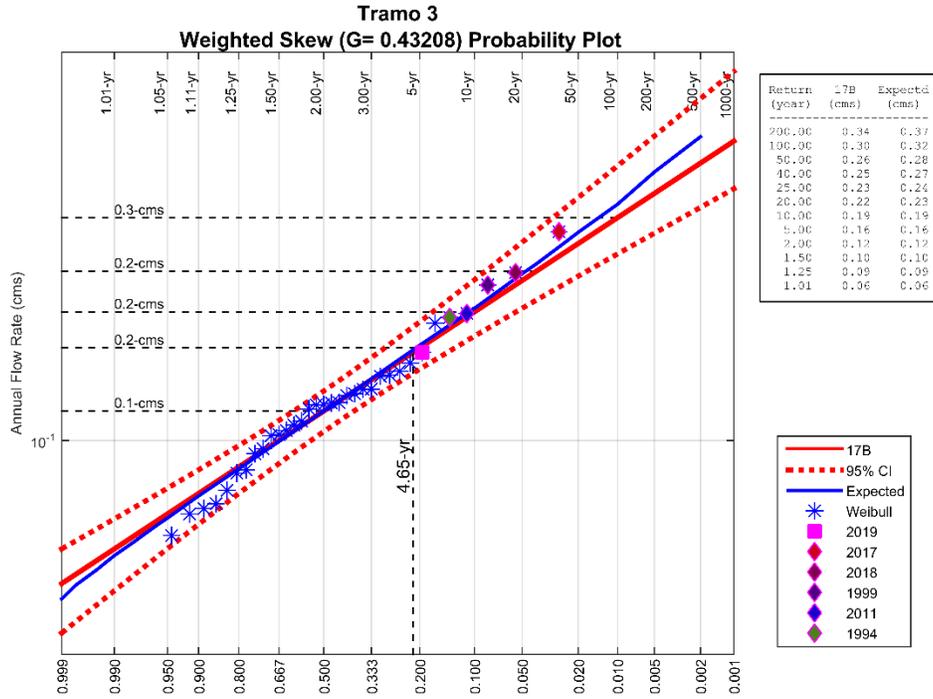


Figura 58. Curva de frecuencia de crecidas en el tramo 3. Se representa el periodo de retorno y probabilidad de excedencia en el eje x, y el caudal máximo diario en el eje y

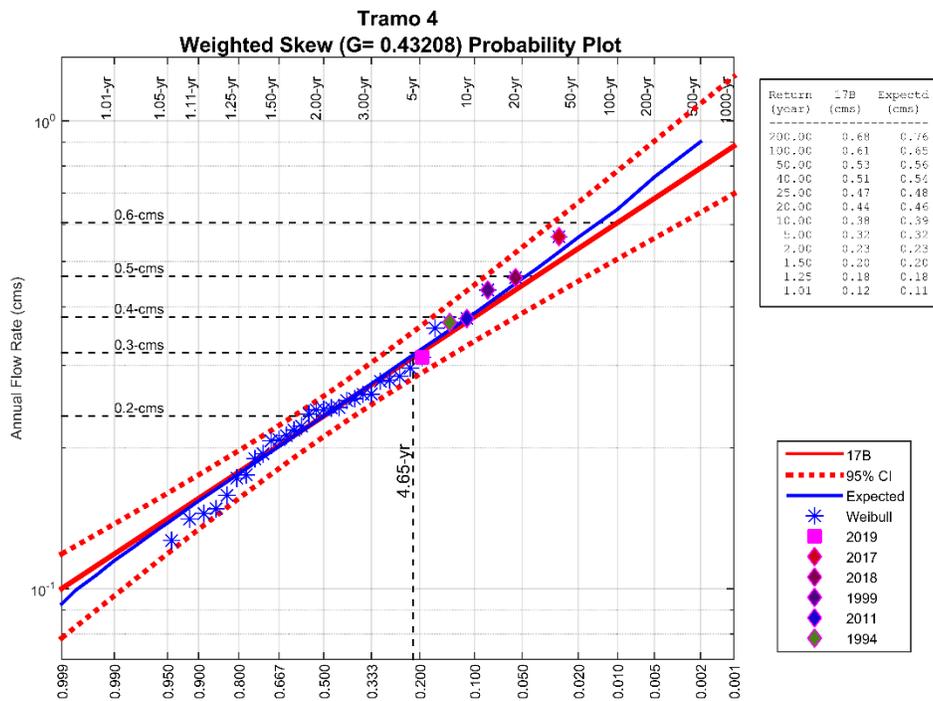


Figura 59. Curva de frecuencia de crecidas en el tramo 4. Se representa el periodo de retorno y probabilidad de excedencia en el eje x, y el caudal máximo diario en el eje y

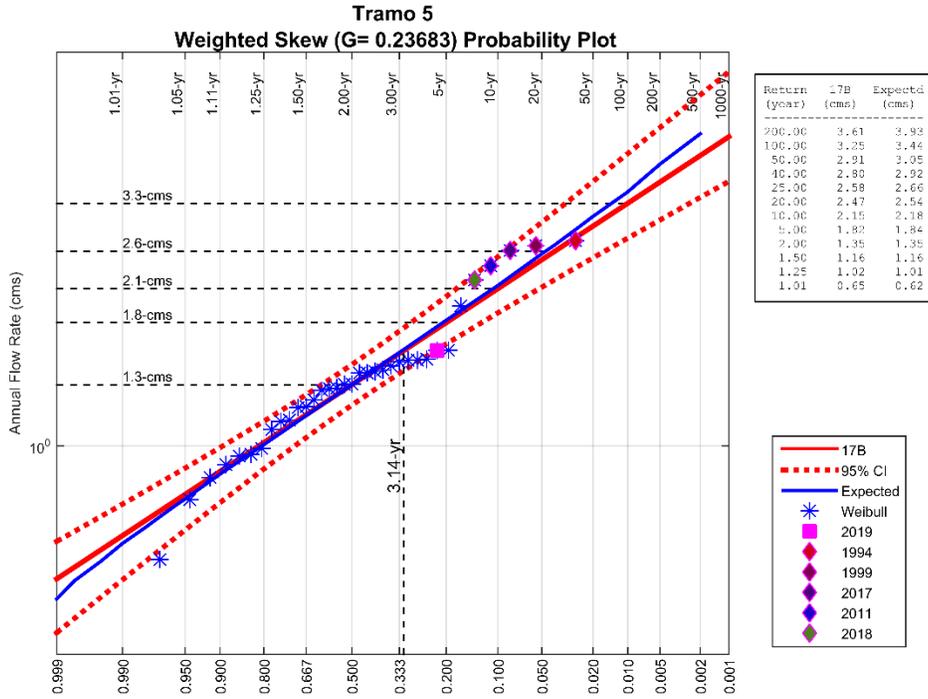


Figura 60. Curva de frecuencia de crecidas en el tramo 5. Se representa el periodo de retorno y probabilidad de excedencia en el eje x, y el caudal máximo diario en el eje y

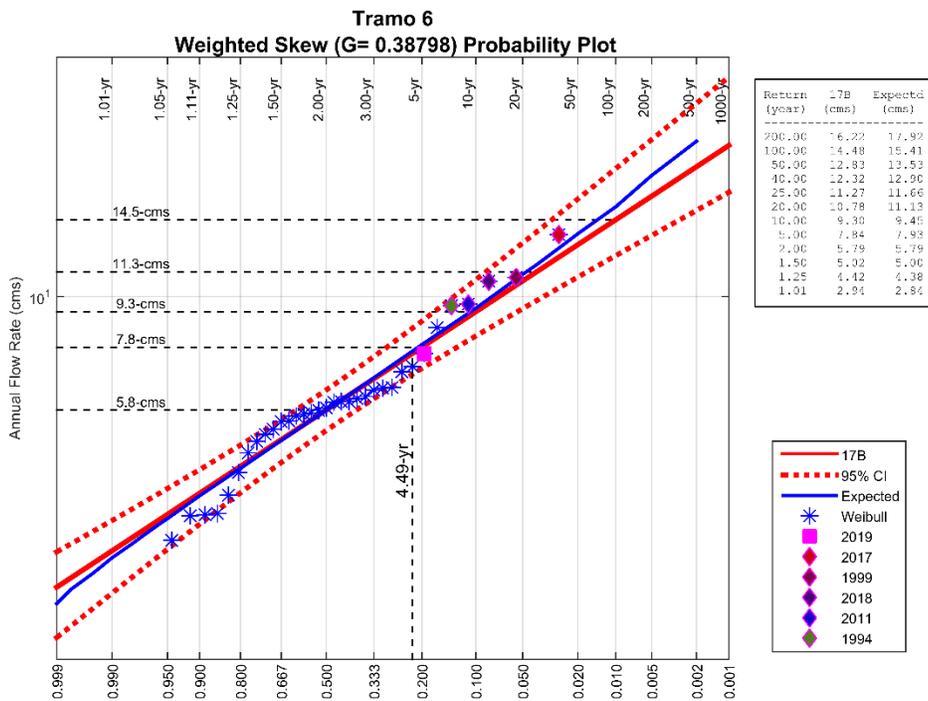


Figura 61. Curva de frecuencia de crecidas en el tramo 6. Se representa el periodo de retorno y probabilidad de excedencia en el eje x, y el caudal máximo diario en el eje y

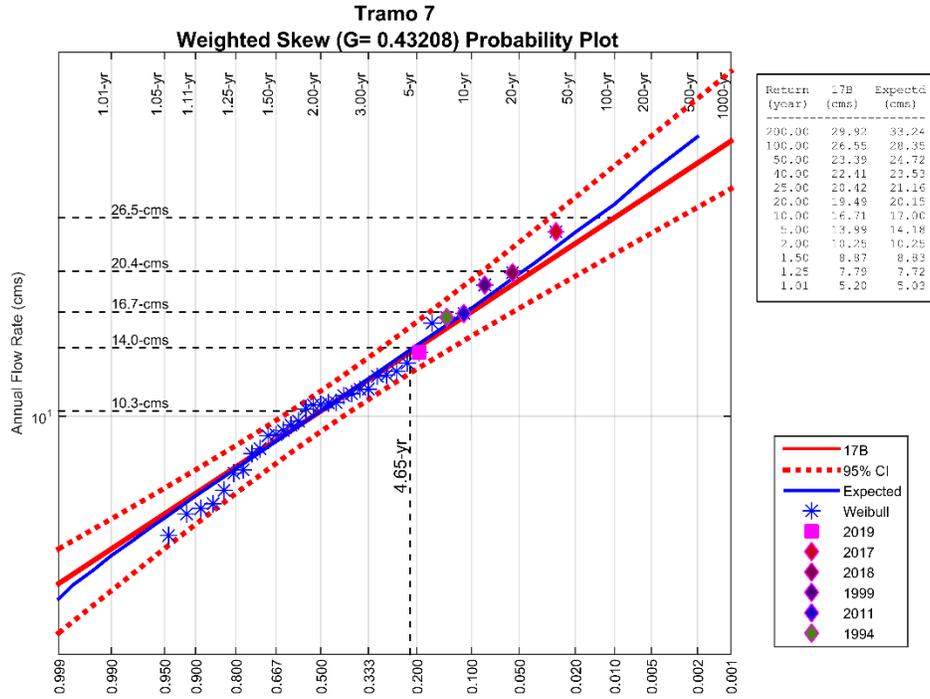


Figura 62. Curva de frecuencia de crecidas en el tramo 7. Se representa el periodo de retorno y probabilidad de excedencia en el eje x, y el caudal máximo diario en el eje y

1.5.5. Caudal ambiental

En el marco de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico, el caudal ambiental se define como un “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” (MADS, Art. 2. Decreto 50 de 2018). Este nuevo concepto adoptado por el ministerio implica que los aspectos asociados a la prestación de servicios ecosistémicos deben estar considerados en su formulación, así como el diseño de un régimen alterado que conserve las características fundamentales del régimen natural. Por lo que su determinación no implica identificar un valor mínimo o constante en un mes ni una proporción constante de caudal medio en un tramo.

1.5.5.1. Bases conceptuales

El ecosistema acuático y ripario está funcionalmente adaptado a las conexiones longitudinales y laterales en la corriente entre las zonas de cabecera, rivereñas, llanuras o valles y partes bajas de cuenca, entre las cuales se presenta un intercambio de materia y energía dinamizado por el flujo de agua en la corriente. Este ecosistema depende de la dinámica natural del flujo de agua, la cual a su vez está relacionada con las características fisicoquímicas del cuerpo de agua, regulando la distribución y abundancia de especies acuáticas y rivereñas. Según Poff (1997), la variabilidad natural del flujo de agua crea y mantiene la dinámica de condiciones y hábitats esenciales para estas especies, las cuales evolucionan y se adaptan a condiciones extremas como crecidas y sequías extraordinarias que con cierta regularidad destruyen y crean elementos del hábitat.

El régimen del flujo o régimen hidrológico de una corriente se define como el patrón de distribución de la temporalidad, variabilidad y cantidad del flujo y se describe a través de cinco características: Magnitud, frecuencia, duración, temporalidad y tasa de cambio (Poff, 1997). Cada una de ellas cumple varios roles para el sostenimiento ecológico del ecosistema acuático y ripario como se describe a continuación:

Magnitud del caudal. Se define como la cantidad de agua por unidad de tiempo que traspasa una sección de control en el sistema hidráulico estudiado en un intervalo de tiempo determinado. Según Arthington (2012), se requiere garantizar un umbral mínimo de los flujos bajos para mantener valores tolerables de los parámetros fisicoquímicos en el agua, preservar el hábitat para los organismos acuáticos, permitir la conectividad en el sistema hídrico para el tránsito de los peces hacia las áreas de alimentación y desove, sostener niveles freáticos en las riberas para suplir los requerimientos de humedad de los organismos bénticos de zona hiporreica y comunidades biológicas de ronda hídrica. Por su parte las sequías temporales contribuyen a aumentar el reclutamiento en las especies y por ende ejercen un control en las explosiones poblacionales y abundancia de especies invasoras. La magnitud de caudales altos (crecidas) contribuye a restablecer condiciones mejoradas de calidad del agua al oxigenar y renovar los micro y mesohabitats, las ondas de crecida benefician la diseminación de nutrientes, material genético y reproductivo de especies vegetales rivereñas, y generan un efecto de limpieza de material orgánico y desechos en los cauces.

Frecuencia de caudales. El periodo de recurrencia de los eventos de caudales bajos o altos implica una asociación a aspectos fenológicos de las especies, al activarse eventos extremos de

sequía o crecidas se contribuye a conservar una alta diversidad en los bosques riparios y en el cuerpo de agua dado el aumento del reclutamiento de especies. La productividad de los bosques riparios está influenciada por la frecuencia de caudales ya que las crecidas de corta duración estimulan el crecimiento de las especies.

Duración de los eventos hidrológicos. Representa el periodo de tiempo en el que ocurre un evento determinado de flujo. Es un factor importante para definir el efecto diferencial de este tipo de fenómenos en la composición y abundancia de especies en el ecosistema acuático, ya que habrá especies con un rango de tolerancia amplio en relación con la ocurrencia y duración de los sistemas de crecidas y monitoreo.

Periodicidad estacional de caudales. Su señal estimula a las especies acuáticas y riparias a activar algún ciclo vital, está armonizada con los ciclos de vida de muchas especies acuáticas y riparias. Los pulsos de estos caudales estimulan a las comunidades de varias especies a activar sus ciclos vitales (desove, eclosión, crianza, migración, reproducción, floración, dispersión de semillas, germinación, crecimiento).

Tasa de cambio. Hace referencia a qué tan rápido el flujo cambia de una magnitud a otra. según Arthington (2012), las especies nativas están adaptadas a la gradual o súbita rapidez de cambio en el flujo natural, por lo que son más persistentes a evitar ser desplazadas de sus hábitats que las especies invasoras, proporcionando un equilibrio dinámico en la composición del ecosistema acuático y ripario.

Según Bunn y Arthington (2002), el régimen de flujo o régimen hidrológico en una corriente natural se encuentra estrechamente vinculado a la conservación de la biodiversidad a través de cuatro principios hidroecológicos de adaptación de las especies a los sistemas hidrológicos.

Principio 1: El flujo es el elemento determinante del hábitat físico en las corrientes naturales y dicho hábitat condiciona la composición biótica. Es por ello que un régimen de flujo alterado genera cambios en el hábitat (macro, meso y microhábitats) y modifica la distribución y abundancia de especies, así como la composición y diversidad de las comunidades acuáticas. **Principio 2:** las especies acuáticas han evolucionado y adaptado sus estrategias de supervivencia y ciclos de vida como respuesta al régimen natural de flujo. Por lo que una alteración del régimen de flujo afecta el reclutamiento de las especies y promueve la pérdida de biodiversidad de especies nativas.

Principio 3. La conservación de los patrones naturales de conectividad natural longitudinal y lateral es vital para mantener el equilibrio dinámico en la composición de los ecosistemas rivereños. En consecuencia, la pérdida de conectividad longitudinal y lateral puede generar pérdida local de especies y formación de barreras al flujo genético. **Principio 4:** El establecimiento de especies invasoras exóticas y translocadas en las corrientes naturales es promovida por la alteración del régimen de flujo, las cuales pueden adaptarse mejor que las nativas a un régimen de flujo artificializado. A continuación, en la Figura 63 se presenta un esquema conceptual de la relación entre los principios hidroecológicos con el régimen del flujo (Bunn y Arthington, 2002).

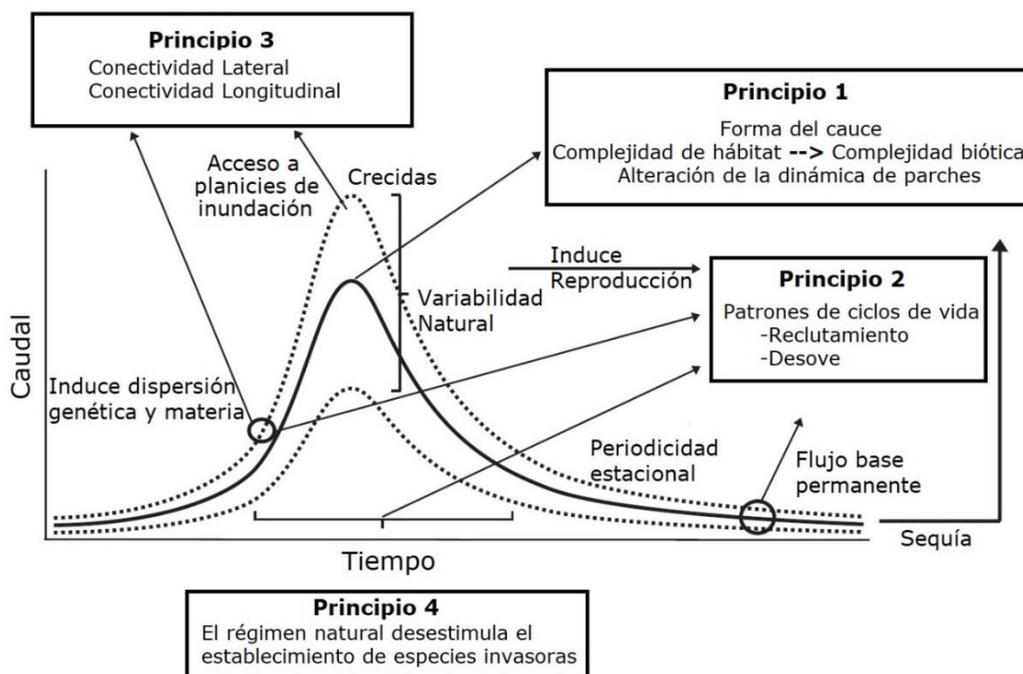


Figura 63. Modelo conceptual de la relación entre un régimen de flujo natural con los principios hidroecológicos en un ecosistema acuático de corriente (Fuente: Arthington, 2012)

1.5.5.2. Diseño Metodológico para la determinación del régimen de caudal ambiental en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

El PORH del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones toma como referente el enfoque metodológico propuesto por la Guía Metodológica para la Estimación del Caudal Ambiental formulada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (MADS e IDEAM, 2017). La guía define dos niveles de implementación del caudal ambiental, denominados Estimación (Nivel 1) y Gestión (Nivel 2). El nivel 1 se compone de cuatro fases (MADS e IDEAM, 2017):

Fase 1: Levantamiento de información de línea base del cuerpo de agua

Fase 2: Estimación del régimen de caudal ambiental, considerando el funcionamiento ecológico o el servicio ecosistémico de mayor condicionamiento

Fase 3: Evaluación del régimen de caudal ambiental, considerando servicios ecosistémicos (calidad del agua y bienestar humano).

Fase 4: Seguimiento a la implementación del régimen de caudales ambientales.

De acuerdo con los lineamientos de la guía (MADS e IDEAM, 2017), el caudal ambiental se determina en la Fase 2 a partir de la integración de aspectos hidrológicos, hidromorfológicos, hidráulicos, ecológicos y servicios ecosistémicos priorizados. La finalidad de la Fase 3 es identificar medidas de gestión ambiental necesarias para alcanzar o mantener el caudal ambiental formulado en la Fase 2. El nivel 2 (Gestión) se ejecuta con base en los resultados de la Fase 3 del nivel 1

(evaluación). La Fase 3 de la formulación del caudal ambiental se desarrolla en la sección 2 del PORH (FASE: IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES), la Fase 4 y el nivel 2 se implementa de forma transversal en la sección 3 del PORH (Fase de Formulación).

Considerando las condiciones particulares de la zona objeto de estudio, a continuación, se presenta la adaptación procedimental de las Fases 1 y 2 de la determinación del régimen de caudal ambiental en los tramos objeto de ordenamiento.

1.5.5.2.1. Fase 1: Levantamiento de información y caracterización del cuerpo de agua

En la sección 1.1 se presenta una descripción general de las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones y en la sección 1.4.3 se definieron con criterios hidrológicos y de uso los tramos objeto análisis. La información hidrológica base par el cálculo del régimen de caudal ambiental se obtuvo mediante modelación y simulación hidrológica a escala diaria (sección 1.5.4). En el marco del desarrollo del PORH se programaron dos (2) campañas de monitoreo Hidrobiológico (sección 1.9) y dos (2) campañas de monitoreo de calidad del agua (sección 1.8), cuyos resultados y análisis se constituyen en insumos para el establecimiento y definición de lineamientos de gestión en la implementación del régimen de caudal ambiental.

1.5.5.2.2. Fase 2: Estimación del caudal ambiental considerando el funcionamiento ecológico

1.5.5.2.2.1. Planteamiento del objetivo ambiental del cuerpo de agua desde la perspectiva del régimen de caudal ambiental

Los tramos objeto de ordenamiento no presentan estructuras de regulación del régimen de caudales (embalses), por lo que no se presentan alteraciones considerables de la variabilidad temporal. Sin embargo, la existencia de varias estructuras de captación de caudales (sección 1.4.1) si han generado cambios que afectan la magnitud del caudal disponible en las corrientes estudiadas.

El postulado fundamental del concepto de caudal ambiental en este PORH es que se debe propender por permitir aprovechamientos antrópicos de los recursos hídricos generando alteraciones en los atributos del régimen natural de caudales hasta los límites asumibles por el ecosistema acuático y ripario para garantizar su conservación y equilibrio dinámico. Esta perspectiva de interpretación implica los siguientes presupuestos:

- La visión ecosistémica del concepto de caudal ambiental se sustenta en el campo de la ecología natural, y hace que la determinación del régimen de caudal ambiental no esté condicionada a satisfacer las necesidades humanas para el aprovechamiento de recursos hídricos. Pero su determinación no es independiente de dichas necesidades humanas; en otras palabras, se establecen los límites de la alteración del régimen hidrológico natural por efecto de aprovechamientos hidráulicos, garantizando el sostenimiento de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuático y ripario.
- Los servicios ecosistémicos son prestados en la medida que esté garantizado el sostenimiento y funcionamiento del ecosistema acuático y ripario, por lo que el ecosistema debe conservarse para que pueda seguir ofertando dichos servicios de manera sostenible. Es decir, si se constriñe al ecosistema a prestar un "servicio ecosistémico" más

allá de sus límites de tolerancia a la alteración, dicho ecosistema se podría deteriorar al punto no ser funcional e incapaz de ofertar el servicio en el futuro. Por lo anterior, y atendiendo los principios de la política y legislación nacional en materia de uso y manejo de los recursos naturales (*ley 99 de 1993, Decreto ley 2811 de 1974, Decreto 1076 de 2015, en los que se ordena a las autoridades ambientales propender por un uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales*), en este PORH se establece que el objetivo ambiental de referencia para determinar el régimen de caudales ambientales en cada tramo objeto de ordenamiento debe estar formulado para establecer “¿cuál es el límite de alteración del régimen hidrológico aceptable para la gestión en un tramo determinado?”, y ¿cuál es el aprovechamiento hidráulico disponible para tales condiciones?.

Siguiendo el concepto de Caudal Ambiental expuesto por el MADS e IDEAM (2017) y la interpretación anterior, se concluye que el objetivo ambiental de cada tramo debe conservar los rasgos hidrológicos de un régimen de caudales que permitan sostener el ecosistema acuático y ripario. La alteración asumible del régimen está definida a partir del servicio ecosistémico prioritario para cada tramo. En tal sentido, La Tabla 66 presenta el objetivo ambiental y servicio ecosistémico priorizado para cada tramo. Dicho servicio ecosistémico se identificó con base en el estado ambiental de aprovechamiento y uso de cada tramo presentado en la sección 1.4.

| Tramo | Objetivo Ambiental | Servicio ecosistémico priorizado |
|----------------|--|---|
| Tramo 1 | Preservación del régimen requerido para el sostenimiento del ecosistema acuático y ripario | Provisión (Abastecimiento humano) |
| Tramo 2 | Preservación del régimen requerido para el sostenimiento del ecosistema acuático y ripario | Regulación (Reciclado de desechos y asimilación de contaminantes) |
| Tramo 3 | Preservación del régimen requerido para el sostenimiento del ecosistema acuático y ripario | Provisión (Abastecimiento humano) |
| Tramo 4 | Preservación del régimen requerido para el sostenimiento del ecosistema acuático y ripario | Regulación (Reciclado de desechos y asimilación de contaminantes) |
| Tramo 5 | Preservación del régimen requerido para el sostenimiento del ecosistema acuático y ripario | Provisión (Abastecimiento humano) |
| Tramo 6 | Preservación del régimen requerido para el sostenimiento del ecosistema acuático y ripario | Provisión (Abastecimiento humano) |
| Tramo 7 | Preservación del régimen requerido para el sostenimiento del ecosistema acuático y ripario | Regulación (Reciclado de desechos y asimilación de contaminantes) |

Tabla 66. Objetivo ambiental y servicio ecosistémico priorizado para cada tramo

1.5.5.2.2. Definición del régimen natural de caudales

En la sección 1.5.4 se presentó el procedimiento de modelación hidrológica implementado para obtener las series de caudales diarios en los siete (7) tramos objeto de ordenamiento para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1985 y 31 de diciembre de 2019. Estas series de caudales corresponden al régimen natural tomado como información de base para el cálculo del régimen de caudal ambiental.

1.5.5.2.2.3. *Determinación de índices hidrológicos e hidromorfológicos con relevancia ecológica*

Se utilizó el método de los Indicadores de Alteraciones Hidrológicas (IHA por sus siglas en inglés, Richter et al.; 1996) el cual sirve para evaluar el grado de cambios inducidos en el régimen natural de flujo en una corriente de agua. Los IHA evaluados incluyen 32 parámetros para caracterizar los atributos estadísticos de las principales componentes del régimen de flujo que son relevantes desde el punto de vista del funcionamiento ecosistémico (magnitud, duración, momento de ocurrencia, tasa de cambio, frecuencia) y representan cinco categorías de atributos: caudales extremos bajos, caudales bajos, pulsos de caudal alto, pequeñas inundaciones y grandes inundaciones (Tabla 67).

| EFC | GRUPO DE EFC / PARÁMETRO HIDROLÓGICO | UNIDAD |
|---|---|-------------------|
| GRUPO 1. CAUDALES BAJOS MENSUALES | | |
| | OCTUBRE | M ³ /S |
| | NOVIEMBRE | M ³ /S |
| | DICIEMBRE | M ³ /S |
| | ENERO | M ³ /S |
| | FEBRERO | M ³ /S |
| | MARZO | M ³ /S |
| | ABRIL | M ³ /S |
| | MAYO | M ³ /S |
| | JUNIO | M ³ /S |
| | JULIO | M ³ /S |
| | AGOSTO | M ³ /S |
| | SEPTIEMBRE | M ³ /S |
| GRUPO 2. CAUDALES EXTREMADAMENTE BAJOS | | |
| | PICOS EXTREMADAMENTE BAJOS | M ³ /S |
| | DURACIÓN EXTREMADAMENTE BAJA | DÍAS |
| | TIEMPO DE OCURRENCIA DEL CAUDAL BAJO EXTREMO | DATO JULIANO |
| | FRECUENCIA EXTREMADAMENTE BAJA | # OCURRENCIAS/AÑO |
| GRUPO 3. PULSOS DE CAUDAL ALTO | | |
| | PICOS DE CAUDAL ALTO | M ³ /S |
| | DURACIÓN DE CAUDAL ALTO | DÍAS |
| | TIEMPO DE OCURRENCIA DEL CAUDAL ALTO | DATO JULIANO |
| | FRECUENCIA DE CAUDALES ALTOS | # OCURRENCIAS/AÑO |
| | TASA ALTA DE CRECIMIENTO DE CAUDALES | M ³ /S |
| | TASA ALTA DECRECIMIENTO DE CAUDAL | M ³ /S |
| GRUPO 4. INUNDACIONES PEQUEÑAS | | |
| | PICO DE PEQUEÑAS INUNDACIONES | M ³ /S |
| | DURACIÓN DE PEQUEÑAS INUNDACIONES | DÍAS |
| | TIEMPO DE OCURRENCIA DE PEQUEÑAS INUNDACIONES | DATO JULIANO |
| | TASAS DE CRECIMIENTO | M ³ /S |
| | TASAS DE DECRECIMIENTO | M ³ /S |
| GRUPO 5. GRANDES INUNDACIONES | | |
| | PICO DE CAUDAL DE GRANDES INUNDACIONES | M ³ /S |
| | DURACIÓN GRANDES INUNDACIONES | DÍAS |
| | TIEMPO DE OCURRENCIA DE GRANDES INUNDACIONES | DATO JULIANO |
| | TASAS DE CRECIMIENTO | M ³ /S |
| | TASAS DE DECRECIMIENTO | M ³ /S |

Tabla 67. Índices hidrológicos característicos del régimen de caudales con relevancia ecológica

Con el fin de cuantificar la alteración de atributos de conectividad longitudinal y lateral de la corriente se emplearon dos (2) índices hidromorfológicos como referente: El caudal Q_{t-Q} y el caudal a banca llena (Q_B).

Caudal Q_{t-Q} . Este índice es importante como referente de caudal mínimo debido a que representa un umbral por debajo del cual se presentan incrementos significativos del tiempo de residencia del flujo y solutos, la ocurrencia de caudales bajo este límite es desfavorable para el ecosistema acuático ya que se pierde conectividad longitudinal y lateral, desaparición temporal de microhábitats, y reducción del oxígeno disuelto. Para cada tramo se calculó el diagrama tiempo-caudal mediante la aplicación de las relaciones adimensionales propuestas por Jiménez y Wohl (2013) y luego se extrajo de cada uno el valor del caudal Q_{t-Q} seleccionando el caudal correspondiente a la pendiente unitaria normalizada (-1) calculada entre el tiempo medio de tránsito y el caudal asociado, ambos normalizados por su valor máximo. Los valores obtenidos para los siete (7) tramos fueron ajustados en función del área drenante, encontrando un ajuste satisfactorio con un nivel de significancia al 99% (P-valor = 0.000019, Figura 64).

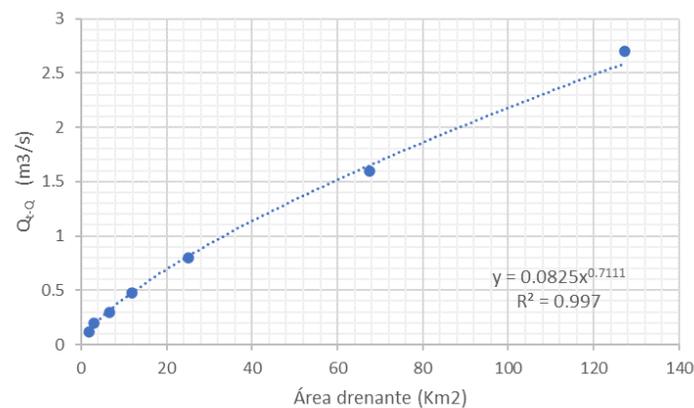


Figura 64. Caudal Q_{t-Q} en función del área de cuenca drenante a cada tramo en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

Caudal a banca llena (Q_B). Se define como el flujo que define una sección mojada en el límite entre el cauce y la llanura de inundación, es decir el flujo confinado en el cauce hasta antes que aumente hasta desbordarse (USGS, 2009). Algunos autores lo hacen equivalente al caudal efectivo formador del lecho, sin embargo, éste último no solo depende de las propiedades geométricas de la sección transversal sino de la capacidad de la corriente para transportar caudal sólido, por lo que en realidad corresponden a conceptos diferentes. El caudal específico (o formador del lecho) coincide con la máxima capacidad de la corriente para transportar acarreo de fondo (Wyzga, et al, 2020). El caudal a banca llena se determinó mediante la identificación de la mínima relación entre el ancho y la profundidad obtenida por simulación hidráulica en estado estable sobre las secciones transversales levantadas en la segunda campaña de monitoreo, posteriormente se realizó una regionalización geomorfológica del caudal a banca llena en función del área drenante con el fin de estimarlo en sitios no aforados. En la Figura 65 se presenta la relación obtenida con una significancia al 95% de probabilidad (p-valor=0.00119). su principal importancia hidroecológica es que define un umbral de conexión lateral del cuerpo de agua con la zona riparia.

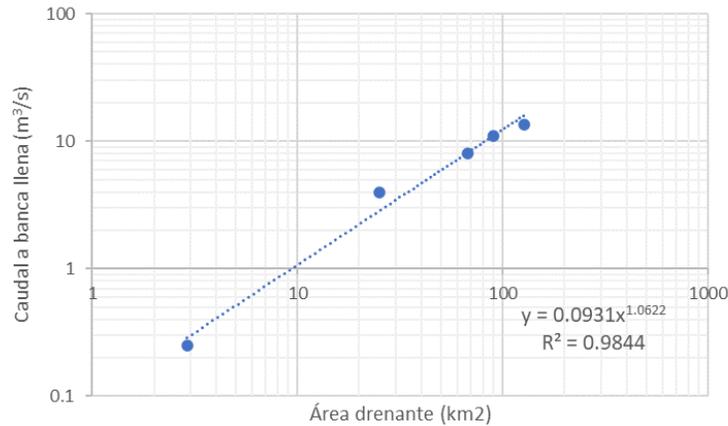


Figura 65. Caudal a banca llena en función del área drenante en las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

1.5.5.2.2.4. Caudales máximos aprovechables y grado de alteración del régimen

En este paso se establecieron los valores máximos aprovechables de caudal en cada tramo de análisis a través de iteraciones sucesivas y evaluando el porcentaje de alteración del régimen natural en cada iteración, hasta llegar a un valor límite de alteración del régimen a partir del cual se considera que la extracción de caudal generaría una afectación permanente al ecosistema acuático y ripario. En cada iteración se definió la regla de máximo caudal potencialmente extraíble como un porcentaje del caudal medio mensual histórico, y se estableció para cada condición hidrológica del régimen de caudales (Ecuación 6).

$$Q_e^{i,j} = \omega_i \times Q_{i,j} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

$Q_e^{i,j}$ = es el máximo caudal de aprovechamiento para el mes i en la condición hidrológica j

ω_i = proporción de caudal extraído en el mes i

$Q_{i,j}$ = es el caudal medio del mes i en la condición hidrológica j

Posteriormente, se calculó la serie de caudales diarios en cada tramo en régimen alterado, es decir descontando el caudal máximo de aprovechamiento aplicando la siguiente expresión:

$$Q_a^{i,j,k} = \begin{cases} Q_{i,j,k} - Q_e^{i,j} & ; \quad \text{si } Q_{i,j,k} - Q_e^{i,j} > Q_{min}^{i,j} \\ Q_{min}^{i,j} & ; \quad \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

$Q_a^{i,j,k}$ = es el caudal diario para el día k en régimen alterado luego de la extracción del caudal $Q_e^{i,j}$

$Q_{i,j,k}$ = es el caudal diario natural para el día k en el mes j en la condición hidrológica i

$Q_{min}^{i,j}$ = es el caudal mínimo diario para el mes j en la condición hidrológica i

Finalmente, en cada iteración se calcularon los 32 índices hidrológicos presentados en la Tabla 67 y los índices hidromorfológicos Q_{t-Q} y Q_B . y se calculó el porcentaje de variación del valor del respectivo índice hidrológico de la serie de caudales alterada en contraste con el índice hidrológico de la serie de caudales natural. El procedimiento iterativo se desarrolló hasta alcanzar un

porcentaje de alteración máximo de 55% en los índices hidrológicos o un 50% de variación en los índices hidromorfológicos, lo que primero ocurriera.

La Figura 66, Figura 67 y Figura 68 presentan los porcentajes de aprovechamiento máximo que cumplen los anteriores criterios para los siete (7) tramos objeto de ordenamiento y para cada condición hidrológica. La Figura 69, Tabla 68 y Tabla 69 presentan la corroboración del cumplimiento del límite de alteración establecido para cada índice hidrológico e hidromorfológico del régimen de caudales.

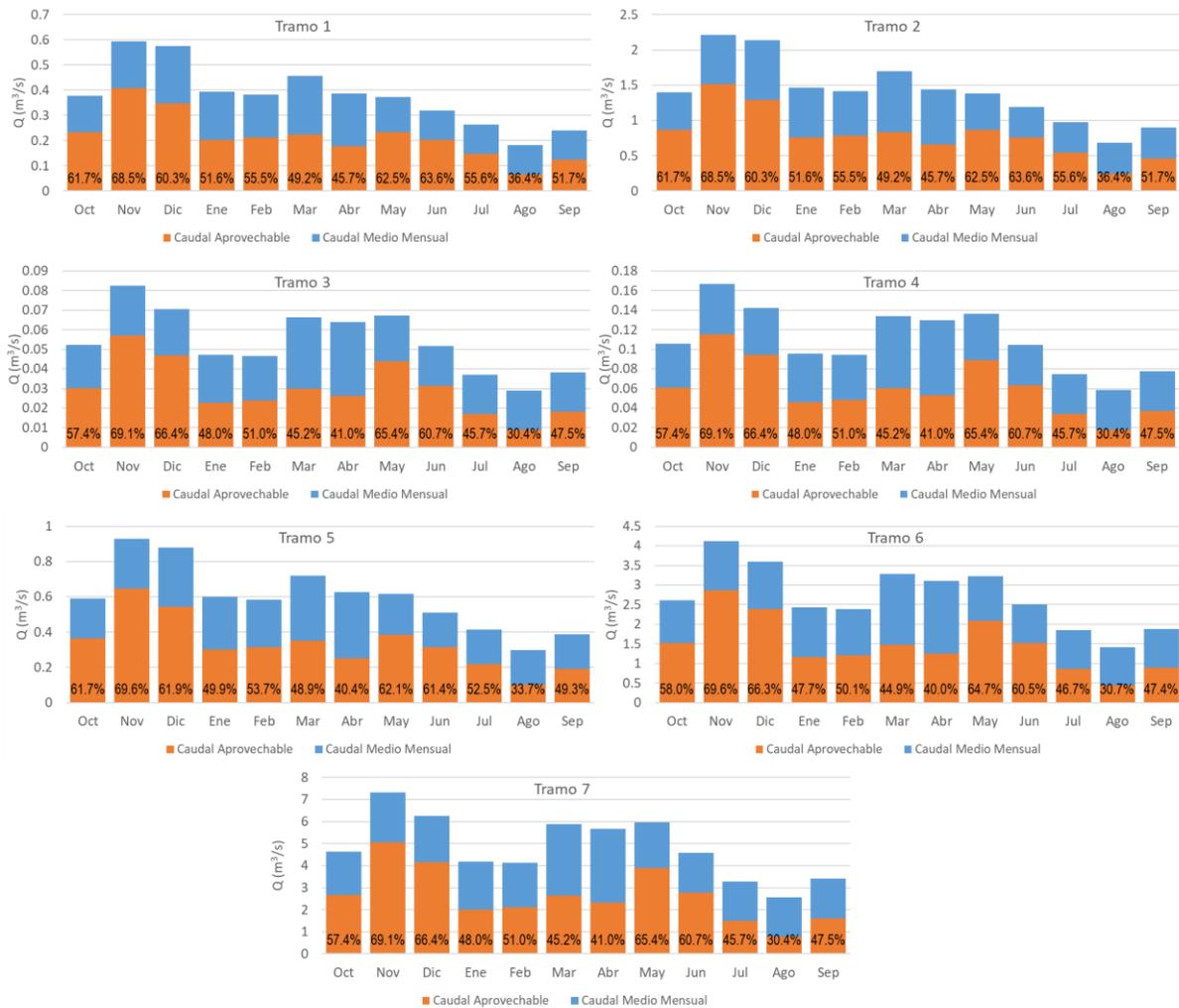


Figura 66. Porcentaje de caudales de aprovechamiento hidráulico máximo mensual en la condición hidrológica de año húmedo

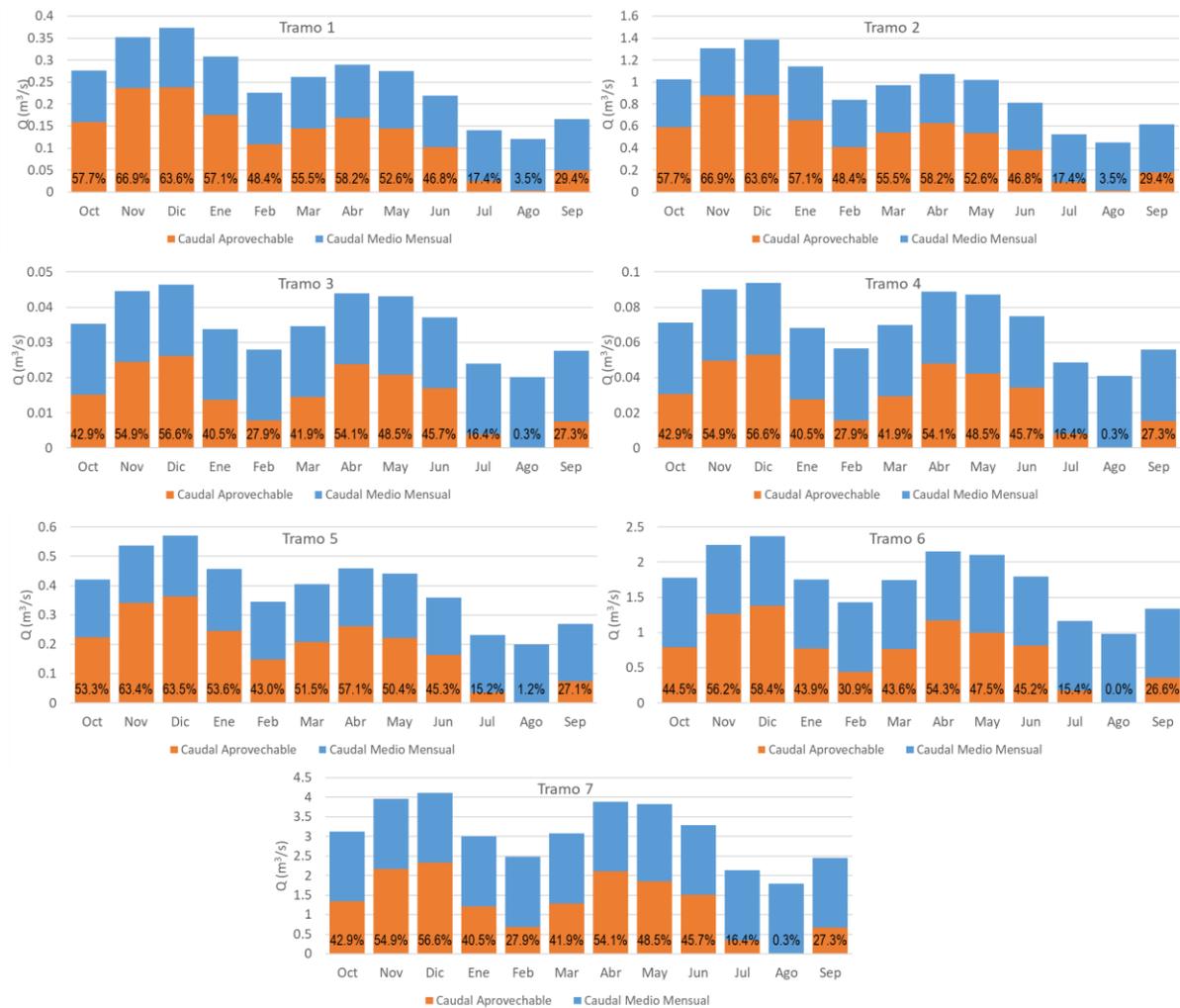


Figura 67. Porcentaje de caudales de aprovechamiento hidráulico máximo mensual en la condición hidrológica de año neutro

| Tramo | Q(t-Q) | Porcentaje del tiempo en que se iguala o se excede | | Ratio de variación |
|-------|--------|--|---------------------|--------------------|
| | | En Régimen Natural | En Régimen Alterado | |
| t1 | 0.3 | 34.34% | 10% | 29.12 |
| t2 | 0.8 | 50.64% | 15.70% | 31.00 |
| t3 | 0.12 | 2.20% | 1% | 45.45 |
| t4 | 0.2 | 4.65% | 2% | 43.01 |
| t5 | 0.48 | 32.99% | 10.20% | 30.92 |
| t6 | 1.6 | 48.91% | 16.70% | 34.14 |
| t7 | 2.7 | 52.47% | 18.77% | 35.77 |

Tabla 68. Variación del porcentaje del tiempo en el que se iguala o excede el caudal Qt-Q al implementar la regla de aprovechamiento de caudales en los tramos objeto de ordenamiento

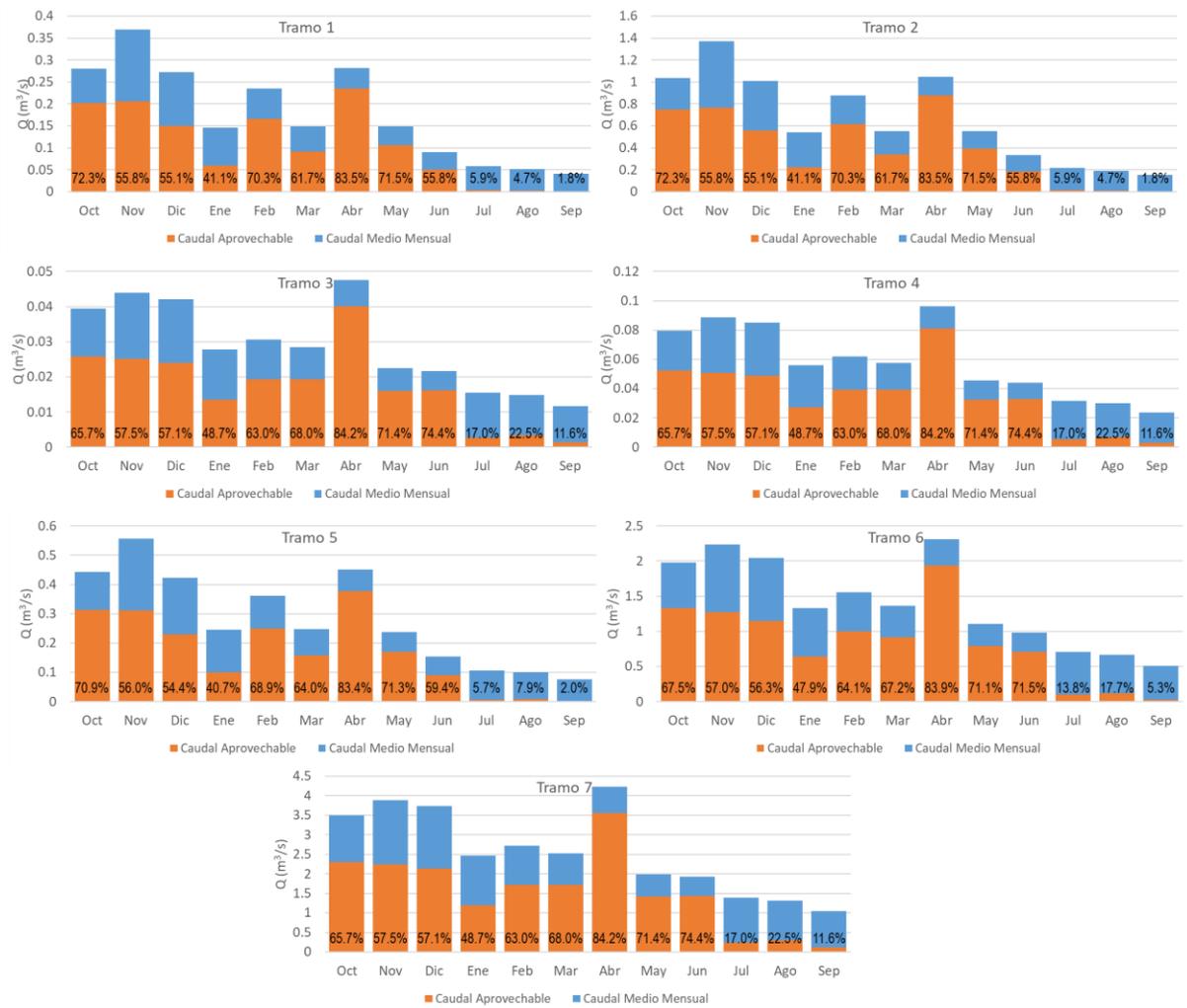


Figura 68. Porcentaje de caudales de aprovechamiento hidráulico máximo mensual en la condición hidrológica de año seco

| Tramo | QB (Banca llena) | Periodo de retorno (años) | | Ratio de variación |
|-------|------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|
| | | En Régimen Natural | En Régimen Alterado | |
| t1 | 0.7054517 | 1.35 | 2.40 | 1.78 |
| t2 | 2.84583985 | 1.40 | 4.00 | 2.86 |
| t3 | 0.17484607 | 6.00 | 10.00 | 1.67 |
| t4 | 0.29481918 | 4.50 | 6.00 | 1.33 |
| t5 | 1.28893565 | 1.50 | 5.14 | 3.43 |
| t6 | 8.17806985 | 5.50 | 7.20 | 1.31 |
| t7 | 16.0119666 | 6.00 | 12.00 | 2.00 |

Tabla 69. Variación del periodo de retorno en años del caudal a banca llena al implementar la regla de aprovechamiento máximo de caudales en los tramos objeto de ordenamiento

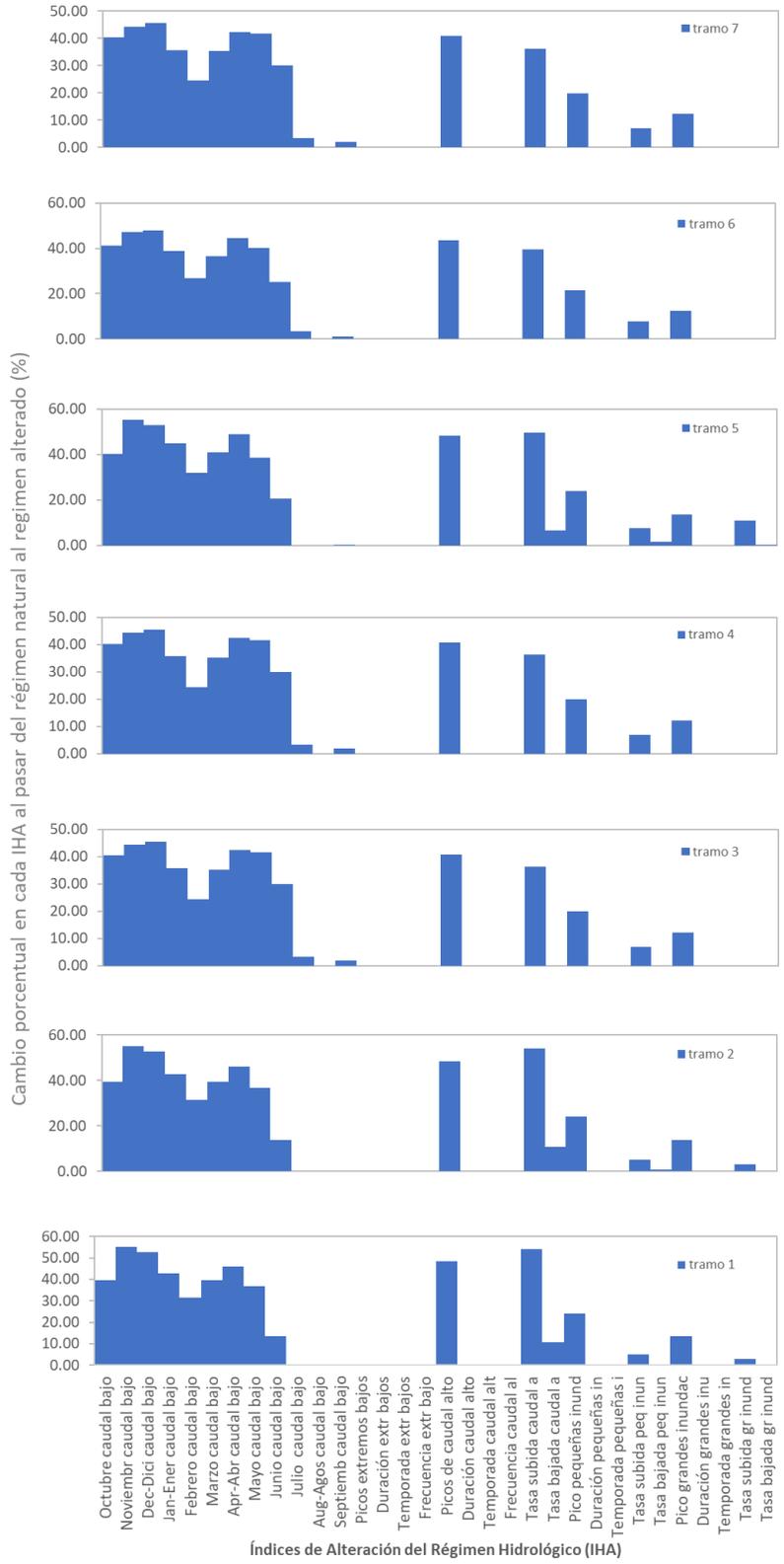


Figura 69. Porcentajes de alteración del régimen hidrológico natural para cada tramo por índice de alteración

1.5.5.2.2.5. Régimen de caudales ambientales

Siguiendo el procedimiento descrito en la sección anterior, el caudal ambiental queda definido como el régimen de caudales diario (Figura 70) practicando el descuento de los caudales máximos de aprovechamiento previamente definidos. La Figura 70 presenta las curvas de duración de caudales diarios por mes correspondientes al régimen de caudal ambiental para cada tramo, y la Tabla 70 presenta los caudales medios mensuales del régimen de caudal ambiental para cada tramo en ordenamiento.

| TRAMO | CAUDAL AMBIENTAL (Condición Hidrológica: Año Húmedo) | | | | | | | | | | | |
|-------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP |
| 1 | 0.14 | 0.19 | 0.23 | 0.19 | 0.17 | 0.23 | 0.21 | 0.14 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 2 | 0.54 | 0.70 | 0.85 | 0.71 | 0.63 | 0.86 | 0.78 | 0.52 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 |
| 3 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 4 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 5 | 0.23 | 0.28 | 0.33 | 0.30 | 0.27 | 0.37 | 0.37 | 0.23 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 6 | 1.10 | 1.25 | 1.22 | 1.27 | 1.19 | 1.81 | 1.87 | 1.14 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| 7 | 1.98 | 2.26 | 2.10 | 2.18 | 2.03 | 3.22 | 3.35 | 2.07 | 1.81 | 1.79 | 1.79 | 1.79 |
| TRAMO | CAUDAL AMBIENTAL (Condición Hidrológica: Año Neutro) | | | | | | | | | | | |
| | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP |
| 1 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 2 | 0.43 | 0.43 | 0.50 | 0.49 | 0.43 | 0.43 | 0.45 | 0.48 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 |
| 3 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 4 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 5 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 6 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 1.11 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| 7 | 1.79 | 1.79 | 1.79 | 1.79 | 1.79 | 1.79 | 1.79 | 1.97 | 1.79 | 1.79 | 1.79 | 1.79 |
| TRAMO | CAUDAL AMBIENTAL (Condición Hidrológica: Año Seco) | | | | | | | | | | | |
| | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP |
| 1 | 0.08 | 0.16 | 0.12 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 2 | 0.29 | 0.61 | 0.45 | 0.32 | 0.26 | 0.21 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.20 | 0.18 | 0.15 |
| 3 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 4 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 5 | 0.13 | 0.24 | 0.19 | 0.15 | 0.11 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.10 | 0.09 | 0.07 |
| 6 | 0.64 | 0.96 | 0.89 | 0.69 | 0.56 | 0.45 | 0.37 | 0.32 | 0.28 | 0.61 | 0.55 | 0.48 |
| 7 | 1.20 | 1.65 | 1.61 | 1.26 | 1.01 | 0.81 | 0.67 | 0.57 | 0.49 | 1.15 | 1.02 | 0.92 |

Tabla 70. Caudal medio mensual del régimen de caudal ambiental para las tres condiciones hidrológicas

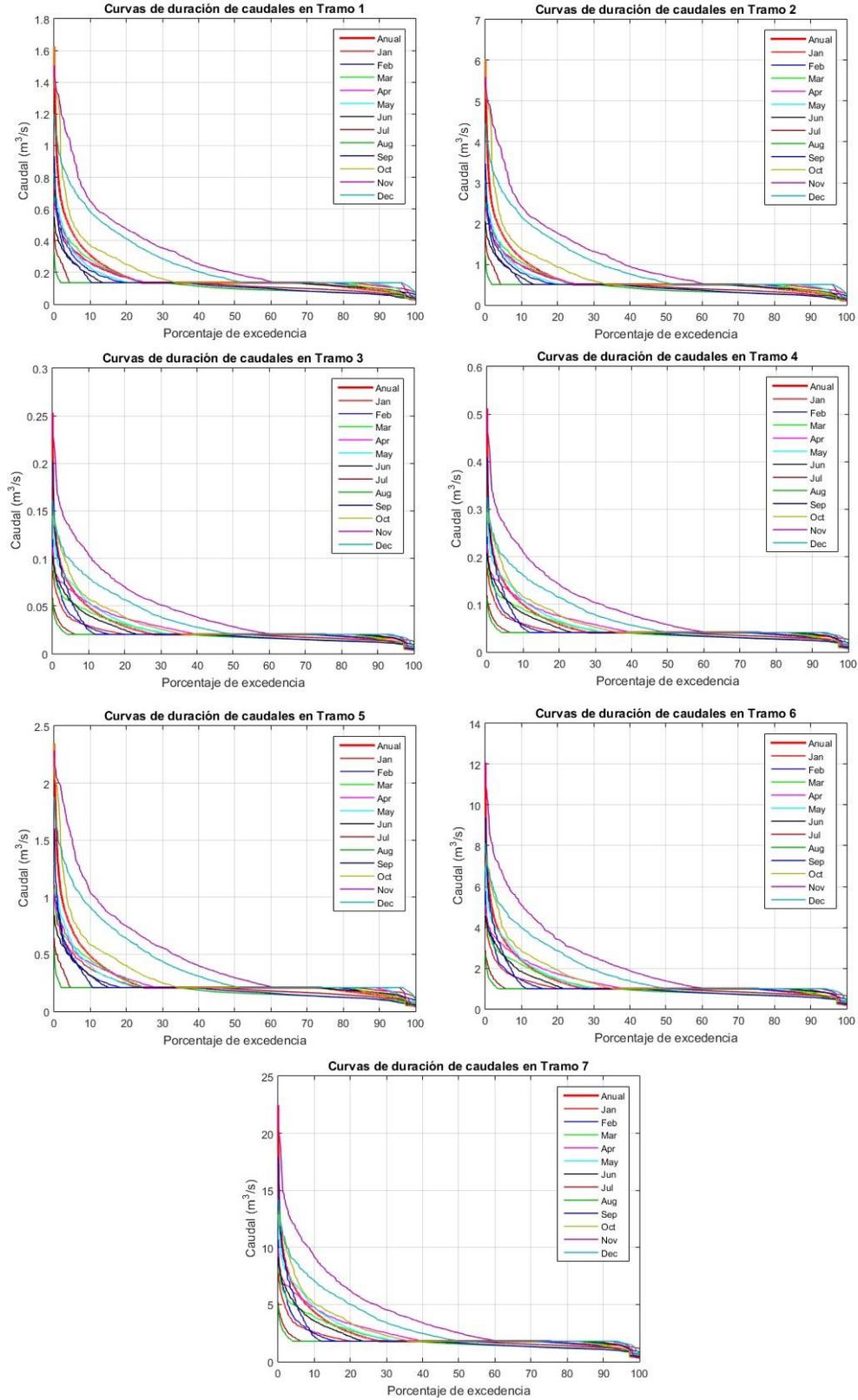


Figura 70. Curva de duración de caudales diarios en el régimen de caudal ambiental

1.5.6. Indicadores de estado del recurso hídrico

La evaluación del régimen hidrológico natural de los tramos objeto de ordenamiento en las tres unidades hidrográficas estudiadas se realizó a través del Índice de Aridez (IA) y el Índice de Regulación y Retención Hídrica (IRH).

1.5.6.1. Índice de aridez (IA)

Hace referencia a la dinámica superficial del suelo y clasifica espacialmente en la unidad hidrográfica de análisis los sitios con déficit o excedentes de agua en función de una relación entre la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración real. El índice se clasifica en siete (7) categorías presentadas en la leyenda de la Figura 71, Figura 72 y Figura 73, su determinación se realizó aplicando la siguiente expresión:

$$IA_i = \frac{ETR_i - ETr_i}{ETR_i}$$

Donde,

IA_i = es el índice de aridez

ETR_i = es la evapotranspiración de referencia para el mes i en mm

ETr_i = es la evapotranspiración real para el mes i en mm

Durante los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre en las tres condiciones hidrológicas se presentan altos excedentes y excedentes de humedad en la parte alta de la unidad hidrográfica del río Roble. En estos mismos periodos de tiempo, la parte baja de la unidad hidrográfica tiene menos disponibilidad de humedad, pero suficiente para no llegar a un estado de clasificación deficitario. En condición hidrológica de año húmedo, los meses de junio a septiembre mantienen niveles de humedad suficiente para contar con excedentes hasta un rango moderado tanto en la parte alta (con más humedad) como en la parte baja de la unidad hidrográfica (aunque con menos humedad disponible).

La condición más crítica de disponibilidad de humedad en la condición hidrológica de año neutro se presenta en los meses de julio y agosto, clasificándose como deficitaria la mayor parte de la unidad hidrográfica de la quebrada Cajones y moderadamente deficitaria la unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo.

En la condición hidrológica más extrema (año seco), los meses de junio y agosto presentan la condición más crítica en el déficit de humedad, ya que la mayor parte del área se clasifica como altamente deficitaria. Especialmente la parte alta de las unidades hidrográficas, esto se debe principalmente a la alta variabilidad estacional de la lluvia que caracteriza la parte alta de la zona de estudio (evidenciada a través de los registros históricos de la estación Bremen).

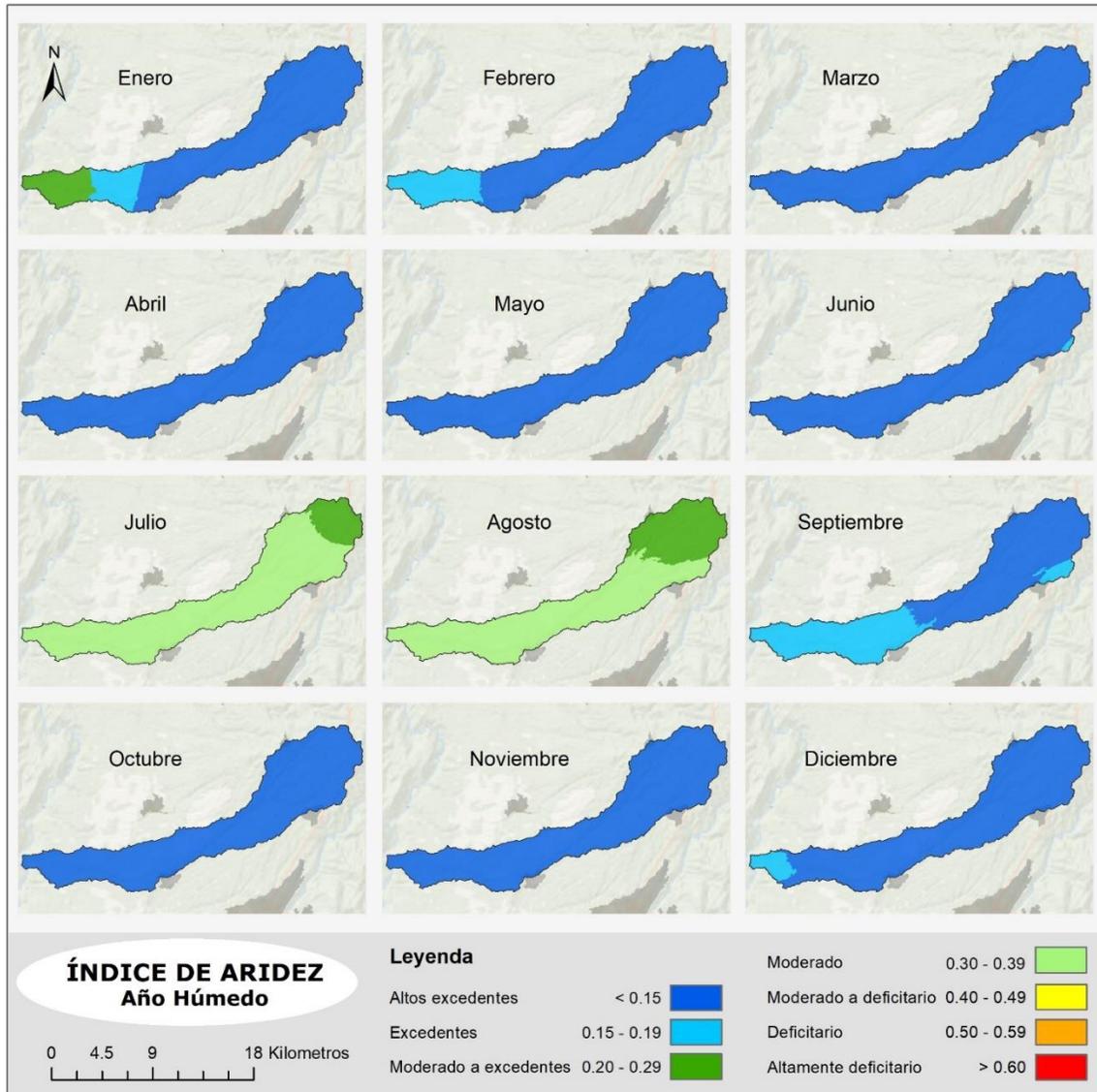


Figura 71. Índice de aridez (IA) mensual para condición hidrológica de año húmedo en las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

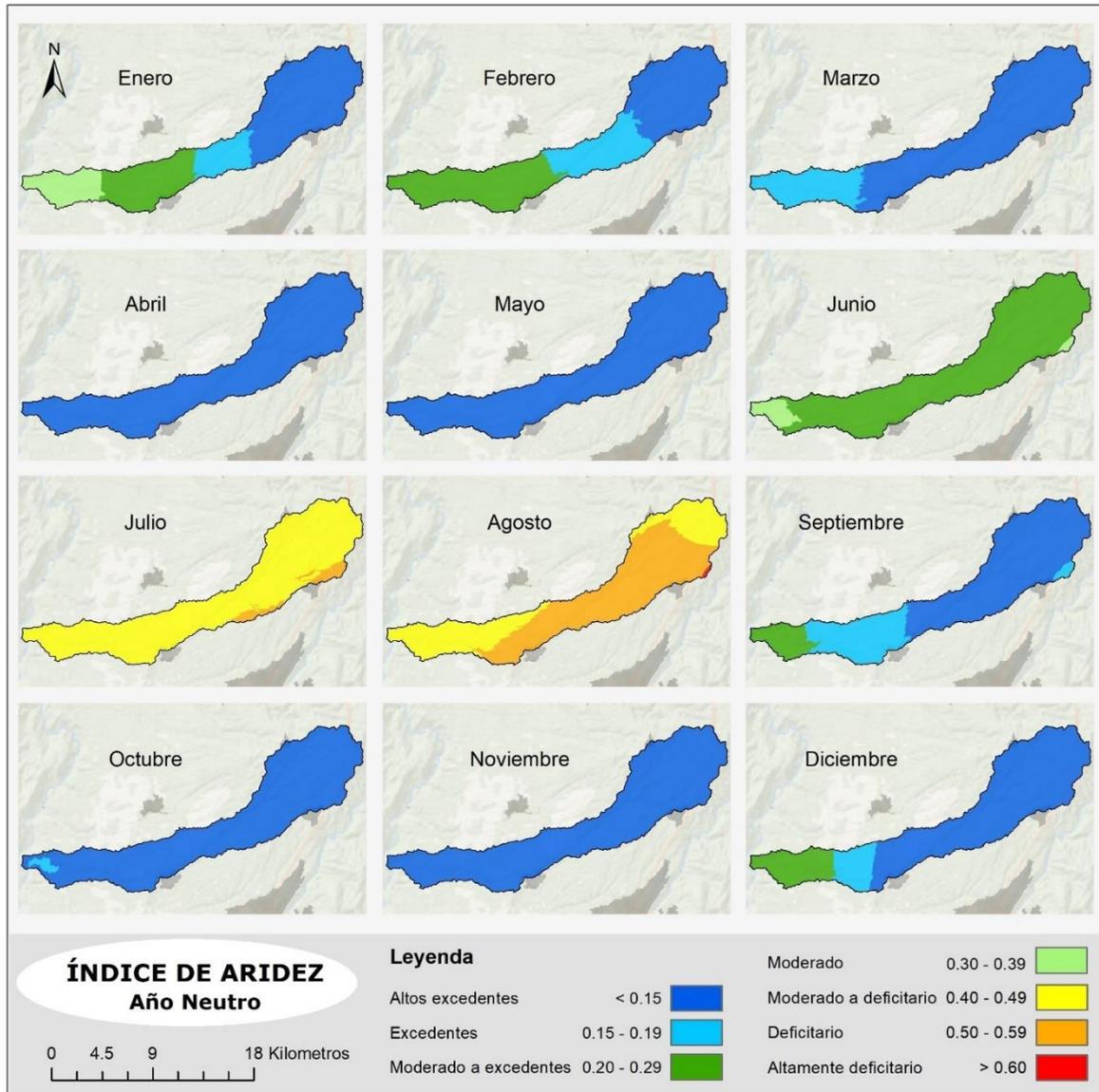


Figura 72. Índice de aridez (IA) mensual para condición hidrológica de año neutro en la unidad hidrográfica del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

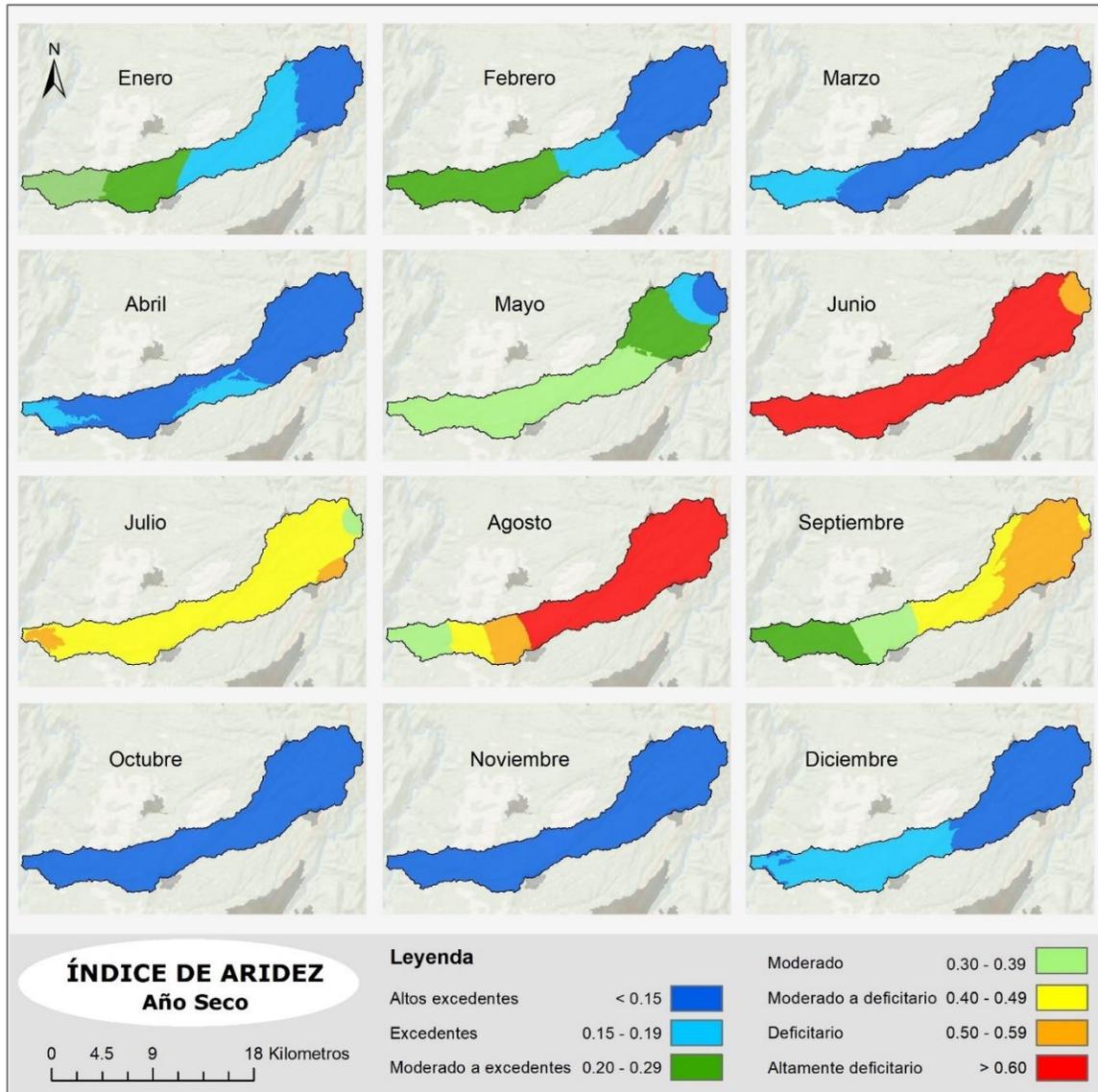


Figura 73. Índice de aridez (IA) mensual para condición hidrológica de año seco en la unidad hidrográfica del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

1.5.6.2. Índice de regulación y retención hídrica (IRH)

Este índice busca determinar la capacidad que tiene la cuenca para mantener un régimen de caudales, se determina a partir de la curva de duración de caudales medios diarios aplicando la siguiente expresión:

$$IRH = \frac{VP}{VT}$$

Donde,

IRH: Es el índice de retención y regulación hídrica

VP: Es el área bajo la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales diarios

VT: Es el área total bajo la curva de duración de caudales diarios

Los valores del índice se clasifican de acuerdo con los rangos presentados en la Tabla 71 y se calcularon por mes para cada los siete (7) tramos objeto de ordenamiento (Figura 74).

| Valor del IRH | Clasificación | Descripción |
|---------------|---------------|---|
| >0.85 | Muy Alta | Muy alta retención y regulación de humedad |
| >0.75 – 0.85 | Alta | Alta retención y regulación de humedad |
| >0.65 – 0.75 | Moderada | Media retención y regulación de humedad media |
| 0.5 – 0.65 | Baja | Baja retención y regulación de humedad |
| <0.5 | Muy Baja | Muy baja retención y regulación de humedad |

Tabla 71. Clasificación del índice de retención y regulación hídrica

Las áreas hidrográficas aferentes a los diferentes tramos presentan una baja capacidad de retención y regulación hídrica en el mes de septiembre lo cual se explica presumiblemente por una alta variabilidad de extremos de lluvia en dicho mes. En los tramos T3, T4, T6 y T7 se presenta una alta capacidad de regulación hídrica en los meses más extremos del ciclo hidrológico estacional, es decir abril-mayo y julio-agosto. Este resultado se explica en parte por la reducción de la variabilidad de la lluvia (por ser extremos del ciclo estacional) en comparación a los otros meses del año. Mientras que los tramos T1, T2 y T5 presentan una moderada capacidad de regulación para las mismas condiciones climáticas, lo cual se explica principalmente por las condiciones más escarpadas del terreno en sus áreas hidrográficas aferentes.

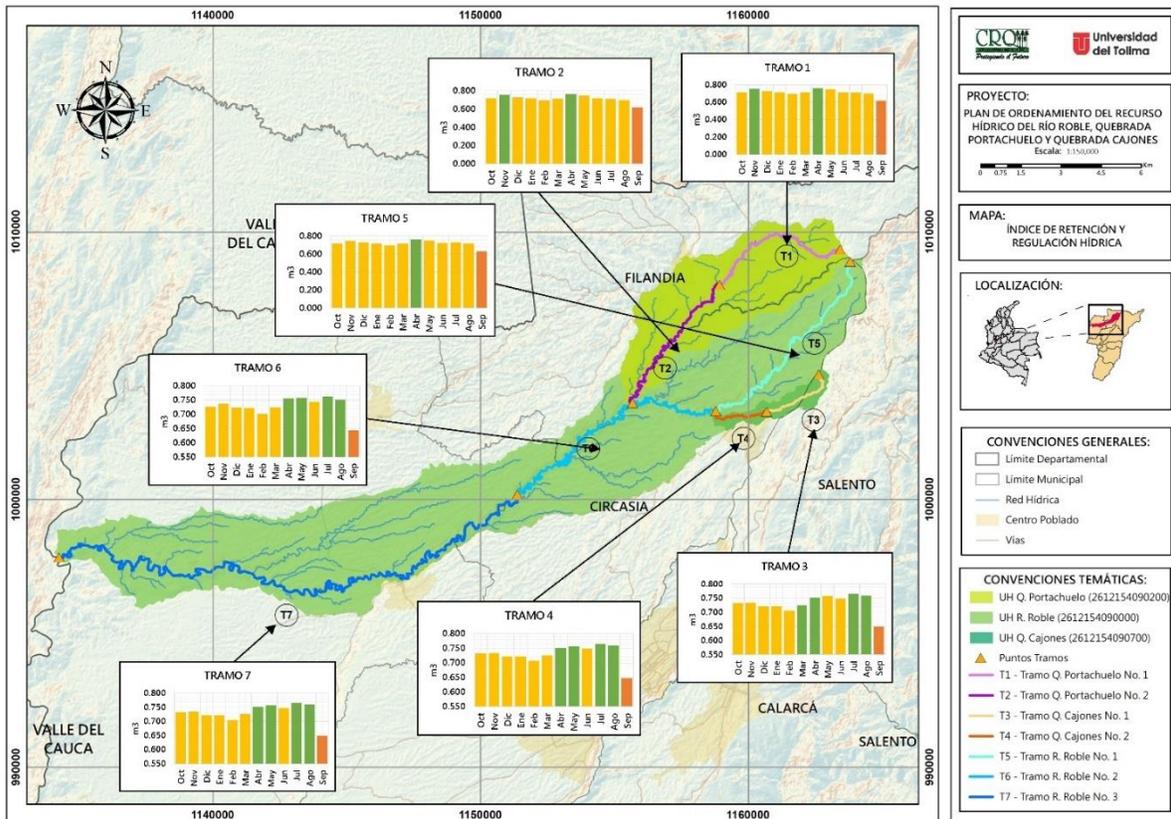


Figura 74. Índice de retención y regulación hídrica mensual en los tramos objeto de ordenamiento en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

1.5.6.3. Oferta hídrica natural y oferta hídrica disponible

La oferta hídrica natural corresponde a los caudales mensuales por año hidrológico húmedo, neutro y seco, calculados a partir de a las series temporales de caudales simuladas a escala diaria en cada tramo para el periodo entre 1985 y 2019 (Figura 75, Figura 77, Figura 78 y Figura 79).



Figura 75. Oferta hídrica natural en los tramos objeto de ordenamiento.

La oferta hídrica disponible se calculó como la diferencia entre la oferta natural en cada tramo y el caudal medio mensual del régimen de caudal ambiental calculado para cada tramo (Figura 76, Figura 80, Figura 81 y Figura 82).

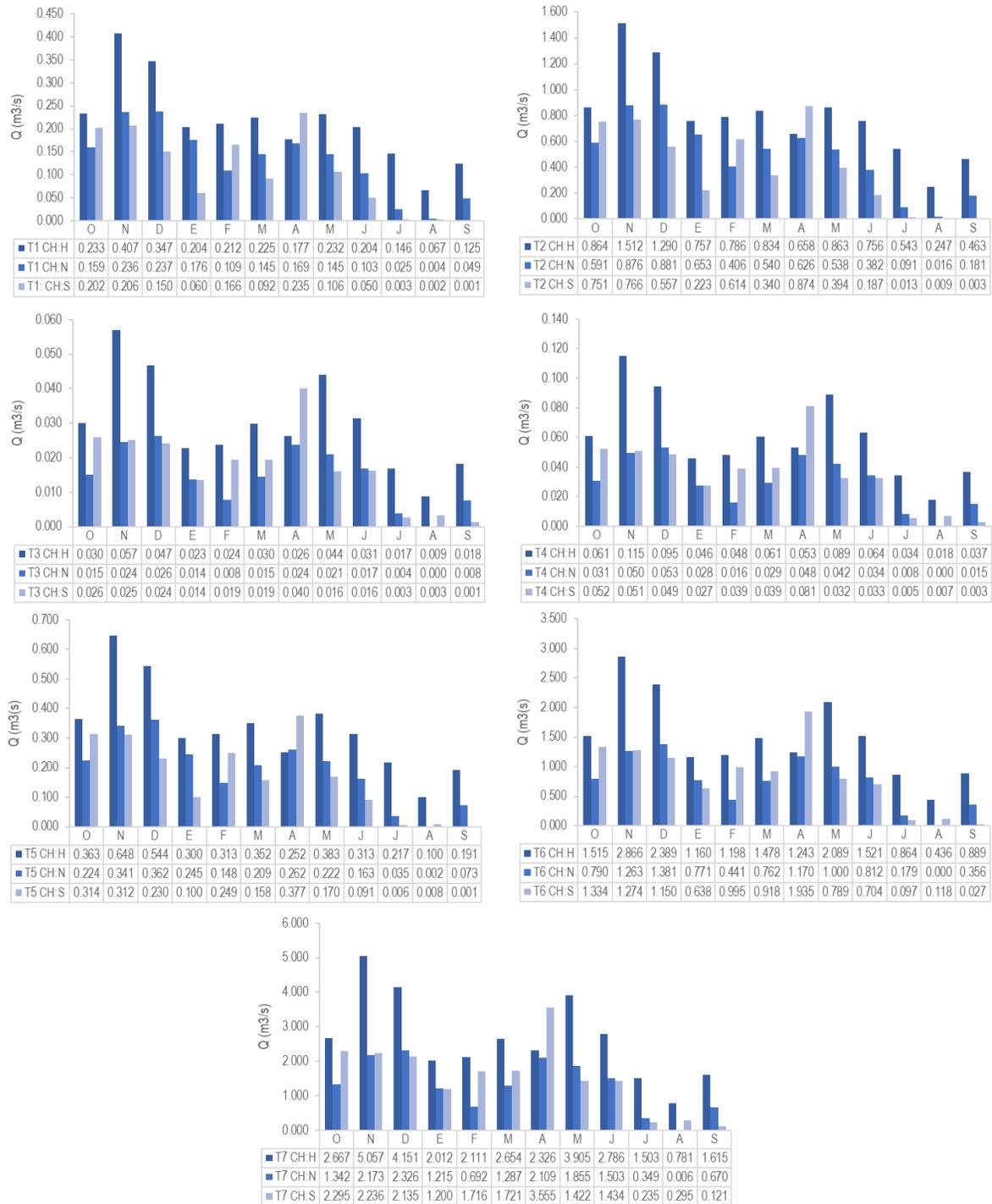


Figura 76. Oferta hídrica disponible en los tramos objeto de ordenamiento.

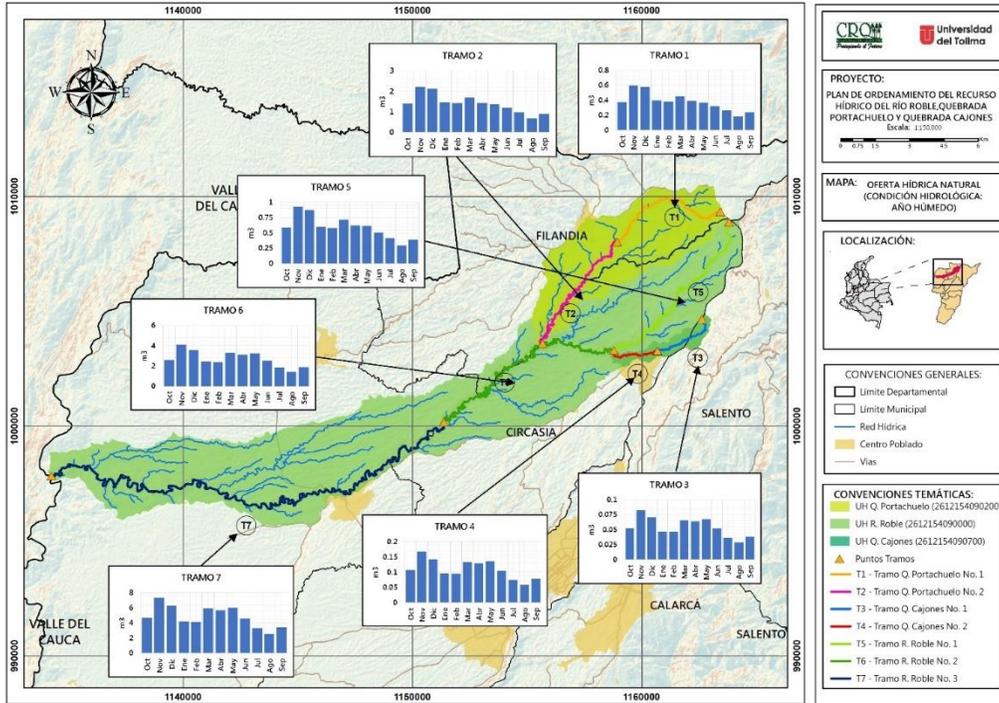


Figura 77. Oferta hídrica natural mensual en condición hidrológica de año húmedo en los tramos objeto de ordenamiento sobre las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

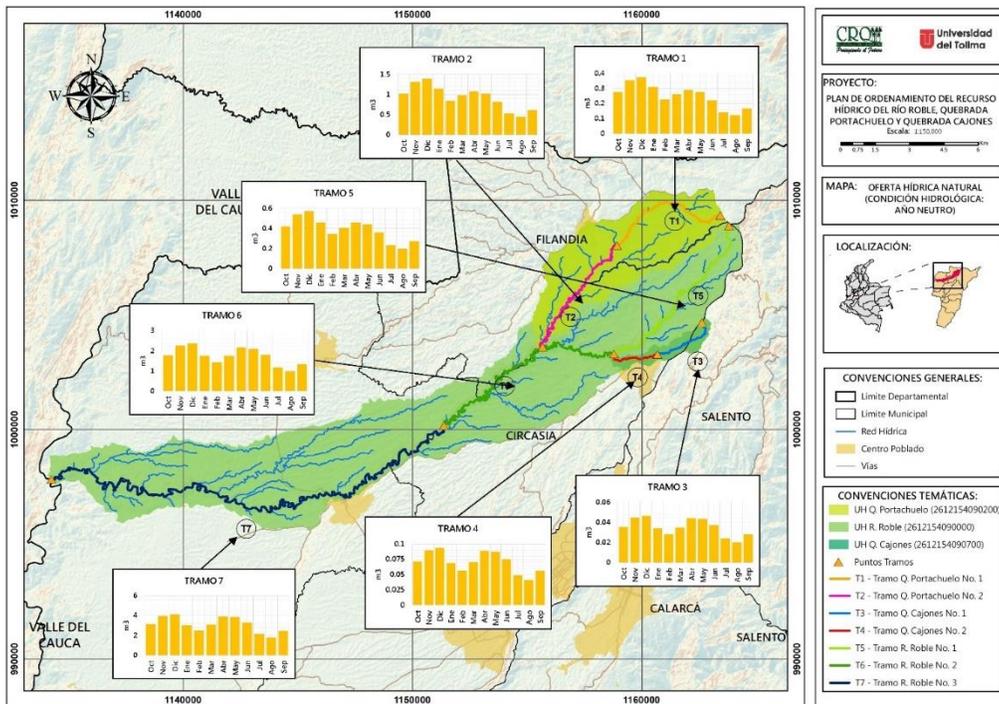


Figura 78. Oferta hídrica natural mensual en condición hidrológica de año neutro en los tramos objeto de ordenamiento sobre las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

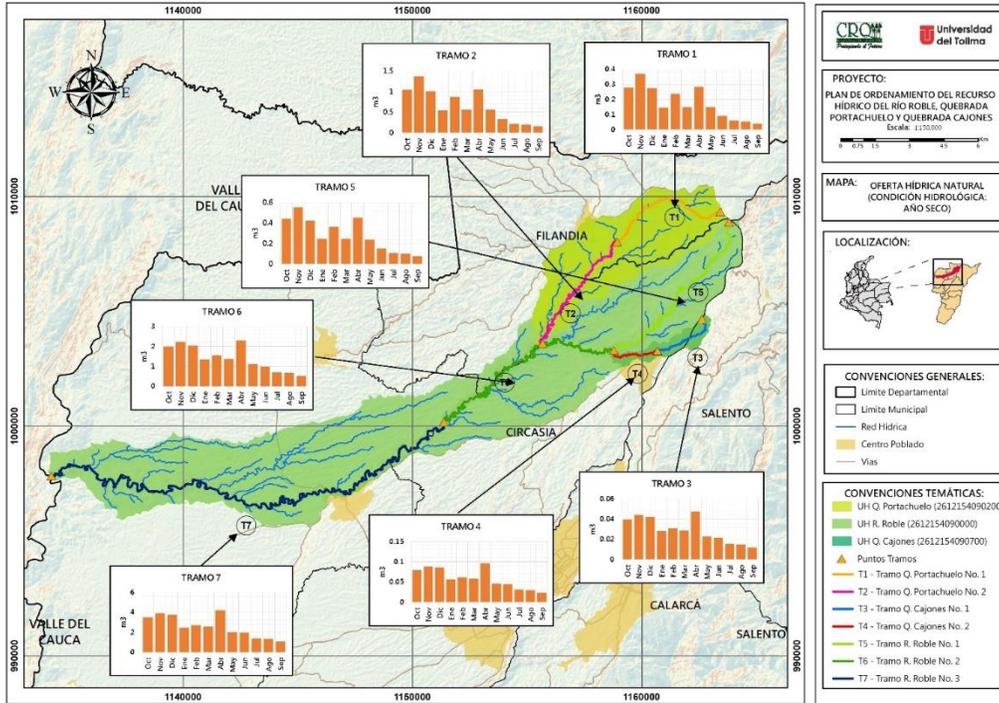


Figura 79. Oferta hídrica natural mensual en condición hidrológica de año seco en los tramos objeto de ordenamiento sobre las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

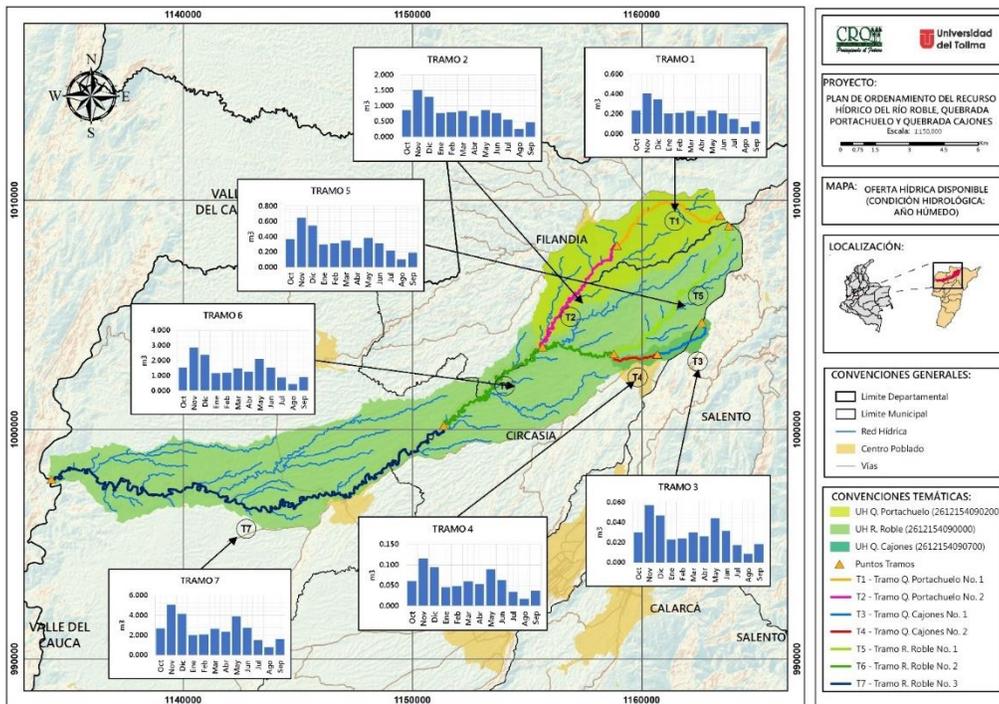


Figura 80. Oferta hídrica disponible mensual en condición hidrológica de año húmedo en los tramos objeto de ordenamiento sobre las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

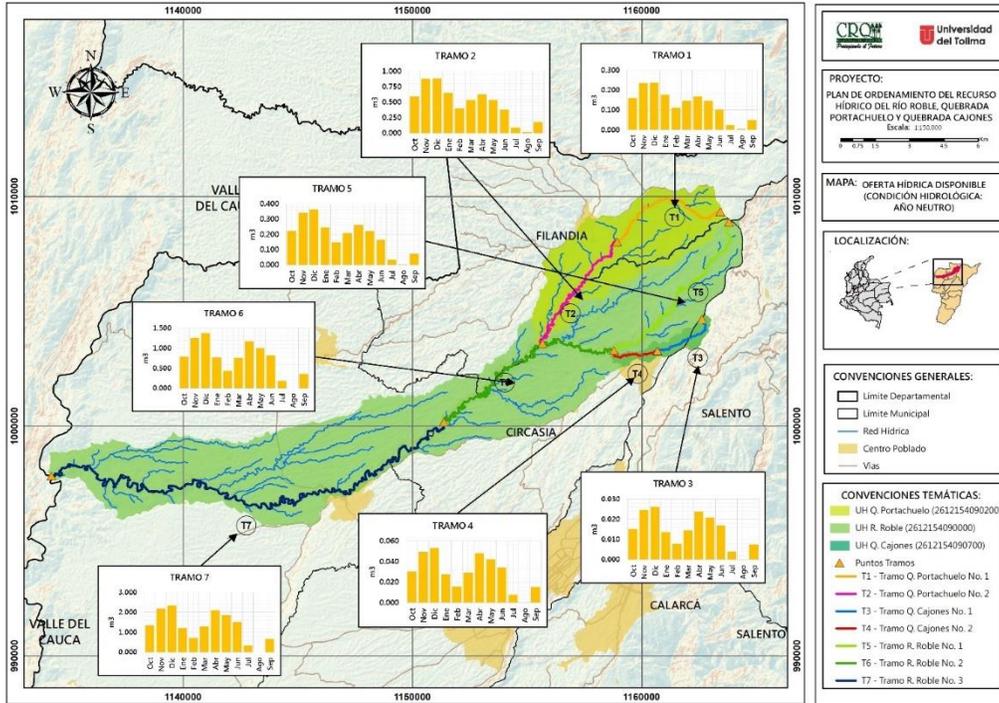


Figura 81. Oferta hídrica disponible mensual en condición hidrológica de año neutro en los tramos objeto de ordenamiento sobre las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

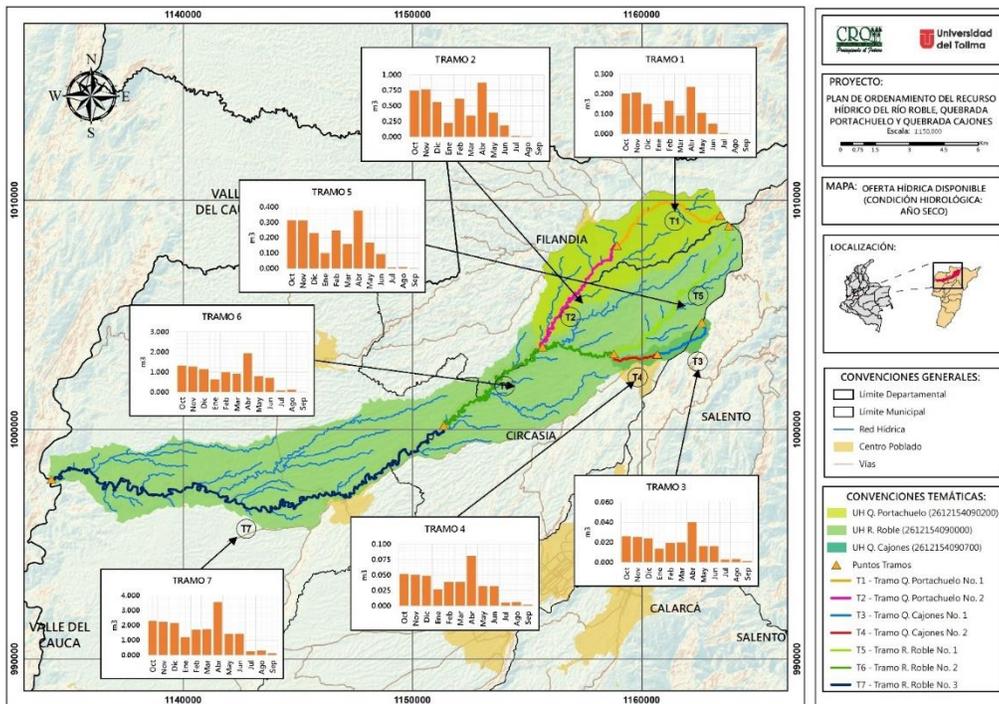


Figura 82. Oferta hídrica disponible mensual en condición hidrológica de año seco en los tramos objeto de ordenamiento sobre las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

1.6. DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL

1.6.1. Demandas para uso domestico

1.6.1.1. Proyecciones de población

La proyección de la demanda de aguas para uso doméstico en las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones se realizó a partir de la proyección del crecimiento/decrecimiento poblacional urbano y rural de los municipios que conforman dichas áreas hidrográficas. Los análisis se realizaron para la población del centro poblado principal del municipio (Cabecera) y para el resto de población de manera separada. Con base en las proyecciones de población realizadas para el periodo 2019 a 2029 se determinaron tanto las demandas domésticas como las cargas contaminantes de aguas residuales domésticas (ARD) para diez (10) determinantes de calidad del agua (sección 2).

Con el propósito de obtener cifras aproximadas a la realidad de la forma como se da el crecimiento poblacional urbano y rural para los años 2019 -2029 de los municipios de Circasia, Filandia, Montenegro, y Quimbaya, el presente estudio se apoyó en tres modelos matemáticos que simulan crecimientos con ritmos ajustados a una dinámica social y económica definida. Estos modelos generan resultados a partir de los cuatro últimos censos de población colombiana realizados por el DANE en los años 1985,1993, 2005 y 2018.

| Ciudad | Censo 1985 | | | Censo 1993 | | | Censo 2005 | | | Censo 2018 | | |
|------------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| | Cabecera | Resto | Total |
| Circasia | 11888 | 7192 | 19080 | 14414 | 6587 | 21001 | 19543 | 7162 | 26705 | 20495 | 6640 | 27135 |
| Filandia | 4030 | 7064 | 11094 | 4868 | 6466 | 11334 | 6313 | 6197 | 12510 | 6455 | 4890 | 11345 |
| Montenegro | 23048 | 7455 | 30503 | 26148 | 6472 | 32620 | 31252 | 7462 | 38714 | 29741 | 5583 | 35324 |
| Quimbaya | 21184 | 9284 | 30468 | 22563 | 9286 | 31849 | 26433 | 6495 | 32928 | 23877 | 5240 | 29117 |

Tabla 72. Población de los municipios de Circasia, Filandia, Montenegro y Quimbaya

Los métodos de cálculo empleados para la proyección de población en cada municipio fueron los métodos matemáticos aritmético, geométrico y exponencial. Estos fueron seleccionados de acuerdo con los criterios establecidos por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Colombia, 2010; Colombia, 2017), dichos criterios se encuentran relacionados con el número de habitantes del área de estudio. A continuación, se describe cada uno de los métodos mencionados anteriormente:

1.6.1.1.1. Modelos de proyección de población implementados

1.6.1.1.1.1. Método Aritmético

Este método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La población proyectada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

Donde,

P_f : Población (hab) proyectada para el año t
 P_{uc} : Población (hab) del último año censado
 P_{ci} : Población (hab) del censo inicial.
 t_f : Año al cual se quiere proyectar
 t_{ci} : Año del censo inicial
 t_{uc} : Último año censado

1.6.1.1.1.2. Método Geométrico

Este método es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La población proyectada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_f = P_{uc} (1+r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal la cual se calcula así:

$$r = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{1/m} - 1$$

Donde,

P_f : Población (hab) proyectada para el año t
 P_{uc} : Población (hab) del último año censado
 P_{ci} : Población (hab) del censo inicial.
 t_f : Año al cual se quiere proyectar
 t_{ci} : Año del censo inicial
 t_{uc} : Último año censado
 r: Tasa de crecimiento

1.6.1.1.1.3. Método Exponencial

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión, es un método que tiene más memoria de la tasa de crecimiento/decrecimiento en comparación con los dos anteriores. Su expresión es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \times (T_f - T_{ci})}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde,

P_f : Población (hab) proyectada para el año t

P_{ci} : Población (hab) del censo inicial.
 t_f : Año al cual se quiere proyectar
 t_{ci} : Año del censo inicial
 P_{cp} : Población (hab) censo posterior
 P_{ca} : Población (hab) censo anterior
 t_{cp} : Año censo posterior
 t_{ca} : Año censo anterior

1.6.1.1.2. Selección del modelo y cálculo de proyecciones de la población

El modelo seleccionado fue que mostró un mejor ajuste en comparación a los dos últimos censos (2005 y 2018) en cada caso, para evaluar dicho ajuste se utilizó la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE) aplicando la siguiente ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pp - Pc)^2}{N}}$$

Donde, Pp: Población proyectada. Pc: Población censada. N: número de censos. Luego de aplicar estos métodos matemáticos se pudo establecer que el modelo que presento un mejor ajuste para la población de los 4 municipios fue el exponencial, como se puede observar en Figura 83, Figura 84, Figura 85 y Figura 86. La estimación de la población flotante, entendida para este cálculo como población de visitantes nacionales y extranjeros, que equivale a 1 ' 397.585 personas/año para el departamento del Quindío, con una estancia permanente promedio de 2 días según el registro histórico de CITUR (Cámara de Comercio de Armenia y el Quindío, 2018). La población flotante anual por municipio se estableció teniendo en cuenta el porcentaje de turistas que pernotan en cada municipio con relación al total de visitantes que pernotan en el departamento.

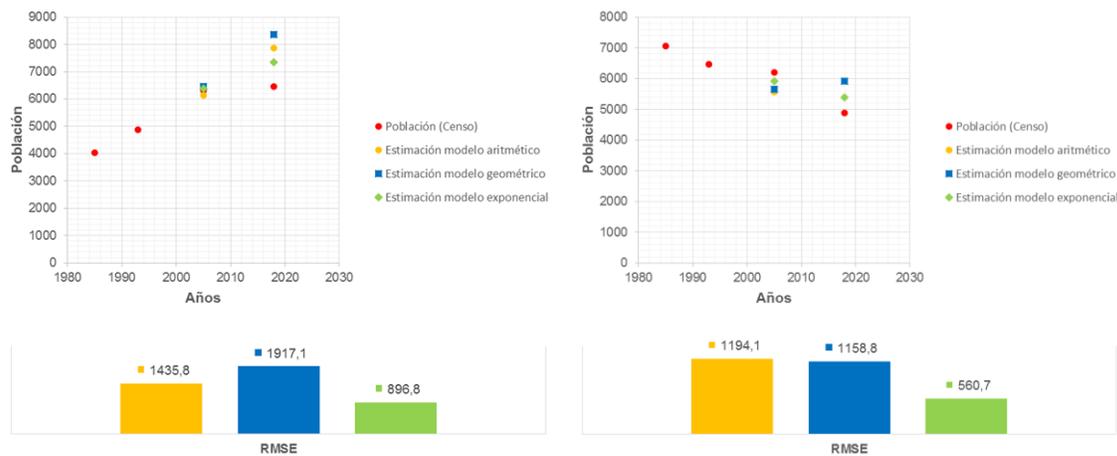


Figura 83. Ajuste de los modelos de proyección de la población en Filandia (Izquierda: cabecera, Derecha: resto)

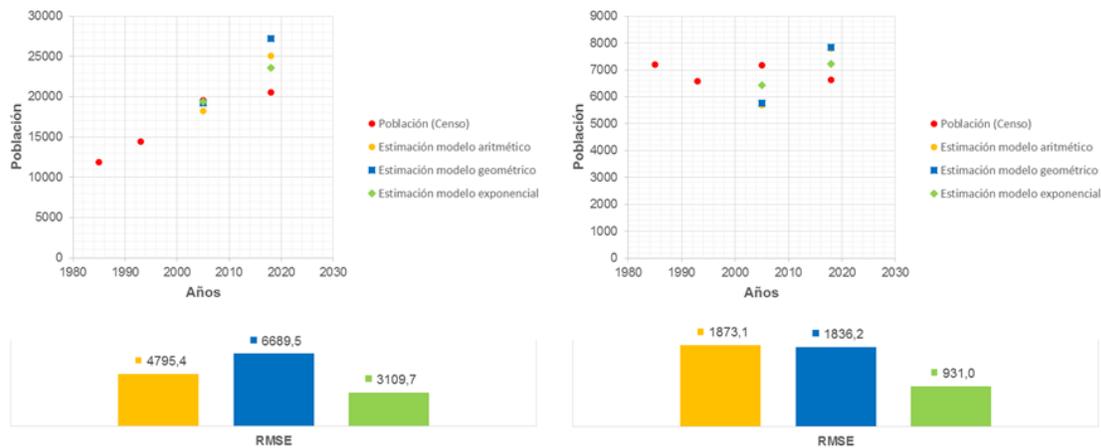


Figura 84. Ajuste de los modelos de proyección de la población en Circasia (Izquierda: cabecera, Derecha: resto)

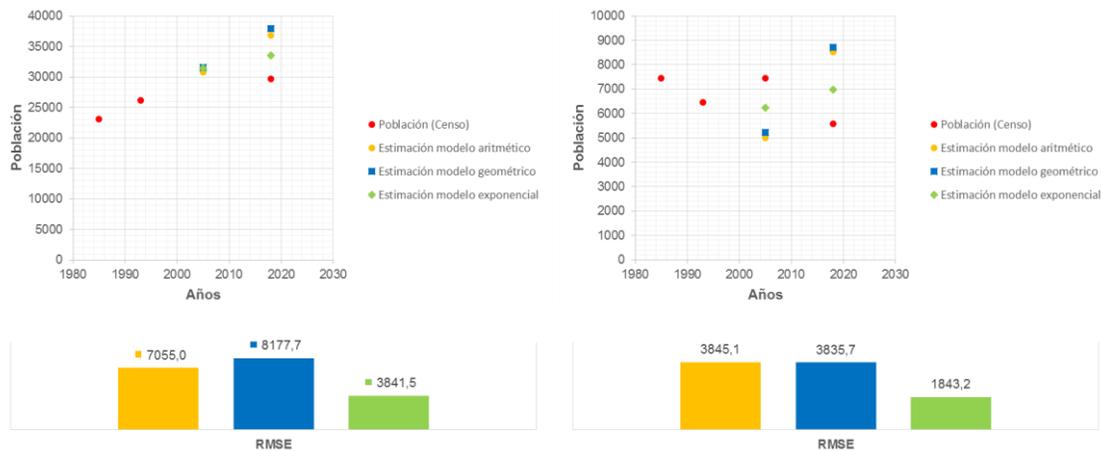


Figura 85. Ajuste de los modelos de proyección de la población en Montenegro (Izquierda: cabecera, Derecha: resto)

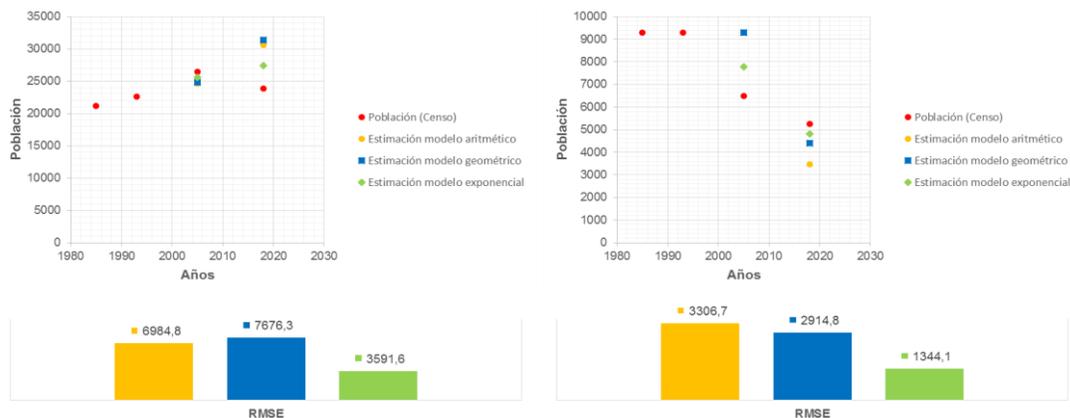


Figura 86. Ajuste de los modelos de proyección de la población en Quimbaya (Izquierda: cabecera, Derecha: resto)

1.6.1.2. *Cálculo de demanda doméstica por municipio*

El cálculo de la demanda doméstica de los municipios de Circasia, Filandia, Montenegro y Quimbaya, se realizó para un horizonte de 10 años, según la metodología indicada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Colombia, 2010; Colombia, 2017). Como se ha mencionado, se utilizaron los censos oficiales de los años 1985, 1993, 2005 y 2018 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (**Tabla 72**).

Para el cálculo, se partió de la estimación de la demanda neta siguiendo los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Colombia, 2010; Colombia, 2017). Dentro del proceso, se consideró el índice de agua no contabilizada (IANC) de cada acueducto de acuerdo con la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2014, 2015a, 2015b), con el fin de reconocer las pérdidas técnicas dentro del proceso de estimación de la demanda actual y su proyección, lo cual condujo al cálculo del Caudal Medio Diario (Qmd), Caudal Máximo Diario (QMD) y Caudal Máximo Horario (QMH), tanto en las cabeceras municipales como en el sector rural de los municipios analizados.

La proyección de la demanda hídrica se realizó a partir de la proyección del crecimiento poblacional urbano y rural de cada uno de los municipios para los años 2019 y 2029. Se definieron cuatro escenarios de proyección: (i) demanda hídrica actual y futura de uso doméstico en la zona urbana de cada Municipio, sin considerar la población flotante, (ii) demanda hídrica actual y futura de uso doméstico en la zona rural de cada Municipio, sin considerar la población flotante, (iii) demanda hídrica actual y futura de uso doméstico en la zona urbana de cada Municipio, considerando la población flotante, y (iv) demanda hídrica actual y futura de uso doméstico en la zona rural de cada Municipio, considerando la población flotante.

Para todos los escenarios se asumió el índice de agua no contabilizada (IANC) real del sistema de abastecimiento y el IANC máximo permisible por la normativa vigente (Minvivienda, resolución 330 de junio de 2017).

A continuación, se presentan los resultados de la estimación de la demanda doméstica para el escenario (i) (**Tabla 73** y **Tabla 74**), escenario (ii) (**Tabla 75** y **Tabla 76**), escenario (iii) (**Tabla 77** y **Tabla 78**), y escenario (iv) (**Tabla 79** y **Tabla 80**).

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2019 | 20794,62 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 206,35 | 49,66 | 64,56 | 74,50 |
| Filandia | 2019 | 6530,87 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158,54 | 11,98 | 15,58 | 17,98 |
| Montenegro | 2019 | 29905,73 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209,68 | 72,58 | 94,35 | 108,86 |
| Quimbaya | 2019 | 23941,18 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183,10 | 50,74 | 65,96 | 76,10 |

Tabla 73. Demandas hídricas actuales de uso doméstico para la zona urbana de cada municipio, sin población flotante (escenario i)

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2029 | 24042,63 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 206,35 | 57,42 | 74,65 | 86,13 |
| Filandia | 2029 | 7340,45 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158,54 | 13,47 | 17,51 | 20,20 |
| Montenegro | 2029 | 31604,07 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209,68 | 76,70 | 99,71 | 115,05 |
| Quimbaya | 2029 | 24592,58 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183,10 | 52,12 | 67,75 | 78,17 |

Tabla 74. Demandas hídricas futuras de uso doméstico para la zona urbana de cada municipio, sin población flotante (escenario i)

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2019 | 6643,83 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 206,35 | 15,87 | 20,63 | 23,80 |
| Filandia | 2019 | 4837,08 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158,54 | 8,88 | 11,54 | 13,31 |
| Montenegro | 2019 | 5553,89 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209,68 | 13,48 | 17,52 | 20,22 |
| Quimbaya | 2019 | 5120,07 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183,10 | 10,85 | 14,11 | 16,28 |

Tabla 75. Demandas hídricas actuales de uso doméstico para la zona rural de cada municipio, sin población flotante (escenario ii)

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2029 | 6682,24 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 206,35 | 15,96 | 20,75 | 23,94 |
| Filandia | 2029 | 4338,38 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158,54 | 7,96 | 10,35 | 11,94 |
| Montenegro | 2029 | 5271,06 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209,68 | 12,79 | 16,63 | 19,19 |
| Quimbaya | 2029 | 4061,85 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183,10 | 8,61 | 11,19 | 12,91 |

Tabla 76. Demandas hídricas futuras de uso doméstico para la zona rural de cada municipio, sin población flotante (escenario ii)

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2019 | 22184,44 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 206,35 | 52,98 | 68,88 | 79,47 |
| Filandia | 2019 | 8938,99 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158,54 | 16,40 | 21,32 | 24,60 |
| Montenegro | 2019 | 57966,05 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209,68 | 140,67 | 182,88 | 211,01 |
| Quimbaya | 2019 | 43581,17 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183,10 | 92,36 | 120,06 | 138,54 |

Tabla 77.. Demandas hídricas actuales de uso doméstico para la zona urbana de cada municipio, con población flotante (escenario iii)

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2029 | 25486,27 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 206,35 | 60,87 | 79,13 | 91,30 |
| Filandia | 2029 | 9841,80 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158,54 | 18,06 | 23,48 | 27,09 |
| Montenegro | 2029 | 60750,88 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209,68 | 147,43 | 191,66 | 221,15 |
| Quimbaya | 2029 | 44993,03 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183,10 | 95,35 | 123,95 | 143,02 |

Tabla 78.. Demandas hídricas futuras de uso doméstico para la zona urbana de cada municipio, con población flotante (escenario iii)

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2019 | 7087,87 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 206,35 | 16,93 | 22,01 | 25,39 |
| Filandia | 2019 | 6620,65 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158,54 | 12,15 | 15,79 | 18,22 |
| Montenegro | 2019 | 10765,07 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209,68 | 26,12 | 33,96 | 39,19 |
| Quimbaya | 2019 | 9320,29 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183,10 | 19,75 | 25,68 | 29,63 |

Tabla 79. Demandas hídricas actuales de uso doméstico para la zona rural de cada municipio, con población flotante (escenario iv)

| Municipio | Año de proyección | Población proyectada | Método de Proyección | Dotación neta (l/habitante/día) | Pérdidas del sistema (IANC) (%) | Dotación bruta | Caudal medio diario (LPS) | Caudal máximo diario (LPS) | Caudal máximo horario (LPS) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Circasia | 2029 | 7143.48 | EXPONENCIAL | 130 | 37 | 20635 | 17.06 | 22.18 | 25.59 |
| Filandia | 2029 | 6191.01 | EXPONENCIAL | 130 | 18 | 158.54 | 11.36 | 14.77 | 17.04 |
| Montenegro | 2029 | 10684.01 | EXPONENCIAL | 130 | 38 | 209.68 | 25.93 | 33,71 | 38.89 |
| Quimbaya | 2029 | 8424.70 | EXPONENCIAL | 130 | 29 | 183.10 | 17.85 | 23.21 | 26.78 |

Tabla 80. Demandas hídricas futuras de uso doméstico para la zona rural de cada municipio, con población flotante (escenario iv)

1.6.1.3. *Proyección de la demanda doméstica total en el escenario (I)*

De acuerdo con el índice de agua no contabilizada (IANC) actual de todos los municipios involucrados en el ordenamiento del recurso hídrico del río Roble, el sistema de abastecimiento urbano de Filandia es el único que reporta valores iguales o inferiores a 25%, tal como se establece en la Resolución 330 del MinVivienda (2017). Pese a esto, la mayor demanda hídrica doméstica, sin considerar la población flotante, se presenta en la cabecera municipal de Montenegro (72.58 L/s), seguida por Quimbaya (50.74 L/s) y Circasia (49.66 L/s), con una dotación de consumo doméstico promedio de 130 litros diarios por habitante (Tabla 81 y Figura

87). Se estima que para el año 2029, los municipios de Montenegro, Quimbaya, Circasia y Filandia presentarán un incremento en la demanda hídrica urbana de 7,76 L/s, 1.49 L/s, 4.12 L/s y 1.38 L/s respectivamente, que al conservar o reducir el actual IANC al 25%, se podrían convertir en valores de 6.51 L/s, 1.49 L/s, 3.4 L/s y 1.31 L/s .

| Municipio | IANC (%) Actual | Demanda (2019) | Demanda (2029) | IANC (%) Max res. 330-2017 MinVivienda | Demanda (2019) | Demanda (2029) |
|------------|-----------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| Circasia | 37 | 49.66 | 57.42 | 25 | 41.72 | 48.23 |
| Filandia | 18 | 11.98 | 13.47 | 18 | 11.98 | 13.47 |
| Montenegro | 38 | 72.58 | 76.70 | 25 | 60.00 | 63.40 |
| Quimbaya | 29 | 50.74 | 52.12 | 25 | 48.03 | 49.34 |

Tabla 81. Demanda hídrica total para uso doméstico de cada una de las cabeceras municipales de la unidad hidrográfica río Roble del departamento del Quindío, sin considerar la población flotante

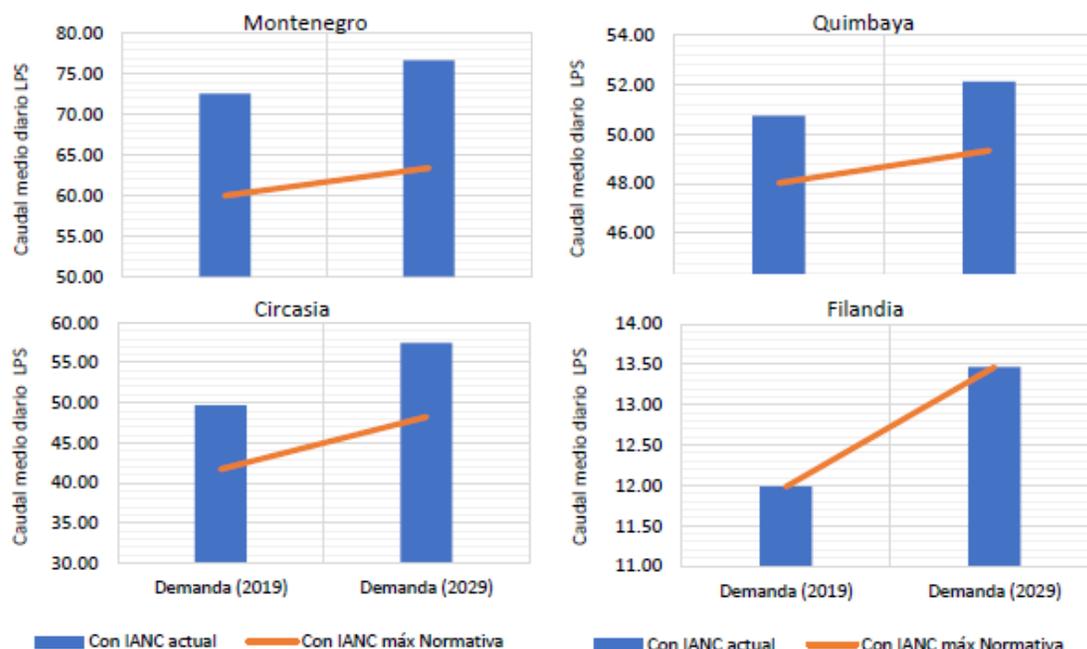


Figura 87. Proyección de la demanda doméstica total de cada una de las cabeceras municipales de la unidad hidrográfica río Roble, sin considerar la población flotante

1.6.1.4. Proyección de la demanda doméstica total en el escenario (ii)

Considerando el IANC actual del sistema de abastecimiento de agua, actualmente la mayor demanda hídrica doméstica en los centros rurales (sin población flotante), se presenta en los municipios de Circasia, Montenegro y Quimbaya, con caudales de 15.87 L/s, 13.48 L/s y 10.85 L/s respectivamente (**Tabla 82**). Se estima que para el año 2029 los municipios de Filandia,

Montenegro y Quimbaya presentarán reducciones en la demanda hídrica doméstica de 0.92 L/s, 0.69 L/s, y 2,24 L/s correspondientemente.

Por otro lado, se estima que al mantener o reducir el IANC actual al 25%, los municipios en los que se proyecta un mayor crecimiento en la demanda de agua son: Circasia (incremento de 0.08 L/s) y Montenegro (incremento de 0.57 L/s). En la **Figura 88** se puede observar la distribución de la demanda hídrica rural para cada uno de los municipios, asumiendo el IANC actual del sistema de abastecimiento y el IANC máximo permisible por la normativa vigente.

| Municipio | IANC (%) Actual | Demanda (2019) | Demanda (2029) | IANC (%) Max res. 330-2017 MinVivienda | Demanda (2019) | Demanda (2029) |
|------------|-----------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| Circasia | 37 | 15,87 | 15,96 | 25 | 13,33 | 13,41 |
| Filandia | 18 | 8,88 | 7,96 | 18 | 8,88 | 7,96 |
| Montenegro | 38 | 13,48 | 12,79 | 25 | 11,14 | 10,57 |
| Quimbaya | 29 | 10,85 | 8,61 | 25 | 10,27 | 8,15 |

Tabla 82. Demanda hídrica total para uso doméstico de los centros rurales por municipio de la unidad hidrográfica río Roble, sin considerar la población flotante

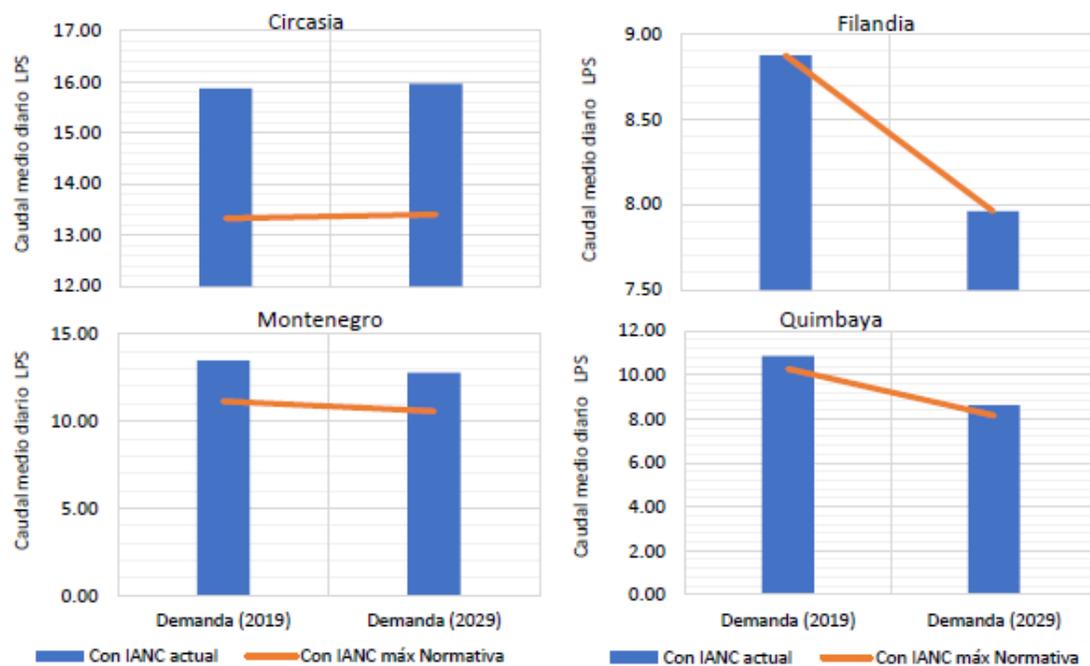


Figura 88. Proyección de la demanda doméstica total de los centros rurales por municipio de la unidad hidrográfica río Roble, sin considerar la población flotante

1.6.1.5. Proyección de la demanda doméstica total en el escenario (iii)

La demanda doméstica urbana considerando la población flotante, con el IANC actual, es superior en los municipios de Montenegro (140.67) y Quimbaya (92.369) (**Tabla 83**), para los cuales se estiman incrementos al 2029 bajo el mismo índice, de 6.76 L/s y 2.99 L/s, y con un IANC al 25% el incremento estimado es de 11.82 l/s y 2.83 L/s, sin embargo, bajo las mismas condiciones, para el municipio de Circasia con una demanda actual de 52.98 L/s, y el IANC actual se estima al 2029 un incremento de 7.89 L/s y con un IACN al 25% el incremento estimado es de 6.68 L/s. A continuación, la **Figura 89**, presenta la distribución de la demanda hídrica urbana para cada uno de los municipios, asumiendo el IANC actual del sistema de abastecimiento y el IANC máximo permisible por la normativa vigente.

| Municipio | IANC (%) Actual | Demanda (2019) | Demanda (2029) | IANC (%) Max res. 330-2017 MinVivienda | Demanda (2019) | Demanda (2029) |
|------------|-----------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| Circasia | 37 | 52.98 | 60.87 | 25 | 44.51 | 51.13 |
| Filandia | 18 | 16.40 | 18.06 | 18 | 16.40 | 18.06 |
| Montenegro | 38 | 140.67 | 147.43 | 25 | 116.29 | 121.88 |
| Quimbaya | 29 | 92.36 | 95.35 | 25 | 87.43 | 90.26 |

Tabla 83. Demanda hídrica total para uso doméstico de cada una de las cabeceras municipales de la unidad hidrográfica río Roble, considerando la población flotante

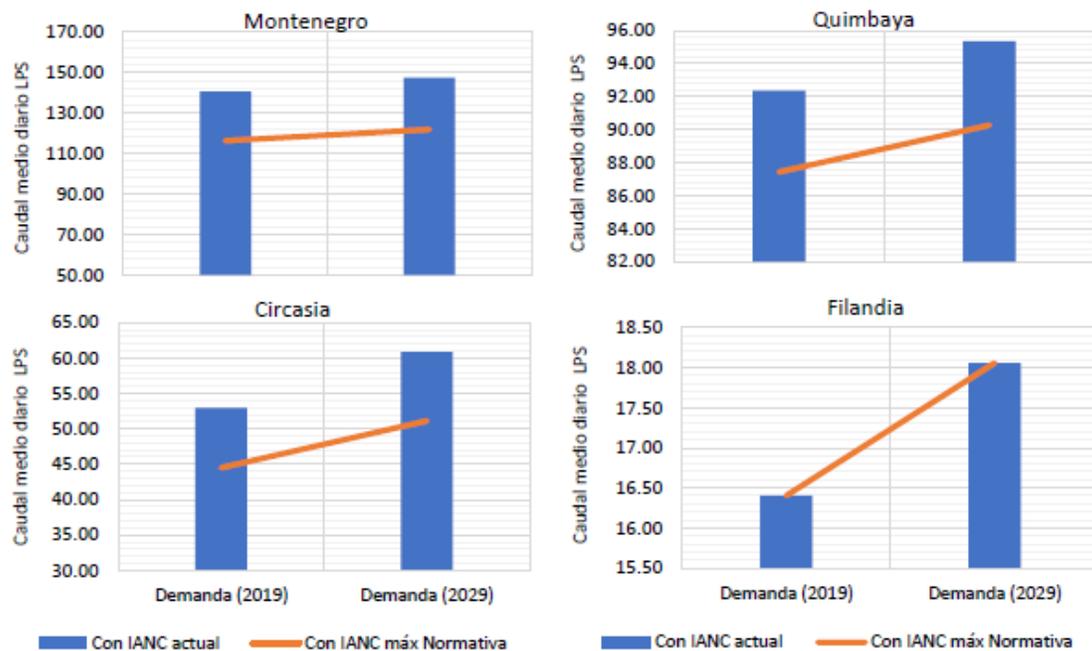


Figura 89. Proyección de la demanda doméstica total de cada una de las cabeceras municipales de la unidad hidrográfica río Roble, considerando la población flotante

1.6.1.6. Proyección de la demanda doméstica total en el escenario (iv)

El municipio en el cual se proyecta incremento en la demanda doméstica rural con el IANC actual y el IANC permisible (con población flotante), es Circasia, con incrementos de 0.13 L/s y 0.11 L/s respectivamente. Por el contrario, para los municipios de Filandia, Montenegro y Quimbaya se esperan reducciones con el IANC actual de 0.79 L/s, 0.19 L/s, y 1,90 L/s, respectivamente y con el IANC permisible de 0.79 L/s, 0.17 L/s, y 1.80 L/s, respectivamente. En la Tabla 84 **Figura 90** se puede observar la distribución de la demanda hídrica para cada uno de los municipios en este escenario, asumiendo el IANC actual del sistema de abastecimiento y el IANC máximo permisible por la normativa vigente.

| Municipio | IANC (%) Actual | Demanda (2019) | Demanda (2029) | IANC (%) Max res. 330-2017 MinVivienda | Demanda (2019) | Demanda (2029) |
|------------|-----------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| Circasia | 37 | 16.93 | 17.06 | 25 | 14.22 | 14.33 |
| Filandia | 18 | 12.15 | 11.36 | 18 | 12.15 | 11.36 |
| Montenegro | 38 | 26.12 | 25.93 | 25 | 21.60 | 21.43 |
| Quimbaya | 29 | 19.75 | 17.85 | 25 | 18.70 | 16.90 |

Tabla 84. Demanda hídrica total para uso doméstico de los centros rurales por municipio de la unidad hidrográfica río Roble, considerando la población flotante

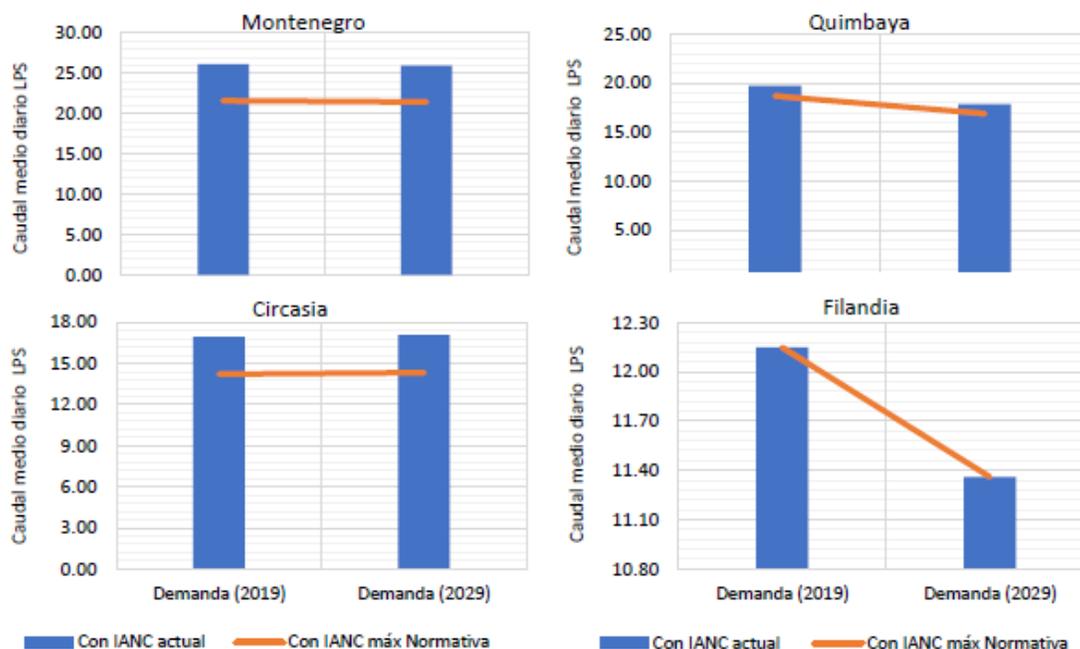


Figura 90. Proyección de la demanda doméstica total de los centros rurales por municipio del de la unidad hidrográfica río Roble, considerando la población flotante

Para todos los escenarios anteriores es necesario que los municipios de Circasia, Montenegro y Quimbaya realicen inversiones para reducir sus pérdidas en redes y alcanzar un IANC máximo del 25%, tal como lo indica el RAS (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017), lo cual

contribuirá a la sostenibilidad de la demanda hídrica en función de la variación de la potencial oferta en condiciones de variabilidad climática y el crecimiento poblacional proyectado.

1.6.2. Demandas para Uso Pecuario

La demanda de uso pecuario hace referencia al recurso hídrico destinado para la cría, el levante, engorde beneficio y sacrificio de bovinos, porcinos, caprinos, ovinos y aves asociados con producción de carne, huevos, lana, leche y pieles (IDEAM, 2010). El cálculo de esta demanda se basó en la información histórica y actual reportada en los censos del Instituto Agropecuario (ICA) realizados para cada una de las especies mencionadas anteriormente ([anexo 1](#)).

A partir de los censos recopilados, se generó una proyección bajo los modelos matemáticos expuestos en la demanda doméstica y se seleccionó el que presento mejor ajuste. Posteriormente estas proyecciones fueron multiplicadas por los módulos de consumo ([tabla 6](#)) establecidos en el Estudio Regional del Agua del departamento del Quindío, para estimar la demanda pecuaria para los municipios Circasia, Filandia y Montenegro.

| Especie | Consumo (L/Dia/Animal) |
|-----------|------------------------|
| Bovinos | 86.4 |
| Porcinos | 25.92 |
| Aves | 0.2 |
| Ovinos | 17.28 |
| Caprinos | 15 |
| Equinos | 43.2 |
| Bufalinos | 86.4 |

Tabla 85. Módulos de consumo por especie.

Las demandas por especie pecuaria para cada año de proyección se encuentran recopiladas en el anexo 2. En la [tabla 7](#) se encuentra sintetizada la demanda pecuaria para cada municipio mencionado anteriormente.

| Municipio | Demanda (LPD) 2019 | Demanda (LPS) 2019 | Demanda (LPD) 2030 | Demanda (LPS) 2030 |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Circasia | 2032908 | 23 | 1962965 | 22 |
| Filandia | 1142637 | 13 | 3560183 | 41 |
| Montenegro | 1042659 | 12 | 1660365 | 18 |

Tabla 86. Demanda pecuaria por municipio (2019-2030).

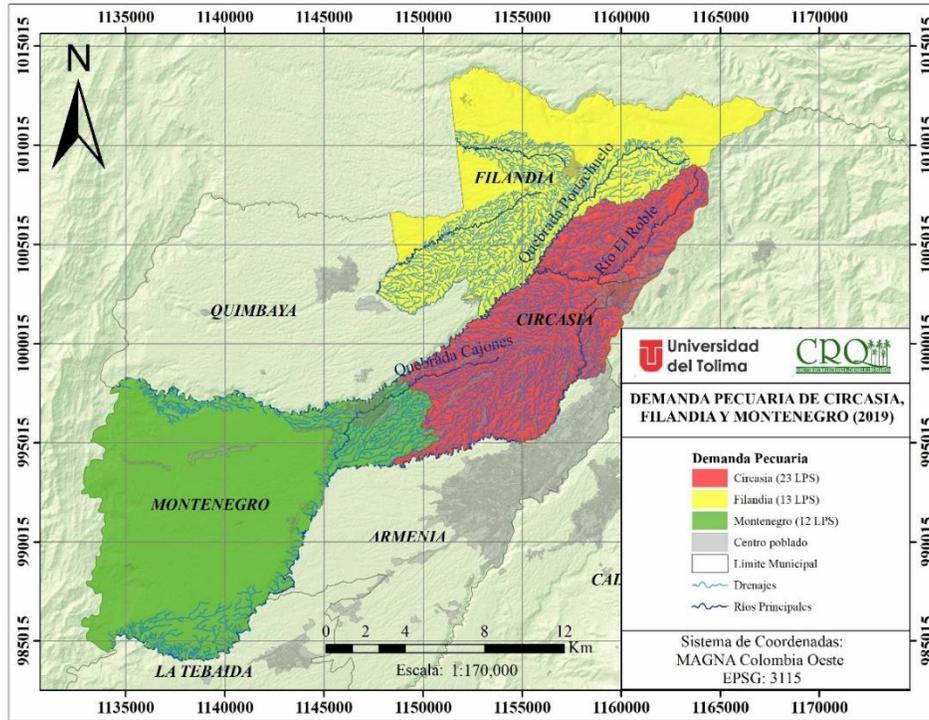


Figura 91. Especialización de la demanda pecuaria 2019.

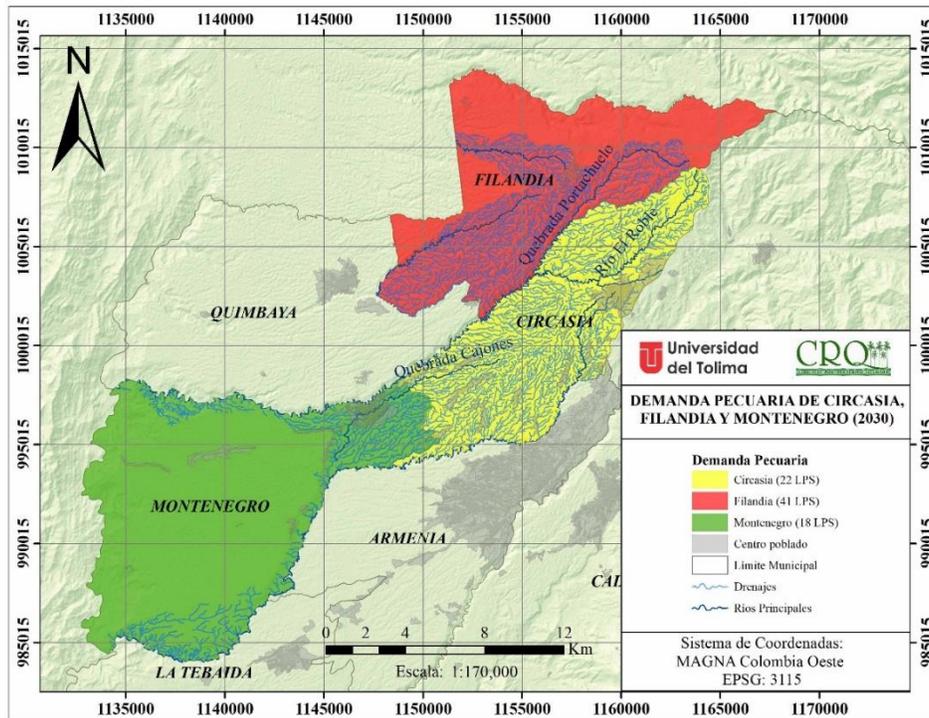


Figura 92. Especialización de la demanda pecuaria 2030.

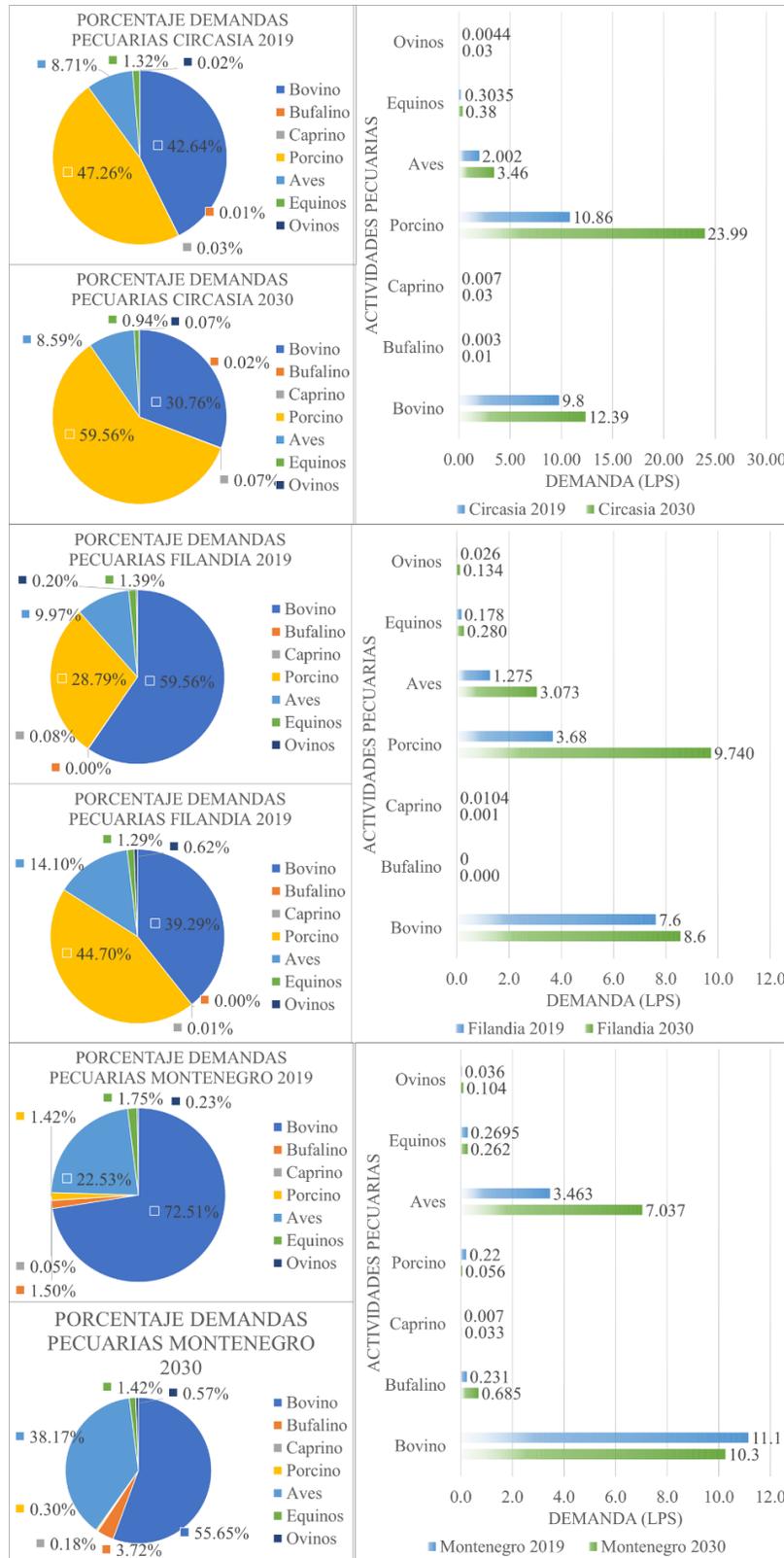


Figura 93. Distribución de la demanda pecuaria en los municipios Circasia, Filandia y Montenegro.

1.6.3. Demandas para Uso Industrial

Esta demanda tiene como fin establecer la cantidad de recurso hídrico empleada en procesos manufactureros relacionados con la extracción minero-energética, el procesamiento de medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares, elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.

La estimación de la demanda industrial se estimó a partir de los datos históricos reportados por la CRQ en el Registro Único Ambiental del sector manufacturero ([tabla 8](#)) y las concesiones vigentes otorgadas para el desarrollo de actividades industriales por parte de la CRQ, la proyección de la demanda se hizo a partir del análisis de tendencias con ajuste de mínimos cuadrados.

| Año | Demanda Circasia (LPS) | Demanda Montenegro (LPS) |
|------|------------------------|--------------------------|
| 2009 | 0 | 0.011574074 |
| 2010 | 0 | 0.012113141 |
| 2015 | 0.021087012 | 0 |
| 2016 | 0.020769914 | 0 |
| 2017 | 0.019311263 | 0.006341958 |
| 2018 | 0.020262557 | 0.012937595 |

Tabla 87. Demanda hídrica histórica del sector manufacturero en los municipios de Circasia y Montenegro.

El municipio de Filandia no cuenta actualmente con concesiones de recurso hídrico para actividades industriales, razón por la cual no se presenta demanda hídrica para este sector económico en dicho municipio. Las proyecciones de los años comprendidos entre 2019 a 2030 para este uso se encuentran adjuntas en el [anexo 3](#).

| Municipio | Año 2019 LPS | Año 2030 LPS |
|--------------|--------------|--------------|
| Circasia | 0.03 | 0.06 |
| Montenegro | 0.004 | 0 |
| Total | 0.03 | 0.06 |

Tabla 88. Demanda industrial para los municipios de Circasia y Montenegro (2019-2030)

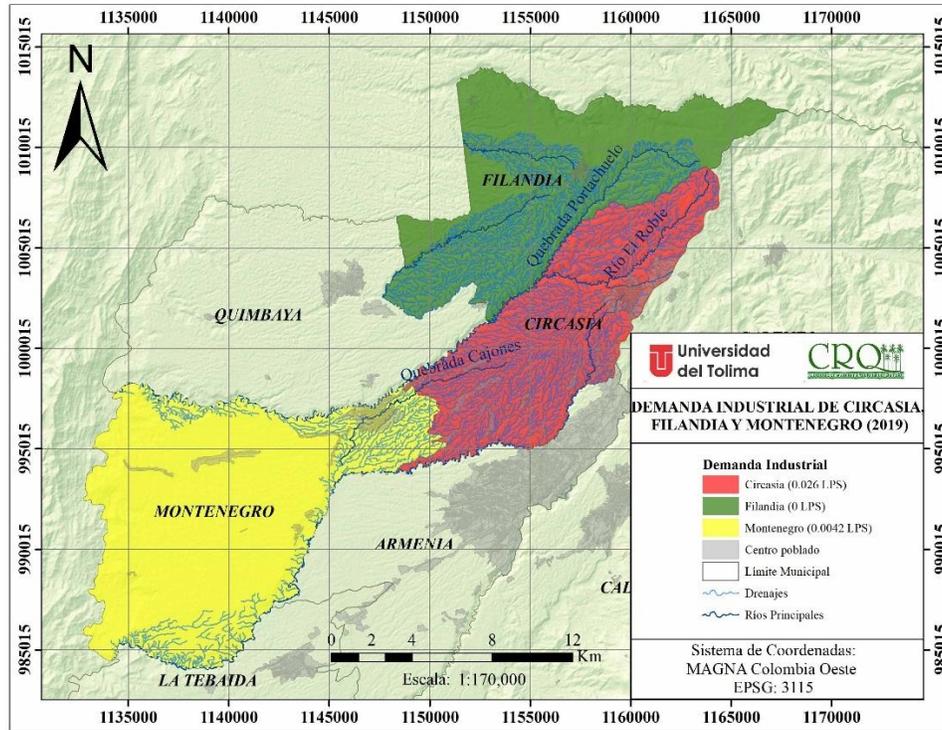


Figura 94. Espacialización de la demanda Industrial 2019.

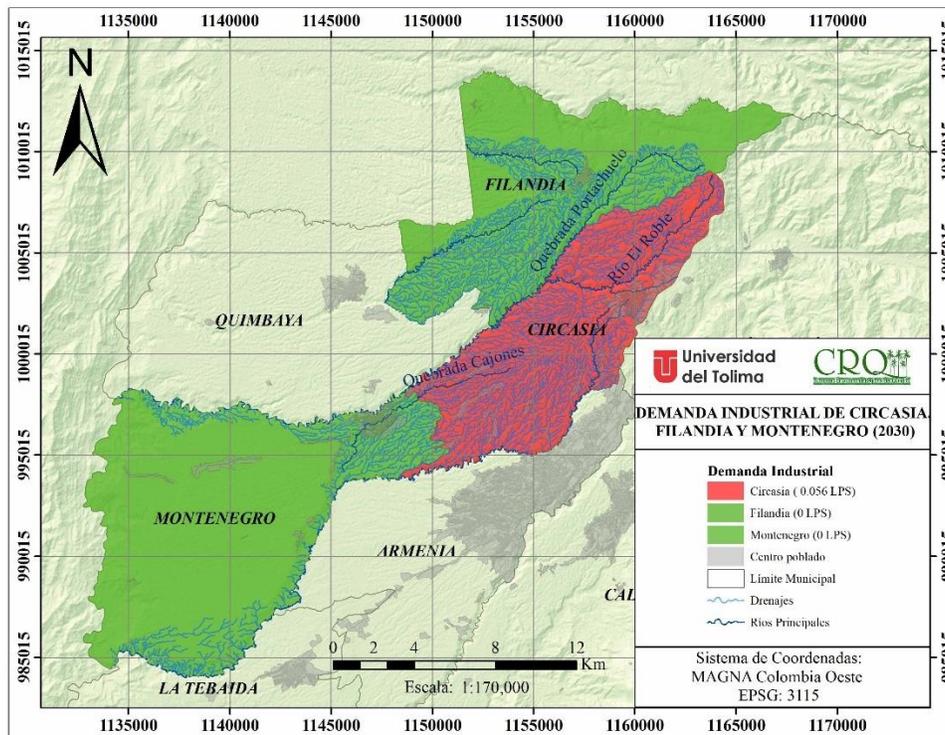


Figura 95. Espacialización de la demanda industrial 2030.

1.6.4. Demandas para Uso Agrícola

Es la cantidad de agua que se emplea artificialmente para suplir las necesidades de riego de los cultivos. Esta demanda se calcula como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la precipitación neta (Pn). En los casos en que Pn es mayor a ETc, la necesidad de riego es cero. La precipitación neta se calculó mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (FAO, 1992).

La cantidad de riego depende del estado fenológico del cultivo, del clima, y el tipo de suelo. En este estudio, la necesidad de riego se calculó mediante el método de factores de cultivo (Kc) de la FAO, en el que la evapotranspiración de referencia (ETP) se multiplica por un coeficiente que depende del estado de desarrollo del cultivo y del tipo de cultivo (Tabla 10). Los cultivos y áreas cultivadas por municipio se tomaron de las estadísticas reportadas en la última Evaluación Agropecuaria del Quindío (Anexo 4), y sus estados fenológicos más probables a nivel mensual se estimaron a partir de los calendarios de siembra reportados por el DANE para diferentes cultivos y la información regional de CENICAFÉ sobre la fenología del cultivo del café (CENICAFÉ, 2014).

| Cultivo | Tipo de Cultivo | kc | kc | kc |
|--------------------|-----------------|------|------|------|
| Café | Permanente | 0.9 | 0.95 | 0.95 |
| Aguacate | Permanente | 0.6 | 0.85 | 0.75 |
| Banano | Permanente | 0.5 | 1.1 | 1 |
| Cacao | Permanente | 1 | 1.05 | 1.05 |
| Caña | Permanente | 0.75 | 1.25 | 0.75 |
| Cítricos | Permanente | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| Granadilla | Permanente | 0.7 | 1.2 | 0.9 |
| Lulo | Permanente | 0.6 | 1.1 | 0.7 |
| Macadamia | Permanente | 0.4 | 0.9 | 0.65 |
| Plátano | Permanente | 0.5 | 1.1 | 1 |
| Yuca | Permanente | 0.3 | 0.8 | 0.3 |
| Piña | Permanente | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| Maracuyá | Permanente | 0.7 | 1.2 | 0.9 |
| Mora | Permanente | 0.3 | 1.05 | 0.5 |
| Papaya | Permanente | 0.15 | 1 | 0.6 |
| Aloe vero | Permanente | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Tomate árbol | Permanente | 0.3 | 0.8 | 0.3 |
| Pastos | Permanente | 0.3 | 0.75 | 0.75 |
| Frijol | Transitorio | 0.5 | 1.05 | 0.9 |
| Maíz | Transitorio | 1.2 | 1.2 | 0.5 |
| Tomate | Transitorio | 0.6 | 1.15 | 0.7 |
| Tomate invernadero | Transitorio | 0.6 | 1.15 | 0.7 |

Tabla 89. Coeficientes de cultivo.

La demanda para cada municipio se calculó a nivel mensual a través de la siguiente expresión:

$$D_i = \left(\sum_{n=1}^n (K_{ci} \times ETP_i - P_{ni}) \times A_c \right) \times \frac{10000}{m_i \times 86400}$$

- D_i***: demanda agrícola para el mes *i* (LPS)
- k_{ci}*** es el coeficiente de cultivo para el cultivo *c* en el mes *i*
- ETP_i***: Evapotranspiración potencial mensual multianual (mm) en el mes *i*
- P_{ni}***: Precipitación neta mensual multianual (mm) en el mes *i*
- A_c***: Área del cultivo *c*
- m_i***: número de días del mes *i*

El PIB del sector agrícola no ha tenido variaciones significativas en los últimos años (Figura 9), y no se espera un aumento general de las superficies cultivadas. Por lo que a corto y largo plazo no se esperan aumentos significativos de la demanda agrícola de agua, como se demostró anteriormente, la mayor parte de los requerimientos hídricos de los cultivos en la región se suplen por suministro pluvial. Sin embargo, es necesario realizar estudios específicos para cultivos recientemente promovidos por política pública, como el cultivo de Aguacate, el cual tiene proyección de consolidación en clústeres comerciales con fines de exportación.

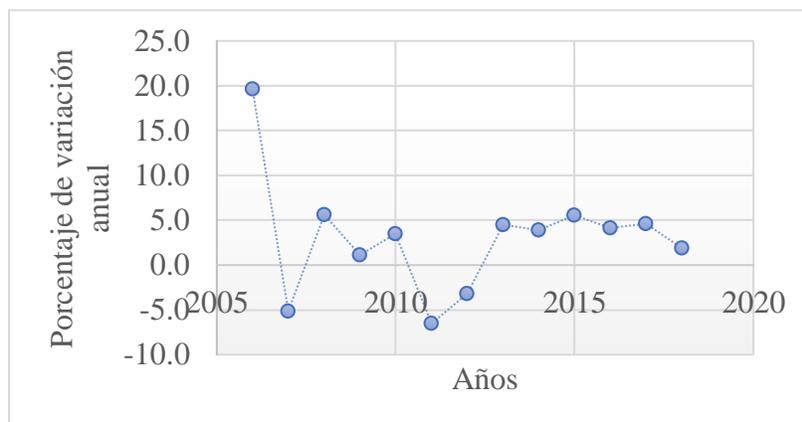


Figura 96. Variación del PIB del sector agrícola en el departamento del Quindío.

| Municipio | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Circasia | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 79.6 | 112.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Filandia | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 26.6 | 59.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Montenegro | 11.3 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 92.8 | 123.6 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Tabla 90. Demanda agrícola mensual para los municipios de Circasia, Filandia y Montenegro.

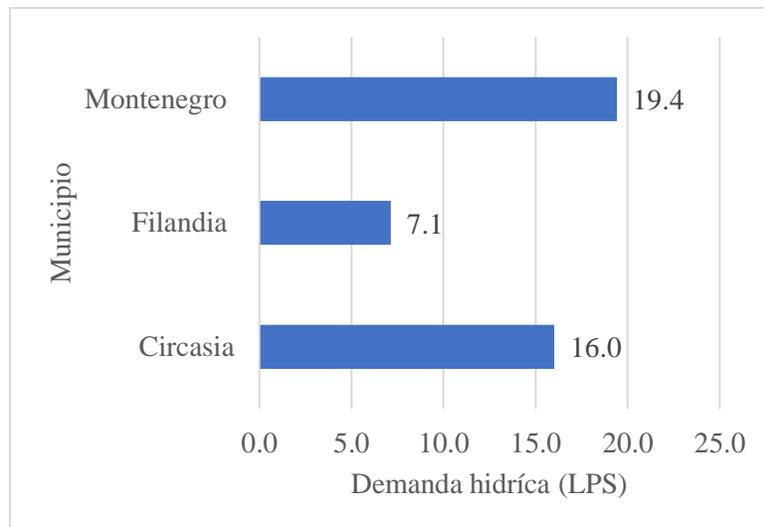


Figura 97. Demanda hídrica agrícola anual para los municipios de Circasia, Filandia y Montenegro.

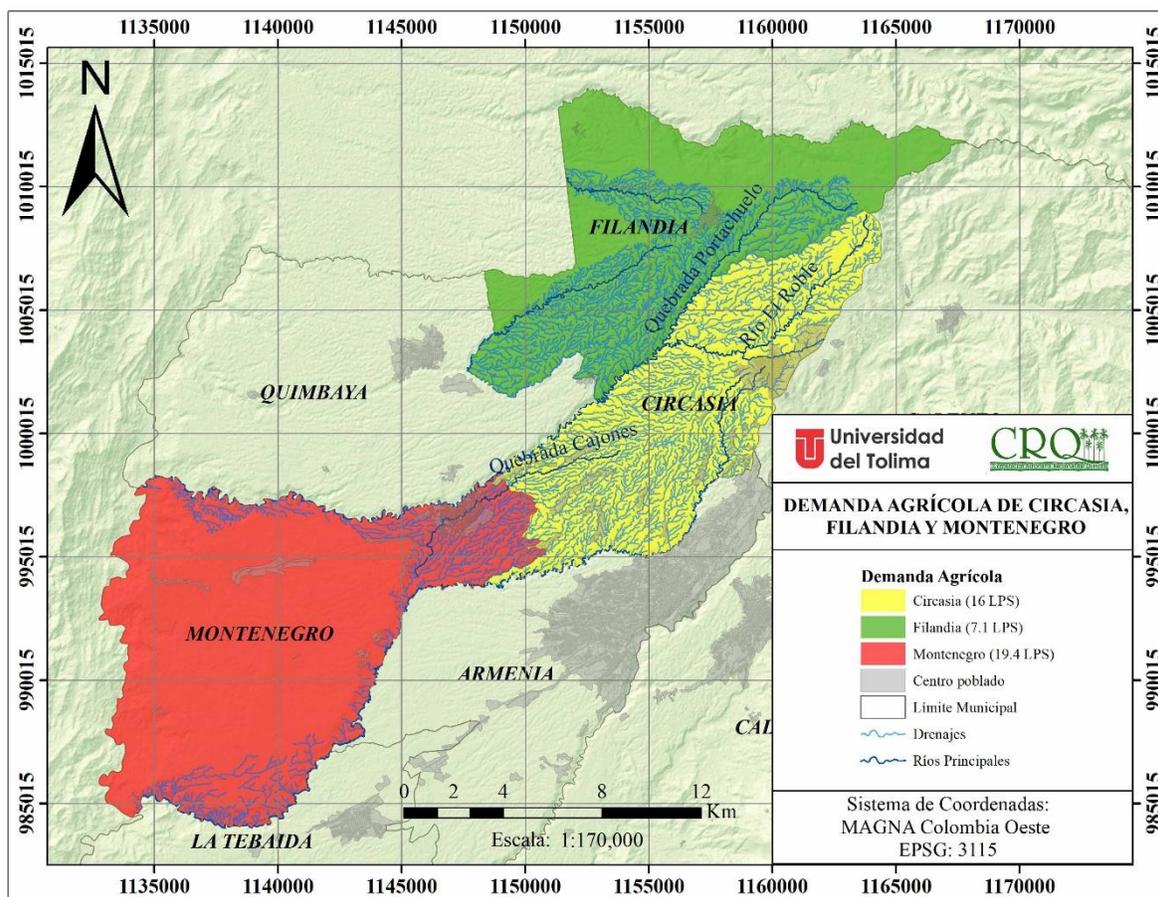


Figura 98. Espacialización de la demanda agrícola (2019-2030).

1.6.5. Demandas para Uso Piscícola

La demanda piscícola es la cantidad de recurso hídrico necesario para el desarrollo de reproducción, crecimiento, sanidad y aprovechamiento de especies ícticas. La demanda piscícola se calculó con base en los inventarios y estadísticas de la última evaluación agropecuaria del departamento del Quindío (Gobernación del Quindío, 2015) y los módulos de consumo (**Tabla 12**) establecidos para las especies más producidas en el departamento del Quindío, las cuales son Mojarra (roja, negra y carpa), Bocachico y Cachama y trucha, de acuerdo a los censos de producción piscícola existentes.

| Especie | Cantidad | Unidades |
|---------------------------------|----------|---------------|
| Mojarra (Roja, Negra, Plateada) | 0.000125 | l/s/individuo |
| Bocachico y Cachama | 0.000125 | l/s/individuo |
| Trucha | 0.00317 | l/s/individuo |

Tabla 91. Módulos de consumo de especies piscícolas.

La proyección a los años 2017 y 2030 se realizó en función a la tasa de variación promedio anual del PIB de los últimos 12 años.

| Municipio | No. Animales | | |
|------------|-------------------------------|---------------------|--------|
| | Mojarra (Roja, Negra y Carpa) | Bocachico y Cachama | Trucha |
| Circasia | 4500 | 0 | 0 |
| Filandia | 16350 | 2450 | 0 |
| Montenegro | 6000 | 0 | 0 |

Tabla 92. Censo piscícola 2017.

Las proyecciones de los años 2017 al año 2030 por municipio se encuentran en [el anexo 5](#). A continuación, se presentan las proyecciones a los años 2019 y 2030, teniendo en cuenta una variación anual promedio de 3%.

| Municipio | Año | Demanda de agua (LPS) | | | |
|------------|------|-------------------------------|---------------------|--------|-------|
| | | Mojarra (Roja, Negra y Carpa) | Bocachico y Cachama | Trucha | TOTAL |
| Circasia | 2019 | 0.60 | 0.00 | 0 | 0.60 |
| | 2030 | 0.83 | 0.00 | 0 | 0.83 |
| Filandia | 2019 | 2.17 | 0.33 | 0 | 2.50 |
| | 2030 | 3.02 | 0.45 | 0 | 3.47 |
| Montenegro | 2019 | 0.80 | 0 | 0 | 0.80 |
| | 2030 | 1.11 | 0 | 0 | 1.11 |

Tabla 93. Demanda piscícola para los municipios de Circasia, Filandia y Montenegro (2019-2030)

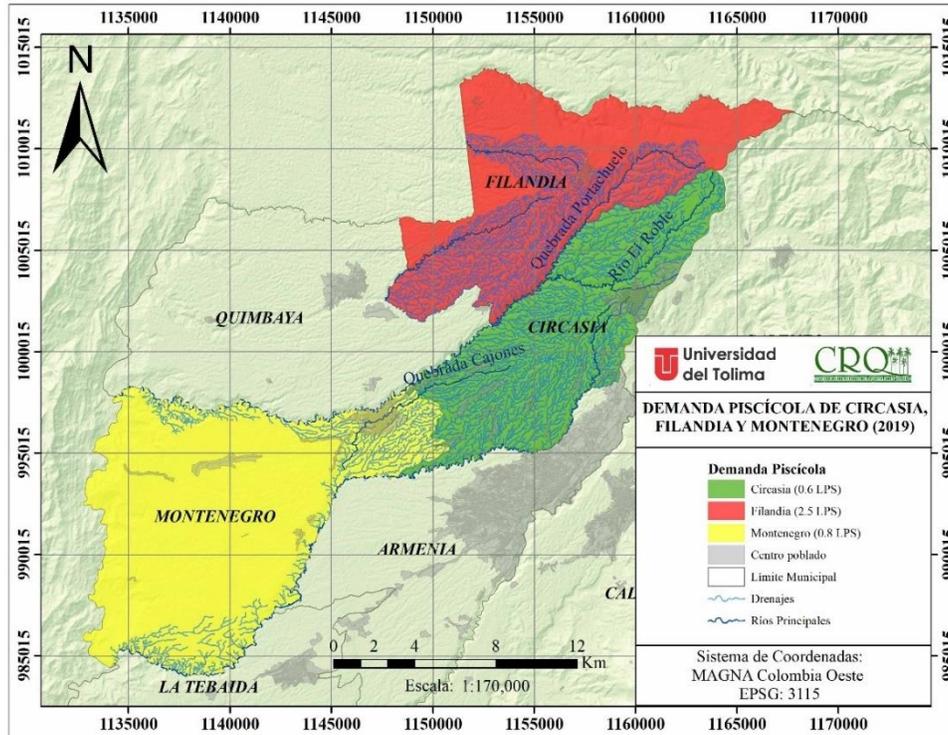


Figura 99. Espacialización de la demanda Piscícola año 2019.

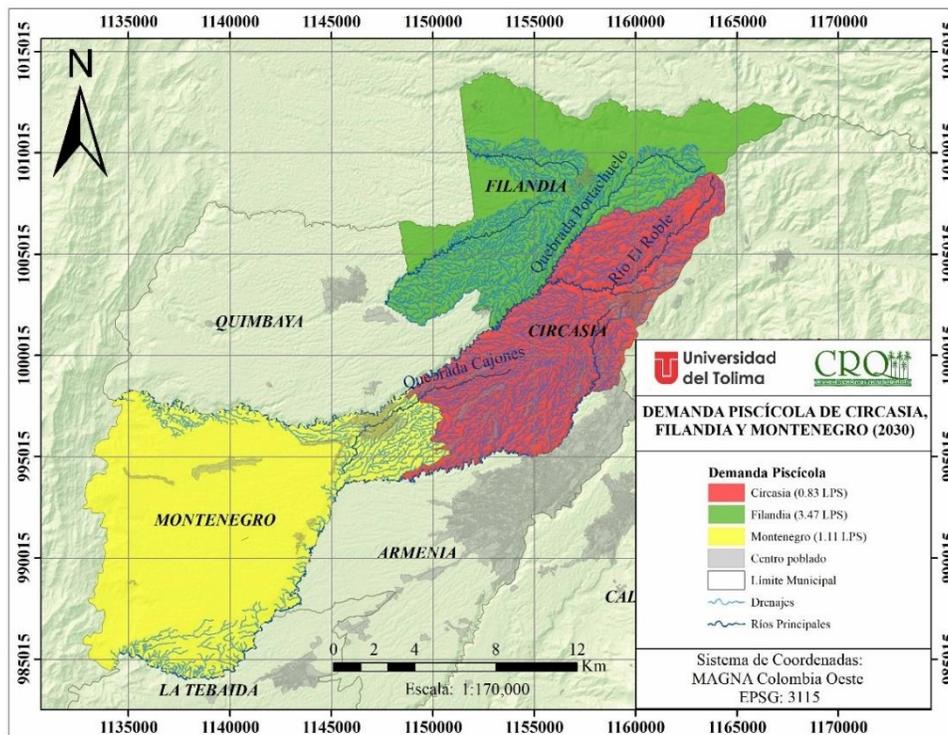


Figura 100. Espacialización de la demanda Piscícola año 2030.

1.6.6. Conclusiones

La población flotante es un factor clave en la estimación de la demanda hídrica en municipios como los analizados en el departamento del Quindío, ya que la demanda hídrica aumenta considerablemente al tener en cuenta la afluencia de turistas al municipio, ya que esta es una región donde el turismo es una de las principales actividades económicas.

El municipio que cuenta actualmente con mayor demanda de recurso hídrico para actividades domésticas es Montenegro que con el IANC actual es de 140.67 LPS y de mantenerse el mismo porcentaje de pérdidas en el año 2029 ésta sería de 147.43 LPS. Seguido se encuentra el municipio de Circasia que actualmente demanda 52.98 LPS para actividades domésticas, de mantenerse las pérdidas en el sistema como en la actualidad para el año 2029 esta demanda será de 60.87 LPS.

Filandia es el único municipio que presenta pérdidas menores a las recomendadas en el RAS, mientras que los otros municipios superan dicho porcentaje, por lo cual, se requiere que se realicen las mejoras respectivas en para reducir las pérdidas en las redes de abastecimiento y alcanzar el 25% establecido, reduciendo así la demanda para uso doméstico.

En la actualidad y en el escenario del año 2030 la especie de interés pecuario que presumiblemente demandará más recurso hídrico es la bovina en los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro, por otra parte, es importante mencionar que la demanda pecuaria tendera a aumentar ya que la cantidad de especies en estos 3 municipios tendera a crecer.

El municipio que presenta mayor demanda de recurso hídrico para actividades pecuarias es Circasia con 23 LPS, sin embargo, en el escenario futuro 2030 será Filandia la que tenga mayor demanda para este uso (41 LPS), lo que está estrechamente relacionado a la tendencia de aumento en número de algunas especies.

La demanda hídrica para uso agrícola no contempla variaciones entre el año 2019 y el año 2030, sin embargo, representa entre el 6% y el 10% de la demanda total de cada municipio.

En los municipios Circasia y Montenegro para el año 2019 se cuentan con una demanda hídrica industrial relativamente baja representando el 0.01% y el 0.0005% de la demanda total para cada municipio respectivamente, ya para el año 2030 este orden de magnitud no se espera que cambie con relación al escenario actual. El municipio de Filandia no presenta demanda hídrica para fines industriales.

A pesar de la afluencia de población flotante principalmente turística, en los tramos objeto de ordenamiento en ninguno de los tres municipios se presenta demanda hídrica para usos recreativos y deporte, lo anterior se debe a que no se encuentran registradas concesiones para tal fin.

1.7. INDICADORES DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

1.7.1. Índice de uso del agua

El índice de uso del agua se refiere a la relación porcentual entre la demanda de agua y la oferta hídrica disponible. Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$IUA_t = \frac{Dhn_t}{Ohd_t} \times 100$$

Donde,

IUA_t : es el índice de uso del agua en el mes t

Dhn_t : es la demanda hídrica neta en el mes t

Ohd_t : es la oferta hídrica disponible en el mes t

La escala de valoración de la presión de la demanda sobre el recurso hídrico de acuerdo con este índice es la siguiente:

| IUA | Categoría | Descripción |
|------------|-----------|--|
| > 50 | Muy Alto | La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible |
| 20.01 a 50 | Alto | La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible |
| 10.01 a 20 | Moderado | La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible |
| 1a 10 | Bajo | La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible |
| ≤ 1 | Muy bajo | La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible |

Tabla 94. Categorías del Índice de Uso del Agua

En la condición hidrológica de año húmedo la mayor presión por el uso del agua se presenta en los Tramos 1, 3 y 5 (Figura 101), clasificándose como **Alta** la mayor parte del año. El tramo 1 alcanza una presión **Muy Alta** durante los meses de julio, agosto y septiembre, debido a un conflicto generado entre la satisfacción del caudal ambiental y la garantía de suministro a varias demandas para uso agrícola y pecuario que son destinadas a actividades de “Riego y Silvicultura” y “Abrevadero” (total de demandas en el tramo a 2019: 0.0731 m³/s), siendo el único tramo que llega a esta categoría en el año húmedo. Los tramos de las partes bajas de las unidades hidrográficas estudiadas (Tramos 2, 4, 6 y 7) en general presentan una presión **Baja** por uso durante la mayor parte del año.

El tramo 5 presenta una presión Muy Alta por uso en el mes de agosto para la condición hidrológica de año húmedo, lo anterior se explica por la necesidad de suministro de demandas para consumo humano en el centro urbano de Circasia (total de demandas en el tramo para el 2019: 0.0792 m³/s).

En la condición hidrológica neutra, los tramos 2 y 6 son los que presenta menos presión por uso, durante la mayor parte del año alcanzan una clasificación de IUA **Bajo** y únicamente en el mes de agosto por efecto de la evidente reducción de la oferta hídrica disponible caen a la categoría de

presión **Muy Alta** de la demanda (Figura 102), dichas demandas de agua se destinan principalmente al uso para consumo humano.

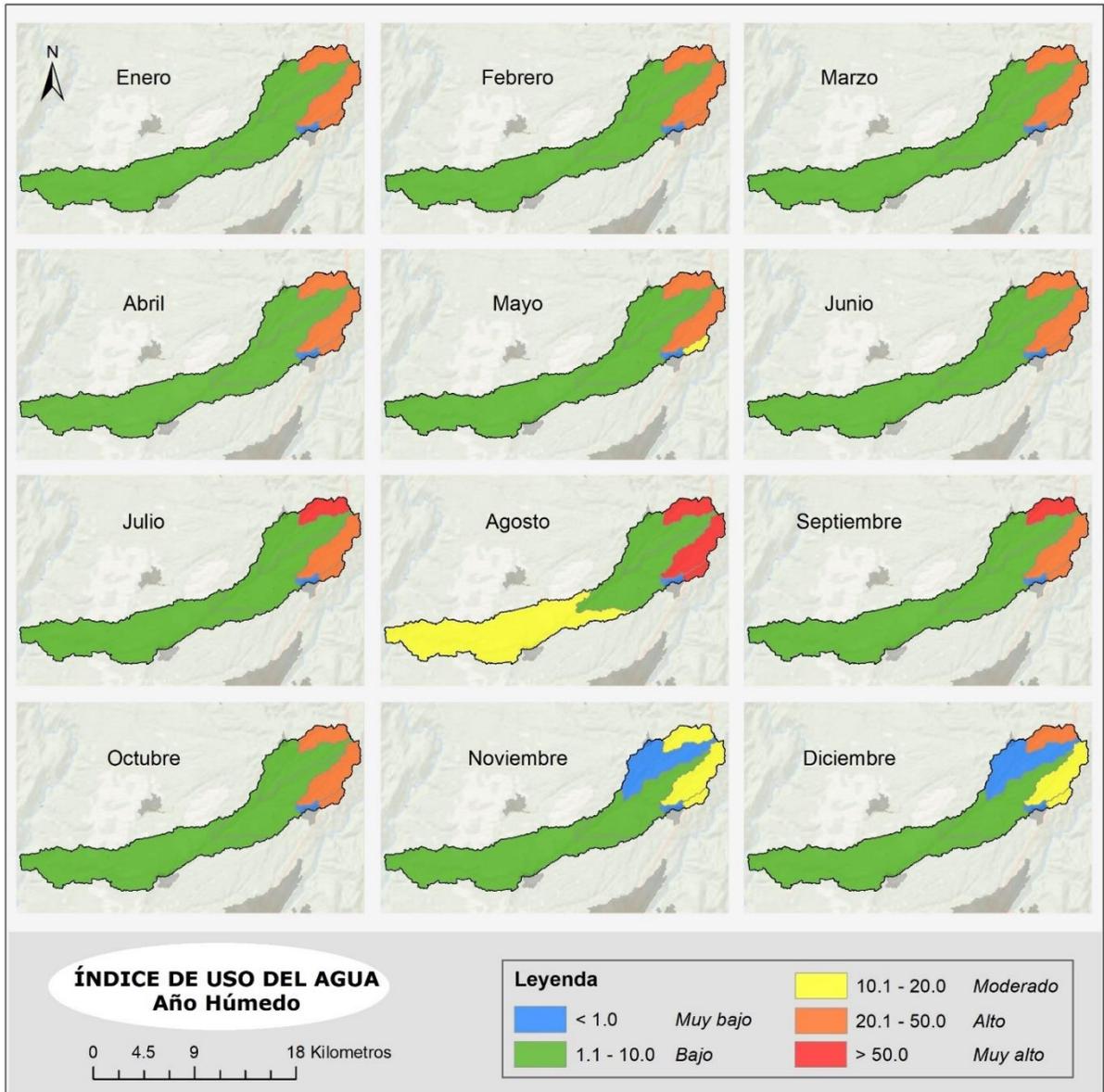


Figura 101. Índice de uso del agua mensual para la condición hidrológica de año húmedo en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

Un aspecto relevante sobre la distribución del índice de uso del agua en la condición hidrológica de año neutro (Figura 102) es que los tramos de cabecera (tramos 1, 3 y 5) presentan una **Alta** a **Muy Alta** presión por las demandas durante todos los meses del año, intensificándose su efecto durante julio, agosto y septiembre. El tramo 7 recibe una **Alta** a **Muy Alta** presión por uso en los meses de febrero, julio, agosto y septiembre, debido principalmente a la extracción de caudales en su condición de borde aguas arriba, la cual se destina al abastecimiento del centro urbano de Montenegro. Por otra parte, el tramo 6 solamente recibe una alta presión por uso en el mes de

agosto, **Moderada** para el mes de julio y el resto del año presenta una **Baja** presión de la demanda hídrica.

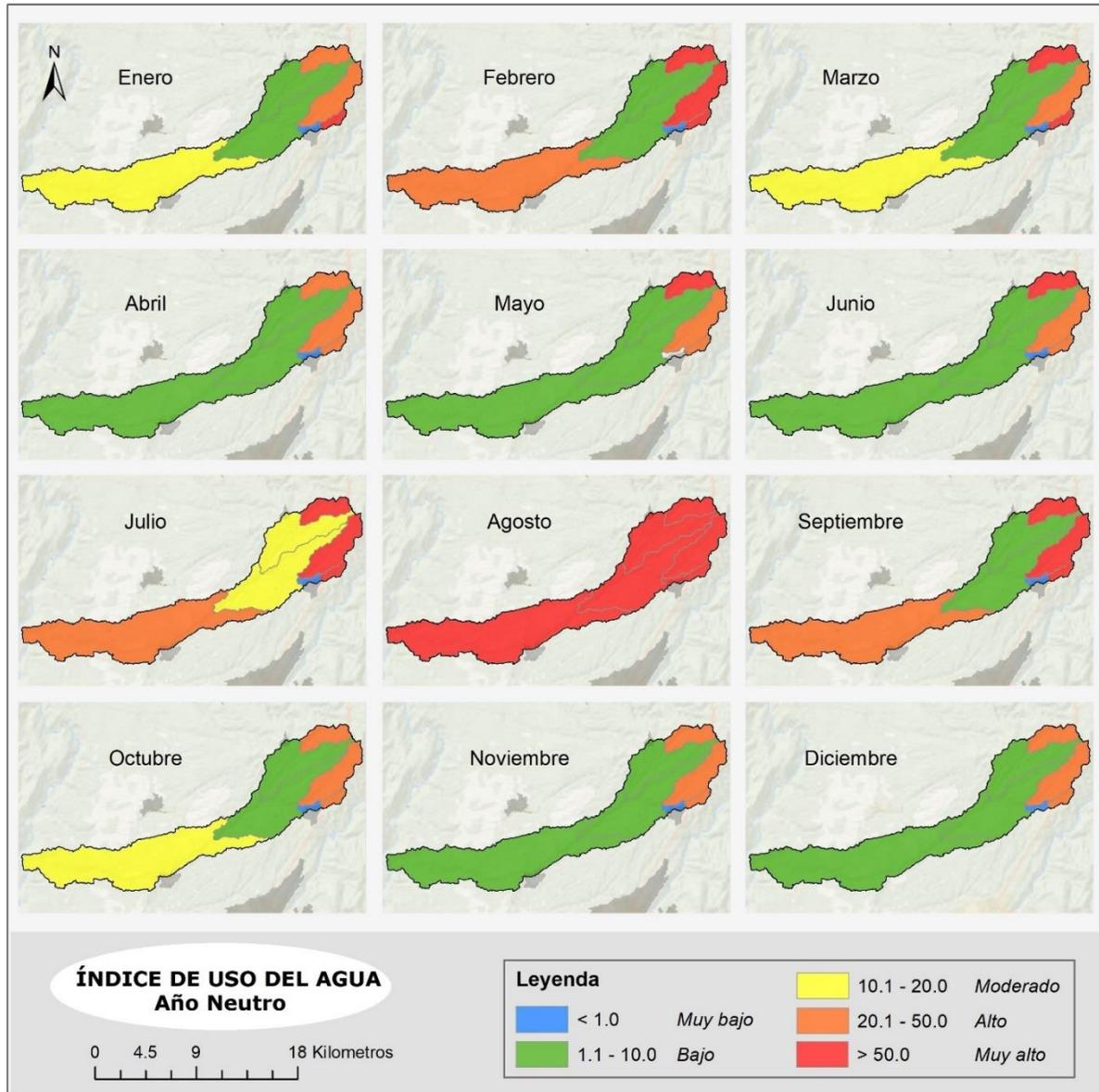


Figura 102. Índice de uso del agua mensual para la condición hidrológica de año neutro en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

La condición hidrológica más crítica (año seco), presenta una presión **Alta** a **Muy Alta** en seis de los siete tramos objeto de ordenamiento durante los meses de julio, agosto y septiembre, el único que no tiene esta categoría de presión de la demanda es el tramo 4, debido a que es un tramo dedicado al uso para transporte y asimilación de cargas contaminantes provenientes del centro urbano de Circasia. En un año seco, los tramos 1, y 5 tienen una presión **Muy Alta** durante la mayoría de los meses del año (Figura 103) y el tramo 3 presenta esta condición o una categoría de presión **Alta** durante 11 meses del año.

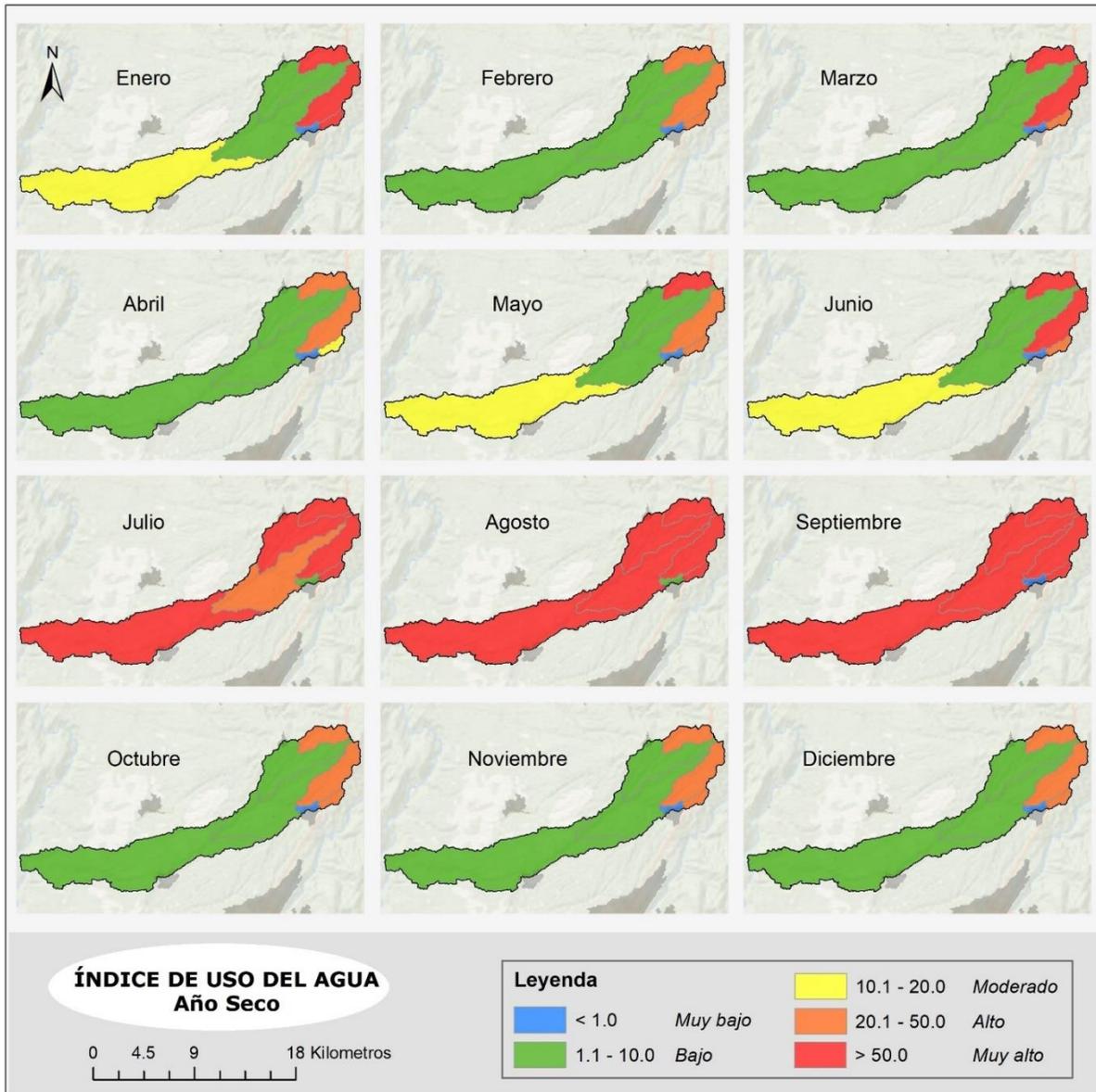


Figura 103. Índice de uso del agua mensual para la condición hidrológica de año seco en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

Los escenarios 2025 y 2029 del IUA se formularon con las proyecciones de demanda hídrica y manteniendo en estado estacionaria la oferta hídrica en sus condiciones estadísticas presentes, ya que según las pruebas de tendencia de caudales no se encontró indicios o evidencia de una condición de no-estacionariedad en las series. Para 2025 y 2029 se observa que los tramos 1, 3 y 5 llegan a una clasificación de **Alta** y **Muy Alta** presión por las demandas sobre el recurso hídrico disponible en las tres condiciones hidrológicas (Figura 104). Por su parte, en el tramo 7 la mayor presión (**Muy Alta**) se concentra en los meses de julio, agosto y septiembre.

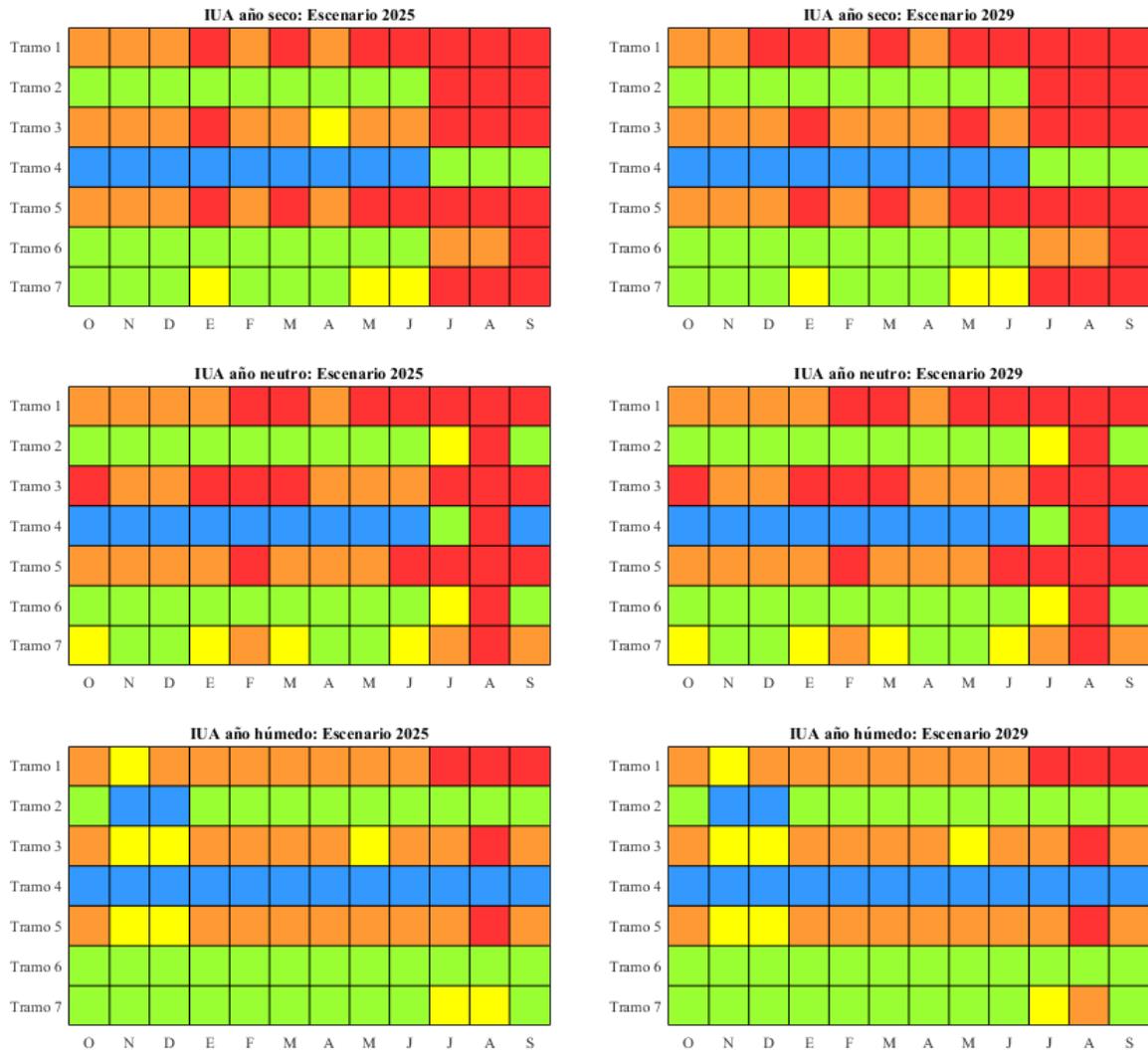


Figura 104. Clasificación del índice de uso del agua mensual para los escenarios de demanda hídrica de 2025 (izquierda) y 2029 (derecha) por condición hidrológica.

1.7.2. Índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento

Este índice representa el grado de susceptibilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el aprovechamiento de los recursos hídricos. El valor del IVH se determina mediante una matriz que relaciona rangos del índice de regulación hídrica (IRH) con el índice de uso del agua (IUA). La matriz de valoración se presenta a continuación (IDEAM, 2018):

| Índice de uso del agua | Índice de regulación | Categoría de Vulnerabilidad | Valor |
|------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|
| Muy bajo | Alto | Muy bajo | 1 |
| Muy bajo | Moderado | Bajo | 2 |
| Muy bajo | Bajo | Medio | 3 |
| Muy bajo | Muy bajo | Medio | 3 |
| Bajo | Alto | Bajo | 2 |
| Bajo | Moderado | Bajo | 2 |
| Bajo | Bajo | Medio | 3 |
| Bajo | Muy bajo | Medio | 3 |
| Medio | Alto | Medio | 3 |
| Medio | Moderado | Medio | 3 |
| Medio | Bajo | Alto | 4 |
| Medio | Muy bajo | Alto | 4 |
| Alto | Alto | Medio | 3 |
| Alto | Moderado | Alto | 4 |
| Alto | Bajo | Alto | 4 |
| Alto | Muy bajo | Muy alto | 5 |
| Muy alto | Alto | Medio | 3 |
| Muy alto | Moderado | Alto | 4 |
| Muy alto | Bajo | Alto | 4 |
| Muy alto | Muy bajo | Muy alto | 5 |

Tabla 95. Categorías del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico

En los tramos 1 y 5 el sistema hídrico tiene una vulnerabilidad **Alta** en la mayoría de los meses para las tres condiciones hidrológicas (Figura 105, Figura 106 y Figura 107). Para los tramos 6 y 7, la gran mayoría de meses tienen una vulnerabilidad **Baja** y **Moderada** en los tramos 6 y 7 para las tres condiciones hidrológicas, a excepción del tramo 7 en el mes de septiembre, en el que la vulnerabilidad hídrica es **Alta** para las condiciones hidrológicas neutra y seca.

Los meses en los que el sistema hídrico presenta una mayor fragilidad para mantener la oferta en la condición hidrológica más crítica (año seco) son julio, agosto y septiembre alcanzando niveles de vulnerabilidad **Moderada** y **Alta**.

La vulnerabilidad hídrica en los escenarios 2025 y 2029 para los tramos 1 y 5 durante los meses más secos alcanza una categoría **Alta** en las tres condiciones hidrológicas (Figura 108). En el caso del tramo 3, para los mismos meses se alcanza una categoría **Media** (julio y agosto) y **Alta** (septiembre), lo cual se explica en un leve aumento en el IRH en este tramo.

El IVH revela que los tramos 1, 3 y 5 a futuro (escenario 2025 y 2029) continuarán teniendo una susceptibilidad **Alta** la mayor parte del año. Y los tramos 6 y 7 solamente alcanzarían esta categoría durante el mes de septiembre.

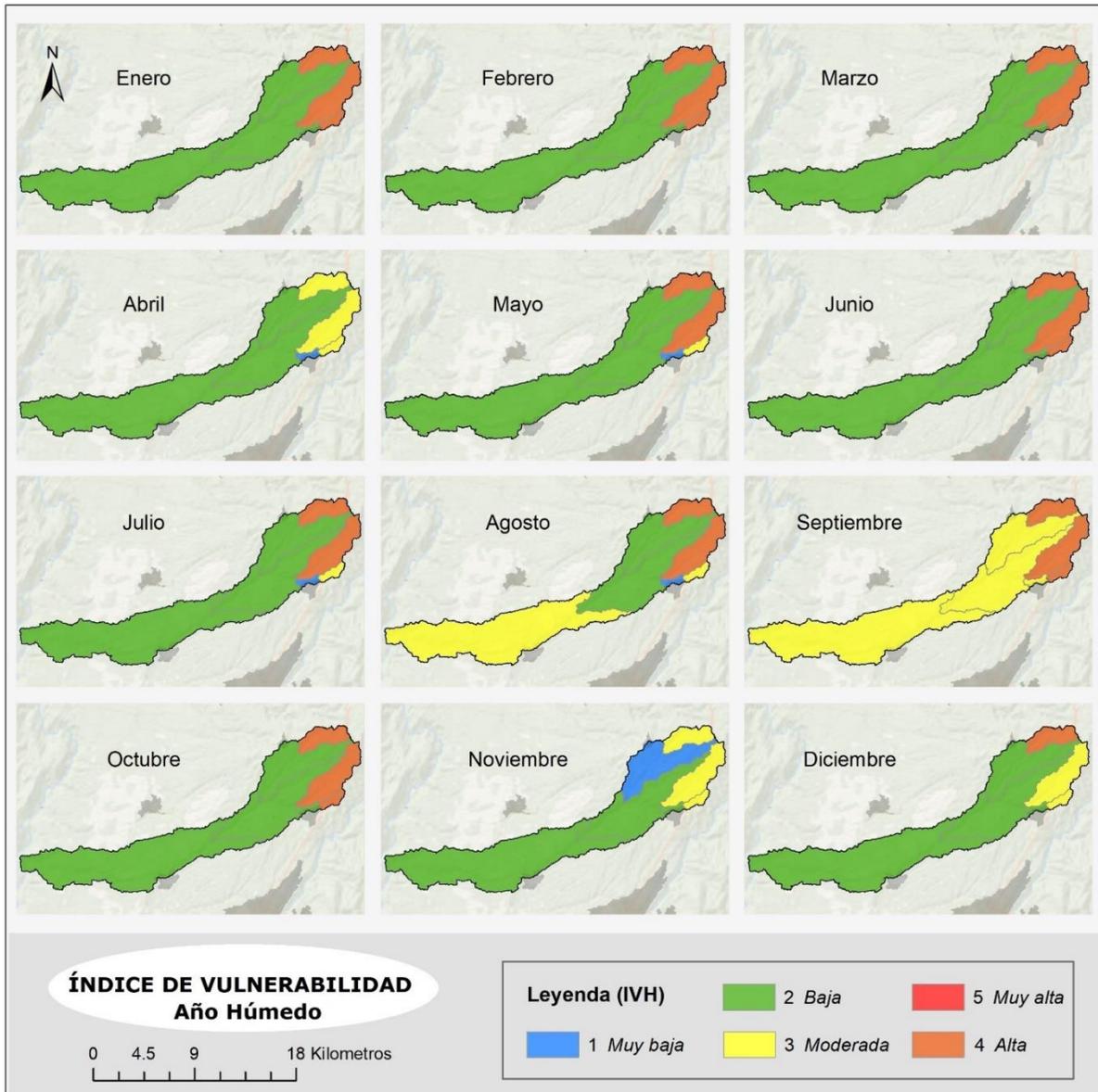


Figura 105. Índice de vulnerabilidad hídrica mensual para la condición hidrológica de año húmedo en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

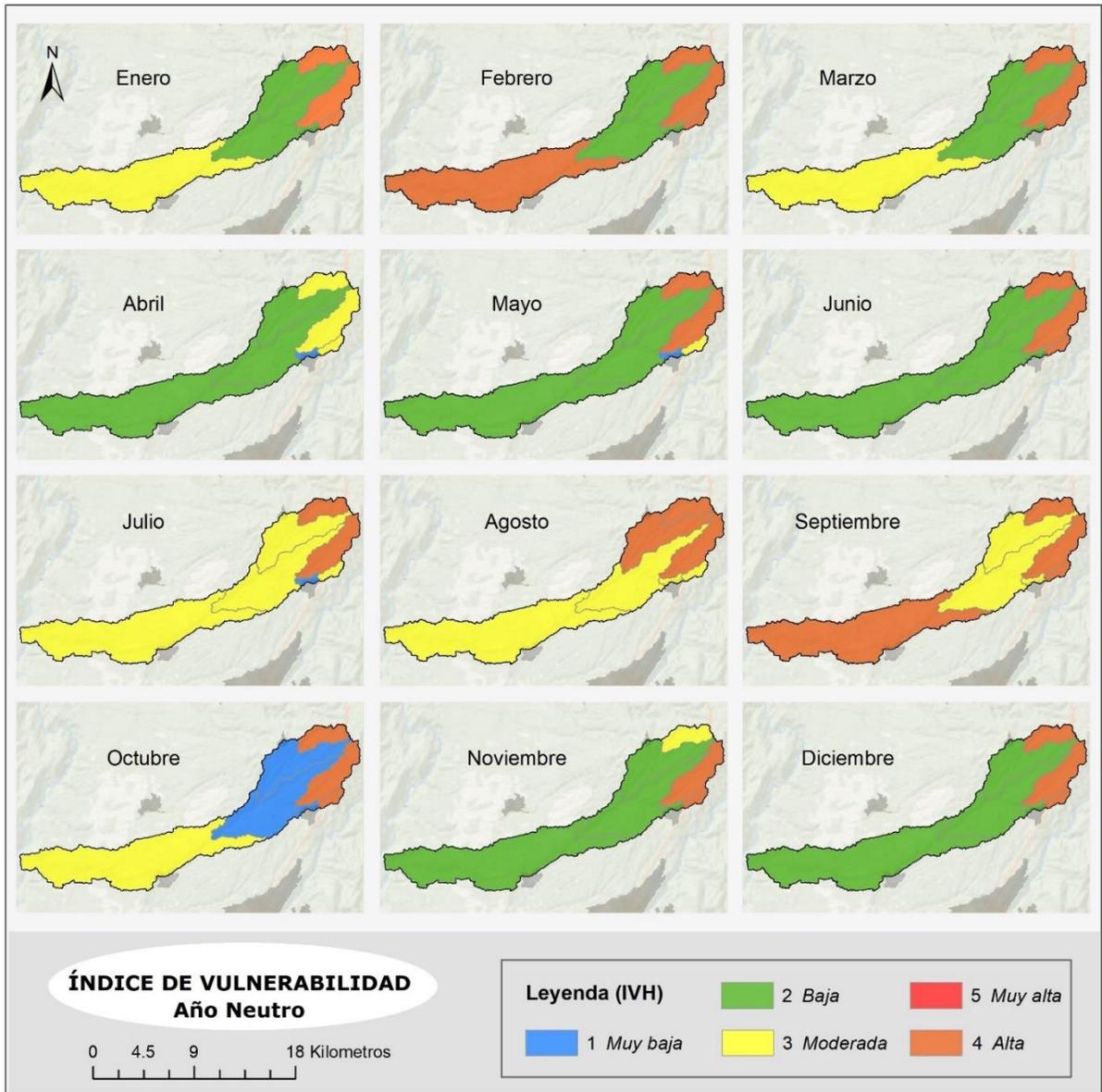


Figura 106. Índice de vulnerabilidad hídrica mensual para la condición hidrológica de año neutro en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

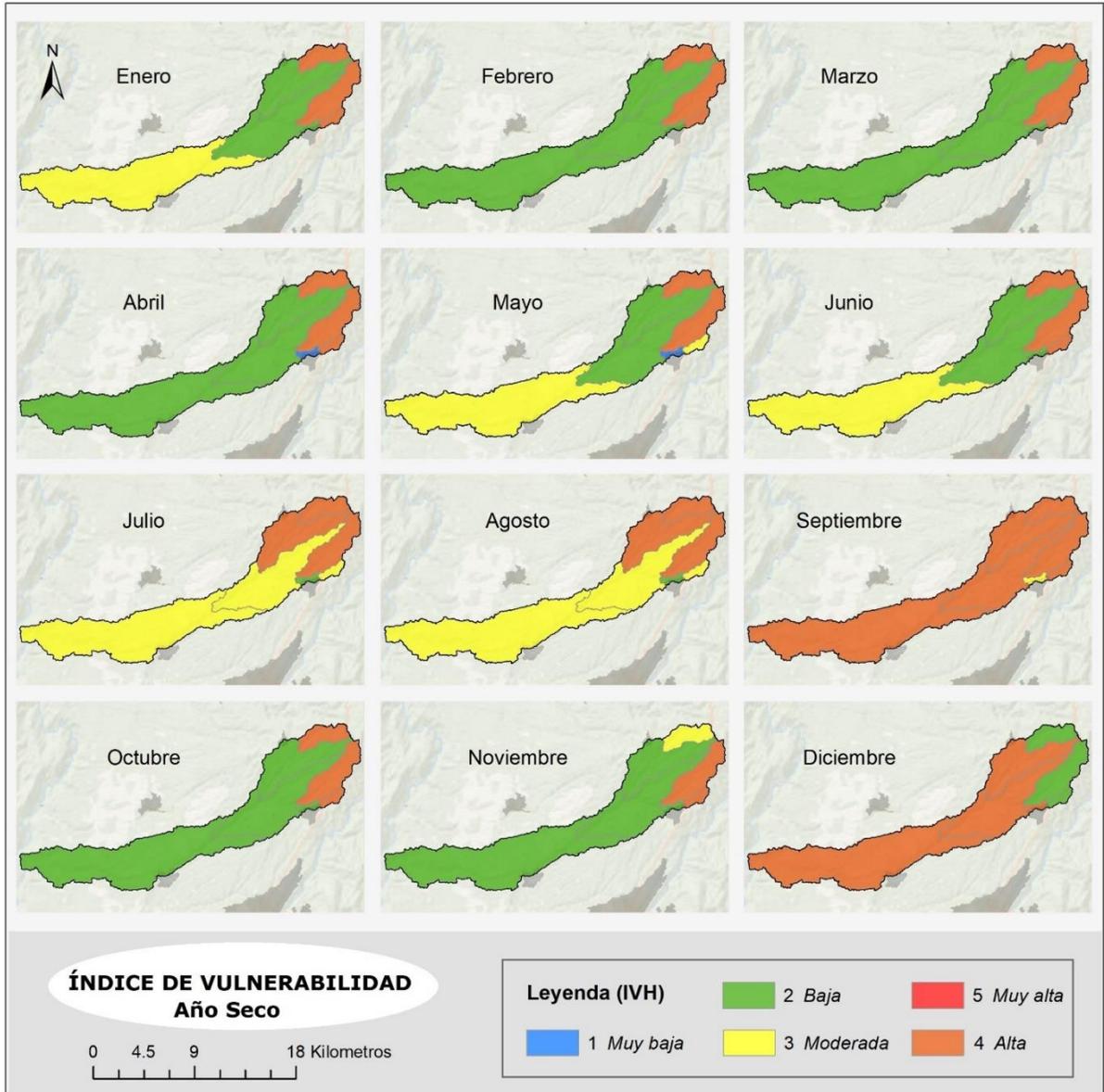


Figura 107. Índice de vulnerabilidad hídrica mensual para la condición hidrológica de año seco en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

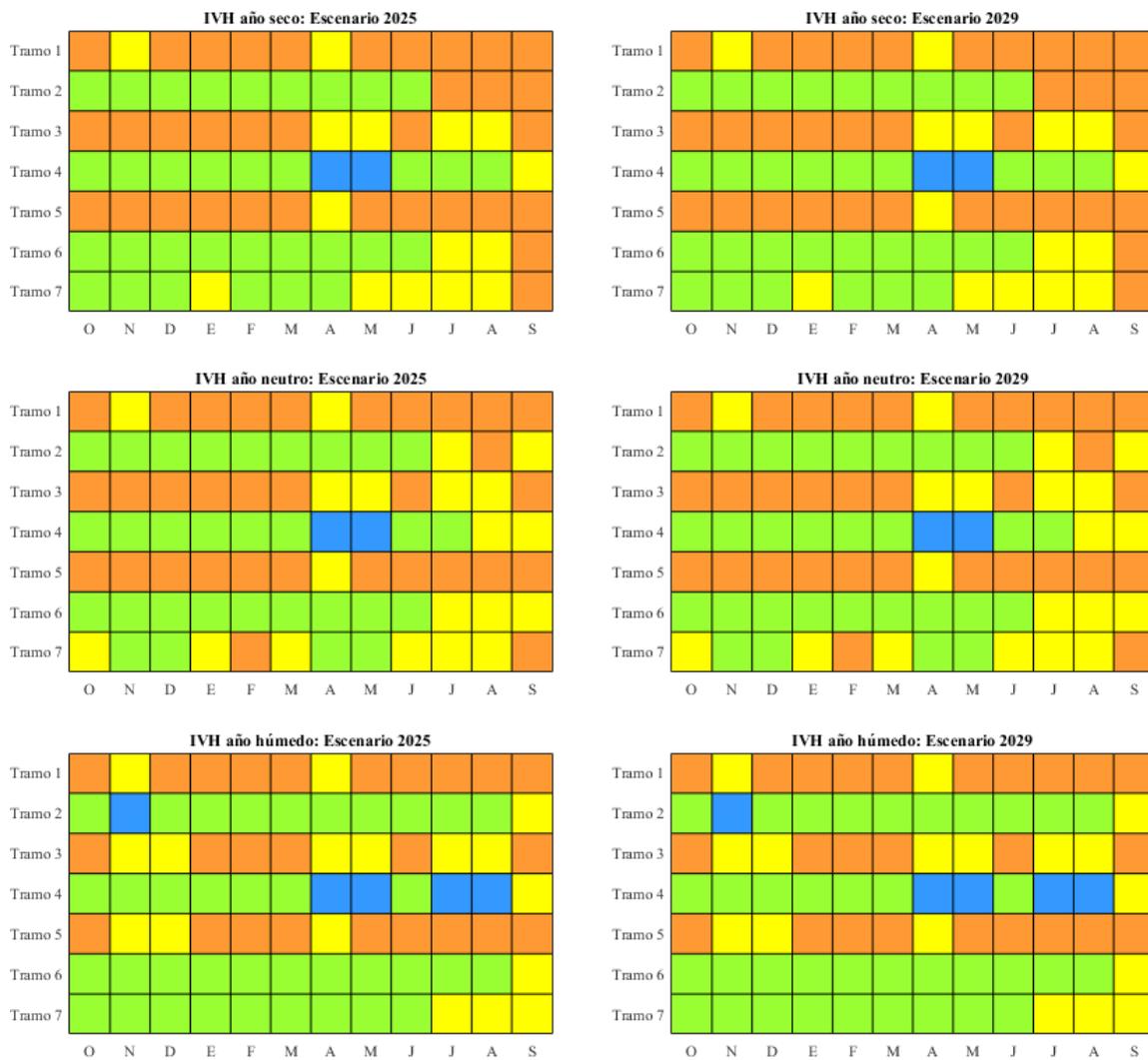


Figura 108. Clasificación del índice de vulnerabilidad hídrica mensual para los escenarios de demanda hídrica de 2025(izquierda) y 2029 (derecha) por condición hidrológica.

1.7.3. Amenaza y riesgo por reducción de la oferta

La amenaza por reducción de la oferta hídrica depende de la capacidad de regulación hidrológica del área hidrográfica aferente al respectivo tramo de cauce y al nivel de presión por uso que se presente. En consecuencia, la amenaza de reducción de la oferta se clasificó en función del índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento (Tabla 96) en las tres condiciones hidrológicas.

La vulnerabilidad se determinó asumiendo que las captaciones para abastecimiento doméstico son las más susceptibles a sufrir afectación por una potencial reducción de la oferta, en segundo lugar, el uso agrícola y piscícola, y el grado más bajo de susceptibilidad se asignó para las demás categorías de uso del agua (Tabla 97).

| IVH | Grado de Amenaza |
|----------|------------------|
| Muy bajo | Baja |
| Bajo | Baja |
| Medio | Media |
| Alto | Alta |
| Muy alto | Alta |

Tabla 96. Matriz de Evaluación de la Amenaza a la reducción de la Oferta Hídrica

| Tipo de Uso | Grado de Vulnerabilidad |
|------------------------|-------------------------|
| Doméstico | Alta |
| Agrícola y/o Piscícola | Media |
| Otros tipos de uso | Baja |

Tabla 97. Matriz de Evaluación de la Vulnerabilidad Del Sistema De Recursos Hídricos A La Reducción de la Oferta Hídrica

El riesgo se determinó como la convolución de la Amenaza y la Vulnerabilidad mediante la definición de las siguientes clases de riesgo: Alto en los casos en que la vulnerabilidad y la amenaza tomen valores de Alta o en casos en los que una de las dos es Alta y la otra Media; el riesgo Medio corresponde a los casos cuya vulnerabilidad y amenaza es Media o alguna de las dos es Alta y la otra Baja; un riesgo Bajo se configura cuando la amenaza y vulnerabilidad es Baja, o cuando una de las dos es Media y la otra Baja (Tabla 98).

| | | Amenaza | | |
|----------------|-------|--------------|--------------|--------------|
| | | Alta | Media | Baja |
| Vulnerabilidad | Alta | Alto | Alto | Medio |
| | Media | Alto | Medio | Bajo |
| | Baja | Medio | Bajo | Bajo |

Tabla 98. Categorías De Riesgo Del Sistema De Recursos Hídricos A La Reducción De La Oferta Hídrica

Con base en los anteriores criterios, se evidencia que los tramos 1, 3 y 5 presentan los niveles más altos de amenaza para las tres condiciones hidrológicas y en los tres escenarios evaluados (2019, 2025 y 2029; Figura 109 y Figura 110). Únicamente en el mes de abril no se alcanza una amenaza Alta al observar todos los tramos en las tres condiciones hidrológicas y escenarios.

El tramo 7 recibe el efecto de reducción del caudal por la extracción de agua para abastecimiento doméstico en el centro urbano de Montenegro, a pesar de ello y tener un IUA en general Alto, la amenaza por reducción de la oferta en este tramo se mantiene en Baja o Media la mayor parte del tiempo en todos los escenarios y condiciones hidrológicas. Solamente en los meses de febrero y septiembre llega a ser Alto en la condición hidrológica neutra (Figura 109 y Figura 110).

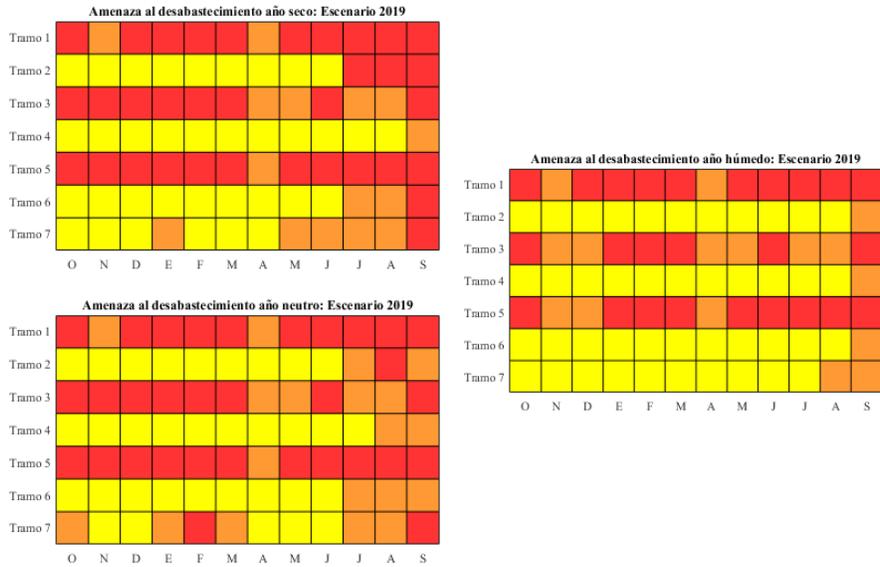


Figura 109. Amenaza de reducción de la oferta hídrica en los tramos objeto de ordenamiento para el escenario actual 2019 durante las tres condiciones hidrológicas.

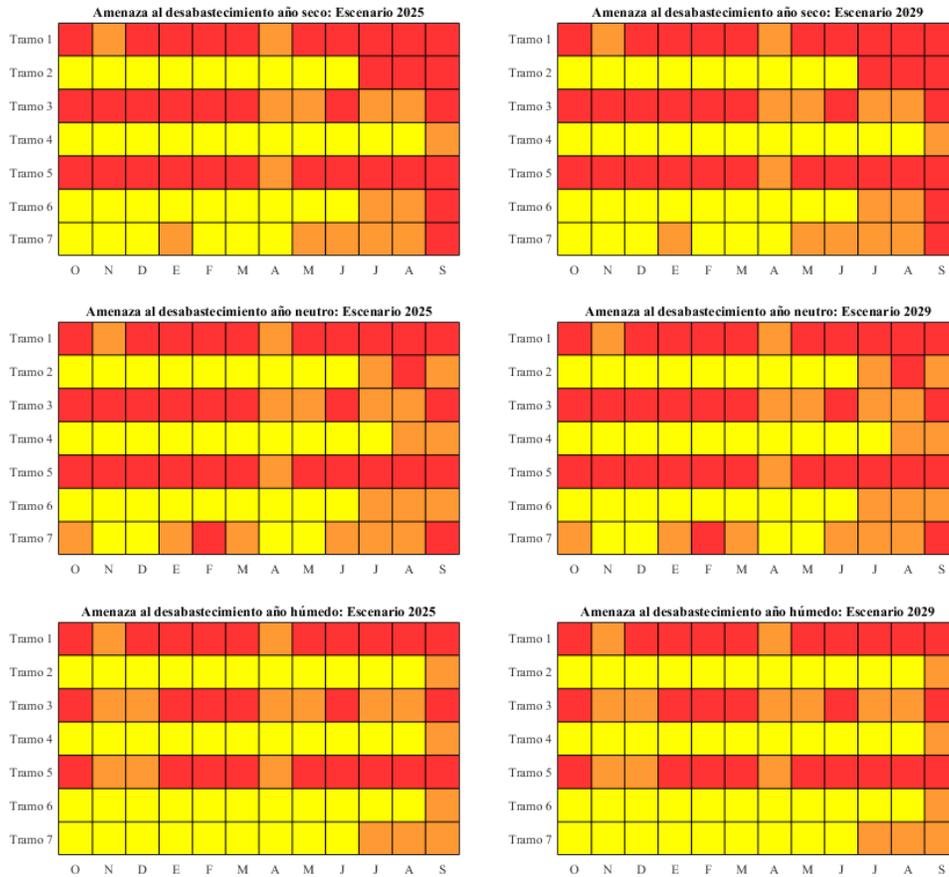


Figura 110. Amenaza de reducción de la oferta hídrica en los tramos objeto de ordenamiento para los escenarios 2025 y 2029 durante las tres condiciones hidrológicas.

Al igual que la Amenaza, el riesgo por reducción de la oferta en los tramos 1, 3 y 5 es alto la mayor parte de meses del año en las tres condiciones hidrológicas (Figura 111, Figura 112 y Figura 113), a excepción del mes de abril y noviembre (en el caso del tramo 1). En los meses de estiaje de los años neutro y seco se presenta un riesgo Alto en los tramos 6 y 7 debido a que la extracción de caudal para uso doméstico es la principal categoría de uso en el tramo 6.

Como se ha evidenciado en los resultados de categorización de la amenaza por tramos, su valor no es sensible al tipo de escenario, es decir el nivel de amenaza se mantiene constante entre los escenarios 2019, 2025 y 2029. En consecuencia, el nivel de riesgo se mantiene para los tres escenarios.

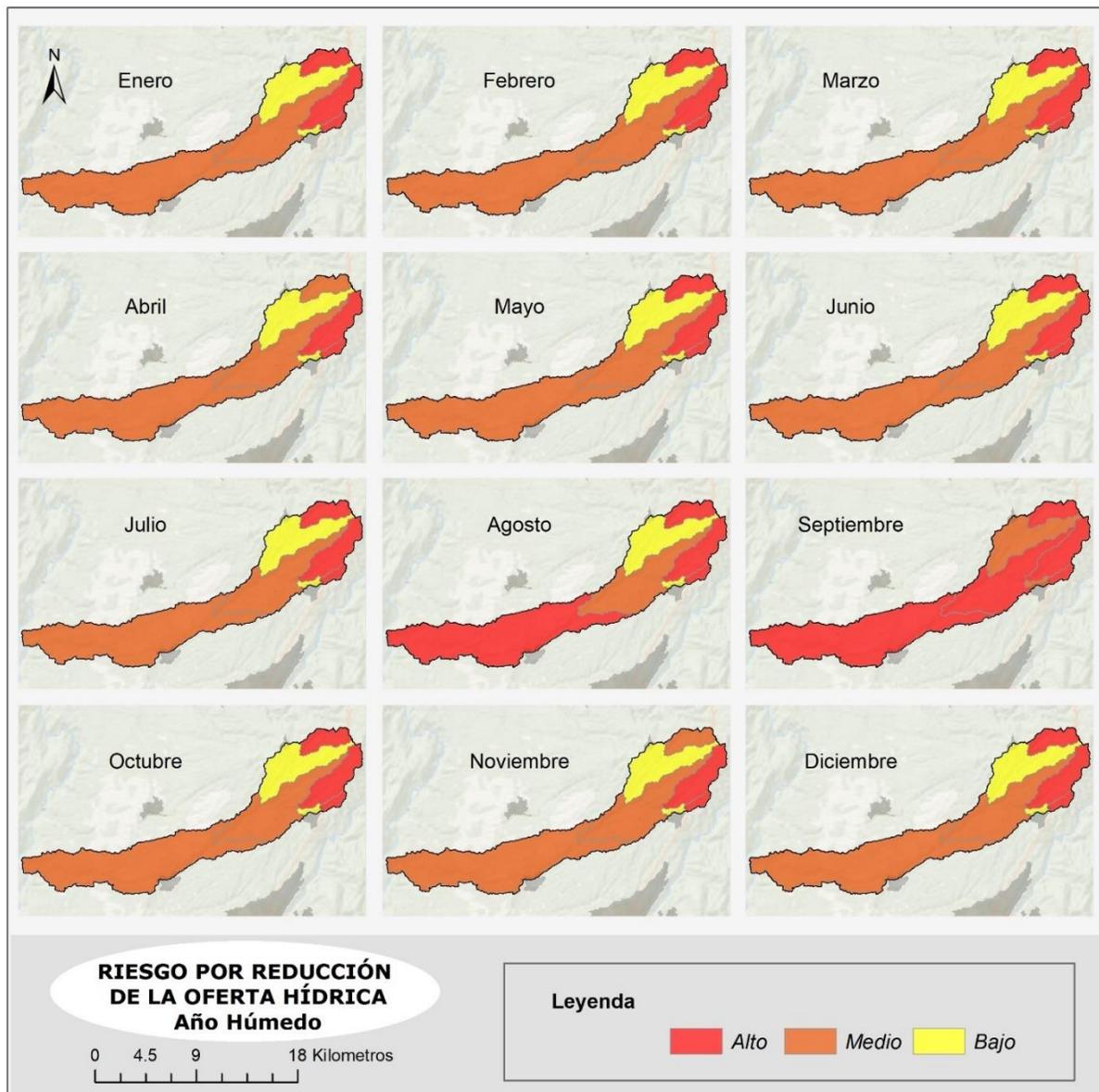


Figura 111. Categorías de riesgo mensual por reducción de la oferta hídrica en condición hidrológica de año húmedo en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

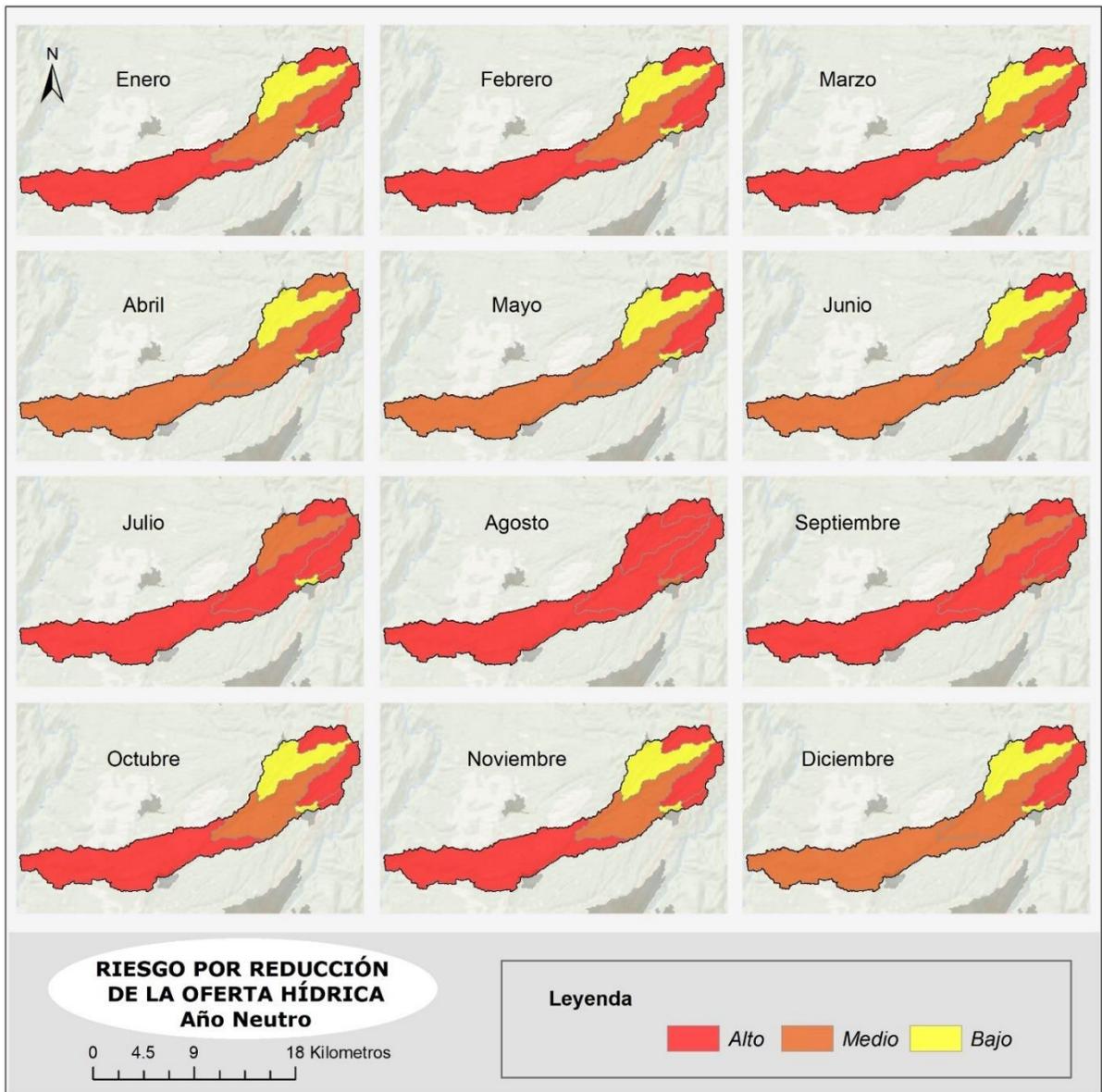


Figura 112. Categorías de riesgo mensual por reducción de la oferta hídrica en condición hidrológica de año neutro en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

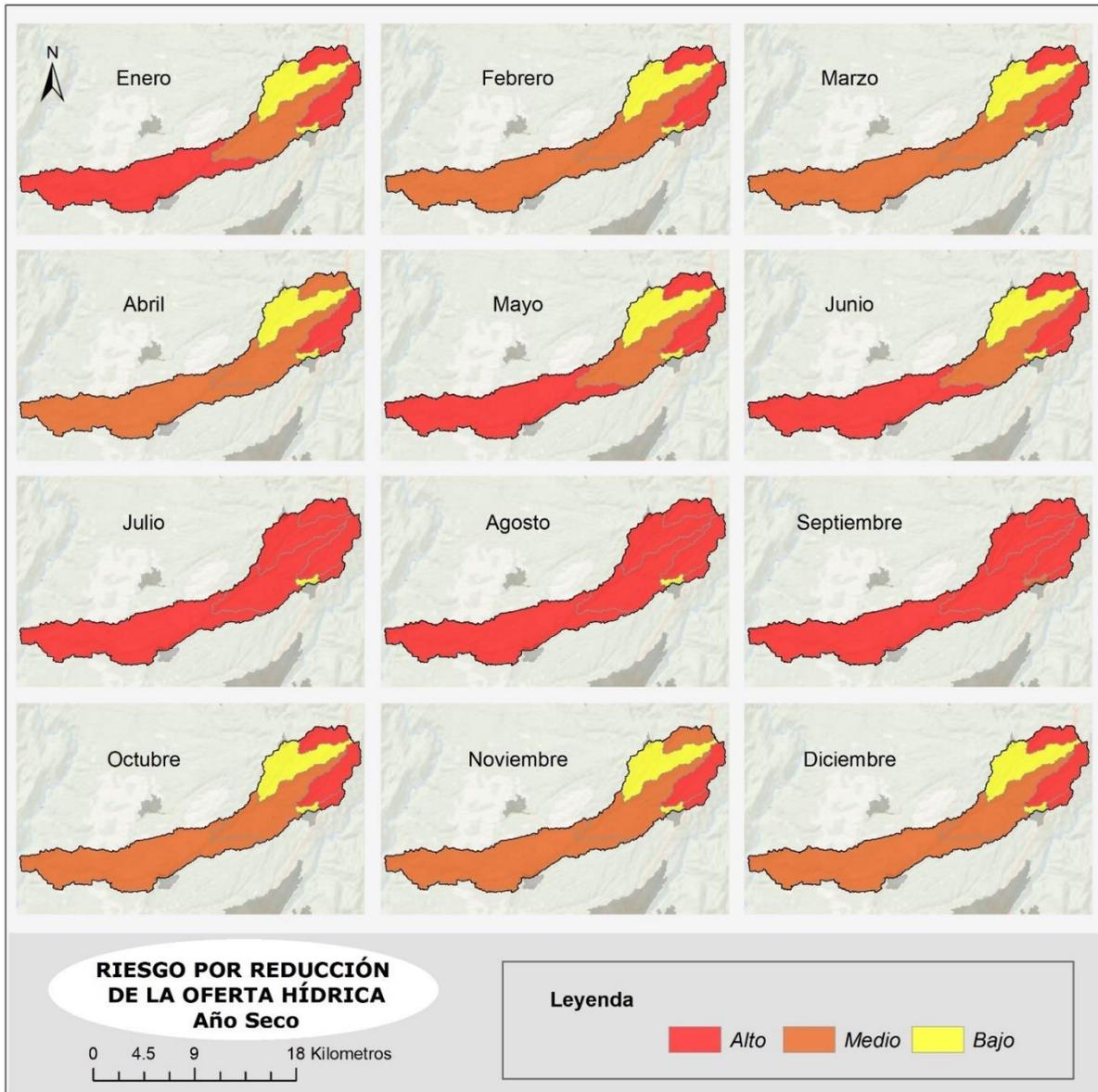


Figura 113. Categorías de riesgo mensual por reducción de la oferta hídrica en condición hidrológica de año seco en las áreas hidrográficas aferentes a cada tramo objeto de ordenamiento

1.8. ESTADO DE CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA

En esta sección se realiza la caracterización física, química y microbiológica del estado actual de la calidad del agua del río Roble y de las quebradas Cajones y Portachuelo, así como de otros afluentes importantes.

Inicialmente se realizó la recopilación de la información relacionada con los usuarios del recurso hídrico (captaciones y vertimientos) y de los reportes disponibles de calidad del agua, los cuales fueron revisados, depurados y clasificados de forma espacial y temporal. Se presenta el diseño de la red de monitoreo para las campañas realizadas en los meses de septiembre y noviembre del año 2019, implementadas con el fin de complementar la información faltante de los registros históricos en puntos relevantes y con el fin de servir como insumo para la calibración del modelo en la Fase 3 Identificación de los Usos Potenciales del Recurso.

Los reportes históricos y actuales (año 2019) se presentan en gráficas con los perfiles de las concentraciones máximas, mínimas y medias de las variables más representativas, así como la evolución temporal de la calidad del agua en cada estación. Estos resultados se comparan con los criterios de calidad definidos en el Decreto 1076 de 2015 y con los objetivos de calidad definidos en la Resolución CRQ No. 1035 de 2008 (cuya vigencia se prorrogó mediante Resolución CRQ No. 326 de 2017).

Se realiza la cuantificación del estado actual de la calidad del agua a través de la determinación del Índice de Calidad del Agua - ICA de siete (7) variables, según las recomendaciones realizadas en los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA (2013).

A partir de los resultados obtenidos con el censo de usuarios del recurso y del análisis del estado actual de la calidad del agua, se identifican los posibles conflictos y restricciones para el uso del recurso hídrico superficial.

1.8.1. Tramos y sectores de análisis

De acuerdo con la Guía, la estructuración espacial de los resultados de la formulación del PORH se debe realizar a través de unidades mínimas de análisis (UMA) o tramos o sectores que entre otros responderá a los siguientes criterios:

- **Criterio 1:** Características similares desde el punto de vista hidrológico, hidráulico, geomorfológico, ecológico, de usos del agua y del suelo y/o de la calidad del recurso hídrico.
- **Criterio 2:** Cuando el cuerpo receptor de agua en ordenamiento esté dividido en niveles subsiguientes o microcuencas, se deberán considerar los límites de dichos niveles como puntos de cierre en la definición de tramos.

Se realizó la definición de tramos, correspondiente a segmentos de mayor tamaño, en los cuales se definirán los objetivos de calidad, y unos sectores de menor tamaño, los cuales permitirán clasificar espacialmente la información de calidad del agua, vertimientos y captaciones. Por tanto,

la segmentación de tramos presentada en la sección 1.4.3 se presenta de manera más detallada a continuación en la Tabla 101.

Para el cauce principal del río Roble se consideró el ingreso de las quebradas Cajones, San Luis, Membrillal, Portachuelo, San José, La Soledad, Las Lajas, La Cristalina, La Carmelita y la Paloma. En la quebrada Portachuelo se toman como límites algunos de los afluentes más importantes como la quebrada Las Cruces y Los Medios, y las quebradas Chorro de Madres y Quebrada Innominada, las cuales reciben una parte de las descargas de aguas residuales del municipio de Filandia.

Para el río el Roble, la quebrada Portachuelo y la quebrada Cajones, se contempló como criterio adicional en la definición de los sectores, la presencia de los centros urbanos de los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro.

| TRAMO | No. UMA | FUENTE O MICROCUENCA ZONIFICACIÓN DEL RÍO LA VIEJA | UNIDAD MÍNIMA DE ANÁLISIS - UMA (SECTOR) | CUERPO DE AGUA | DESCRIPCIÓN SECTOR |
|-------|---------|--|--|---------------------|---|
| | | | | | (PUNTOS INICIAL - FINAL) |
| 5 | 1 | Río Roble | ROBLE_01 | R. Roble | Nacimiento R. Roble - Desembocadura de Q. Bosque |
| | 2 | Quebrada El Bosque | BOSQUE_01 | Q. El Bosque | Nacimiento Q. El Bosque- Desembocadura de Q. La Marina |
| | 3 | Quebrada La Marina | MARINA_01 | Q. La Marina | Nacimiento Q. Marina - Desembocadura en Q. El Bosque |
| | 4 | Quebrada El Bosque | BOSQUE_02 | Q. El Bosque | Desembocadura de Q. La Marina - Desembocadura en R. Roble |
| | 5 | Río Roble | ROBLE_02 | R. Roble | Desembocadura de Q. Bosque - Desembocadura de Q. La Arenosa |
| | 6 | Quebrada La Arenosa | ARENOSA_01 | Q. La Arenosa | Nacimiento Q. La Arenosa - Desembocadura en R. Roble |
| | 7 | Río Roble | ROBLE_03 | R. Roble | Desembocadura de Q. La Arenosa - Desembocadura de Q. Cajones |
| 3 | 8 | Quebrada Cajones | CAJONES_01 | Q. Cajones | Nacimiento Q. Cajones - Inicio de Casco Urbano Circasia |
| 4 | 9 | | CAJONES_02 | | Inicio de Casco Urbano Circasia - Final Casco Urbano Circasia |
| 4 | 10 | | CAJONES_03 | | Final Casco Urbano Circasia - Desembocadura en R. Roble |
| 6 | 11 | Río Roble | ROBLE_04 | R. Roble | Desembocadura de Q. Cajones - Desembocadura de Q. Portachuelos |
| 1 | 12 | Quebrada Portachuelo | PORTA_01 | Q. Portachuelos | Nacimiento Q. Portachuelo - Inicio de Casco Urbano Filandia |
| | 13 | | MAD_01 | Q. Chorro de Madres | Nacimiento Q. Chorro de Madres - Desembocadura en Q. Portachuelo |
| 2 | 14 | | PORTA_02 | Q. Portachuelos | Inicio de Casco Urbano Filandia - Final Casco Urbano Filandia |
| | 15 | | QNN_03 | Q. Innominada | Nacimiento Q. NN - Desembocadura en Q. Portachuelo |
| | 16 | | PORTA_03 | Q. Portachuelos | Final Casco Urbano Filandia - Desembocadura de Q. Las Cruces |
| | 17 | | CRUCES_01 | Q. Las Cruces | Nacimiento Q. La Cruces - Desembocadura en Q. Portachuelo |

| TRAMO | No. UMA | FUENTE O MICROCUENCA ZONIFICACIÓN DEL RÍO LA VIEJA | UNIDAD MÍNIMA DE ANÁLISIS - UMA (SECTOR) | CUERPO DE AGUA | DESCRIPCIÓN SECTOR | |
|-------|----------|--|--|---|--|--|
| | | | | | (PUNTOS INICIAL - FINAL) | |
| | 18 | | MEDIOS_01 | Q. Los Medios | Nacimiento Q. Los Medios - Desembocadura en Q. Portachuelo | |
| | 19 | | PORTA_04 | Q. Portachuelos | Final Casco Urbano Filandia - Desembocadura en R. Roble | |
| 6 | 20 | Río Roble | ROBLE_05 | R. Roble | Desembocadura de Q. Portachuelo - Desembocadura de Q. San José | |
| | 21 | Quebrada San José | SJOSE_01 | Q. San José | Nacimiento Q. San José - Desembocadura en R. Roble | |
| | 22 | Río Roble | ROBLE_06 | R. Roble | Desembocadura de Q. San José - Desembocadura de Q. La Soledad | |
| | 23 | Quebrada La Soledad | SOLED_01 | Q. La Soledad | Nacimiento Q. La Soledad - Desembocadura en R. Roble | |
| | 24 | Río Roble | ROBLE_07 | R. Roble | Desembocadura de Q. La Soledad - Desembocadura de Q. Las Lajas | |
| | 25 | Quebrada Las Lajas | LAJAS_01 | Q. Las Lajas | Nacimiento Q. Lajas - Desembocadura en R. Roble | |
| | 26 | Río Roble | ROBLE_08 | R. Roble | Desembocadura de Q. Lajas - Inicio Casco Urbano Montenegro | |
| 27 | ROBLE_09 | | Inicio Casco Urbano Montenegro - Final Casco Urbano | | | |
| 28 | ROBLE_10 | | Final Casco Urbano Montenegro - Desembocadura Q. Carmelita | | | |
| 29 | CARME_01 | | Q. Carmelita | Nacimiento Q. Carmelita - Desembocadura en R. Roble | | |
| 7 | 30 | Río Roble | ROBLE_11 | R. Roble | Desembocadura Q. Carmelita - Desembocadura Q. Paloma (La Española) | |
| | 31 | | Quebrada La Paloma (La Española) | PALOMA_01 | Q. La Paloma | Nacimiento Q. La Paloma (La Española) - Desembocadura en R. Roble |
| | 32 | | Río Roble | ROBLE_12 | R. Roble | Desembocadura Q. Paloma (La Española) - Desembocadura en R. La Vieja |

Tabla 99. Unidades mínimas o tramos de análisis

Los tramos que se toman como referencia para la definición de los objetivos de calidad, que se desarrollarán en la **Fase 3 del PORH Identificación de Usos Potenciales del Recurso**, son los presentados en la Tabla 100. Estos tramos corresponden a una agrupación de los sectores definidos, de acuerdo con características similares desde el punto de vista hidrológico, hidráulico, geomorfológico, de calidad del agua y de usos del agua.

| TRAMO | INICIO | FINAL |
|-----------------------------|--|--|
| RÍO ROBLE | | |
| 5 | Nacimiento del río Roble | Desembocadura de la quebrada Cajones |
| 6 | Desembocadura de la quebrada Cajones | Bocatoma Municipal de Montenegro |
| 7 | Bocatoma Municipal de Montenegro | Desembocadura del río Roble en el río La Vieja |
| QUEBRADA CAJONES | | |
| 3 | Nacimiento de la Quebrada Cajones | Inicio del Casco Urbano de Circasia |
| 4 | Inicio del Casco Urbano de Circasia | Desembocadura en el río Roble |
| QUEBRADA PORTACHUELO | | |
| 1 | Nacimiento de la quebrada Portachuelo | Antes del casco urbano del municipio de Filandia |
| 2 | Antes del casco urbano del municipio de Filandia | Desembocadura en el río Roble |

Tabla 100. Tramos establecidos para la definición de objetivos de calidad

1.8.2. Definición de la estructura conceptual para la modelación de la calidad del agua

En este numeral se presenta inicialmente el protocolo de modelación desarrollado en la **Fase 3 del PORH Identificación de Usos Potenciales del Recurso** y los esquemas conceptuales que representan las entradas y salidas incluidas en el modelo. Para cumplir los objetivos del presente estudio se realiza un resumen sobre los modelos de calidad disponibles y se definen los modelos a implementar (Qual2kw5 y balances de masas). Se determinan los parámetros a considerar, de manera que el plan de monitoreo a ejecutar, las actividades de campo y la recolección de datos respondan a las necesidades de información requeridas para alimentar el modelo.

Otra información detallada sobre la implementación del modelo, de acuerdo con lo requerido por la Guía (MADS, 2018), se presenta en detalle en el informe de la **Fase 3 del PORH Identificación de Usos Potenciales del Recurso**.

1.8.2.1. Protocolo de Modelación

El protocolo o marco de modelación de calidad del agua utilizado en el presente estudio corresponde a una adaptación de la propuesta presentada en la Guía Nacional de Modelación (Figura 114).

Una vez definidos los objetivos de la implementación del modelo de simulación, se realizó una investigación preliminar sobre la información disponible, se obtuvo un modelo conceptual y se optó por utilizar el modelo de calidad del agua denominado Qual2kw5 y balances de masas para los restantes determinantes. Se realizó la planeación de dos (2) campañas de monitoreo de calidad y cantidad de los principales cuerpos de agua, las cuales se realizaron en los meses de septiembre y noviembre del año 2019.

A partir de los resultados de medición de la primera campaña y otra información secundaria, se calibró el modelo. Con los resultados de la segunda campaña se realizó la validación del modelo y se formularon los escenarios de simulación para condiciones de caudal mínimo para los cuerpos de agua.

Se realizó el análisis de los resultados con el fin de predecir los impactos sobre los principales cuerpos de agua (río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones), para proyecciones de carga para el mediano y largo plazo, bajo diferentes condiciones de saneamiento.

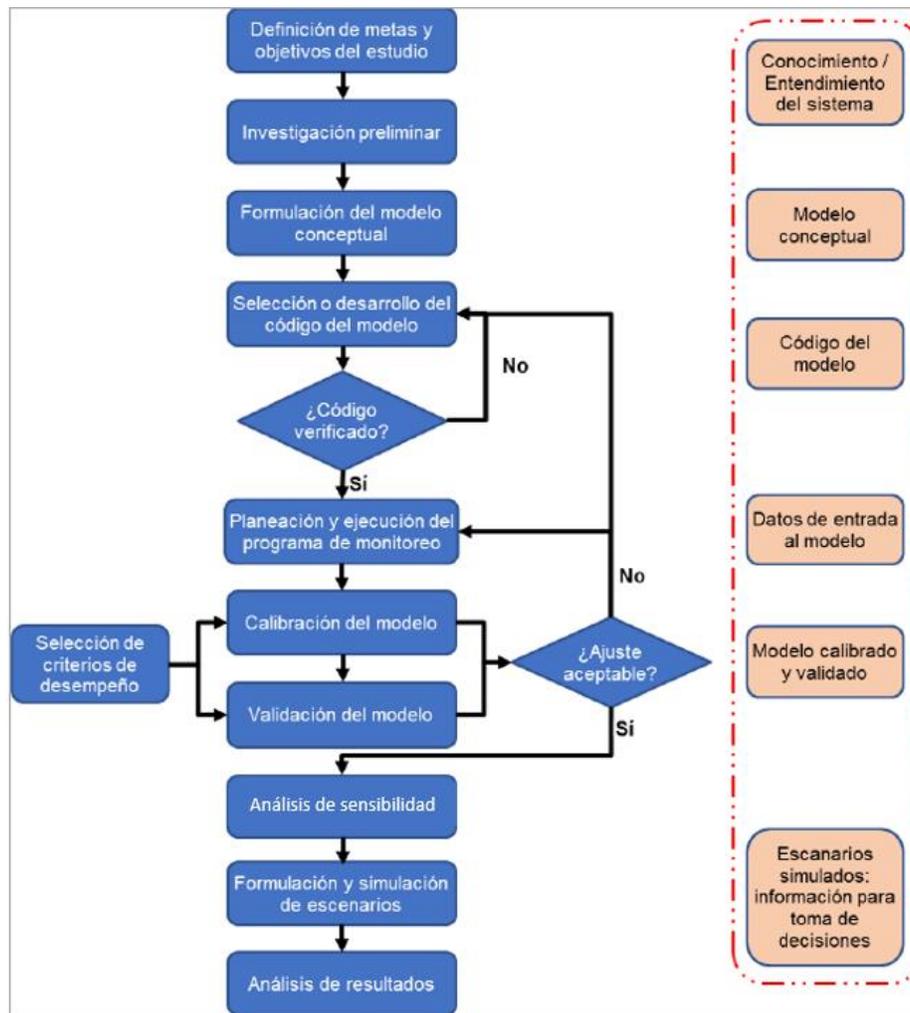


Figura 114 Protocolo de Modelación de Calidad del agua (MADS, 2018)

En el capítulo correspondiente a la **Fase 3 del PORH Identificación de Usos Potenciales del Recurso**, se presentará en detalle la implementación del modelo de calidad del agua, describiendo la información incluida en cada una de las etapas definidas en el protocolo descrito previamente.

1.8.2.2. Definición de Requisitos de Información Adicional para la Implementación del Modelo

A partir de la revisión de la información disponible de calidad del agua, caudales y usuarios del recurso hídrico, se determinó la necesidad de establecer puntos de monitoreo adicionales a los históricos disponibles.

Se identificó que, a partir de los monitoreos no era posible obtener la información completa de caudales de todos los cuerpos de agua. Por lo tanto, se realizó la medición de caudales para los cuerpos de agua principales (río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones) y algunos afluentes principales, y para otros cuerpos de agua se realizaron estimaciones de caudal mediante modelos hidrológicos, para las fechas de monitoreo, con el fin de complementar la información necesaria para la calibración y validación del modelo, así como para condiciones de caudal mínimo, con el fin de utilizarlos en los escenarios de simulación.

1.8.2.3. *Esquema Conceptual*

A partir de la identificación de los principales tributarios se definieron los siguientes esquemas conceptuales para implementar el modelo de calidad del agua para el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

Esquema conceptual para el río Roble:

En la Figura 115 se presenta el esquema conceptual definido para la implementación del modelo de calidad del río Roble. Debido al tamaño de esta corriente y ante la imposibilidad de realizar en un mismo día la campaña de monitoreo, se implementaron dos (2) modelos de calidad, uno para la zona alta, iniciando aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cajones (punto de monitoreo RRob_01) y finalizando aguas abajo de la quebrada Portachuelo (RRob_02). En el Informe de Modelación realizado en el año 2015, se informa que el río Roble no presenta un flujo permanente aguas arriba de la quebrada La Arenosa. Durante los recorridos de campo realizados en el marco del presente PORH se verificó dicha situación, encontrando que luego de las captaciones que se realiza en la quebrada La Arenosa y el Río Roble (aguas arriba de la quebrada La Arenosa), se disminuye considerablemente el caudal del río Roble y solo se registra flujo con unas condiciones hidráulicas suficientes para la implementación del modelo cerca de la confluencia con la quebrada Cajones. El segundo modelo se implementó para el tramo comprendido entre la estación RRob_02 y la desembocadura del río Roble en el río La Vieja.

Los afluentes incluidos en la modelación como condiciones de contorno son aquellos identificados en la codificación de cuencas presentada en el POMCA del río La Vieja (2018), los cuales corresponden en orden (aguas arriba hacia aguas abajo) a las quebradas Cajones, Portachuelo, San José, La Soledad (Quebrada La Paloma) y las Lajas. Si bien la quebrada La Paloma es identificada como una microcuenca en el POMCA, dado que confluyen con la quebrada La Soledad, para efectos de modelación se tendrá el efecto agregado de los dos (2) cuerpos de agua, en el punto ubicado en la desembocadura en el río Roble, de acuerdo con las recomendaciones de la Guía Nacional de Modelación en cuanto a la implementación de modelos a escala Regional.

Se incluyeron otros afluentes tomando como criterio de priorización aquellos que tuvieran un área aferente con un tamaño superior al 1% del área aferente de la cuenca del río Roble. Estos afluentes corresponden en orden (aguas arriba hacia aguas abajo), a las quebradas San Luis, Membrillal, Chachafruto, La Patasola, La Cristalina, La Carmelita, El Chispero y La Paloma (La Española).

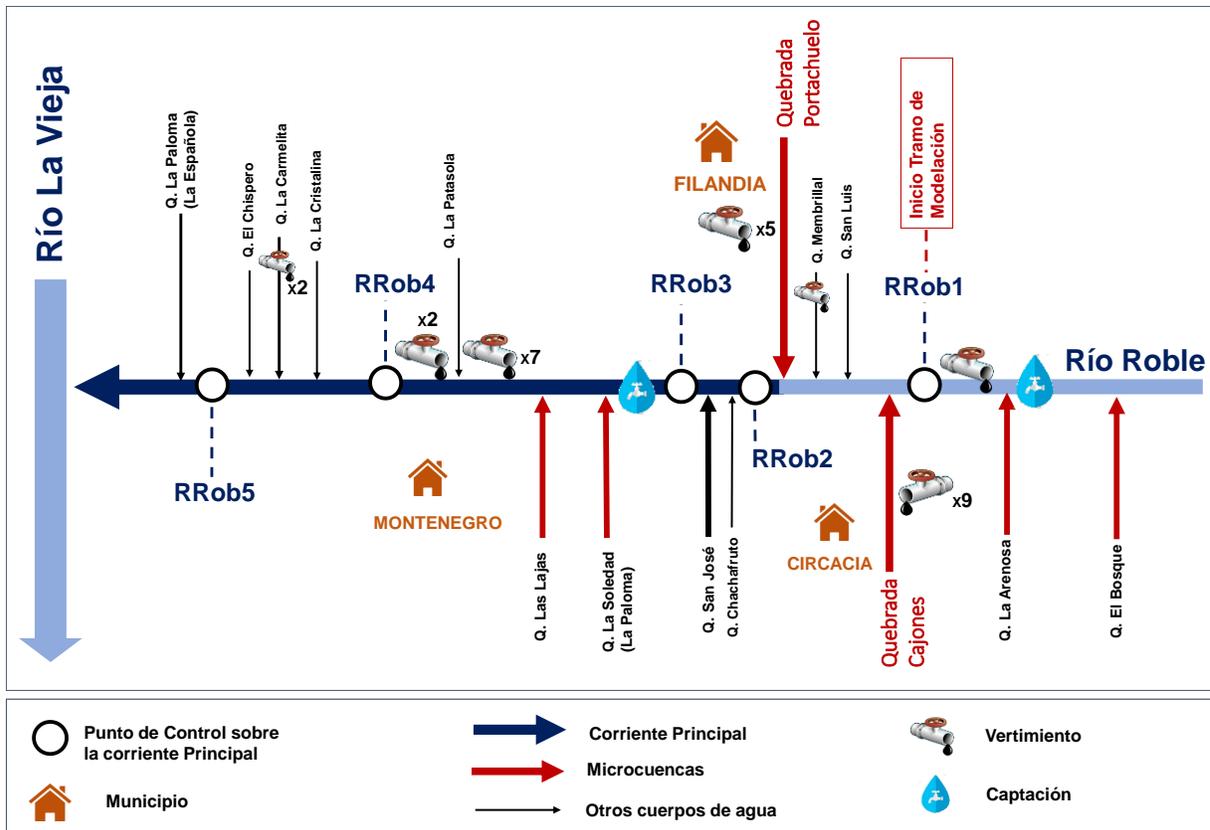


Figura 115 Esquema conceptual del río Roble

Dentro de la modelación se incluyeron las descargas y captaciones que se realizan directamente sobre el río Roble, identificadas en el tramo de estudio, cuya ubicación y características se presentan en detalle en la sección 1.4.

Esquema conceptual para la quebrada Portachuelo:

En la Figura 116 se presenta el esquema conceptual definido para la implementación del modelo de calidad de la quebrada Portachuelo. La toma de muestras se realizó en un (1) solo día en todo el tramo de análisis, para cada una de las dos (2) campañas de monitoreo.

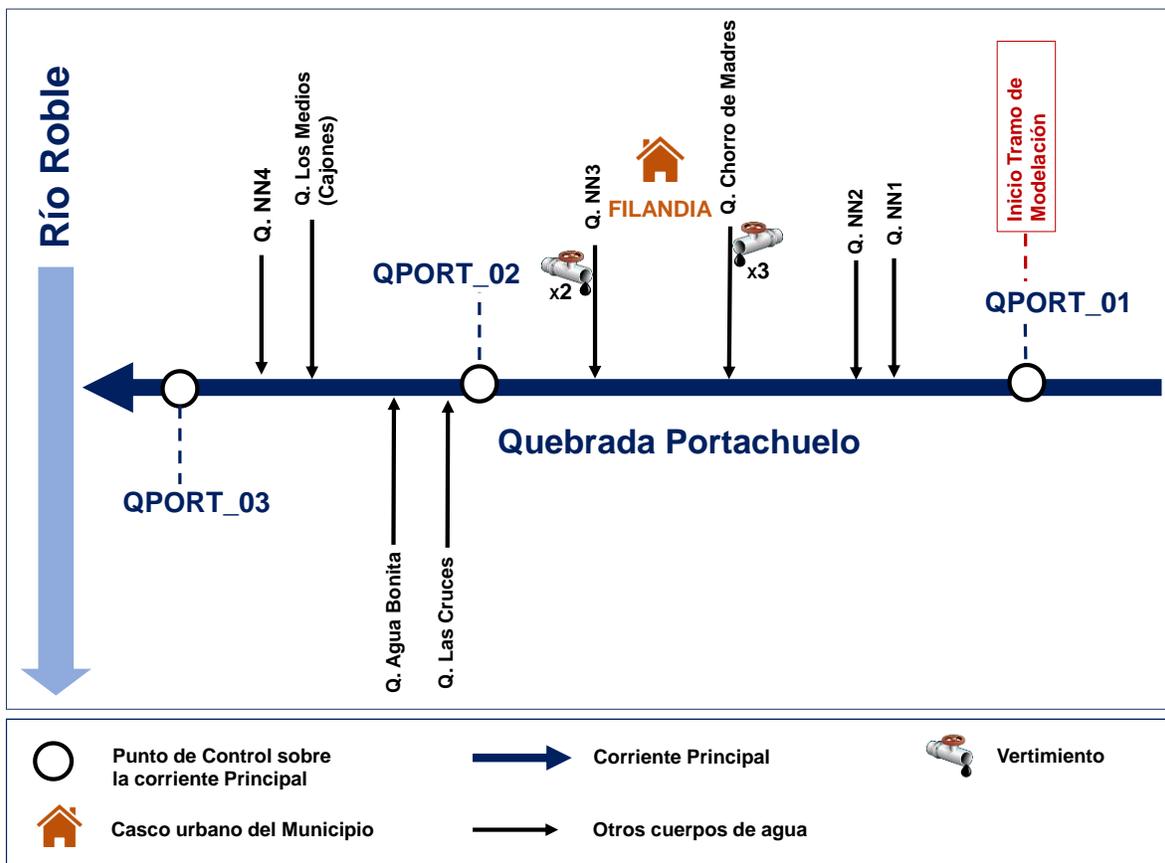


Figura 116 Esquema conceptual de la quebrada Portachuelo

Con el fin de definir los afluentes a considerar en la implementación del modelo, se tomaron aquellas fuentes receptoras de aguas residuales, como es el caso de la quebrada Chorro de Madres y una quebrada Innominada (QNN3), en las cuales se realiza vertimientos de carácter municipal, provenientes del casco urbano de Filandia. Se incluyeron otros afluentes en la modelación, tomando como criterio de priorización aquellos que tuvieran un área aferente con un tamaño superior al 1% del tamaño del área aferente de la unidad hidrográfica de la quebrada Portachuelo. Estos afluentes corresponden en orden (aguas arriba hacia aguas abajo), a las quebradas Innominada 1, Innominada 2, Las Cruces, Agua Bonita, Los Medios e Innominada 4.

Dentro de la modelación se incluyeron las descargas identificadas en el tramo de estudio, cuya ubicación y características se presentan en detalle en la 1.4.

Las descargas identificadas de acuerdo con las bases de datos de CRQ, están distribuidas de la siguiente forma: tres (3) sobre la quebrada Chorro de Madres y dos (2) sobre la quebrada Innominada (QNN3).

Esquema conceptual para la quebrada Cajones:

En la Figura 117 se presenta el esquema conceptual definido para la implementación del modelo de calidad de la quebrada Cajones. La toma de muestras se realizó en un (1) solo día para todo el tramo de análisis, para cada una de las dos (2) campañas de monitoreo.

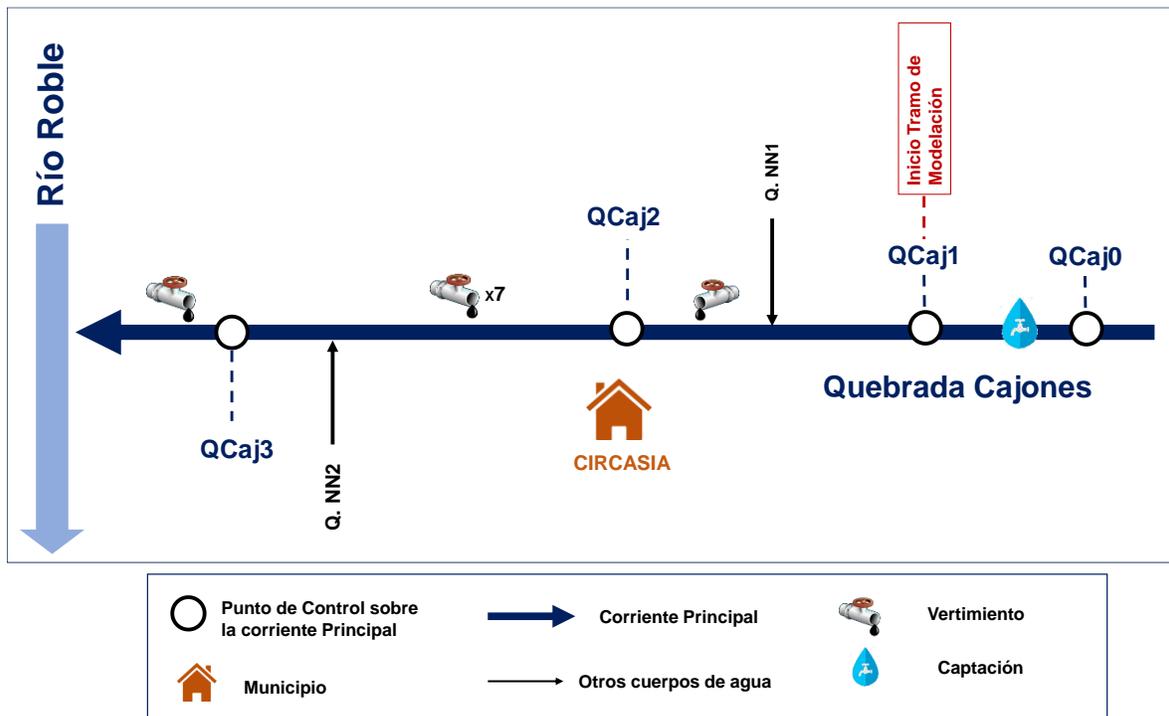


Figura 117 Esquema conceptual de la quebrada Cajones

Con el fin de definir los afluentes que se considerarán en la implementación del modelo, se tomó como criterio de priorización aquellos que tuvieran un área aferente con un tamaño superior al 1% del tamaño del área aferente de la cuenca de la quebrada Cajones. Estos afluentes corresponden en orden (aguas arriba hacia aguas abajo), a las quebradas Innominada 1 (QNN1) e Innominada 2 (QNN2).

Dentro de la modelación se incluyeron las descargas identificadas en el tramo de estudio, cuya ubicación y características se presentan en detalle en la sección 1.4.

La única captación identificada sobre la quebrada Cajones, corresponde a la realizada por el municipio de Circasia, destinada para los usos en actividades domésticas y para consumo humano (entre otras actividades que se dan en el municipio). Durante la campaña de campo correspondiente a la época seca no se encontró flujo de agua, arriba de la captación, por lo que se consideró iniciar el tramo de modelación aguas abajo de esta captación.

1.8.2.4. Definición de los Determinantes de Calidad del Agua a simular

Para la definición de los determinantes de calidad del agua a medir en las dos (2) campañas de monitoreo del año 2019, se tomó como referencia el listado recomendado por la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico, y se realizó una división en tres (3) grupos (Tabla 101).

En los puntos correspondientes al Grupo 1, se midió la totalidad de los determinantes recomendados en la Guía. Estos corresponderían a puntos de control en los cuales se conoce la

totalidad de la información de calidad del agua con fines de implementar el modelo de calidad del agua y realizar la caracterización de los principales cuerpos de agua.

Por su parte, el Grupo 2 corresponde a puntos de monitoreo en los cuales no se midieron algunos determinantes de calidad del agua los cuales no serían relevantes para la implementación del modelo ya que se cuenta con suficiente información en otros puntos de control del modelo, con lo cual se permite realizar el balance de masas. Dentro de estos se encuentra el calcio, cianuro, clorofila, cloruros, cobre, DBO₅ disuelta, pesticidas, entre otros.

El Grupo 3 corresponde a los monitoreos realizados sobre tres (3) de los vertimientos más importantes identificados, debidos a su potencial aporte en carga, los cuales se ubican en los municipios de Circasia y Montenegro.

Tabla 101 Determinantes de Calidad del agua monitoreados

| No. | Determinante | Monitoreo | | | Modelación | |
|-----|--|-----------|---------|---------|----------------------|------------------|
| | | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Modelación en Qual2k | Balances de Masa |
| 1 | Alcalinidad total | x | | x | x | |
| 2 | Arsénico Total | x | x | x | | x |
| 3 | Bario Total | x | | x | | x |
| 4 | Cadmio Total | x | x | x | | x |
| 5 | Calcio Total | x | | | | x |
| 6 | Caudal | x | x | x | x | |
| 7 | Cianuro Total | x | | x | | x |
| 8 | Clorofila | x | | | x | |
| 9 | Cloruros | x | | x | | x |
| 10 | Cobre Total | x | | x | | x |
| 11 | Coliformes Termotolerantes | x | | x | | |
| 12 | Coliformes Totales | x | x | x | x | |
| 13 | Conductividad (in situ) | x | x | x | x | |
| 14 | Cromo Total | x | x | x | | x |
| 15 | DBO ₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) | x | x | x | x | |
| 16 | DBO ₅ Disuelta o Soluble | x | | x | x | |
| 17 | DQO | x | x | x | x | |
| 18 | Dureza | x | | | | x |
| 19 | Escherichia coli (E. coli) | x | | x | | x |
| 20 | Fenoles | x | | x | | x |
| 21 | Fósforo total | x | x | x | x | |
| 22 | Grasas y Aceites | x | x | x | | |
| 23 | Hidrocarburos | x | | x | | |
| 24 | Hierro Total | x | | x | | x |
| 25 | Magnesio Total | x | | | | x |
| 26 | Mercurio Total | x | x | x | | x |

| No. | Determinante | Monitoreo | | | Modelación | |
|-----|----------------------------------|-----------|---------|---------|----------------------|------------------|
| | | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Modelación en Qual2k | Balances de Masa |
| 27 | Níquel Total | x | x | x | | x |
| 28 | Nitratos | x | x | x | x | |
| 29 | Nitritos | x | | x | x | |
| 30 | Nitrógeno amoniacal | x | x | x | x | |
| 31 | Nitrógeno Total | x | | x | x | |
| 32 | Nitrógeno total Kjeldahl | x | | x | x | |
| 33 | Ortofosfatos (mg PO4/L) | x | | x | x | |
| 34 | Oxígeno Disuelto (In situ) | x | x | x | x | |
| 35 | Pesticidas Organoclorados | x | | | | x |
| 36 | Pesticidas Organofosforados | x | | | | x |
| 37 | pH In situ | x | x | x | x | |
| 38 | Plomo Total | x | x | x | | x |
| 39 | Selenio Total | x | | x | | x |
| 40 | Sodio Total | x | | | | x |
| 41 | Sólidos Disueltos Totales | x | | x | | |
| 42 | Sólidos Suspendidos Totales | x | x | x | x | |
| 43 | Sólidos Suspendidos Volátiles | x | | x | x | |
| 44 | Sulfatos | x | | x | | x |
| 45 | Surfactantes Aniónicos como SAAM | x | | x | | x |
| 46 | Temperatura muestra (In situ) | x | x | x | x | |
| 47 | Turbidez | x | | x | | |
| 48 | Vanadio Total | x | | x | | x |
| 49 | Zinc Total | x | | x | | x |
| 50 | Sólidos sedimentables (In situ) | | | x | | |

1.8.2.5. Definición del Número de Campañas a Realizar

Inicialmente se realizaron jornadas de reconocimiento de la zona de estudio durante los meses de marzo, abril, julio y agosto del año 2019. De acuerdo con la guía, se debe contar con una campaña de medición durante la época seca para realizar la calibración del modelo, por lo tanto, se realizó la primera campaña en el mes de septiembre de 2019, en el cual se presentaron las condiciones requeridas por la Guía. Por otra parte, con fines de realizar la validación del modelo, se definió una segunda campaña de monitoreo para el mes de noviembre del año 2019, durante la época de lluvias.

Los monitoreos fueron adelantados por parte del laboratorio Chemilab, el cual cuenta con Acreditación por parte del IDEAM para la toma y análisis de muestras, dando cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1600 de 2004, compilado en el Decreto 1076 de 2015.

1.8.2.6. Selección del Código del modelo

Una revisión detallada de los modelos de dominio público para la modelación de la calidad del agua en corrientes superficiales se puede encontrar en Kannel *et al.* (2010), Cox (2003) y, más recientemente, en Wang *et al.* (2013). De acuerdo con lo presentado por dichos autores, los modelos Qual2k y WASP, ambos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), tienen los componentes necesarios para la modelación del caso de estudio, especialmente por considerar los efectos debidos al consumo de oxígeno debido a la DBO, la demanda nitrogenéa, el pH, sólidos suspendidos y organismos patógenos.

No obstante, WASP presenta una desventaja importante que consiste en la imposibilidad de calibrarlo automáticamente dado que carece de un módulo para ello y no permite ser ejecutado en segundo plano (*batch mode*). Algunas versiones del software Qual2k de la USEPA, desarrollado en el entorno Excel, tampoco incluye explícitamente un módulo de autocalibración. No obstante, para este último software, también existe la posibilidad de utilizar una versión paralela desarrollada por el Departamento de Ecología del Estado de Washington, Qual2kw, la cual incorpora un algoritmo genético para la autocalibración del modelo. Esta entidad también ha desarrollado herramientas (*plug-ins*) complementarias como YASAIw, basada en Excel, para realizar simulaciones de Monte Carlo y facilitar el respectivo análisis de sensibilidad e incertidumbre.

La versión más reciente del software Qual2kw es la 6.0, cuya principal diferencia con la versión 5.1 es que incluye la opción de la modelación dinámica de la calidad del agua y el análisis hidráulico de flujo no uniforme y no permanente. Estas nuevas capacidades no son necesarias para este trabajo de modelación, puesto que se desarrolló un modelo en estado estable y se supone que las descargas de las ARD son continuas y constantes en el tiempo, con el fin de considerar un efecto a largo plazo sobre el cuerpo receptor.

1.8.3. Diseño y Ejecución del Plan de Monitoreo

En este numeral se presenta el diseño final y la ejecución del plan de monitoreo, con base en el pre-diseño (acción previa al proceso de ordenamiento) y con la información recopilada sobre los reportes de calidad del agua históricos, usos de la tierra y usos actuales del agua. Se define el número de campañas a efectuar, la micro-localización de los puntos de monitoreo, los determinantes fisicoquímicos y biológicos a medir.

1.8.3.1. Registros históricos de caudal y calidad del agua superficial

Con el fin de dar continuidad a los procesos de medición de la calidad del agua en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones se consideró en la definición de la red de monitoreo el análisis de los reportes de calidad contenidos en los diferentes instrumentos o programas (**Figura 118** y Figura 119) de las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones. Se obtuvo información de la Evaluación Regional del Agua - ERA del departamento del Quindío (2017), POMCA del río La vieja (2018), Modelo de Calidad del agua del Río Roble (2015), los monitoreos realizados por la CRQ en el periodo 2016-2018 y los monitoreos realizados por la Empresa de Servicios Públicos - ESP del Quindío en el año 2014.

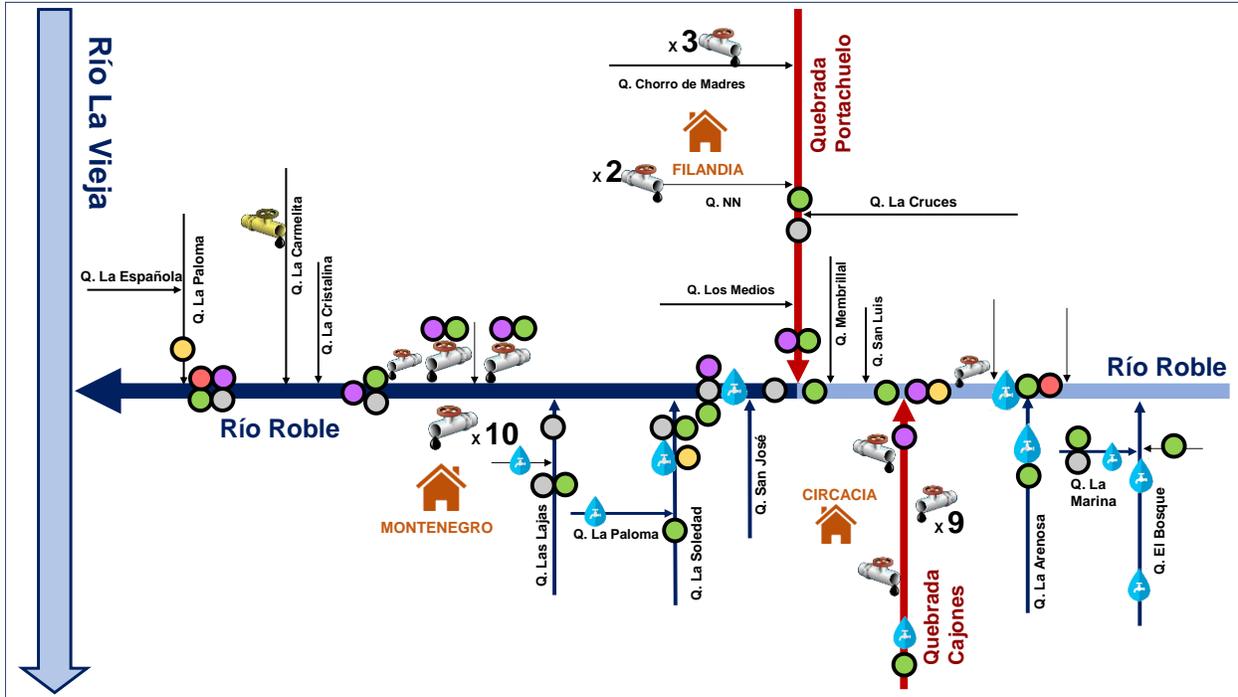


Figura 118. Topología de la red de drenaje del río Roble. Puntos de monitoreo POMCA (2018), ERA (2017), Modelo de calidad el agua (2015) y RED de Calidad CRQ (2014-2018)

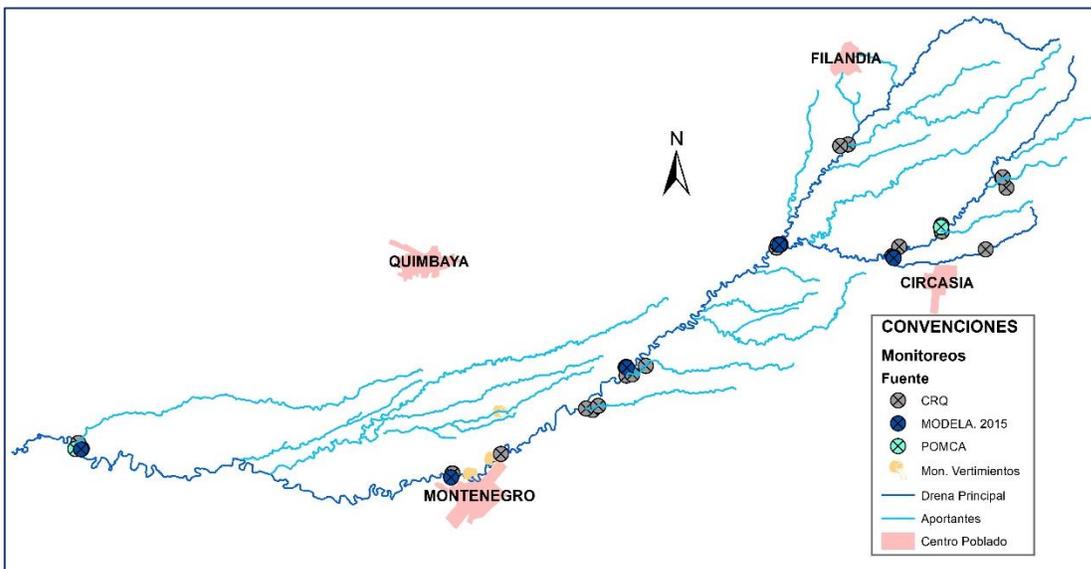


Figura 119. Distribución de los puntos de monitoreo previos.

1.8.3.1.1. Evaluación Regional del Agua - ERA del departamento del Quindío (2017)

En el marco de la ERA del departamento del Quindío se realizó una (1) campaña de monitoreo en diferentes puntos, dando especial importancia a cuerpos de agua en los que se realizan captaciones por parte de los municipios de Finlandia, Circasia y Montenegro y algunos de los vertimientos municipales con mayor carga que se realizan directamente sobre el río Roble, en el municipio de Montenegro. En total se realizó un monitoreo en 17 puntos, 15 de los cuales corresponde a cuerpos de agua superficial, incluyendo cuatro (4) puntos sobre el río Roble y dos (2) puntos de vertimientos de agua residual.

1.8.3.1.2. Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas - POMCA del río La Vieja (2018)

El POMCA para la Subzona Hidrográfica del río La Vieja, con código 2612 contempla información de (2) estaciones de monitoreo para la unidad hidrográfica del río Roble, las cuales se ubican en su corriente principal, desde aguas arriba de la quebrada La Arenosa hasta aguas arriba de la desembocadura del río Roble en el río La Vieja, cerca de la desembocadura de la quebrada La Paloma (sector La Española) en el río Roble. Se presentan registros compilados desde el año 2010 hasta el 2016.

1.8.3.1.3. Modelación de la calidad del agua del río Roble (2015)

En la modelación del río Roble (CRQ, 2015) se consideró tomar muestras desde la zona alta del río Roble, sin embargo, al no encontrar un flujo continuo de agua, se tomó la primera muestra aguas arriba de la quebrada Cajones, y otras muestras en la zona media y baja del río Roble. También se cuenta con monitoreos en los puntos de cierre de otras corrientes importantes como la quebrada Portachuelo y quebrada Cajones. Se realizó el monitoreo en un total de ocho (8) puntos, correspondiente a seis (6) puntos en cuerpos de agua superficial y dos (2) puntos de vertimientos de agua residual. Estos últimos coinciden con los monitoreados en la ERA (2018).

1.8.3.1.4. Red de Monitoreo de la Corporación Autónoma del Quindío - CRQ (2016-2018)

Dentro del registro histórico de la Corporación Autónoma del Quindío – CRQ se cuenta con información para diez puntos de monitoreo en total, nueve (9) puntos en aguas superficiales y un (1) punto en un vertimiento proveniente de actividades de una industria avícola. Para cada punto de información se dispone de reportes para ciertos años del periodo analizado. Cinco (5) de los ocho (8) puntos de monitoreo de la red de calidad de la CRQ corresponde a puntos de monitoreo considerados en la ERA – (2018).

1.8.3.2. Red de Monitoreo PORH (2019)

Para la definición de los puntos de monitoreo para las campañas realizadas en el marco de la Fase de Diagnóstico del presente PORH, se consideró la cantidad y calidad de la información disponible de monitoreos realizados en el marco de otros instrumentos y programas. Así mismo, se consideró las condiciones estratégicas que favorecen la implementación del modelo de calidad del agua, con las características definidas por la Guía Nacional de Modelación para el Recurso Hídrico Superficial Continental (MADS, 2018). Dentro de los aspectos que se tuvieron en cuenta en la definición de los puntos de monitoreo se encuentran los siguientes (**Figura 120**):

- Sitios representativos de condiciones con poca o nula alteración de la calidad del agua por actividades antrópicas para los principales cuerpos de agua (río Roble, quebrada Cajones y quebrada Portachuelo), los cuales generalmente corresponde a las zonas altas.
- Puntos de cierre del cuerpo de agua principal de algunas microcuencas definidas en la zonificación del río La Vieja.
- Puntos de cierre de algunas de las microcuencas más representativas en cuanto a condiciones de calidad con poca alteración (por ejemplo, quebrada Las Cruces) o debido a la presencia de vertimientos (por ejemplo, la quebrada Chorro de Madres) o captaciones municipales.
- Puntos de monitoreo en la corriente principal de la Subcuenca del río Roble que permitan cerrar los balances de masa del modelo y con esto realizar la calibración de los parámetros del modelo de calidad del agua (tasas de sedimentación, oxidación, hidrólisis, entre otras) para los diferentes tramos del modelo.
- La presencia de centros poblados de los Municipios de Filandia, Montenegro y Circasia, los cuales estarían asociados a descargas de aguas residuales de origen doméstico sin tratamiento a los cuerpos de agua.
- Debido a que el monitoreo se ejecutó en tres (3) días diferentes, fue necesario realizar dos (2) veces el monitoreo en dos (2) de los puntos, correspondientes al cierre de la quebrada Portachuelo y al río Roble, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Portachuelo.

1.8.3.3. *Desarrollo de las campañas de monitoreo Año 2019*

Dado que se contaba con los puntos de monitoreo específicos en el río Roble, en la quebrada Portachuelo y en la quebrada Cajones, para el mes de Septiembre (representativo de condición con bajas precipitaciones) y para el mes de Noviembre (representativo de altas precipitaciones) se realizó un muestreo simple en cada uno de los puntos establecidos sobre las corrientes y se realizaron monitoreos compuestos para los vertimientos de importancia seleccionados. Las campañas de campo se desarrollaron en compañía del laboratorio CHEMILAB SAS, el cual cuenta con acreditación por parte del IDEAM mediante resolución 288 del 19 de marzo del 2019, este empleó los recipientes adecuados para trasladar las muestras al laboratorio, las cuales fueron preservadas de acuerdo con lo establecido en el Formato de Preservación de aguas para análisis (FOR 04 106) y mantuvo la cadena de frío requerida. Se realizó el muestro de variables *In Situ* de Conductividad, Oxígeno Disuelto, pH y Temperatura con equipos calibrados y verificados en campo, mientras los parámetros evaluados al agua en laboratorio se realizaron según los métodos analíticos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23nd, Edition 2017 y el instructivo de toma de muestras de aguas de ChemiLab S.A.S. (PGC 04 004).

De igual forma, en cada uno de los puntos se realizó el levantamiento de caudales por vadeo en los puntos sobre el río Roble y sus aportantes, mientras que, para los vertimientos se realizó la medición de caudales por medio volumétrico. Los puntos de muestreo obtenidos entre el 24 y 27 de septiembre de 2019 considerado como de bajas precipitaciones, así como los obtenidos en temporada de lluvias del 21 al 23 de noviembre, se presentan en la **Tabla 102**. En esta se destacan las coordenadas, nombre y una imagen de la actividad de campo desarrollada por el laboratorio.

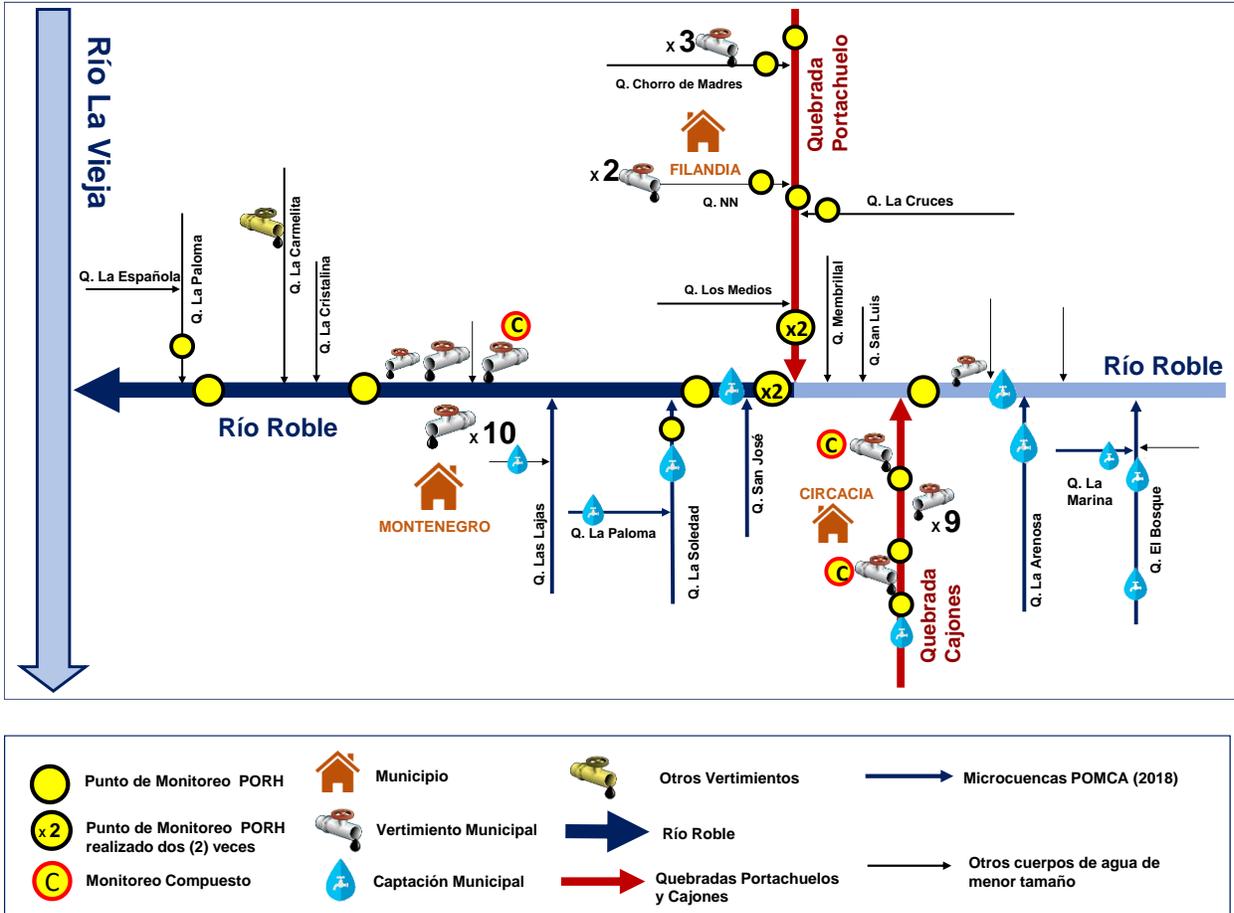


Figura 120. Topología de la red de drenaje del río Roble. Puntos de monitoreo para las campañas del año 2019

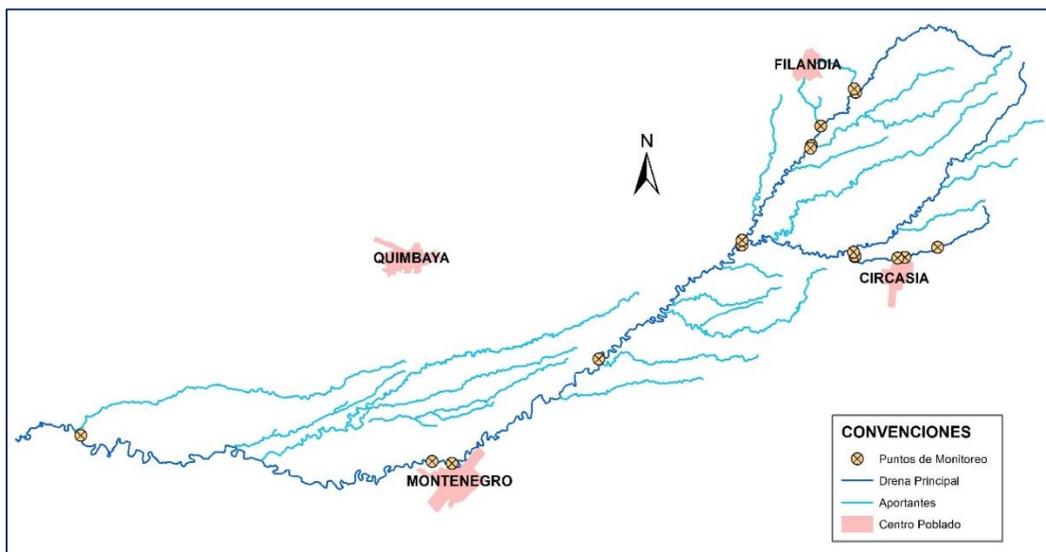
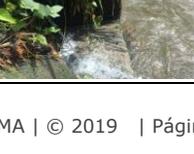


Figura 121. Distribución de los puntos de monitoreo definidos para las campañas del año 2019.

| FECHA | IDENTIFICACIÓN O NOMBRE DEL PUNTO | LATITUD | LONGITUD | REGISTRO FOTOGRAFICO |
|------------|-----------------------------------|-----------|-------------|---|
| 21/11/2019 | Q CAJ 1 - SIMPLE | 4,6258889 | -75,6231944 |  |
| 21/11/2019 | Q CAJA-VERTIMIENTO 1 - COMPUESTO | 4,6233739 | -75,6326800 |  |
| 21/11/2019 | Q CAJ 2 - SIMPLE | 4,6231667 | -75,6346111 |  |
| 21/11/2019 | R. ROB 1 - SIMPLE | 4,6247778 | -75,6462222 |  |
| 21/11/2019 | Q CAJ 3 - SIMPLE | 4,6238972 | -75,6459444 |  |
| 21/11/2019 | R ROB 2 - SIMPLE | 4,6267222 | -75,6757778 |  |
| 21/11/2019 | Q PORT 3 - SIMPLE | 4,6279444 | -75,6756389 |  |
| 23/11/2019 | Q PORT 1 - SIMPLE | 4,6670278 | -75,5122500 |  |
| 23/11/2019 | Q CHO 1 - SIMPLE | 4,6679722 | -75,6459722 |  |
| 23/11/2019 | Q PORT 3 - SIMPLE | 4,6279444 | -75,6756389 |  |

| FECHA | IDENTIFICACIÓN O NOMBRE DEL PUNTO | LATITUD | LONGITUD | REGISTRO FOTOGRAFICO |
|------------|-----------------------------------|-----------|-------------|---|
| 23/11/2019 | Q INN 1 - SIMPLE | 4,6581583 | -75,6548611 |  |
| 23/11/2019 | Q PORT 2 - SIMPLE | 4,6527861 | -75,6573944 |  |
| 23/11/2019 | Q CRU 1 - SIMPLE | 4,6523611 | -75,6578028 |  |
| 23/11/2019 | Q PAL 1 - SIMPLE | 4,5771278 | -75,8503250 |  |
| 22/11/2019 | R. ROB 5 - SIMPLE | 4,5765833 | -75,8501667 |  |
| 22/11/2019 | R. ROB 3 - SIMPLE | 4,5948611 | -75,7137333 |  |
| 22/11/2019 | Q. SOL 1 - SIMPLE | 4,5948333 | -75,7134028 |  |
| 22/11/2019 | R. ROB 2 - SIMPLE | 4,6267500 | -75,6756667 |  |
| 22/11/2019 | R. ROB 4 - SIMPLE | 4,5696389 | -75,7576111 |  |
| 22/11/2019 | Q. CAR 1 - SIMPLE | 4,5821861 | -75,7775694 |  |
| 22/11/2019 | R. ROB VERT 1 - COMPUESTO | 4,5691389 | -75,7523889 |  |

| FECHA | IDENTIFICACIÓN O NOMBRE DEL PUNTO | LATITUD | LONGITUD | REGISTRO FOTOGRAFICO |
|------------|--|-----------|-------------|---|
| 24/09/2019 | BOCATOMA CIRCASIA CAJONES - SIMPLE | 4,6258889 | -75,6243056 |  |
| 25/09/2019 | BOCATOMA CAJONES #2 - SIMPLE | 4,6258889 | -75,6243056 |  |
| 24/09/2019 | VERTIMIENTO CAJONES MATADERO - SIMPLE | 4,6233739 | -75,6326800 |  |
| 24/09/2019 | AGUA ABAJO CAJONES MATADERO - SIMPLE | 4,6231667 | -75,6346111 |  |
| 25/09/2019 | AGUAS ABAJO CAJONES MATADERO - SIMPLE | 4,6231667 | -75,6346111 |  |
| 25/09/2019 | CAJONES AGUAS ARRIBA DESEMB OCADURA RIO ROBLE - SIMPLE | 4,6235556 | -75,6459167 |  |
| 25/09/2019 | VERTIMIENTO CAJONES AGUAS ARRIBA RIO ROBLE - COMPUESTO | 4,6237778 | -75,6459306 |  |
| 25/09/2019 | RIO ROBLE AGUAS ARRIBA DESEMBOCADURA CAJONES - SIMPLE | 4,6247778 | -75,6462222 |  |
| 25/09/2019 | PORTACHUELO AGUAS ABAJO CONFLUENTE RIO ROBLE - SIMPLE | 4,6279444 | -75,6756389 |  |
| 25/09/2019 | RIO ROBLE AGUAS ABAJO CONFLUENCIA - SIMPLE | 4,6267222 | -75,6757778 |  |
| 26/09/2019 | RIO ROBLE AGUADEÑO 2 - SIMPLE | 4,6267500 | -75,6756667 |  |
| 26/09/2019 | RIO ROBLE BOCATOMA MONTENEGRO - SIMPLE | 4,5966944 | -75,7135556 |  |

| FECHA | IDENTIFICACIÓN O NOMBRE DEL PUNTO | LATITUD | LONGITUD | REGISTRO FOTOGRAFICO |
|------------|---|-----------|-------------|---|
| 26/09/2019 | VERTIMIENTO MONTENEGRO - COMPUESTO | 4,5691389 | -75,7523889 |  |
| 26/09/2019 | RIO ROBLE AGUAS ABAJO VERTIMIENTO MONTENEGRO - SIMPLE | 4,5696389 | -75,7576111 |  |
| 26/09/2019 | RIO ROBLE LA ESPAÑOLA - SIMPLE | 4,5766944 | -75,8503611 |  |
| 27/09/2019 | QUEBRADA PORTACHUELO AGUAS ARRIBA CONFLUENCIA QUEBRADA CHORRO MADRES - SIMPLE | 4,6670278 | -75,6455833 |  |
| 27/09/2019 | QUEBRADA CHORRO MADRES AGUAS ARRIBA CONFLUENCIA PORTACHUELO - SIMPLE | 4,6679722 | -75,6459722 |  |
| 27/09/2019 | FRNN FINLANDIA - SIMPLE | 4,5766667 | -75,8503611 |  |
| 27/09/2019 | PORTACHUELO CEMENTERIO FINLANDIA - SIMPLE | 4,5766667 | -75,8503611 |  |
| 27/09/2019 | QUEBRADA LAS CRUCES - SIMPLE | 4,6522778 | -75,6575556 |  |
| 27/09/2019 | PORTACHUELO AGUAS ARRIBA CONFLUENCIA RIO ROBLE N°2 - SIMPLE | 4,6279444 | -75,6756389 |  |
| 24/09/2019 | QUEBRADA YEGUAS PUENTE VÍA ARMENIA - SIMPLE | 4,6111944 | -75,6363889 |  |
| 25/09/2019 | QUEBRADA CAJONES MONTENEGRO AGUAS ABAJO - SIMPLE | 4,9346778 | -75,2553083 |  |
| 25/09/2019 | QUEBRADA CAJONES MONTENEGRO AGUAS ARRIBA - SIMPLE | 4,5719417 | -75,7363056 |  |

Tabla 102. Puntos de monitoreo.

1.8.4. Construcción de la Línea Base

1.8.4.1. Consolidación de usos Existentes del Recurso Hídrico

A partir de la información de usos actuales recopilada durante el alistamiento institucional y del resultado del censo de usuarios descrito en el Numeral 1.4, se consolidaron los usos existentes del recurso hídrico superficial según lo establecido en el artículo 2.2.3.3.2.1. y que se encuentren concesionados, de la Sección 2 (Tabla 103), Capítulo 3, del Decreto 1076 de 2015, modificado parcialmente por el Decreto 703 de 2018. En la Tabla 104 se define el número de concesiones por cada uno de los usos definidos en el Decreto 1076 de 2015 y para cada una de las unidades mínimas de análisis utilizadas para la sectorización del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones (Numeral 1.8.1).

| No. | USO | COLOR |
|-----|-----------------------------------|---|
| 1 | Consumo humano y doméstico. | |
| 2 | Preservación de flora y fauna. | Usó No Concesionado por acto administrativo |
| 3 | Agrícola. | |
| 4 | Pecuario. | |
| 5 | Recreativo. | Usó No Concesionado por acto administrativo |
| 6 | Industrial. | Usó No Concesionado por acto administrativo |
| 7 | Estético. | Usó No Concesionado por acto administrativo |
| 8 | Pesca, Maricultura y Acuicultura. | |
| 9 | Navegación y Transporte Acuático. | Usó No Concesionado por acto administrativo |

Tabla 103 Usos definidos en el Decreto 1076 de 2015

| TRAMO | FUENTE O MICROCUENCA SEGÚN CODIFICACIÓN DEL RÍO LA VIEJA | SECTOR | CUERPO DE AGUA | USOS SEGÚN ARTÍCULO 2.2.3.3.2.1 DEL DECRETO 1076 DE 2015 | | | |
|-------|--|------------|--------------------------|--|---|---|---|
| | | | | 1 | 3 | 4 | 8 |
| 5 | Río Roble | ROBLE_01 | R. Roble | | 1 | 1 | |
| | | | Afluente R. Roble | 2 | 1 | 1 | |
| | Quebrada El Bosque | BOSQUE_01 | Q. El Bosque | 1 | | 1 | |
| | Quebrada La Marina | MARINA_01 | Q. La Marina | 1 | | | |
| | Río Roble | ROBLE_02 | R. Roble | 1 | | | |
| | Quebrada La Arenosa | ARENOSA_01 | Q. La Arenosa | 3 | | | |
| 3 | Quebrada Cajones | CAJONES_01 | Río Roble | | | 1 | |
| | | | Afluente R. Roble | | | | |
| | | | Q. Cajones | 11 | 1 | | |
| 6 | Río Roble | ROBLE_04 | Afluente R. Roble | 3 | 3 | 3 | |
| | | | Afluente Q. Cajones | | 1 | | |
| 1 | Quebrada Portachuelo | PORTA_01 | Q. Portachuelos | | 3 | 3 | |
| 2 | | CRUCES_01 | Q. Las Cruces | 1 | | | |
| | | MEDIOS_01 | Q. Los Medios (Cajones) | | 4 | 2 | |
| | | PORTA_04 | Afluente Q. Portachuelos | | 1 | | |

| TRAMO | FUENTE O MICROCUENCA SEGÚN CODIFICACIÓN DEL RÍO LA VIEJA | SECTOR | CUERPO DE AGUA | USOS SEGÚN ARTÍCULO 2.2.3.3.2.1 DEL DECRETO 1076 DE 2015 | | | |
|--------------------|--|--------------|---|--|---|---|---|
| | | | | 1 | 3 | 4 | 8 |
| 6 | Río Roble | ROBLE_05 | Afluente R. Roble | 1 | 2 | | |
| | Quebrada San José | SJOSE_01 | Q. San José | | | 3 | |
| | Río Roble | ROBLE_06 | R. Roble | 1 | | | |
| | Quebrada La Soledad | SOLED_01 | Q. La Soledad | 2 | | | |
| | | | Afluente Q. La Soledad (Quebrada La Paloma) | 1 | | | |
| Quebrada Las Lajas | LAJAS_01 | Q. Las Lajas | 1 | | | | |
| 7 | Río Roble | ROBLE_10 | Afluente R. Roble | 4 | | | |
| | | CARME_01 | Q. Carmelita | 1 | 1 | | 1 |
| | | ROBLE_11 | Afluente R. Roble | 2 | 1 | 3 | |
| | | PALOMA_01 | Q. La Paloma | 3 | 2 | 3 | |

Tabla 104 Usos concesionados actuales para las Unidades mínimas de análisis

De acuerdo con la información de aprovechamiento del recurso hídrico, se aprecia que los caudales solicitados a la Corporación cuentan con diferentes fines como son: Abastecimiento y Consumo Humano, Riego y Silvicultura, Abrevadero, pesca y usos industriales; como se muestra en la Figura 122.

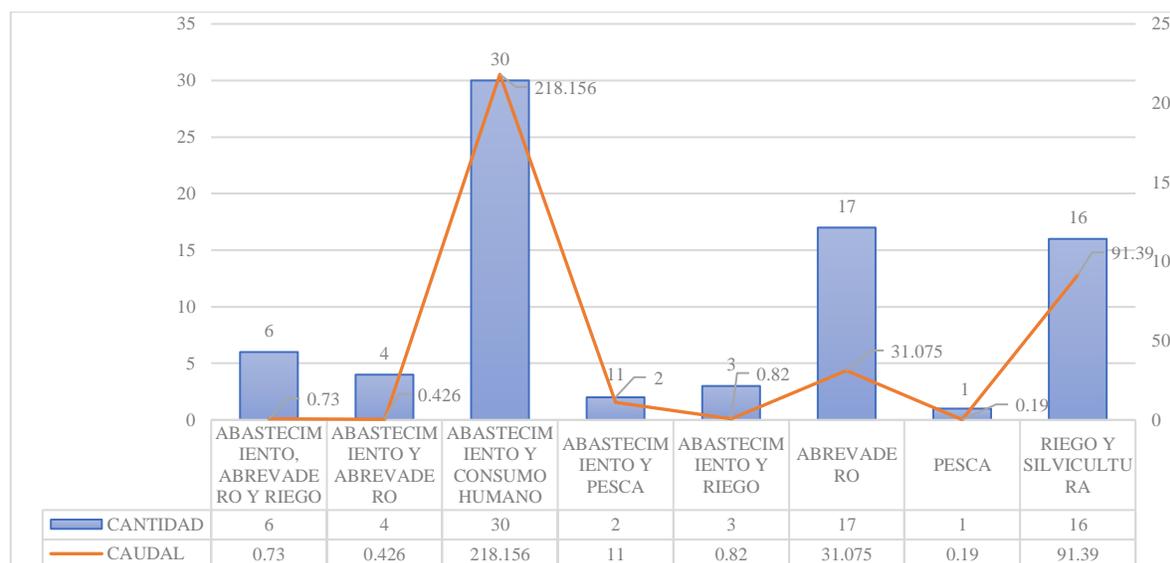


Figura 122. Cantidad de captaciones por actividad y caudal aprovechado.

De acuerdo con la información obtenida se estableció que el aprovechamiento del recurso en la unidad hidrográfica del río Roble satisface principalmente cuatro (4) actividades de la población, siendo estas:

- Abastecimiento y consumo Humano
- Pecuario (Abrevaderos para cerdos, reses, equinos y aves de corral).
- Riego y Silvicultura
- Pesca (poco frecuente)

Se destaca que el volumen de agua a utilizar en más de una actividad solicitada por parte del interesado no cuenta con la respectiva distribución. Por tanto, hacer análisis de consumo de agua por actividad no fue desarrollado.

Sin embargo, se aprecia que la mayor cantidad del recurso se utiliza para el abastecimiento o consumo de los habitantes que se ubican sobre los tramos en estudio con 30 puntos de captación que suman 218 L/s. Sin embargo, debido a que muchas concesiones se complementan con actividades adicionales para el sostenimiento económico y alimenticio de la población, el uso del recurso para riego y silvicultura utiliza 91,39 L/s de agua con 16 captaciones.

Los Abrevaderos consumen 31,075 L/s en 17 puntos de captación y seguidamente se ubican los aprovechamientos combinados, tales como: Abastecimiento y Pesca con 11 L/s con dos (2) captaciones; abastecimiento y riego con 0,82 L/s con tres (3) captaciones; Abastecimiento, Abrevadero y Riego con 0,73 L/s con seis (6) captaciones; Abastecimiento y Abrevadero con 0,426 de L/s con cuatro (4) captaciones; Pesca con 0,19 L/s en una (1) captación.

1.8.4.2. *Elaboración de Perfiles de Calidad Actual de los cuerpos de agua*

Como se mencionó con anterioridad, en las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones se han realizado monitoreos de calidad de agua en diferentes periodos desde el 2014 hasta el año 2019. La medición histórica de calidad de agua sobre la corriente principal del río Roble, en la quebrada Cajones, en la quebrada Portachuelo, algunos aportantes y en vertimientos, principalmente los que se ubican en cercanías a la zona urbana de los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro. La distribución de estos 51 puntos de monitoreo se presenta en la **Figura 123**.

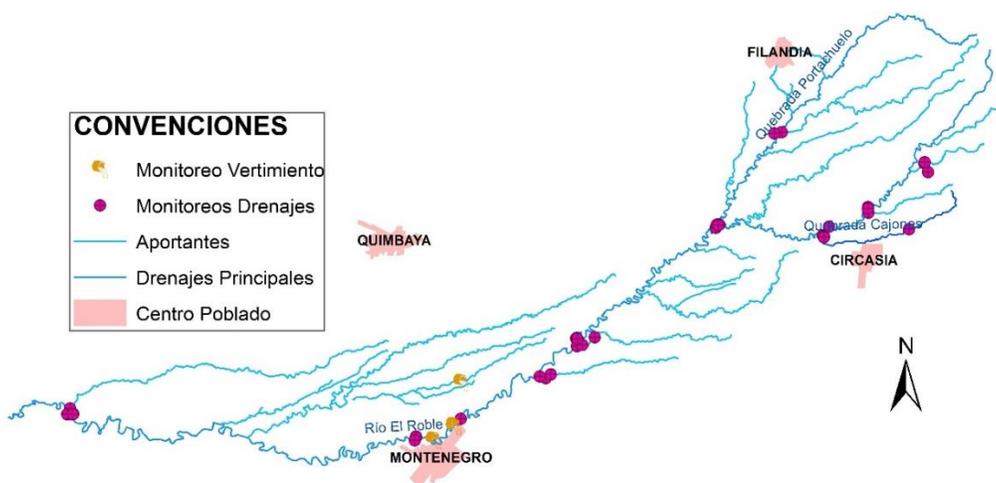


Figura 123. Ubicación de los puntos de monitoreo desarrollados con anterioridad.

Como se presentó en la sección anterior, se realizó la medición de 26 parámetros mediante el análisis en un laboratorio acreditado por IDEAM. De los cuales, es necesario indicar que varios

resultados indicaron valores por debajo del límite de detección de la técnica, por tanto, se realizó la selección de algunos de los parámetros de calidad de agua claves para conocer su variación en el tiempo y conocer las características de diferentes áreas en específico. De manera que, se agruparon los puntos de monitoreo en zonas de las corrientes principales del río roble, la quebrada Portachuelo y la quebrada Cajones como se muestra en la Tabla 105.

| GRUPO | |
|--|--|
| Abajo Cajones sobre el río Roble | Q. Chorro de las Madres |
| Aportantes a Portachuelo | Zona Urbana Montenegro en R. Roble |
| Quebrada Arenosa | Zona Urbana Montenegro Vertimiento |
| Bocatoma Montenegro | Q. Portachuelo antes de R. Roble |
| Sobre la Q. Cajones Antes del R. Roble | Q. Portachuelo antes de Chorro de las Madres |
| Cajones Captación Circasia | Q. Portachuelo antes Q. Las Cruces |
| Cajones Zona Urbana de Circasia | Q Carmelita |
| Quebrada Las Cruces | R. Roble antes de aporte de Q. Cajones |
| Quebrada El Bosque al Inicio R. Roble | R. Roble con Aporte de Q. Portachuelo |
| Q Española | R. Roble inicio Captación Circasia |
| Q. Las Lajas | Q. Soledad |

Tabla 105. Agrupación de Zonas de monitoreo.

Para conocer el estado actual e histórico del recurso, se realizó la comparación de los resultados de los monitoreos de algunos parámetros de calidad de agua con los valores extremos establecidos para algunos usos del agua definidos en el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015, los objetivos de calidad definidos por la Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ mediante la resolución 1035 del 10 de noviembre de 2008 en el río Roble e información de criterios generales de calidad de agua para diferentes usos presentados por Sierra (2011, Tabla 106).

| FUENTE | Artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015 | | | | | | | | |
|-----------|---|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---|----------|----------|------------------|
| | Recreativo | | para preservación de Flora y Fauna | para consumo humano y doméstico | | Desinfección de agua para uso doméstico | | | |
| Parámetro | Col. Fecales (NMP/100 mL) | Col. Totales (NMP/100 mL) | OD (mg/L) | Col. Totales (NMP/100 mL) | Col. Fecales (NMP/100 mL) | pH (Min) | pH (Max) | | |
| Valor | 200 | 1000 | 5 (agua fría) – 4 (agua cálida) | 20000 | 2000 | 6,5 | 8,5 | | |
| FUENTE | Resolución 1035 de 2008 - Roble (Circasia y la Bocatoma Montenegro) | | | | | | | | |
| Parámetro | OD (mg/L) | DBO (mg/L) | SST (mg/L) | DQO (mg/L) | Col. Totales (NMP/100 mL) | Col. Fecales (NMP/100 mL) | pH (Min) | pH (Max) | Grasas y Aceites |
| Valor | 7,5 | 5 | 20 | 7,8 | 20.000 | 2000 | 6,5 | 9 | Ausencia |

Tabla 106. Valores de referencia para monitoreos históricos.

De manera que, se realizó la identificación y priorización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a ser analizados, para lo cual se reconoció la representatividad de la información, las características de las actividades económicas de la cuenca, su comportamiento y dinámica en el tiempo. Por lo anterior, los parámetros seleccionados fueron: Oxígeno Disuelto OD, pH,

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅, Demanda Química de Oxígeno DQO, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, SST, Grasas y Aceites.

En la Figura 124 se presentan los valores de oxígeno disuelto en la cuenca alta del río Roble, en donde se incluye la quebrada Portachuelo y la quebrada Cajones. En la figura se puede apreciar que en la parte alta de la quebrada Portachuelo, aguas arriba de la confluencia del río Roble con la quebrada Cajones y en la quebrada Portachuelo antes de la confluencia con el río Roble, se han presentado valores que cumplen con el límite establecido en los objetivos de calidad de la CRQ de 7,5 mg/L.

Sin embargo, el río Roble, la quebrada Portachuelo y la quebrada Cajones cuentan con concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 4 mg/L e incluso muy a menudo con valores cercanos o superiores a los 5 mg/L, con lo cual se puede apreciar la alta recuperación del oxígeno por las condiciones hidráulicas de las corrientes. De igual forma se destaca que la mayoría de los valores inferiores a 4 mg/L, establecido para la preservación de flora y fauna, se ubican en la quebrada Cajones y en la zona con mayor población urbana.

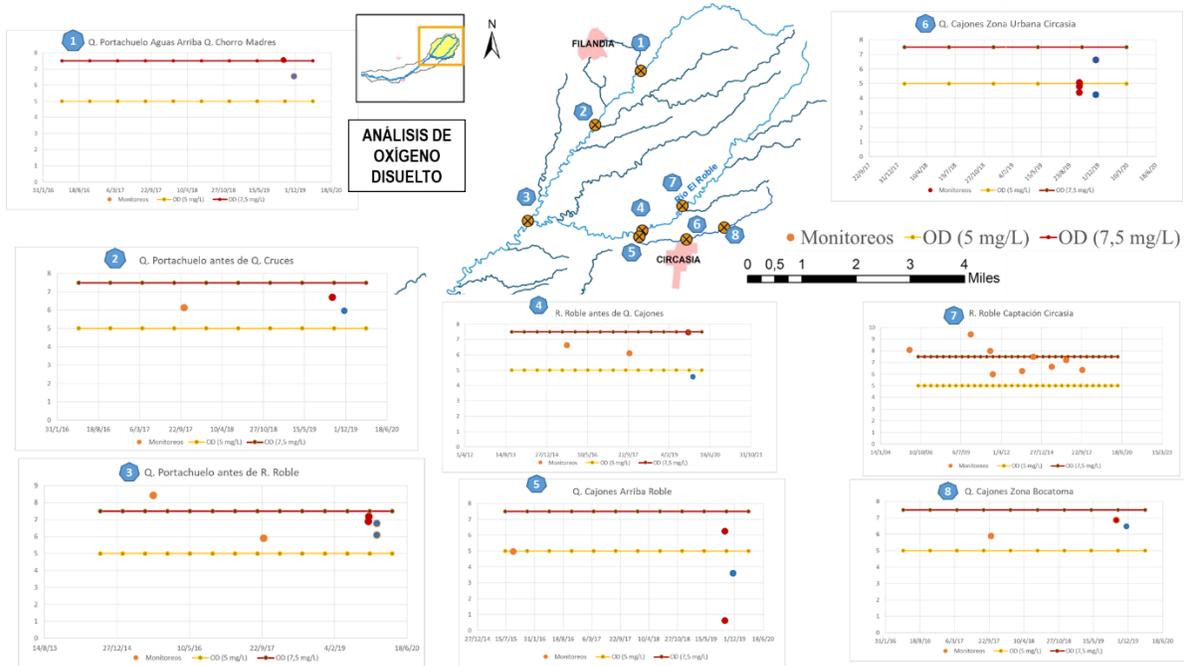


Figura 124. Variación de Oxígeno Disuelto en la Cuenca Alta y Media del río Roble.

En la Figura 125 se presentan los valores de oxígeno en la cuenca baja del río Roble, en donde se aprecia que, a diferencia de los puntos analizados en cercanía al centro poblado de Montenegro, en el río Roble y sus aportantes se destacan valores del OD superiores a 5 mg/L. Ahora, en relación con el valor definido en los objetivos de calidad de la resolución 1035 del 2008 de la CRQ, se aprecian pocos muestreos que indiquen el cumplimiento del valor de OD de 7,5 mg/L.

Ahora, frente al comportamiento del pH en la cuenca alta, media y baja del río Roble, se ha observado que en la corriente principal del río y en sus aportantes se evidencian pocos muestreos con pH superiores a 8,5, específicamente en la captación del municipio de Circasia en el río Roble

y en la quebrada la Española. En estos mismos puntos de monitoreo se presentan valores inferiores a 6,5 unidades de pH, de manera que el río Roble y en los aportantes monitoreados permiten el aprovechamiento del recurso para actividades agrícolas, actividades recreativas y para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico como se muestra tanto en la *Figura 126* y *Figura 127*. Por tanto, el pH cuenta con valores permanentemente neutros.

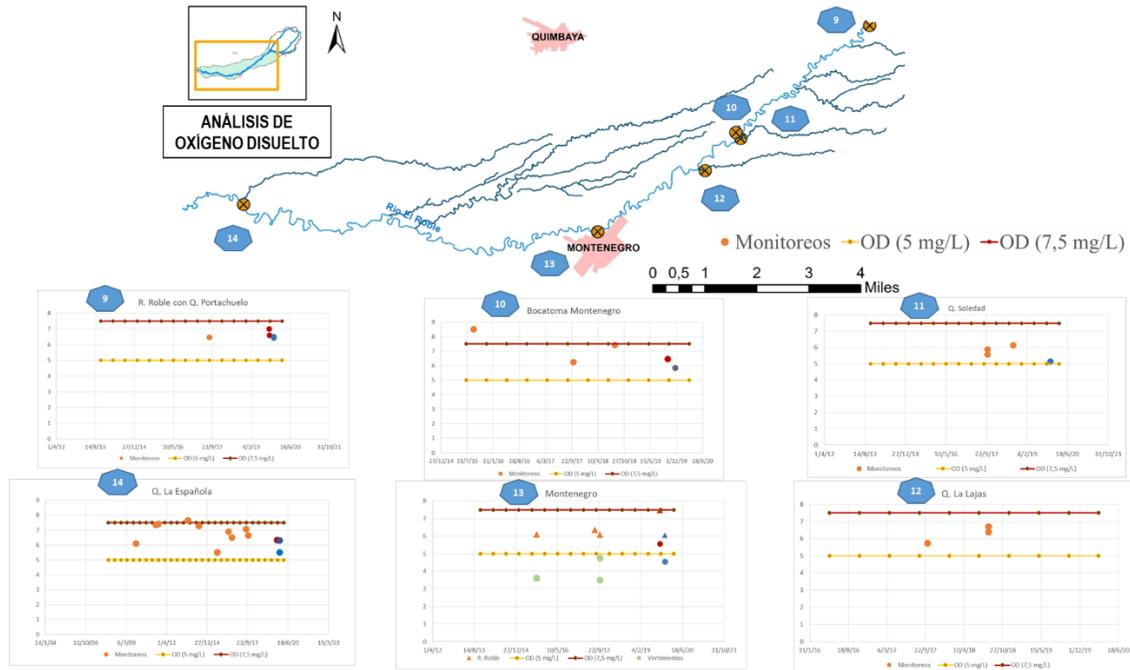


Figura 125. Variación de Oxígeno Disuelto en la Cuenca Baja del río Roble.

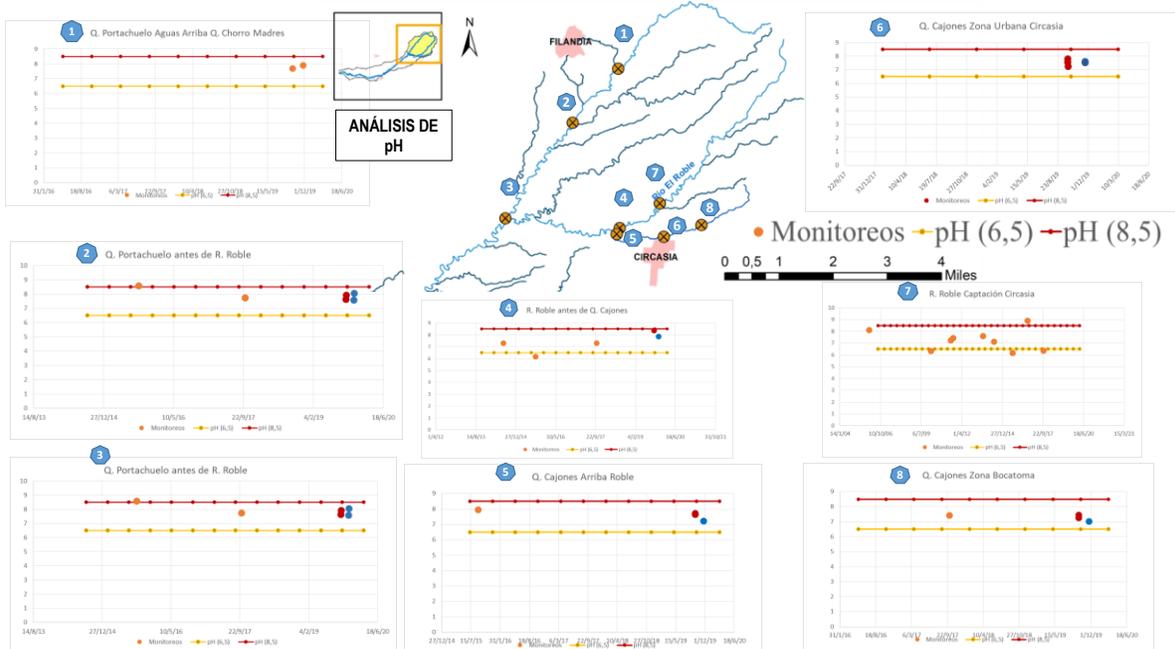


Figura 126. Variación de pH en la Cuenca Alta y Media del río Roble.

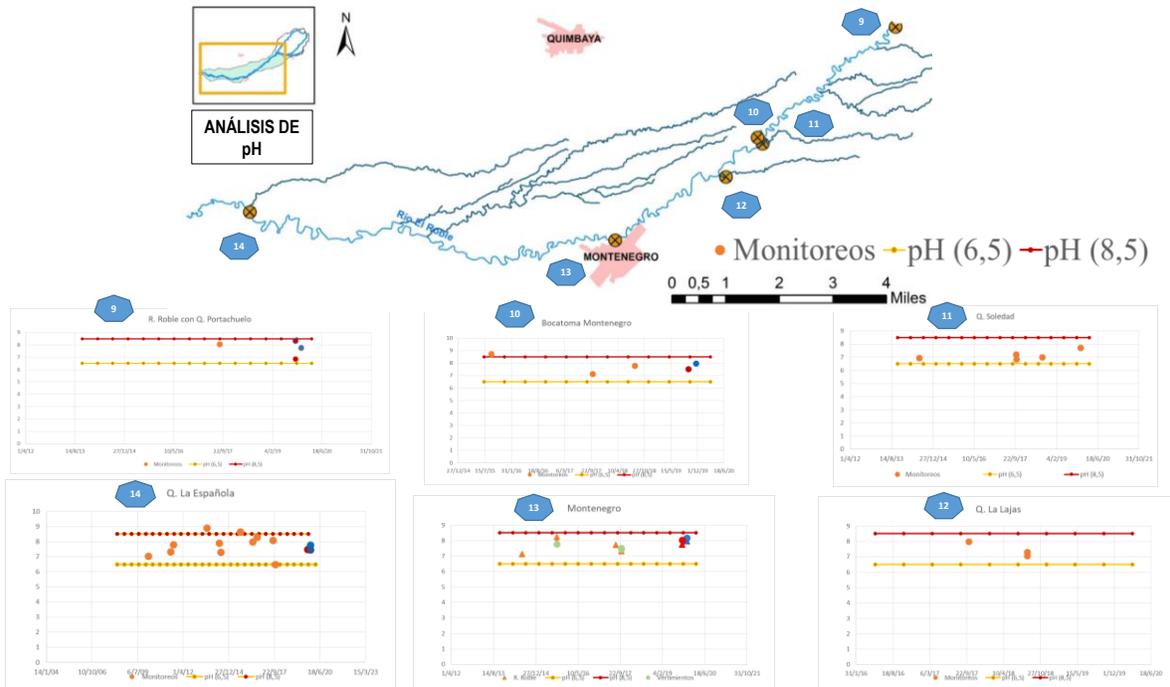


Figura 127. Variación de pH en la Cuenca Baja del río Roble.

En la *Figura 128* y *Figura 129*, se presenta el comportamiento y variación de la DBO5, identificando que en gran parte de las zonas de muestreo, se cuenta con registros de DBO5 inferiores al límite de detección del método, lo que representa buenas características de calidad del agua, con relación a la materia orgánica degradable por procesos biológicos. Sin embargo, en relación con los monitoreos con valores de DBO5 superiores al límite de detección y compararlo con los objetivos de calidad de la corporación, se destaca que la quebrada Cajones y el río Roble en la zona de captación de Circasia han presentado valores superiores a los 5 mg/L, de manera que estos tramos son los que presentan mayor presión por aportes de tipo orgánico, en la cuenca alta del río Roble.

Mientras, en la cuenca baja del río Roble se aprecian valores superiores a los 5 mg/L en la quebrada La Española, sobre el río Roble en la zona cercana al casco urbano de Montenegro y en una de las muestras en las que el río Roble recibe a la quebrada Portachuelo. Sin embargo, es necesario destacar que, pese a la entrada de altas concentraciones de DBO5 por los aportes en Montenegro, a la altura de la quebrada La Española, el río Roble cuenta con valores menores a los presentados en los vertimientos.

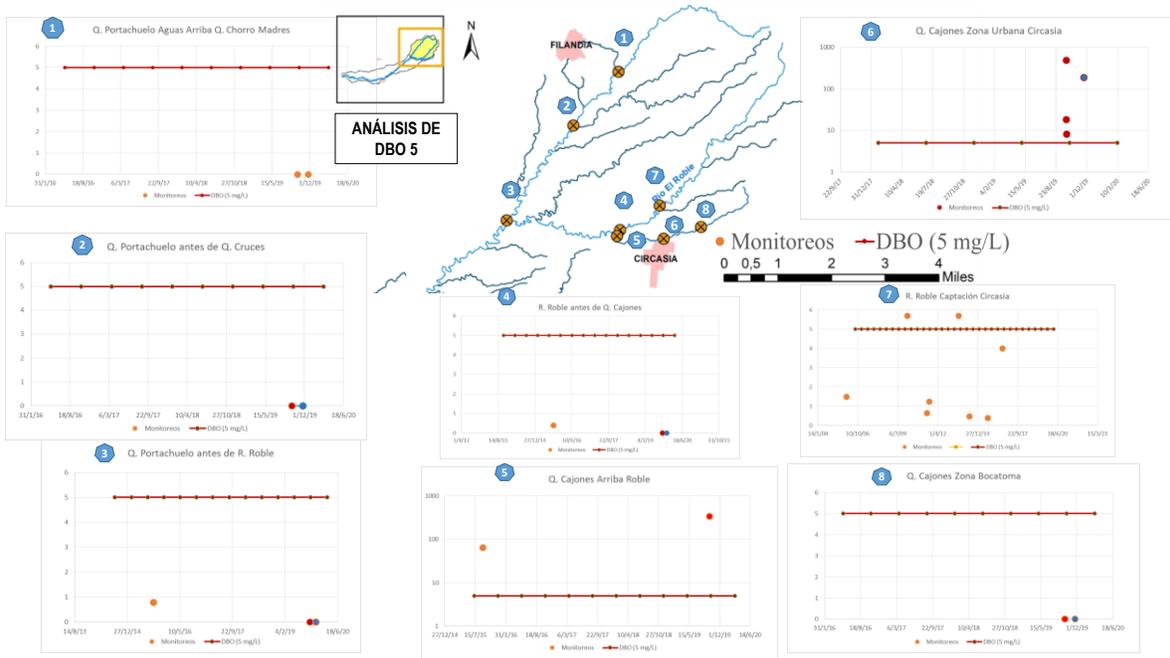


Figura 128. Variación de DBO5 en la Cuenca Alta y Media del río Roble.

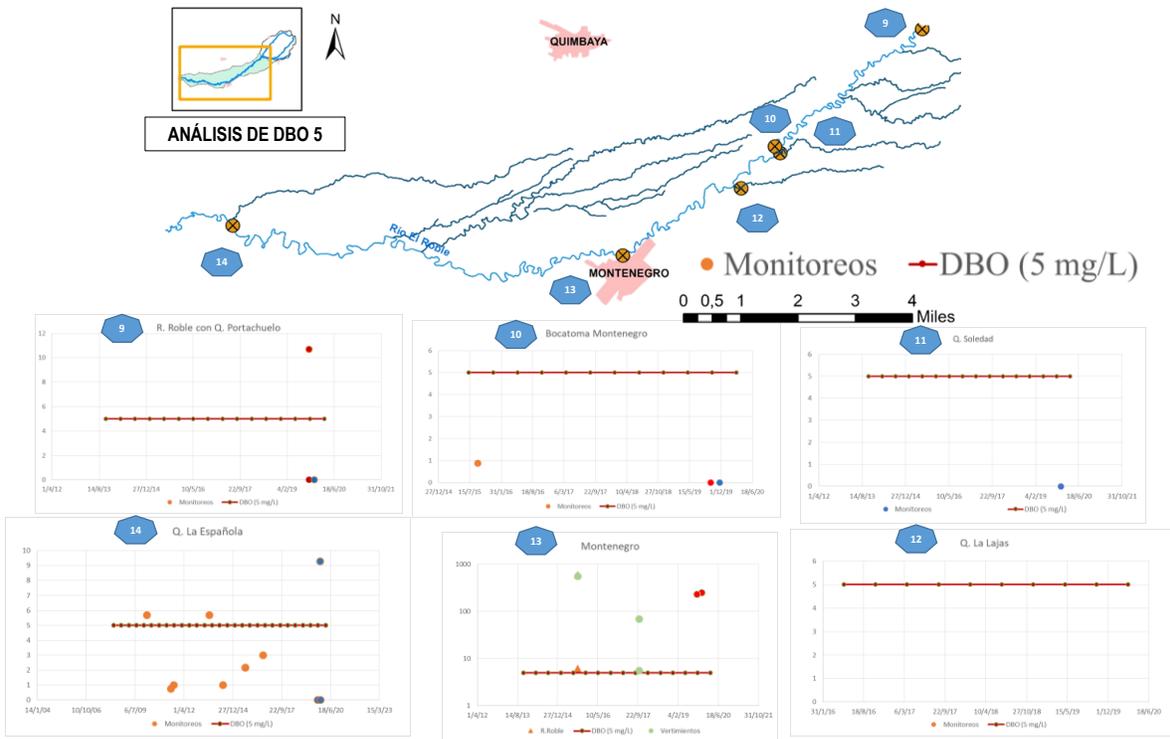


Figura 129. Variación de DBO5 en la Cuenca Baja del río Roble.

El análisis de la DQO, se muestra en las *Figura 130* y *Figura 131*, donde se evidencia que en el río Roble, en la quebrada Cajones y en la quebrada Portachuelo, se presentan registros de DQO superiores a los 7,8 mg/L establecidos como objetivos de calidad por la corporación, lo que representa que estas corrientes no cumplen estos límites definidos e

indican alteraciones importante por aportes de tipo inorgánico. Por otro lado, al relacionar los valores de la DBO₅, con los registros de DQO, se encuentra que, existen concentraciones de materia orgánica de lenta degradación química tanto en zonas urbanas como en diferentes zonas rurales de la cuenca, con mayor relevancia en las áreas pobladas (Circasia y Montenegro).

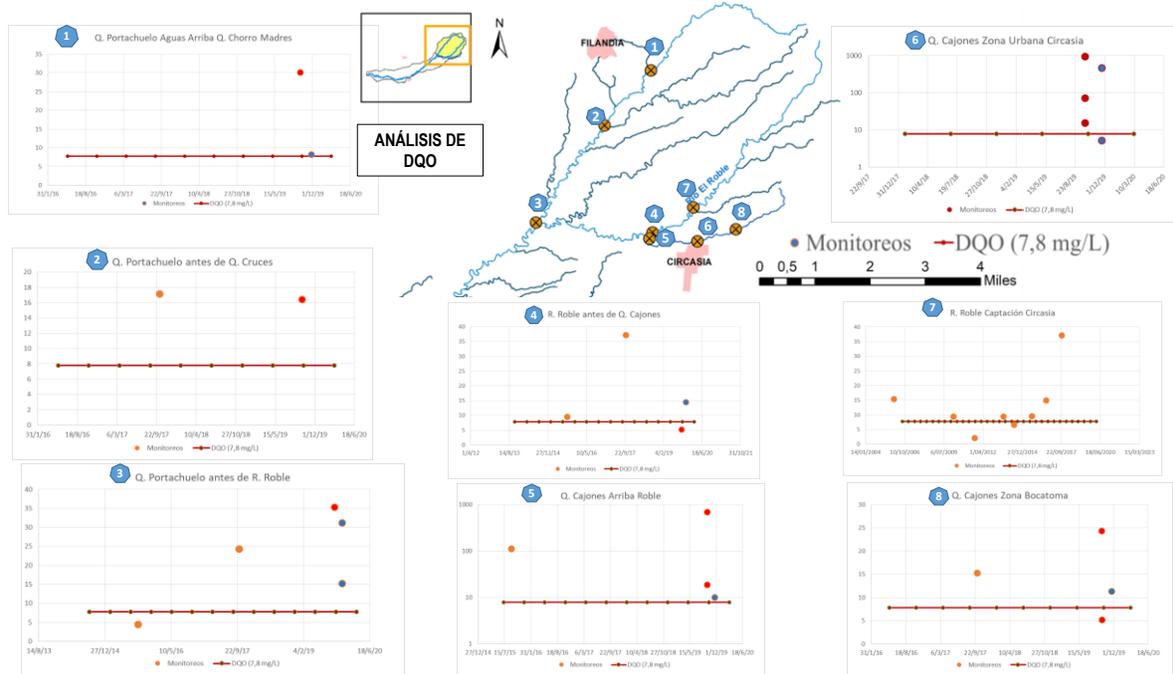


Figura 130. Variación de DQO en la Cuenca Alta y Media del río Roble.

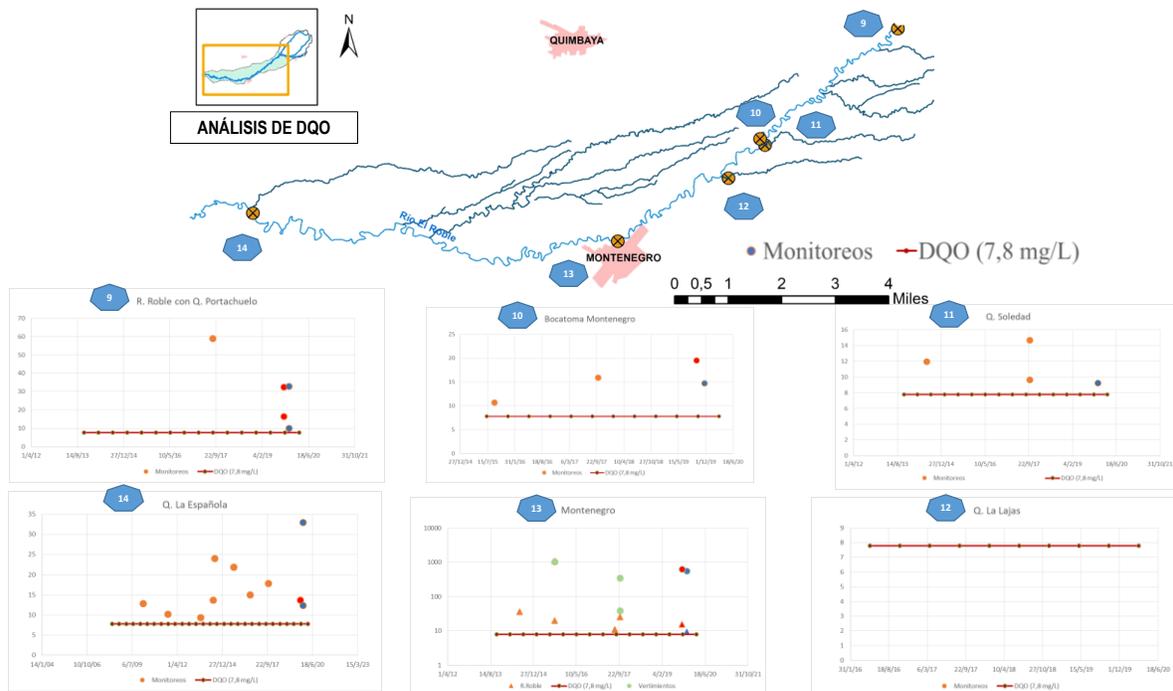


Figura 131. Variación de DQO en la Cuenca Baja del río Roble.

En relación con la variación de coliformes fecales y coliformes totales en la corriente principal del río Roble y en las corrientes aportantes a esta, como en la quebrada Cajones sobre la zona urbana y antes de su encuentro con el río Roble, se aprecian afectaciones por el aporte de agua residual doméstica que aumenta las concentraciones de estos parámetros. De igual forma en la quebrada Portachuelo, antes de su desembocadura al río Roble se aprecian altas concentraciones de coliformes, principalmente en los últimos muestreos. Esto último es de importante atención, pues si bien no se reconoce la presencia de vertimientos en ese tramo de estudio, estos aumentos pueden atribuirse a las actividades económicas de ganadería que se realiza en estas zonas y que llega al cuerpo de agua por contaminación no puntual.

Ahora, en relación con la cuenca baja del río Roble, se aprecia que, desde la zona de captación del municipio de Montenegro, se identifican altos valores de coliformes tanto fecales como totales, al igual que en la quebrada más cercana, la corriente denominada La Soledad y en el drenaje siguiente como es la quebrada Las Lajas. Esto puede estar relacionado con las actividades de ganadería y mal manejo del agua residual de las actividades turísticas cercanas a la corriente. Sin embargo, es necesario contar con sistemas de monitoreo del agua a tratar, así como los sistemas de desinfección apropiados para el control de este parámetro.

De igual forma, en la zona urbana de Montenegro los vertimientos directos que se realizan sobre el río Roble generan aportes de coliformes que afectan la calidad de la corriente. Mientras en la quebrada La Española, se aprecia una gran cantidad de monitoreos con coliformes fecales y totales.

De manera que, de acuerdo con los monitoreos realizados en la corriente del río Roble, se presentan dificultades para el cumplimiento de concentraciones inferiores a los 20.000 NMP/100mL de coliformes totales o los 2.000 NMP/100mL de coliformes fecales, que se establecen tanto para el aprovechamiento del recurso para consumo humano y doméstico según el decreto 1594 de 1984 como en el decreto 1035 de 2008 de la CRQ.

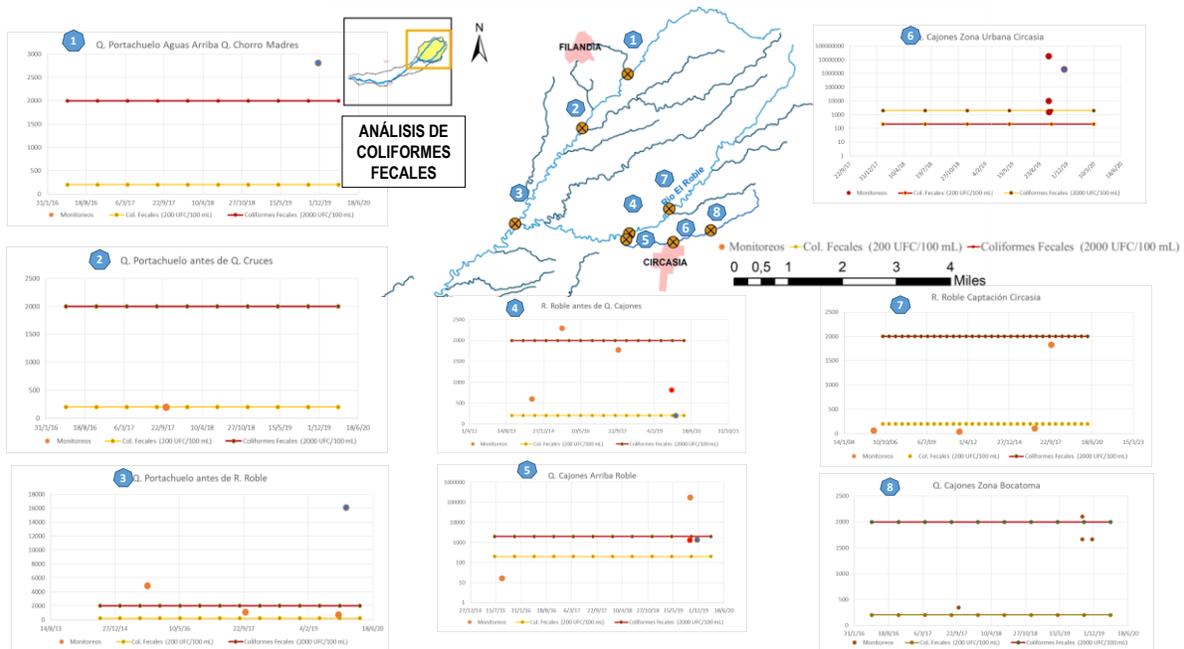
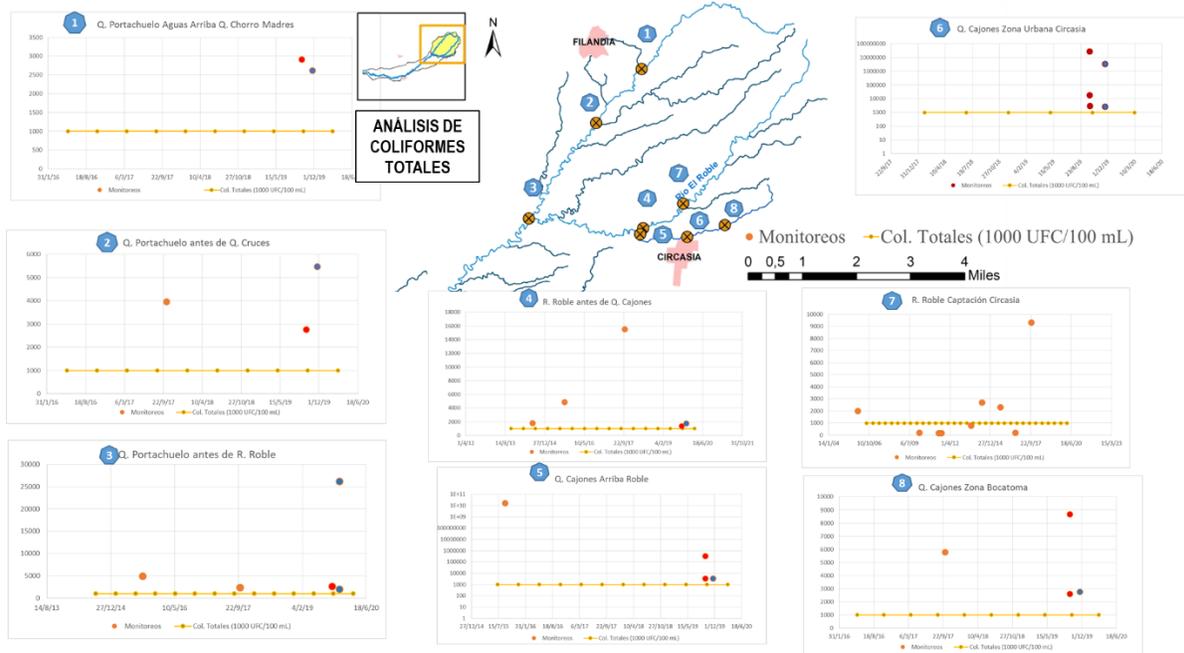
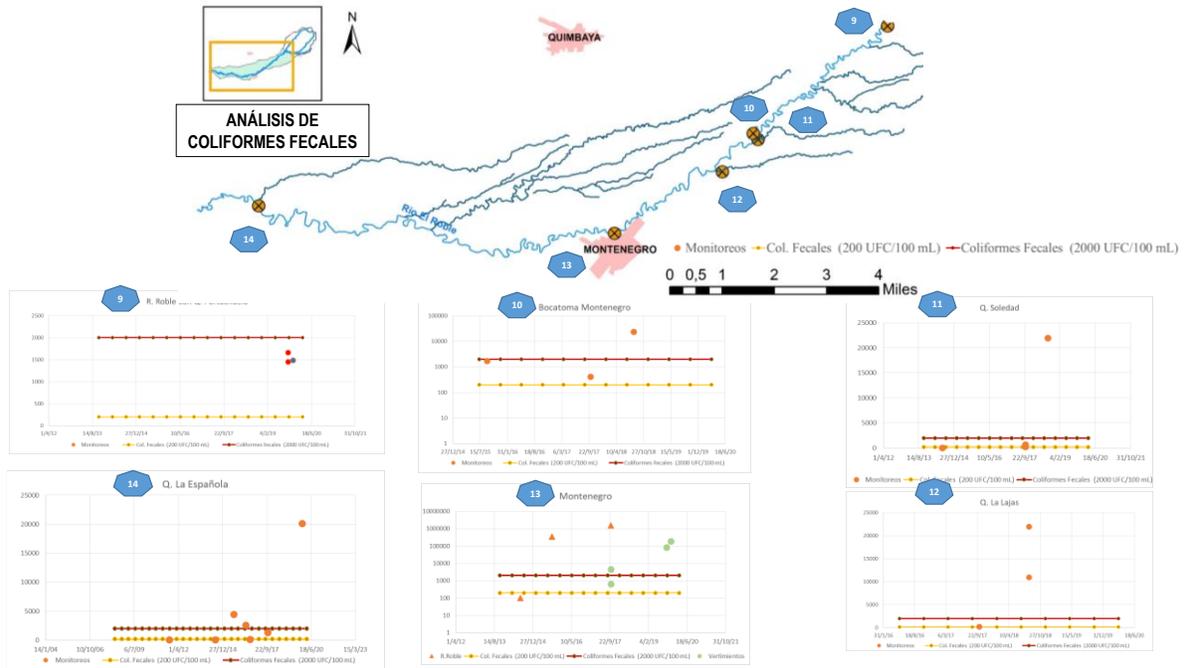


Figura 132. Variación de Coliformes Fecales en la Cuenca Alta y Media del río Roble.



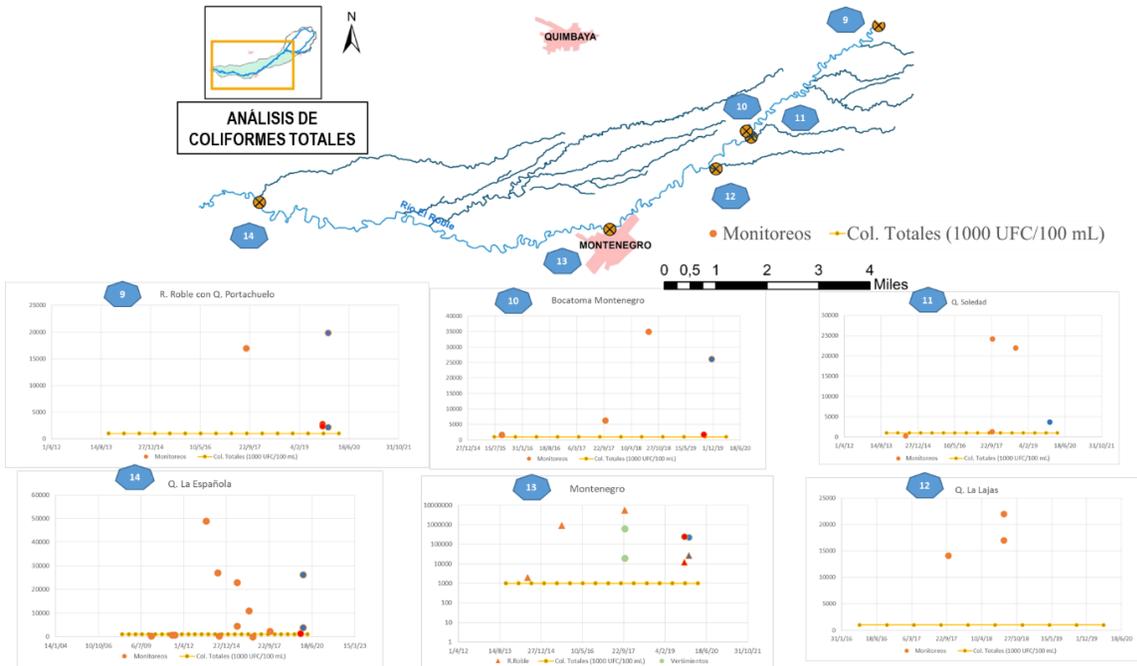


Figura 135. Variación de Coliformes Totales en la Cuenca Baja del río Roble.

De acuerdo con los monitoreos realizados en la corriente principal del río Roble y en los aportantes respectivos, se destaca valores de Sólidos Suspendedos Totales (SST) de importancia en la quebrada Cajones, quebrada La Soledad y en la quebrada La Española que, como se muestra en la Figura 136 y Figura 137, superan el valor establecido en los objetivos de calidad de la corporación. En el río Roble en cercanías a la zona urbana del municipio de Montenegro se han apreciado las mayores concentraciones de SST. Estas concentraciones superiores a los 30 mg/L, identifican la presión que las actividades domésticas y no domesticas sobre el cuerpo de agua.

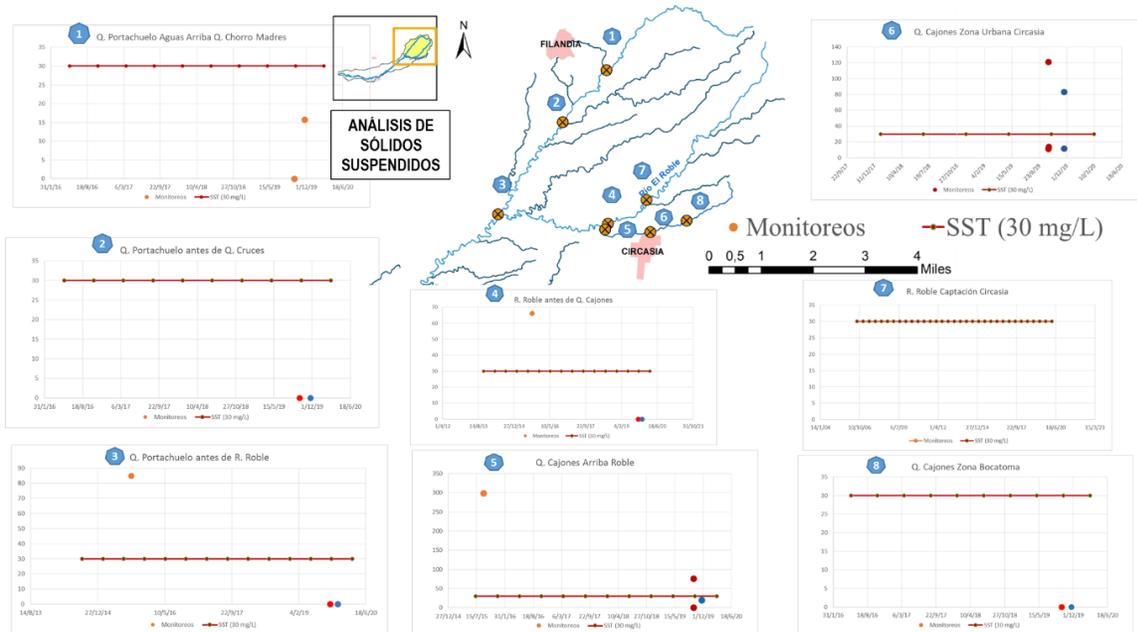


Figura 136. Variación de Solidos Suspendedos Totales en la Cuenca Alta y Media del río Roble.

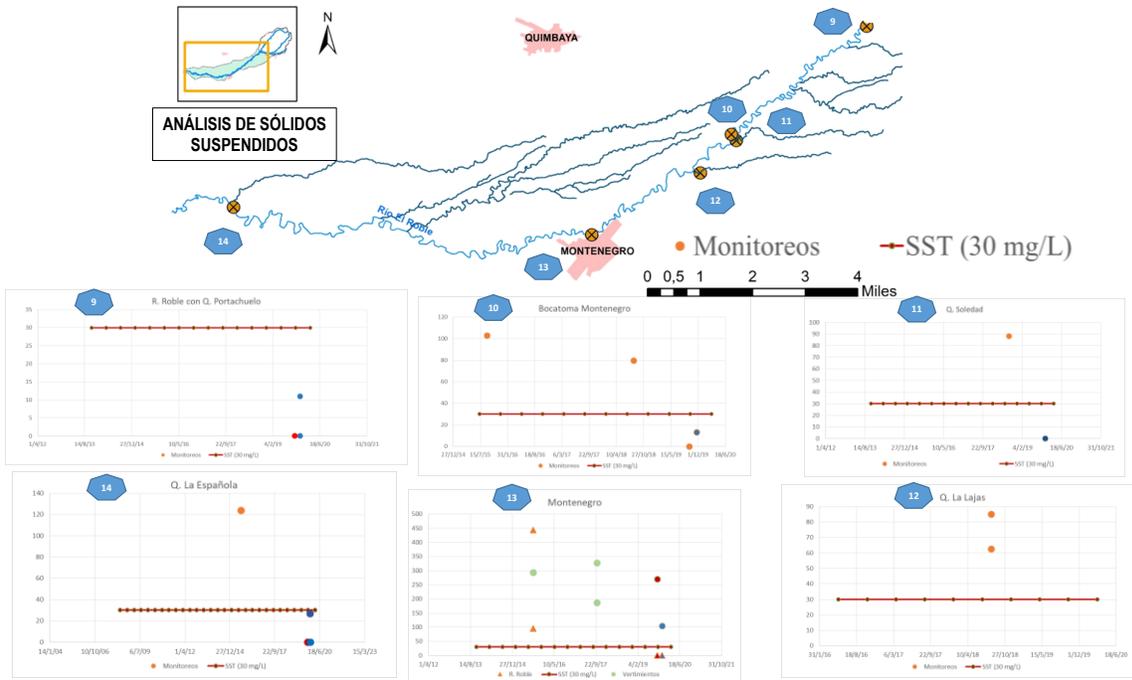


Figura 137. Variación de Sólidos Suspendedos Totales en la Cuenca Baja del río Roble.

Por otra parte, en relación con la presencia de Grasas y Aceites, a diferencia de lo que espera la CRQ de contar con ausencia de este parámetro, se aprecia que a lo largo del río Roble y sus aportantes se presentan concentraciones en la mayoría de puntos monitoreados, como se muestra en la *Figura 138* y *Figura 139*. Con preocupación en la quebrada Cajones y en la zona urbana de Montenegro. Por tanto, dada la relación de este parámetro con las actividades domésticas, resulta necesario tomar medidas sobre este tipo de afectaciones sobre el recurso.

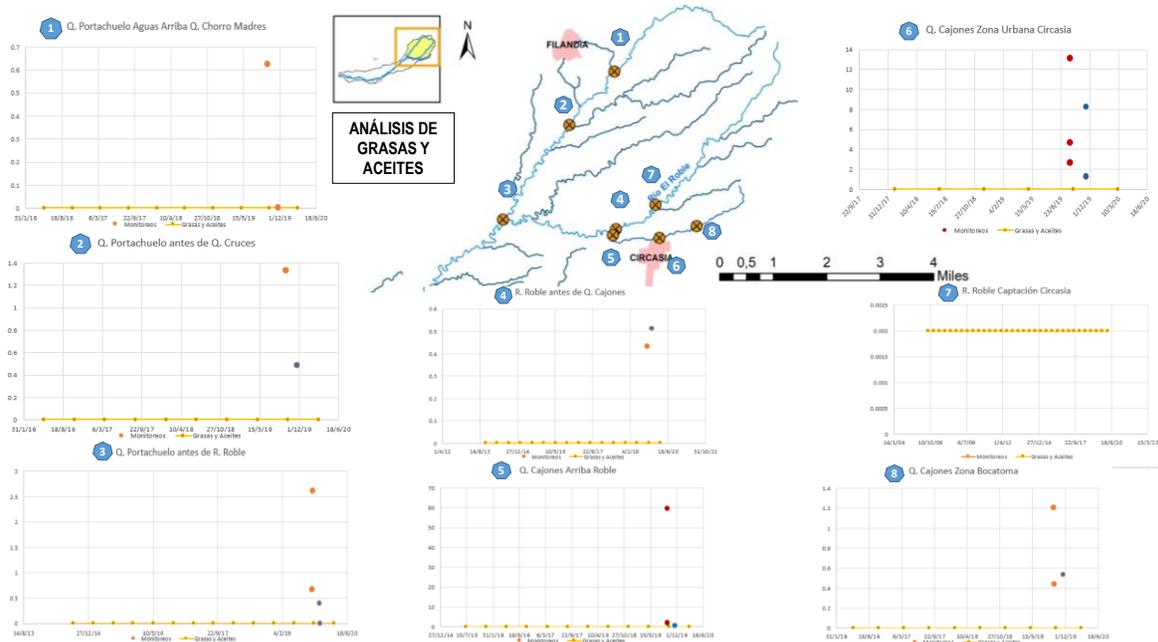


Figura 138. Variación de Grasas y Aceites en la Cuenca Alta y Media del río Roble.

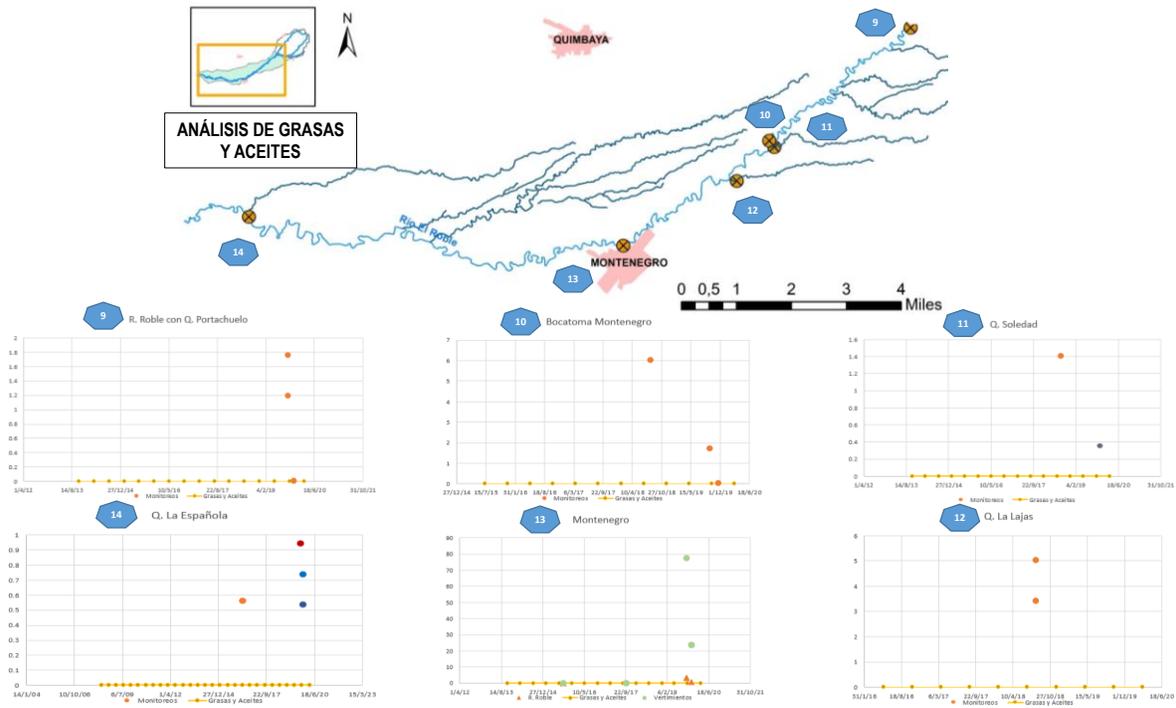


Figura 139. Variación de Grasas y Aceites en la Cuenca Baja del río Roble.

Ahora, con la intención de conocer el estado del río Roble, la quebrada Cajones y la quebrada Portachuelo, en relación con los valores máximos, medios y mínimos históricos de cada parámetro y los valores de referencia para el uso del agua, de acuerdo con el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015 y los objetivos de calidad definidos por la Corporación Autónoma Regional del Quindío mediante la resolución 1035 del 10 de noviembre de 2008, se realiza el análisis de comportamiento de los muestreos obtenidos en el 2019, relacionando la ubicación de los datos en relación con la distancia de estos con la longitud del drenaje.

Oxígeno Disuelto: De acuerdo con lo presentado en el *Figura 140* se aprecia que en una de las mediciones realizadas en temporada seca del año 2019, se presentaron valores de oxígeno disuelto menores a los valores históricos y los valores relacionados de manera normativa, sin embargo este valor está asociado a las características del vertimiento cercano a la desembocadura da la quebrada Cajones en el río Roble. Sin embargo, el resto de las mediciones se encuentran por encima de los 4 mg/L.

Mientras, para la quebrada Portachuelo, se aprecian valores superiores a los 4 y 5 mg/L cumpliendo con las condiciones establecidas en el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015. Sin embargo, no todas las mediciones realizadas en el 2019 cumplen con los objetivos de calidad que se establecieron para el río Roble. Adicionalmente, se aprecia que los valores en temporada húmeda son menores a las mediciones en temporada Seca. En la corriente se aprecian disminuciones en la zona media de la corriente principal que se recuperan antes de su llegada al río Roble,

En relación con las mediciones del río Roble, se aprecian pocas mediciones que cumplen con el valor establecido en los objetivos de calidad definidos por la CRQ. Adicionalmente, se aprecian

valores por fuera de Los valores típicos históricos al margen de los valores de norma. Frente al comportamiento a lo largo de la corriente, se puede apreciar una continua variación por aportantes de corrientes, vertimientos y actividades económicas cercanas, evidenciando una recuperación de este parámetro antes del final de la corriente.

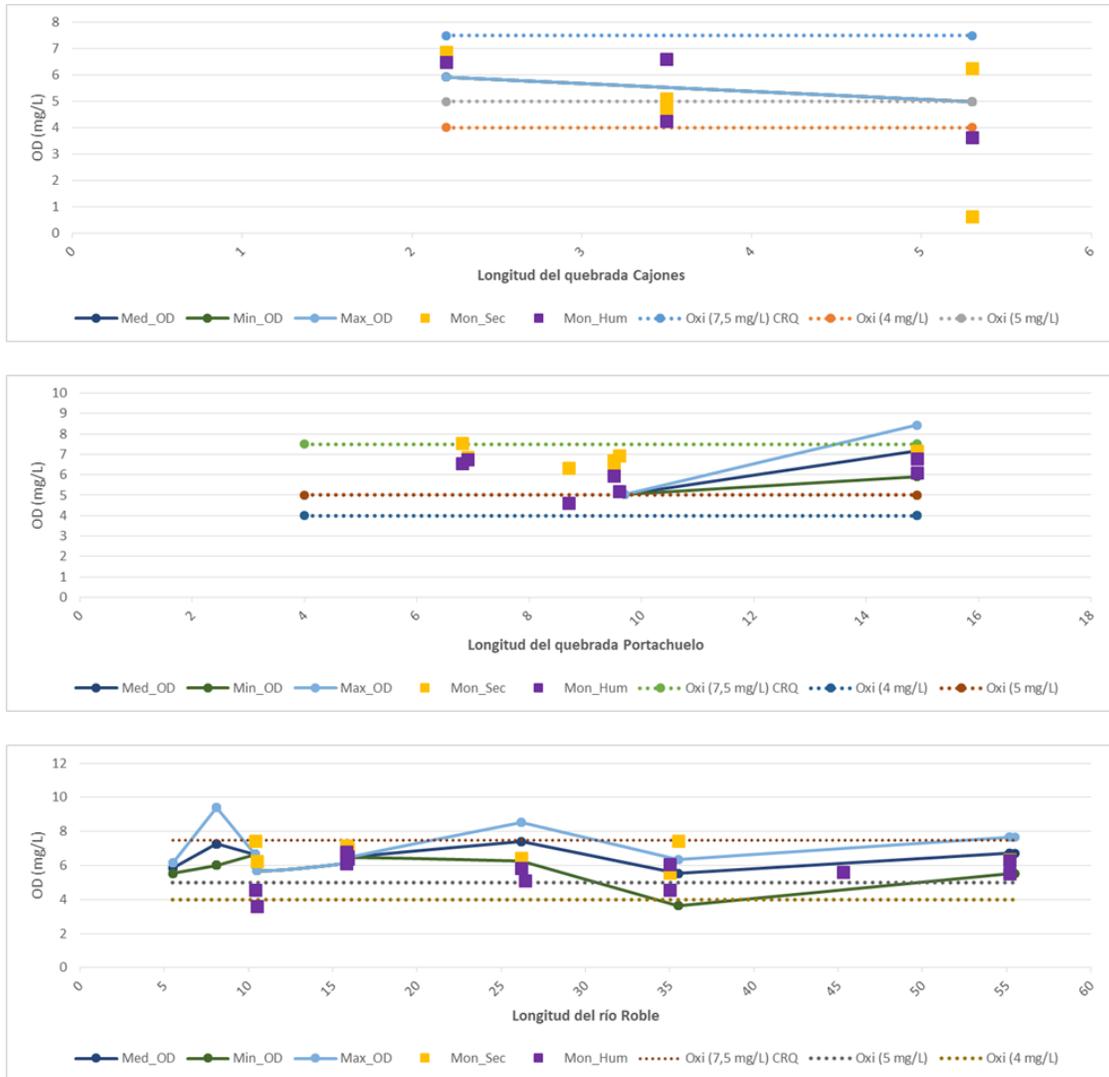


Figura 140. Valores Máximo, Mínimo y Medio de Oxígeno Disuelto en el río Roble, quebrada Cajones y quebrada Portachuelo.

DBO5: En relación con la evaluación de la materia orgánica se apreciaron pocos valores superiores al Límite de detección de la técnica de medición utilizada por el laboratorio y se cuenta con pocos datos históricos, por lo cual no se aprecian valores mínimos, máximos o medios (Figura 141). Sin embargo, en la quebrada Cajones se apreciaron valores altos en cercanías a la zona urbana de Circasia y valores de importancia antes de la confluencia con el río Roble, por influencia del último vertimiento del municipio de Circasia. De manera que los aporte de DBO5, no permiten cumplir con los establecido en los objetivos de calidad establecidos por la Corporación.

En la quebrada Portachuelo, se destaca una alta cantidad de valores inferiores a los límites de detección, lo que destaca una baja contaminación por Materia Orgánica. De manera que es posible

dar cumplimiento a la concentración de DBO5 establecida en los objetivos de calidad definidos por la corporación.

En el río Roble, se aprecia que las concentraciones altas están relacionadas con los aportes del vertimiento de quebrada Cajones, el aporte de la quebrada Portachuelo y en cercanías al casco urbano de Montenegro. De manera que, gran parte del río Roble cuenta con bajos aportes de características de materia orgánica y se aprecia la necesidad de realizar el control de esta variable en las zonas urbanas que hacen parte de la cuenca.

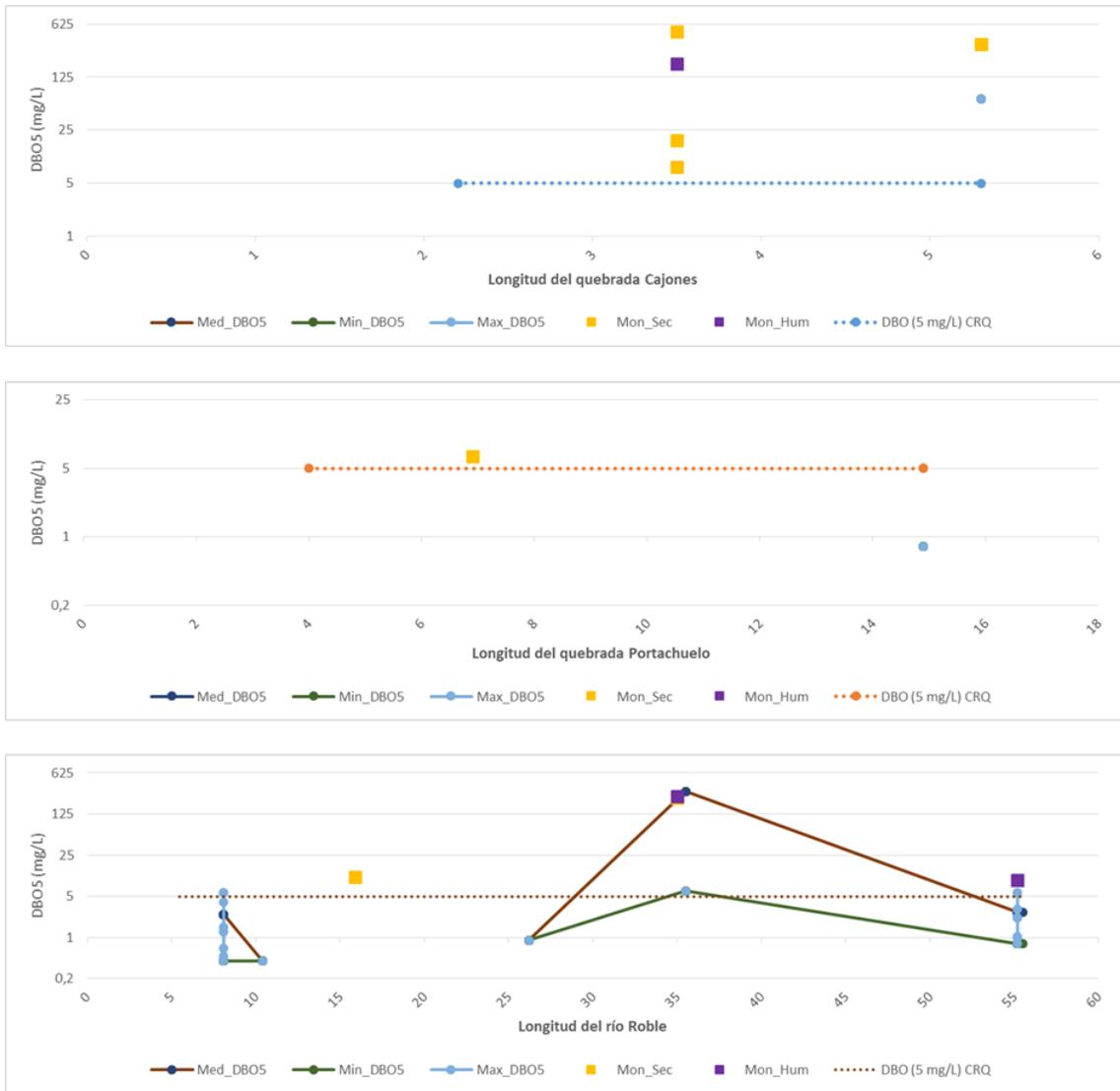


Figura 141. Valores Máximo, Mínimo y Medio de DBO5 en el río Roble, quebrada Cajones y quebrada Portachuelo.

DQO: Frente a la materia orgánica que no logra ser degradada por procesos biológicos, se destacan concentraciones por encima de los valores normativos y superiores a los obtenidos históricamente en la quebrada Cajones y en la quebrada Portachuelo. Los monitoreos realizados en el 2019 evidencian un aumento importante de la DQO en la cuenca media y baja estas

corrientes tanto en la temporada húmeda como en la temporada seca, con magnitudes que superan los objetivos de calidad definidos por la corporación (Figura 142).

Por otra parte, en el río Roble se destaca que la mayor cantidad de mediciones superan el valor establecido en los objetivos de calidad definidos por la corporación. Se destaca que, gran parte de la variación de los muestreos realizados en el 2019, están relacionados con las entradas de caudales al río Roble. De esto, se destaca que el aporte del río Portachuelo se considera como un aportante de DQO, que es reducida previo a la zona urbana del municipio de Montenegro, en donde este parámetro aumentar, debido a los aportes de vertimientos. Como se aprecia, se considera que sin un adecuado manejo de las actividades que se desarrollan en la cuenca, no se cumple con los valores de DQO definidos por la corporación.

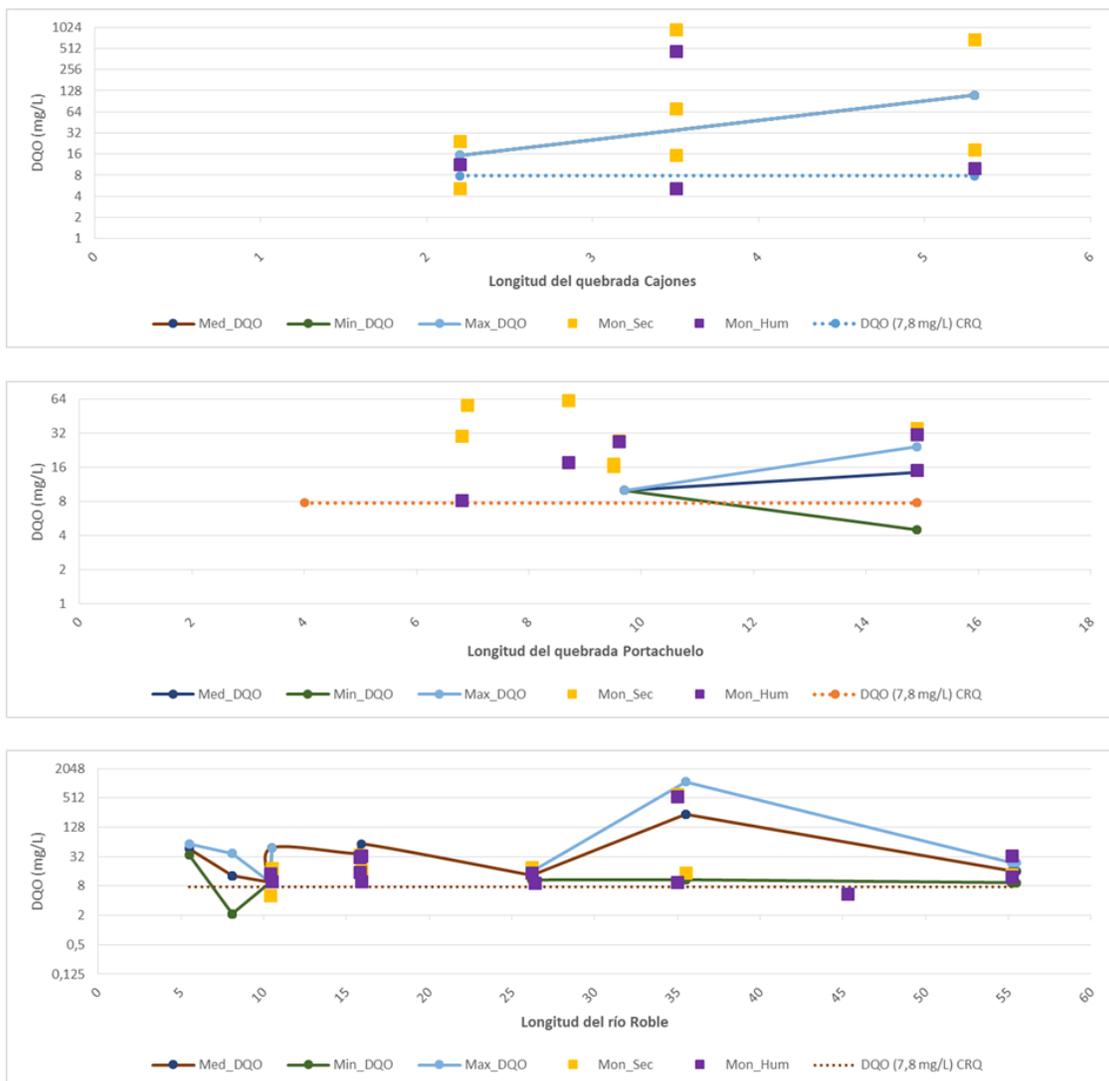


Figura 142. Valores Máximo, Mínimo y Medio de DQO en el río Roble, Quebrada Cajones y Quebrada Portachuelo.

Coliformes Totales: En relación con la variación de este tipo de bacterias, se aprecia que en el nacimiento de la quebrada Cajones se cuenta con una concentración que permite el uso del agua para diferentes actividades. Sin embargo, en la zona urbana y previa a la confluencia con el río

Roble, las características de esta condición disminuyen, pero establecen un condicionamiento en el aprovechamiento del recurso. En esta corriente se aprecia que los monitoreos en época seca son superiores a las realizadas en época húmeda, sugiriendo que el aumento de la precipitación permite la dilución de esta variable. En la quebrada Portachuelo se evidencia que las mediciones realizadas en el 2019 muestran unas limitaciones del uso del recurso para actividades recreativas y en muestreos realizados en época húmeda, se cuenta con restricciones para el aprovechamiento del recurso para el consumo humano.

En el río Roble, se destaca como el aporte de diferentes drenajes generan variaciones en los Coliformes Totales, evidenciando que la quebrada Cajones y la quebrada Portachuelo generan un aporte importante de patógenos, estableciendo que para el aprovechamiento del recurso es necesario realizar un tratamiento adecuado. Semejante a otros parámetros, el aporte de la zona urbana del municipio de Montenegro aumenta rápidamente la concentración de coliformes en la corriente principal del río, los cuales descienden antes de desembocar a la corriente respectiva (Figura 143).

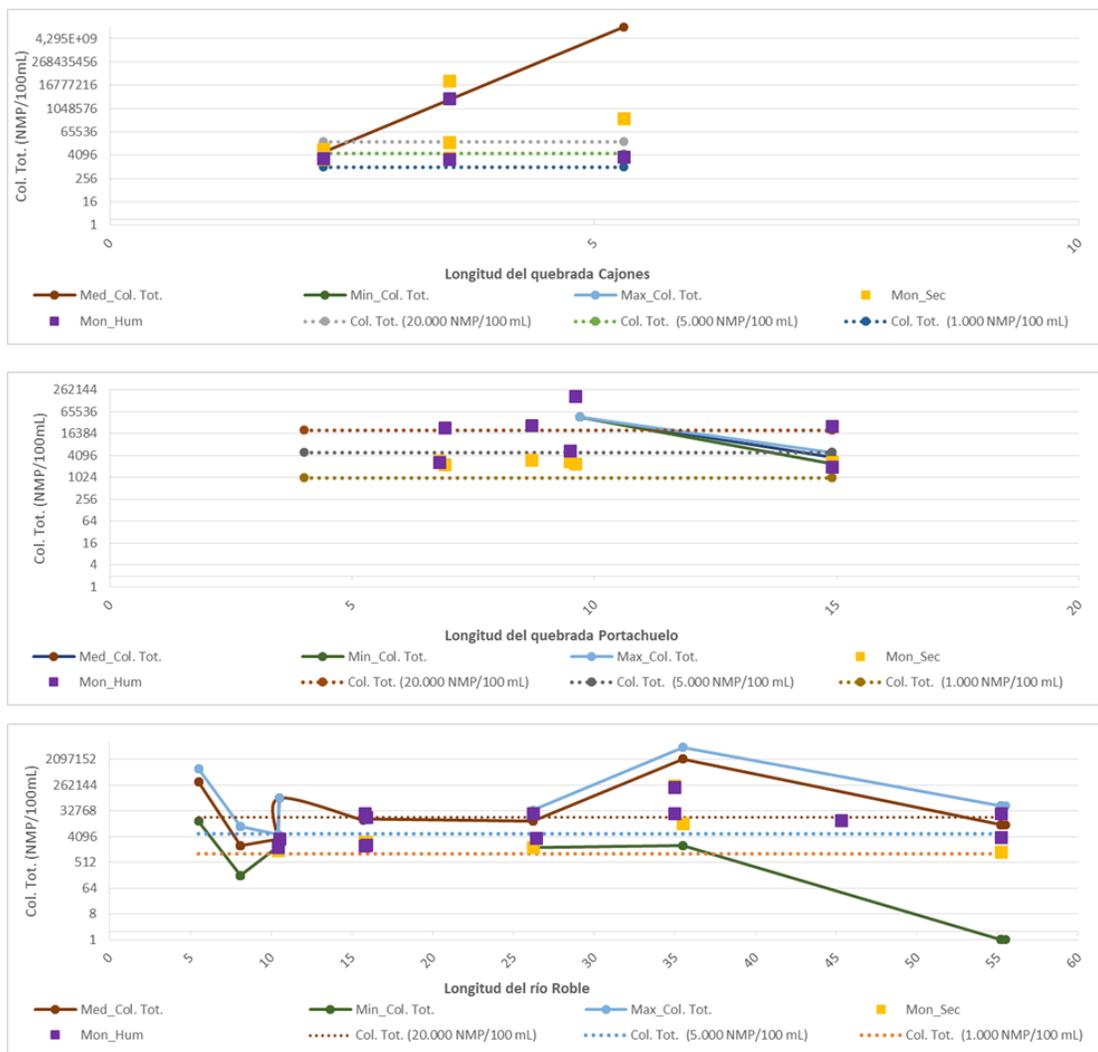


Figura 143. Valores Máximo, Mínimo y Medio de Coliformes Totales en el río Roble, Quebrada Cajones y Quebrada Portachuelo.

Coliformes Fecales: En semejanza a la variación de los coliformes totales, en la quebrada Cajones se destacan incrementos importantes en la zona urbana de Circasia y al cierre de la corriente. En las mediciones realizadas en la quebrada Portachuelo se aprecian variaciones que limitan el uso del agua por coliformes fecales, principalmente en época húmeda. Mientras, para el río Roble se aprecia que las mediciones realizadas en el 2019 representan coincidencia con las variaciones destacadas en los valores medios históricos de este drenaje. De lo cual, se destacan las dificultades para dar cumplimiento a los usos establecidos en el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015, como se observa en la *Figura 144*.

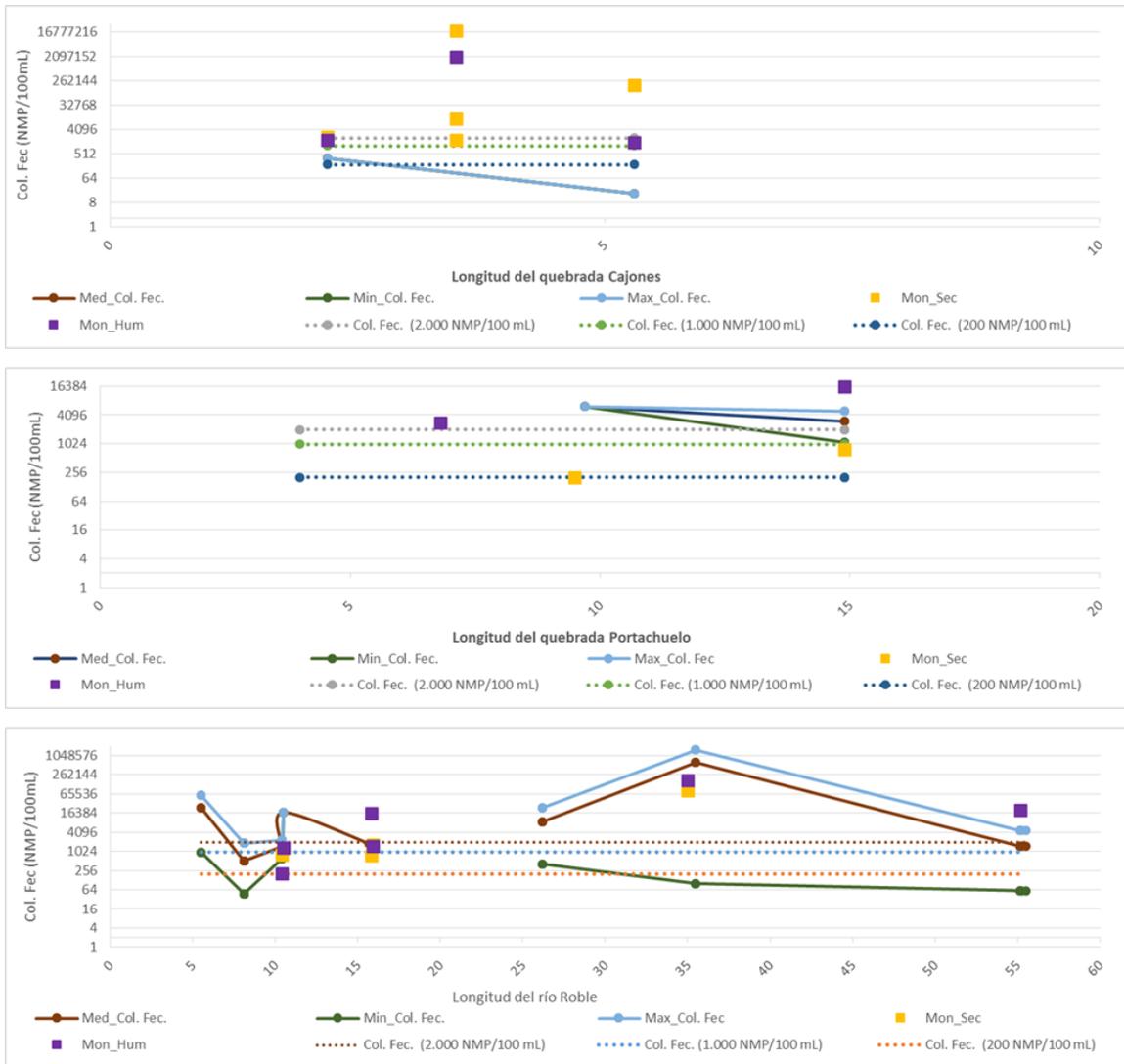


Figura 144. Valores Máximo, Mínimo y Medio de Coliformes Fecales en el río Roble, Quebrada Cajones y Quebrada Portachuelo.

pH: En la *Figura 145* se aprecia la variación de las unidades de pH de la quebrada Cajones, quebrada Portachuelo y río Roble, destacando el cumplimiento de los valores establecidos en el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015 y los correspondientes a los objetivos de calidad de la corporación. Sin embargo, se aprecian variaciones correspondientes a la temporada climática

de la toma de las muestras. De manera que, para las muestras obtenidas se cuenta con unidades de pH superiores a los obtenidos en época seca.

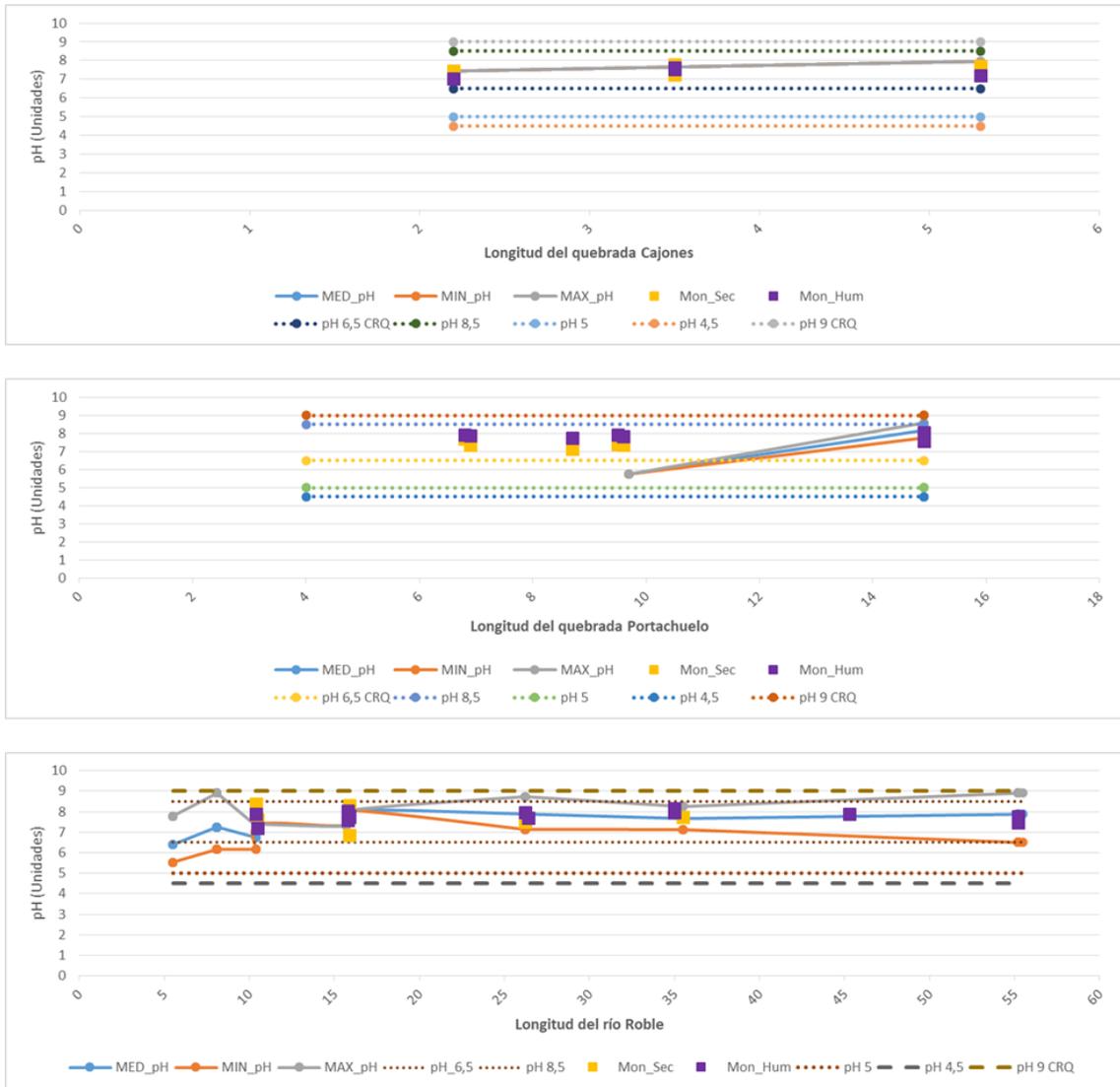


Figura 145. Valores Máximo, Mínimo y Medio de pH en el río Roble, Quebrada Cajones y Quebrada Portachuelo.

SST: Cabe destacar que gran parte de las mediciones realizadas de solidos suspendidos totales se encuentran por debajo de los límites de detección de la técnica de medición utilizada por el laboratorio. Sin embargo, se aprecia que, para las 3 corrientes se exceden los valores establecidos en los objetivos de calidad definidos por la corporación autónoma regional, en las zonas pobladas como Circasia y Montenegro. Ahora, debe destacarse que los monitoreos históricos obtenidos para la quebrada Cajones y la quebrada Portachuelo son mucho menores a los obtenidos en el río Roble como se muestra en la *Figura 146*.

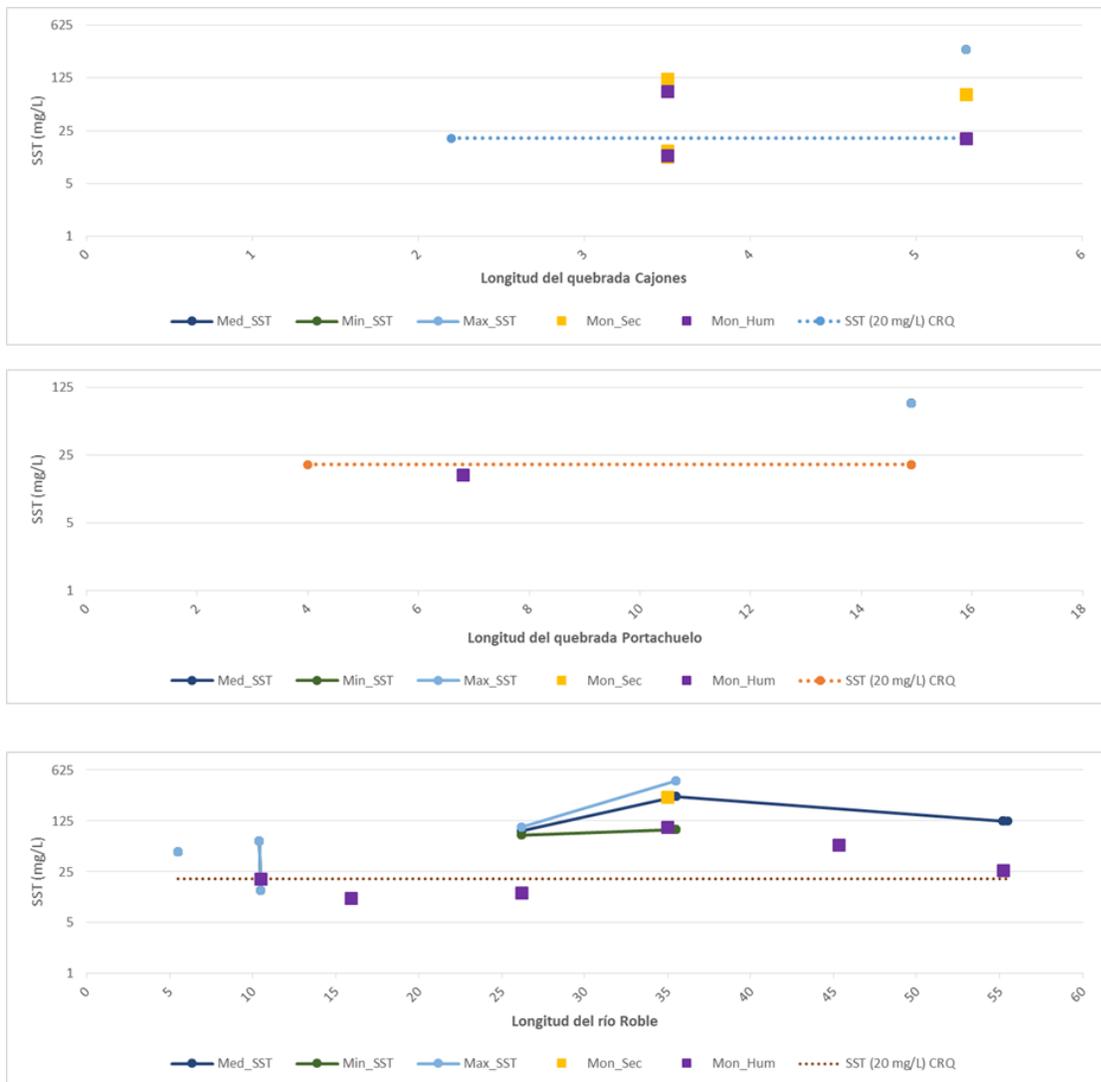


Figura 146. Valores Máximo, Mínimo y Medio de SST en el río Roble, Quebrada Cajones y Quebrada Portachuelo.

Grasas y Aceites: En relación con las concentraciones de Grasas y Aceites presentados en la *Figura 147*, se aprecia que las mediciones desarrolladas en el 2019 indican presencia de este parámetro en las corrientes analizadas, diferente a la condición esperada con el cumplimiento de los objetivos de calidad de la CRQ, que establece Ausencia en la corriente del río Roble. En concordancia con el aumento de la carga contaminante en zonas urbanas, se aprecia en la quebrada Cajones aumentos de Grasa y Aceites en cercanías a la zona urbana de Circasia, como en la quebrada Portachuelo se aportan cargas contaminantes de las corrientes receptoras del agua residual del municipio de Filandia y en el río Roble los aportes del municipio de Montenegro.



Figura 147. Valores Máximo, Mínimo y Medio de Grasas y Aceites en el río Roble, Quebrada Cajones y Quebrada Portachuelo.

1.8.4.2.1. Análisis de Conflictos

Mediante la Tabla 107 se señalan con un X si se presentó algún conflicto uso-calidad sobre los puntos medidos en ambas épocas hidrológicas sobre el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, y en la columna "Incumplimiento" se indica el determinante el parámetro generador del conflicto.

| PUNTO | Consumo humano y doméstico | | | | Agrícola | | Recreativo | | | | Preservación de Fauna y Flora | | | | INCUMPLIMIENTO | | |
|--|----------------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|---------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-------------------|-----------|----------------|---|-----------------------------------|
| | Tratamiento convencional | | Solo desinfección | | Sin restricciones | | Contacto primario | | Contacto secundario | | Agua fría dulce | | Agua cálida dulce | | | | |
| | T. Seca | T. Humeda | T. Seca | T. Humeda | T. Seca | T. Humeda | T. Seca | T. Humeda | T. Seca | T. Humeda | T. Seca | T. Humeda | T. Seca | T. Humeda | | | |
| BOCATOMA CIRCASIA CAJONES | | | | | X | | X | X | | X | | | | | | | Colif. Totales |
| VERTIMIENTO CAJONES MATADERO | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | X | X | X | X | Colif. Totales - O.D. - Turbiedad |
| AGUAS ABAJO CAJONES MATADERO | | | | | | | X | X | | | | | | | | | Colif. Totales |
| CAJONES AGUAS ARRIBA DESEMB. RIO ROBLE | | | | X | | | X | X | | | | | X | X | X | X | Colif. Totales - O.D. - Turbiedad |
| VERTIMIENTO CAJONES AGUAS ARRIBA DESEMB. CAJONES | X | | | X | | | X | | | | | | X | | | | Colif. Totales - O.D. - Turbiedad |
| RIO ROBLE AGUAS ARRIBA DESEMB. CAJONES | | | | | | | | | | | | | | X | | | O.D. |
| RIO ROBLE AGUAS ABAJO CONEULENCIA PORTACHUELO | | | | | | | | X | X | | | | | | | | Colif. Totales |
| RIO ROBLE BOCATOMA MONTENEGRO | | X | | X | | | X | X | | | | | X | | | | Colif. Totales - Turbiedad |
| Q. SOLEDAD | | | | | | | X | X | | | | | | | | | Colif. Totales |
| VERTIMIENTO MONTENEGRO | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | X | | | Colif. Totales - O.D. - Turbiedad |
| Q. CARMELITA | | | | X | | | X | | | | | | | X | | | Colif. Totales - Turbiedad |
| RIO ROBLE LA ESPAÑOLA | | X | | X | | | X | X | | | | | | X | | | Colif. Totales - Turbiedad |
| Q. PORTACHUELO AGUAS ARRIBA Q. CHORRO MADRES | | | | | | | X | X | | | | | | | | | Colif. Totales |
| QUEBRADA CHORRO MADRES | | X | | X | | | X | X | | | | | | X | | | Colif. Totales |
| FINNN FINLANDIA | | X | | X | | | X | X | | | | | | X | | | Colif. Totales - O.D. |
| PORTACHUELO CEMENTERIO FINLANDIA | | | | | | | X | X | | | | | | X | | | Colif. Totales |
| QUEBRADA LAS CRUCES | | X | | X | | | X | X | | | | | | X | | | Colif. Totales |
| PORTACHUELO AGUAS ARR CONFLUENTE RIO ROBLE | | | | | | | X | X | | | | | | | | | Colif. Totales |

Tabla 107 Resumen de conflictos uso-calidad según el artículo 2.2.3.3.2.1 del decreto 1076 de 2015.

1.8.4.2.2. Toma de muestras y Análisis de los resultados de la Campaña de Monitoreo No.1 - 2019

El cauce principal del área de estudio corresponde al río Roble, en el cual confluyen arroyos y quebradas desde los 2.100 m.s.n.m. y luego de cruzar 21.8 Km por el bosque muy húmedo premontano en 13.2 Km y 5.0 Km por el bosque húmedo tropical (según Holdridge), descarga su caudal a 50 Km de su origen en el río La Vieja¹.

En su cuenca, que tiene en gran medida zonas encañonadas entre los municipios de Filandia, Circasia, Montenegro y Quimbaya, se priorizaron 21 puntos de monitoreo entre la corriente principal del río Roble, corrientes aportantes a este y vertimientos. De norte a sur, se definió el monitoreo en fuentes hídricas que se ubican en los municipios de Circasia, como es la quebrada Cajones y la zona alta del río Robles, y en el municipio de Finlandia, con importancia en la quebrada Portachuelo, así como los drenajes de la cuenca baja del río Roble a la altura del municipio Montenegro hasta la confluencia de la quebrada la Paloma, aproximadamente a 2 kilómetros de la confluencia con el río La Vieja.

Las actividades de campo se realizaron del 24 al 27 de septiembre por personal técnico del laboratorio Chemilab S.A.S el cual cuenta con acreditación definida en la resolución 0288 de 2019 del IDEAM. En la Tabla 108 se presenta ubicación y fechas de muestreo de cada punto:

| Fecha | Estación | Fuente Hídrica | Ubicación | Coordenadas MAGNA Colombia Oeste | |
|------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------------|------------|
| | | | | Latitud | Longitud |
| 24/09/2019 | QCaj1 | Quebrada Cajones | Corriente | 1003470,46 | 1161297,76 |
| | QCaj3 | Quebrada Cajones | Corriente | 1003149,82 | 1160144,71 |
| | MatCaj_Vert | Quebrada Cajones | Vertimiento | - | - |
| 25/09/2019 | QCaj1 | Quebrada Cajones | Corriente | 1003470,46 | 1161297,76 |
| | QCaj3 | Quebrada Cajones | Corriente | 1003149,82 | 1160144,71 |
| | QCaj4 | Quebrada Cajones | Corriente | 1003054,44 | 1158797,94 |
| | QCaj4_Vert | Quebrada Cajones | Vertimiento | 1003093,39 | 1158791,32 |
| | RR3 | Río Roble | Corriente | 1003433,83 | 1158919,93 |
| | QP3 | Quebrada Portachuelo | Corriente | 1003649,81 | 1155572,62 |
| | RR5 | Río Roble | Corriente | 1003444,64 | 1155480,79 |
| 26/09/2019 | RR5 | Río Roble | Corriente | 1003444,64 | 1155480,79 |
| | RR6 | Río Roble | Corriente | 1000188,14 | 1151381,75 |
| | QPaloma1 | Quebrada La Paloma | Corriente | 1000042,68 | 1151431,64 |
| | RR6.1_Vert | Río Roble | Vertimiento | 997163,77 | 1147067,77 |
| | RR6.1 | Río Roble | Corriente | 997214,54 | 1146489,29 |
| | RR7 | Río Roble | Corriente | 997936,32 | 1136190,09 |
| | QPaloma2 | Quebrada La Paloma | Corriente | 998167,11 | 1136156,99 |
| 27/09/2019 | QP1 | Quebrada Portachuelo | Corriente | 1008026,16 | 1158925,30 |
| | QLM1 | Quebrada Chorro Las Madres | Corriente | 1008110,15 | 1158843,85 |
| | FRNN1 | FRNN | Corriente | 1007028,09 | 1157858,06 |
| | QP2 | Quebrada Portachuelo | | 1007044,51 | 1157928,15 |
| | QCruces1 | Quebrada Las Cruces | | 1006402,33 | 1157570,8 |
| | QP3 | Quebrada Portachuelo | | 1003649,81 | 1155572,62 |

Tabla 108. Información del monitoreo.

La ubicación de los puntos de monitoreo en la cuenca del río Roble se muestran en la Figura 148.

¹ Plan de Manejo Subcuenca Río Roble, 2011.

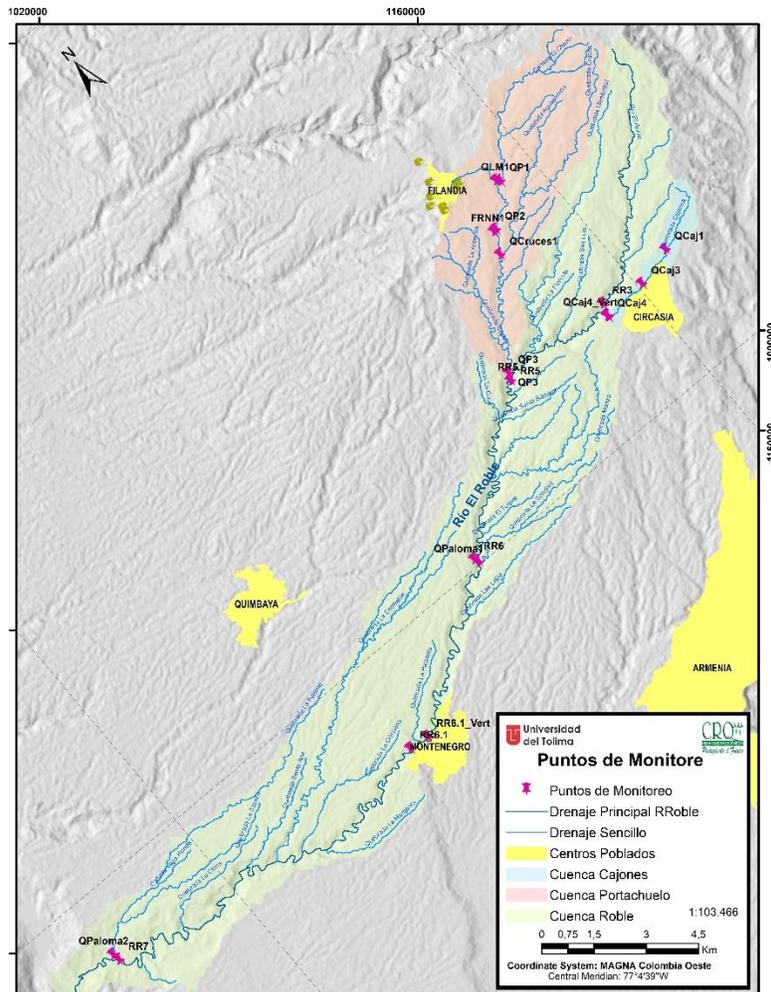


Figura 148. Ubicación de los puntos de monitoreo.

Es importante destacar los siguientes aspectos de la campaña de monitoreo:

- Se realizaron las observaciones relacionadas con el estado del tiempo, la cobertura de vegetación, cobertura de nubes, descripción del lecho de las corrientes y las correspondientes a condiciones propias de la zona o aspectos de importancia en el desarrollo del monitoreo.
- El desarrollo de la campaña se realizó de manera consecutiva desde aguas arriba hacia aguas abajo, teniendo en cuenta la distribución hídrica de afluentes y vertimientos sobre las corrientes hídricas objeto de monitoreo.
- El tipo de monitoreo que se realizó en los vertimientos fue de tipo compuesto. Mientras los monitoreos realizados sobre las corrientes hídricas se realizaron de manera integrada en la sección transversal.



Figura 149. Registro fotográfico de los puntos de monitoreo.

1.8.4.2.3. Análisis in situ

Las mediciones *in situ* se realizaron en todos los puntos de monitoreo, obteniendo los siguientes resultados de conductividad eléctrica, pH, sólidos sedimentables y oxígeno disuelto:

| Parámetro | Conductividad | Oxígeno Disuelto | pH | Temperatura muestra |
|--|---------------|------------------|----------------|---------------------|
| Unidad | µS/cm | mg O2/L | Unidades de pH | °C |
| Bocatoma Circasia cajones | 61,2 | 6,86 | 7,25 | 18,7 |
| Bocatoma cajones #2 | 81,2 | 6,86 | 7,44 | 20,7 |
| Vertimiento cajones matadero | 632,0 | 4,40 | 7,57 | 23,1 |
| Agua abajo cajones matadero | 148,1 | 4,82 | 7,80 | 20,1 |
| Aguas abajo cajones matadero | 132,8 | 5,09 | 7,25 | 18,5 |
| Cajones aguas arriba desembocadura río roble | 231 | 6,26 | 7,63 | 24,9 |
| Vertimiento cajones aguas arriba río roble | 867 | 0,62 | 7,70 | 24,8 |
| Río roble aguas arriba desembocadura cajones | 61,6 | 7,46 | 8,38 | 23,0 |
| Portachuelo aguas abajo confluente río roble | 85,0 | 6,90 | 7,63 | 22,7 |
| Río roble aguas abajo confluencia portachuelo | 98,5 | 6,99 | 8,32 | 21,9 |
| Río Roble aguadeño 2 | - | 6,58 | 6,85 | 19,2 |
| Río roble bocatoma Montenegro | 257 | 6,45 | 7,50 | 21,5 |
| Vertimiento Montenegro | 585 | 5,56 | 8,03 | 22,5 |
| Río Roble aguas abajo vertimiento Montenegro | 90,1 | 7,45 | 7,73 | 24,0 |
| Río Roble la española | 284 | 6,33 | 7,48 | 25,4 |
| Quebrada portachuelo aguas arriba confluencia quebrada chorro madres | 46,8 | 7,55 | 7,71 | 20,7 |
| Quebrada chorro madres aguas arriba confluencia portachuelo | 218,6 | 6,86 | 7,37 | 22,3 |
| FRNN Finlandia | 308 | 6,32 | 7,13 | 19,5 |
| Portachuelo cementerio Finlandia | 261 | 6,70 | 7,40 | 19,6 |
| Quebrada las Cruces | 102 | 6,94 | 7,35 | 19,5 |
| Portachuelo aguas arriba confluencia río Roble n°2 | 98,2 | 7,17 | 7,92 | 23,6 |

Tabla 109. Resultados de análisis in situ.

1.8.4.2.4. Resultados de aforo y caudal

Cumpliendo con el objetivo propuesto para el monitoreo de calidad y cantidad de recursos hídricos, se aplicó el método de aforos por vadeo debido a la dimensión de las corrientes, mediante varilla de extensión y velocímetro.

Los aforos de caudal se realizaron únicamente para los puntos de monitoreo sobre corriente hídrica y vertimiento

Los resultados de aforos y caudal se encuentran en la siguiente tabla:

| Estación | Fuente Hídrica | Caudal Total (m3/s) |
|------------|----------------------------|---------------------|
| QCaj1 | Quebrada Cajones | 0,0040 |
| QCaj2 | Quebrada Cajones | 0,0216 |
| QCaj3 | Quebrada Cajones | 0,0366 |
| QCaj4_Vert | Quebrada Cajones | 0,0021 |
| RRob_01 | Río Roble | 0,2900 |
| QP3 | Quebrada Po3rtachuelo | 0,3159 |
| RRob_02 | Río Roble | 0,4668 |
| RRob_02 | Río Roble | 0,5880 |
| RRob_03 | Río Roble | 0,9180 |
| QPaloma1 | Quebrada La Paloma | 0,0708 |
| RR6.1_Vert | Río Roble | 0,0006 |
| RRob_04 | Río Roble | 0,8808 |
| RRob_05 | Río Roble | 0,8303 |
| QPaloma2 | Quebrada La Paloma | 0,2354 |
| QP1 | Quebrada Portachuelo | 0,0547 |
| QLM1 | Quebrada Chorro Las Madres | 0,0218 |
| FRNN1 | FRNN | 0,0104 |
| QP2 | Quebrada Portachuelo | 0,1117 |
| QCruces1 | Quebrada Las Cruces | 0,0874 |
| QP3 | Quebrada Portachuelo | 0,3052 |

Tabla 110. Resultados aforo y caudal

Los informes de resultados de aforo y caudal generados fueron presentados por el laboratorio incluyendo los detalles de la ejecución de cada medición y la información respectiva.

1.8.4.2.5. Resultados de análisis inmediatos

De acuerdo con el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition, SM 1016 COLLECTION AND PRESERVATION OF SAMPLES*, los siguientes análisis tienen un tiempo corto de preservación, por lo tanto, se deben analizar inmediatamente después del ingreso de la muestra al laboratorio. Los resultados se muestran en la Tabla 111:

| PARÁMETRO | Alcalinidad total | Coliformes Termotolerantes | Coliformes Totales | DBO5 | DBO5 Disuelta | Escherichia Coli (E. coli) | Nitritos | Turbidez |
|--|-------------------|----------------------------|--------------------|---------|---------------|----------------------------|----------|----------|
| Unidad | mg CaCO3/L | NMP/100mL | NMP/100mL | mg O2/L | mg O2/L | NMP/100mL | mg NO2/L | NTU |
| Bocatoma Circasia cajones | 31,2 | 2105 | 8664 | <5,0 | <5,0 | 1336 | <0,0200 | 7,3 |
| Bocatoma cajones #2 | 38,1 | 1664 | 2613 | <5,0 | <5,0 | 762 | <0,0200 | 5,2 |
| Vertimiento cajones matadero | 203,0 | 18600000 | 27550000 | 494 | 125 | 9080000,0 | <0,0200 | 400,0 |
| Agua abajo cajones matadero | 63,8 | 10390 | 18650 | 18,2 | 12,2 | 5120 | 0,0732 | 16 |
| Aguas abajo cajones matadero | 58,6 | 1607 | 3076 | 8,14 | <5,0 | 1012 | 0,133 | 12 |
| Cajones aguas arriba desembocadura río roble | 92,1 | 1333 | 3448 | <5,0 | <5,0 | 809 | 0,172 | 7,8 |
| Vertimiento cajones aguas arriba río roble | 352 | 178900 | 325500 | 339 | 133 | 106300 | <0,0200 | 140 |
| Río roble aguas arriba desembocadura cajones | 33,0 | 809 | 1372 | <5,0 | <5,0 | 598 | <0,0200 | 2,1 |
| Portachuelo aguas abajo confluente río roble | 77,5 | 762 | 2613 | <5,0 | <5,0 | 629 | <0,0200 | 1,6 |
| Río roble aguas abajo confluencia portachuelo | 39,1 | 1664 | 2755 | <5,0 | <5,0 | 809 | 0,290 | 1,9 |
| Río Roble aguadeño 2 | 38,1 | 1450 | 2359 | 10,7 | <5,0 | 1092 | 0,149 | 2,6 |
| Río roble bocatoma Montenegro | | | 1789 | <5,0 | | | | |
| Vertimiento Montenegro | 280 | 84200 | 248100 | 233 | 136 | 51200 | <0,0200 | 500 |
| Río Roble aguas abajo vertimiento Montenegro | | | 12010 | <5,0 | | | | |
| Río Roble la española | | | 1212 | <5,0 | | | | |
| Quebrada portachuelo aguas arriba confluencia quebrada chorro madres | | | 2909 | <5,0 | | | | |
| Quebrada chorro madres aguas arriba confluencia portachuelo | | | 2247 | 6,54 | | | | |
| FRNN Finlandia | | | 3076 | <5,0 | | | | |
| Portachuelo cementerio Finlandia | | | 2755 | <5,0 | | | | |
| Quebrada las cruces | | | 2420 | <5,0 | | | | |
| Portachuelo aguas arriba confluencia río Roble n°2 | | | 2613 | <5,0 | | | | |

Tabla 111. Resultados de análisis inmediatos

1.8.4.2.6. Resultados de análisis fisicoquímicos, metales y iones

Acorde a lo establecido en el plan de monitoreo, se realizaron muestreos integrados y compuesto, obteniendo los resultados para análisis fisicoquímicos en la Tabla 112 y resultados de iones y metales en la Tabla 113.

| Parámetro | DQ O | Dureza | Fósforo total | Grasas y Aceites | Hidrocarburos | Nitratos (Aguas Residuales alta MO) | Nitrógeno amoniacal (Amonio) | Nitrogeno Total | Nitrógeno total Kjeldahl | Ortofosfatos (mg PO4/L) | Pesticidas Organoclorados | Pesticidas Organofosforados | Sólidos Disueltos Totales | Sólidos Suspendidos Totales | Sólidos Suspendidos Volátiles | Sulfatos | Surfactantes Aniónicos como SAAM | Sólidos sedimentables (In situ) | Clorofila |
|---------------------------|---------|------------|---------------|------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Unidad | mg O2/L | mg CaCO3/L | mg P/L | mg/L | mg/L | mg NO3/L | mg/L NH3-N | mg N/L | mg N/L | mg PO4/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg SO4/L | mg SAAM/L... | mL/L | mg/m3 Clorofila |
| Bocatoma Circasia cajones | 24,3 | 24,6 | <0,07 | 1,20 | 0,322 | 1,02 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | <0,210 | <0,00004 | <0,0004 | 40,0 | <10,0 | <10,0 | <5,0 | <0,5 | | <0,200 |

| Parámetro | DQO | Dureza | Fósforo total | Grasas y Aceites | Hidrocarburos | Nitratos (Aguas Residuales altas MO) | Nitrógeno amoniacal (Amonio) | Nitrógeno Total | Nitrógeno total Kjeldahl | Ortofosfatos (mg PO4/L) | Pesticidas Organoclorados | Pesticidas Organofosforados | Sólidos Disueltos Totales | Sólidos Suspendidos Totales | Sólidos Suspendidos Volátiles | Sulfatos | Surfactantes Aniónicos como SAAM | Sólidos sedimentables (In situ) | Clorofila |
|--|--------|--------|---------------|------------------|---------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|----------------------------------|---------------------------------|-----------|
| Bocatoma cajones #2 | 5,15 | 23,8 | <0,07 | 0,435 | <0,2 | <1,00 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | <0,210 | <0,0004 | <0,0004 | 40,0 | <10,0 | <10,0 | <5,0 | <0,5 | | <0,200 |
| Vertimiento o cajones matadero | 951,00 | | 2,49 | 13,100 | 2,83 | 1,06 | 25,6 | 57,9 | 57,7 | 5,17 | | | 468,00 | 121 | 121 | 17 | 5,73 | 1,3 | |
| Agua abajo cajones matadero | 71,9 | 34,6 | 0,637 | 4,62 | 1,53 | 1,23 | 0,0715 | 5,84 | 5,54 | 0,433 | <0,0004 | <0,0004 | 100 | 11,3 | 11,3 | 15,2 | 1,28 | | <0,200 |
| Aguas abajo cajones matadero | 15,4 | 33,3 | 0,598 | 2,61 | 1,12 | <1,00 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | 0,836 | <0,0004 | <0,0004 | 92,0 | 13,7 | 13,7 | <5,0 | <0,5 | | <0,200 |
| Cajones aguas arriba desembocadura río roble | 18,5 | 45,0 | 0,835 | 1,55 | 0,597 | <1,00 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | 1,98 | <0,0004 | <0,0004 | 158 | <10,0 | <10,0 | 15,2 | <0,5 | | <0,200 |
| Vertimiento o cajones aguas arriba río roble | 684 | | 2,87 | 59,5 | 43,1 | 1,33 | 50,8 | 51,9 | 51,6 | 6,68 | | | 612 | 76,0 | 76,0 | 72,7 | 6,79 | 0,5 | |
| Río roble aguas arriba desembocadura cajones | 5,15 | 22,1 | 0,301 | 0,433 | <0,2 | <1,00 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | 0,546 | <0,0004 | <0,0004 | 42,0 | <10,0 | <10,0 | <5,0 | <0,5 | | <0,200 |
| Portachuelo o aguas abajo confluente río roble | <5,00 | 30,0 | 0,261 | 0,665 | <0,2 | <1,00 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | 0,214 | <0,0004 | <0,0004 | 56,0 | <10,0 | <10,0 | <5,0 | <0,5 | | <0,200 |
| Río roble aguas abajo confluencia a portachuelo | 16,4 | 31,3 | 0,355 | 1,75 | 0,597 | 1,46 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | 0,464 | <0,0004 | <0,0004 | 68,0 | <10,0 | <10,0 | <5,0 | <0,5 | | <0,200 |
| Río Roble aguadeño 2 | 32,5 | 29,2 | 0,288 | 1,19 | 0,269 | <1,00 | <0,054 | <3,00 | <3,00 | 0,357 | <0,0004 | <0,0004 | 64,0 | <10,0 | <10,0 | <5,0 | <0,5 | | <0,200 |
| Río roble bocatoma Montenegro | 19,5 | | <0,07 | 1,71 | | <1,00 | <0,054 | | | | | | <10,0 | | | | | | |
| Vertimiento Montenegro | 619 | | 3,11 | 77,5 | 48,9 | 3,63 | 17,0 | 31,3 | 30,5 | 8,46 | | | 578 | 269 | 269 | <5,0 | 4,82 | 6,5 | |
| Río Roble aguas abajo vertimiento Montenegro | 15,1 | | <0,07 | 3,08 | | <1,00 | <0,054 | | | | | | | <10,0 | | | | | |
| Río Roble la española | 13,7 | | <0,07 | 0,937 | | <1,00 | <0,054 | | | | | | | <10,0 | | | | | |
| Quebrada portachuelo o aguas arriba confluencia a quebrada chorro madres | 30,1 | | <0,07 | 0,624 | | <1,00 | <0,054 | | | | | | | <10,0 | | | | | |
| Quebrada chorro madres aguas arriba confluencia a portachuelo | 56,8 | | 0,510 | 0,524 | | <1,00 | 5,86 | | | | | | | <10,0 | | | | | |
| FRNN Finlandia | 62,6 | | <0,07 | <0,2 | | <1,00 | 1,68 | | | | | | | <10,0 | | | | | |
| Portachuelo cementerio o Finlandia | 16,4 | | 0,176 | 1,33 | | <1,00 | <0,054 | | | | | | | <10,0 | | | | | |
| Quebrada las cruces | 27,7 | | <0,07 | 2,62 | | <1,00 | <0,054 | | | | | | | <10,0 | | | | | |
| Portachuelo o aguas arriba confluencia a río Roble n°2 | 35,3 | | <0,07 | 2,61 | | <1,00 | <0,054 | | | | | | | <10,0 | | | | | |

Tabla 112. Resultado de análisis fisicoquímicos.

| Parámetro | Hierro Total* mg Fe/L | Magnesio Total* mg Mg/L | Mercurio Total* mg Hg/L | Níquel Total* mg Ni/L | Plomo Total* mg Pb/L | Selenio Total* mg /L | Sodio Total* mgNa/L | Vanadio Total* mg V/L | Zinc Total* mg Zn/L | Arsénico Total* mg As/L | Bario Total* mg Ba/L | Cadmio Total* mg Cd/L | Calcio Total* mg Ca/L | Cianuro Total* mg CN-L | Fenoles* mg Fenol /L | Cloruros* mg Cl-L | Cobre Total* mg Cu/L | Cromo Total* mg Cr/L |
|--|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Bocatoma Circasia cajones | <0,200 | 2,04 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 2,06 | <0,01 | <0,050 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 5,48 | <0,0100 | <0,100 | <9,9 | <0,1 | <0,100 |
| Bocatoma cajones #2 | <0,200 | 1,01 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 2,11 | <0,01 | <0,050 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 7,29 | <0,0100 | <0,100 | <9,9 | <0,1 | <0,100 |
| Vertimiento cajones matadero | 0,691 | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | | <0,01 | 0,063 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | | <0,0100 | <0,100 | 87,4 | <0,1 | <0,100 |
| Agua abajo cajones matadero | 0,297 | 2,78 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 5,48 | <0,01 | <0,050 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 8,03 | <0,0100 | <0,100 | 10,9 | <0,1 | <0,100 |
| Aguas abajo cajones matadero | 0,251 | 1,83 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 3,73 | <0,01 | <0,050 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 11,2 | <0,0100 | <0,100 | <9,9 | <0,1 | <0,100 |
| Cajones aguas arriba desembocadura río roble | 0,238 | 1,52 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 10,9 | <0,01 | <0,050 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 15,9 | <0,0100 | <0,100 | 15,8 | <0,1 | <0,100 |
| Vertimiento cajones aguas arriba río roble | <0,200 | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | | <0,01 | 0,088 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | | <0,0100 | <0,100 | 69,1 | <0,1 | <0,100 |
| Río roble aguas arriba desembocadura cajones | <0,200 | 2,66 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 2,32 | <0,01 | | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 5,53 | <0,0100 | <0,100 | <9,9 | <0,1 | <0,100 |
| Portachuelo aguas abajo confluente río roble | <0,200 | 3,90 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 3,47 | <0,01 | | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 6,39 | <0,0100 | <0,100 | <9,9 | <0,1 | <0,100 |
| Río roble aguas abajo confluencia portachuelo | <0,200 | 3,93 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 4,24 | <0,01 | | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 7,50 | <0,0100 | <0,100 | <9,9 | <0,1 | <0,100 |
| Río Roble aguadeño 2 | <0,200 | 3,16 | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | 5,30 | <0,01 | <0,050 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | 7,22 | <0,0100 | <0,100 | <9,9 | <0,1 | <0,100 |
| Río roble bocatoma Montenegro | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| Vertimiento Montenegro | <0,200 | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | <0,0025 | | <0,01 | 0,100 | <0,0025 | <0,500 | <0,01 | | <0,0100 | <0,100 | 74,0 | <0,1 | <0,100 |
| Río Roble aguas abajo vertimiento Montenegro | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| Río Roble la española | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| Quebrada portachuelo aguas arriba confluencia quebrada chorro madres | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| Quebrada chorro madres aguas arriba confluencia portachuelo | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| FRNN Finlandia | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| Portachuelo cementerio Finlandia | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| Quebrada las cruces | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |
| Portachuelo aguas arriba confluencia río Roble n°2 | | | <0,0010 | <0,2 | <0,1 | | | | | <0,0025 | | <0,01 | | | | | | <0,100 |

Tabla 113. Resultado de análisis iones y metales.

1.8.4.3. Estimación de Indicadores de Calidad de Agua

A partir de los reportes históricos de calidad, así como de las dos (2) campañas de monitoreo realizadas en el año 2019, se realizó el cálculo del Índice de Calidad – ICA, siguiendo la metodología propuesta para las Evaluaciones Regionales del Agua - ERA (IDEAM, 2013), así como

la ERA del departamento del Quindío, realizada por la CRQ y la Universidad del Tolima (2018). Se aclara que el ICA no se pudo calcular para todos los reportes disponibles, ya que muchos de estos no cuentan con suficiente información para estimar el índice con siete (7).

1.8.4.3.1. Características Generales del Índice de Calidad del Agua - ICA

Las condiciones de calidad del agua están en función de diferentes características hidromorfológicas, fisicoquímicas, biológicas y ecológicas, así como por el desarrollo de las actividades humanas que generan aguas residuales. La capacidad de asimilación del cuerpo de agua para los diferentes tipos de contaminantes será un elemento que también definirá las condiciones de calidad.

El índice de calidad del agua (ICA) es un indicativo de las condiciones de calidad física, química y biológica de los cuerpos de agua. El indicador permite identificar problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. 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).

El ICA es el valor numérico que califica en una (1) de cinco (5) categorías la calidad del agua de un cuerpo de agua, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de seis (6) o siete (7) variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (IDEAM, 2013). En tal sentido, el ICA es una expresión agregada y simplificada, sumatoria aritmética equiponderada de varias variables.

Para el ENA 2010, el IDEAM utilizó cinco (5) variables representativas de los principales tipos de contaminación: para materia orgánica, DQO; material en suspensión, sólidos suspendidos totales, SST; y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, PSOD; para mineralización, conductividad eléctrica del agua; y para acidez o alcalinidad, el pH del agua (IDEAM, 2010).

En el ENA 2014, el IDEAM añade una (1) variable más (N total/P total). En algunos casos, alguna de estas las dos (2) variables que comprenden el subíndice N total / P Total, se encuentran por debajo del límite de detección, por lo que generalmente se suele usar este valor límite para determinar la relación. Sin embargo, la concentración real se desconoce, por lo que en el rango que va desde 0 mg/L hasta el límite de detección, se presentan diferentes valores que podrían dar clasificaciones diferentes del subíndice. Por lo tanto, en el presente PORH se utilizará en dichos casos el límite de detección para el cálculo de la relación, pero se aclara que esta limitante técnica puede llevar a interpretaciones equivocadas del subíndice de la relación nitrógeno/ fósforo y puede generar "ruido" en el cálculo del ICA.

De acuerdo con la Guía para la elaboración del PORH, deben considerarse los lineamientos de las Evaluaciones Regionales del Agua (IDEAM, 2013). En dicho documento, el IDEAM recomienda que para el nivel regional, se calcule el ICA con siete (7) variables, adicionando los coliformes fecales como indicadores de contaminación bacteriológica. En el documento del ERA (2013), el IDEAM recomienda usar las ecuaciones para el cálculo de los subíndices, presentadas en el ENA 2010. En este último documento se presentan las relaciones para tres (3) (SST, pH y conductividad) de las siete (7) variables requeridas. En las Fichas Metodológicas disponibles en la página Web del IDEAM, se presentan las ecuaciones para seis (6) de las siete (7) variables, las cuales no incluyen el indicador de contaminación bacteriológica. Por lo tanto, en el presente estudio, se tomó como

referencia para el cálculo del subíndice de coliformes fecales, el propuesto por Cude (2001), en armonía con el documento del ERA (2018) del departamento del Quindío.

1.8.4.3.2. Metodología para el Cálculo del ICA

El Índice de Calidad de Agua - ICA posibilita la evaluación de los constituyentes o variables que afectan la calidad del agua, y permite comunicar y representar la calidad en los cuerpos de agua mediante una expresión agregada y simplificada. Para el nivel regional se propone calcular el ICA con siete (7) variables, incluyendo la relación de nitrógeno/fósforo, así como los coliformes fecales. Los siguientes pasos resumen la aplicación de la metodología propuesta por el IDEAM teniendo como soporte IDEAM (2010) e IDEAM (2013).

1.8.4.3.2.1. Paso 1. Definición de los Pesos para cada variable

De acuerdo con IDEAM (2010), la ponderación de las variables físicas, químicas y microbiológicas puede variar en función de la relevancia para análisis específicos de condiciones de calidad de Aguas y el número de variables consideradas. A escala regional se tendrán en cuenta siete (7) variables de acuerdo con IDEAM (2013), siendo los pesos de importancia los que se contemplan en la última columna de la Tabla 114.

| 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 | μS/cm | 0,2 | 0,17 | 0,14 |
| pH | Unidades de pH | 0,2 | 0,17 | 0,14 |
| Relación N total/P total | (mg/L)/(mg/L) | | 0,15 | 0,14 |
| Coliformes fecales | UFC/100 mL* | | | 0,14 |

*Si bien en IDEAM (2013) se asignan como unidades de los coliformes fecales las UFC/100 ml, el subíndice de los coliformes fecales se expresa en NMP/100ml. En el presente estudio se realizó la medición de coliformes totales, termotolerantes y E Coli. Para el presente estudio se considerará como indicador por contaminación bacteriológica los coliformes termotolerantes.

Tabla 114 Variables y pesos para la estimación del ICA a nivel regional. Fuente IDEAM (2013)

1.8.4.3.2.2. Paso 2: Construcción de relaciones o curvas funcionales

De acuerdo con IDEAM (2010), "para los parámetros 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 (μS/cm, mg/L, porcentaje, unidades, etc.), para permitir su

posterior agregación. A continuación, se muestran las ecuaciones de referencia para cada una de las siete (7) variables involucradas en el cálculo del ICA a nivel regional.

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 (DO) es un indicador de la calidad ecológica del agua, y condiciona la presencia o ausencia de biota en el ecosistema acuático.

Las unidades de oxígeno, si se utilizan métodos como el de luminiscencia son en mg O₂/L. Para su expresión en porcentaje de saturación, simplemente es dividir tales unidades en 100% del valor de oxígeno disuelto para el agua (a la misma temperatura y presión del aire).

Cuando no se cuenta con la información del porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto (%Sat OD), o cuando se quiera corroborar la información suministrada por el laboratorio, el %Sat OD se podrá obtener con el siguiente procedimiento de acuerdo con (IDEAM y CIH-UP, 2007):

Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} :

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$$

Donde,

O_x : Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/L) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

C_p : Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación, igual a la siguiente expresión:

$$C_p = C^* * P * \left[\frac{\left(1 - \frac{P_w}{P}\right) * (1 - \theta P)}{(1 - P_w) * (1 - \theta)} \right]$$

Donde:

C^* = concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión estándar de 1 atmósfera

P = presión no estándar (atmósferas)

P_w = presión parcial de vapor de agua (atmósferas)

θ = Factor de corrección de la temperatura (°C) a condiciones estándar.

El cálculo de la concentración de equilibrio de oxígeno sigue la siguiente expresión:

$$\ln(C^*) = -139,3441 + \frac{157570,1}{TE} - \frac{66423080}{TE^2} + \frac{12438000000}{TE^3} - \frac{862194900000}{TE^4}$$

Donde:

TE: Temperatura (°K)

TE = T + 273,15

Para condiciones no estándar de presión, la presión está relacionada con la altitud (A) y es igual a:

$$P = 1,0001629e^{-0,00012125*A}$$

y la presión parcial de vapor de agua:

$$\ln(P_w) = 11,8571 - \frac{3840,7}{TE} - \frac{216961}{TE^2}$$

El factor de corrección de temperatura:

$$\theta = 0,000975 - 0,00001426T + 0,00000006436T^2$$

Para calcular el Subíndice del porcentaje de saturación de oxígeno se aplica la siguiente ecuación:

$$I_{\%sat OD} = 1 - (1 - 0,01 * \% \text{ saturación de OD})$$

En los casos que el porcentaje de saturación de OD sea mayor a 100%, se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{\%sat OD} = 1 - (1 - 0,01 * \% \text{ saturación de OD} - 1)$$

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 deberse 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 la siguiente ecuación (ENA, 2010):

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \times SST \text{ mg/L})$$

Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$

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:

Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

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 humano, 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 la siguiente ecuación:

$$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} C.E)}$$

Si $I_{C.E} < 0$, entonces $I_{C.E} = 0$

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. La fórmula para calcular el subíndice de calidad para NT/PT es:

Si $NT/PT \geq 15$, entonces $I_{N/P} = 0,80$

Si $10 < NT/PT < 15$, entonces $I_{N/P} = 0,60$

Si $5 < NT/PT \leq 10$, entonces $I_{N/P} = 0,35$

Si $NT/PT \leq 5$, entonces $I_{N/P} = 0,15$

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 $I_{pH} = 0,10$

Si pH está entre 4 y 7 inclusive, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \times e^{(pH * 0,520025)}$

Si pH está entre 7,1 y 8,0 entonces $I_{pH} = 1$

Si pH está entre 8,1 y 11 entonces $I_{pH} = 1 \times e^{((pH-8) - 0,5187742)}$

Si pH es $>$ a 11,1 $I_{pH} = 0,10$

Coliformes 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 $44,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Este grupo no incluye una especie determinada, sin embargo, la más prominente es Escherichia coli. El subíndice para las coliformes fecales es extraído de Cude (2001) como sigue:

Si $\text{CF} < 50/100 \text{ mL}$ entonces $\text{ICF} = 0,98$

Si $50/100 \text{ mL} \leq \text{CF} < 1600/100 \text{ mL}$ entonces $\text{ICF} = 0,98 \times e^{((\text{CF}-50) \times -9,917754\text{E}-4)}$

Si $\text{CF} \geq 1600/100 \text{ mL}$ entonces $\text{ICF} = 0,10$

1.8.4.3.2.3. Paso 3: Cálculo numérico 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 ponderadas se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Donde, } ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$$

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:

$$ICA_{njt} = (W_i \% \text{satOD} \cdot I_{\% \text{satOD}}) + (W_i \text{SST} \cdot I_{\text{SST}}) + (W_i \text{DQO} \cdot I_{\text{DQO}}) + (W_i \text{C.E} \cdot I_{\text{C.E}}) + (W_i \text{N/P} \cdot I_{\text{N/P}}) + (W_i \text{pH} \cdot I_{\text{pH}}) + (W_i \text{I.C.F.} \cdot I_{\text{C.F}})$$

1.8.4.3.2.4. Paso 4. Asignación de descriptores de calidad desde el ICA

De acuerdo con IDEAM (2010), el ICA conlleva a una clasificación descriptiva de la calidad del agua en cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala), para simplificar la información de la tendencia de la calidad (deterioro o recuperación). El resultado del ICA se relaciona con las categorías que se presentan en la Tabla 115, las cuales se representan gráficamente en una escala de colores determinada.

| Descriptores | Ámbito numérico | Color |
|--------------|-----------------|----------|
| Muy malo | 0 – 0.25 | Rojo |
| Malo | 0.26 – 0.50 | Naranja |
| Regular | 0.51 – 0.70 | Amarillo |
| Aceptable | 0.71 – 0.90 | Verde |
| Bueno | 0.91 – 1.00 | Azul |

Tabla 115. Descriptores de la calidad del agua a partir del ámbito numérico del ICA. Fuente IDEAM (2010)

Corresponde al valor numérico que califica en una (1) de cinco (5) categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de siete variables, registradas en una estación de monitoreo en un tiempo determinado. La importancia de la representación del ICA radica en la significancia de sus variables en virtud de aquellos indicadores asociados a los tensores más importantes de contaminación.

El cálculo general responde a los lineamientos ERA desarrollados por el IDEAM y las hojas metodológicas del IDEAM. El índice se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales.

La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$$

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 variables

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 periodo de tiempo t.

W_I = Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

n = Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.

1.8.4.3.3. Resultados del ICA

Se realizó la aplicación de la anterior metodología, obteniendo los resultados que se analizarán a continuación de forma independiente para el río Roble, la quebrada Cajones y la quebrada

Portachuelo. En la Figura Figura 150 se presenta la distribución espacial del cálculo del ICA y en la Figura Figura 151 la distribución espacial del subíndice de coliformes, el cual presenta las condiciones más críticas en toda la cuenca.

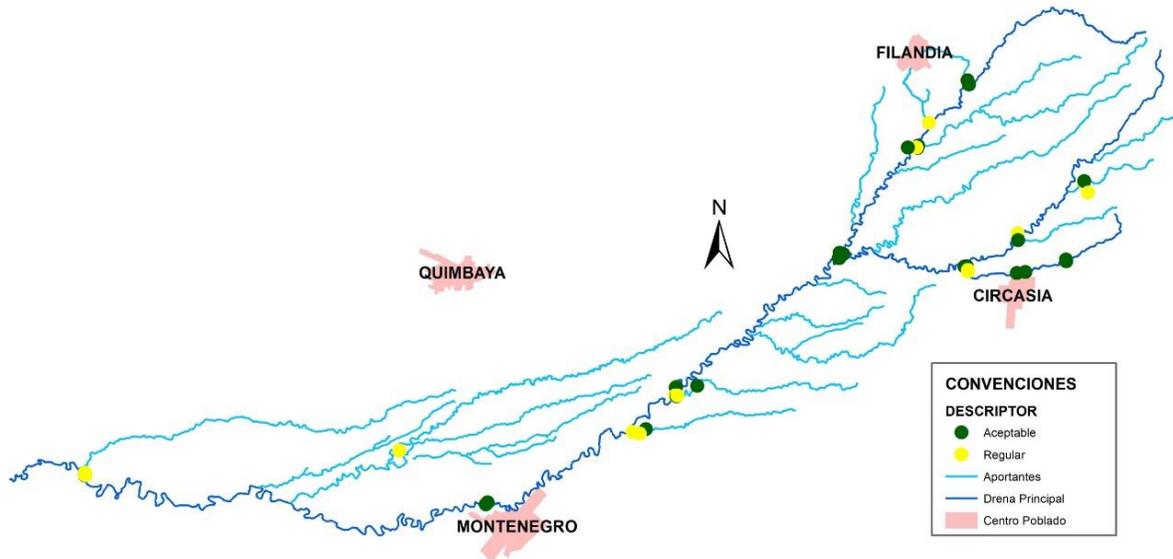


Figura 150 Espacialización del ICA para los sitios de medición en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

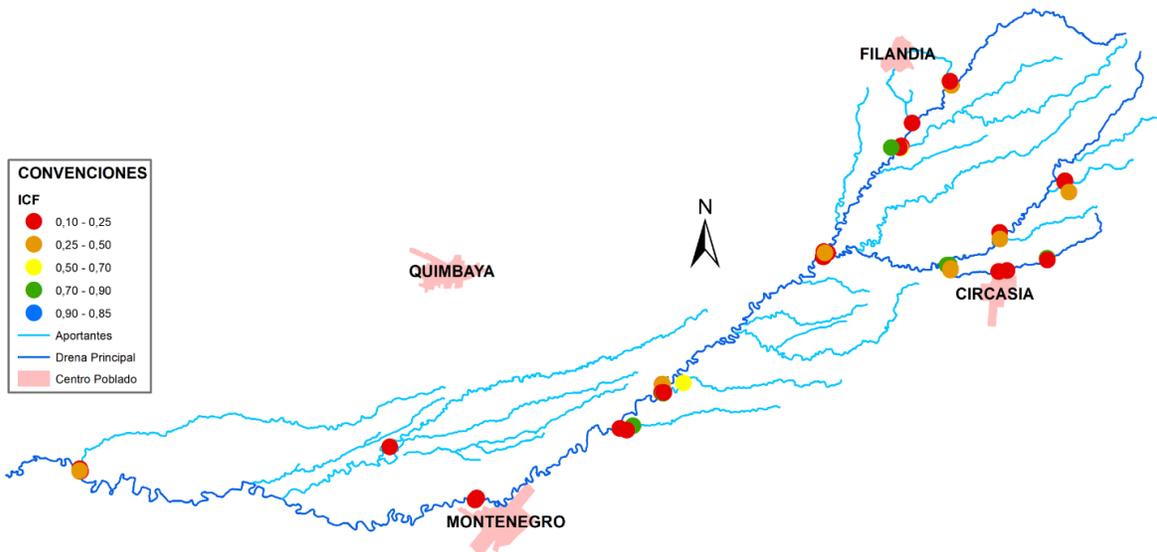


Figura 151 Espacialización del Subíndice de coliformes para los sitios de medición en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

1.8.4.3.3.1. *Resultados del ICA para el río Roble*

El análisis contemplará la sectorización realizada previamente. El río Roble se encuentra dividido en tres (3) tramos:

- **Tramo 5:** Nacimiento del río Roble – Desembocadura de quebrada Cajones
- **Tramo 6:** Desembocadura de quebrada Cajones – Aguas Arriba de la bocatoma de Montenegro sobre el río Roble
- **Tramo 7:** Aguas Arriba de la bocatoma de Montenegro sobre el río Roble – Desembocadura en el río La Vieja.

Con respecto a los resultados del cálculo del ICA y de los siete (7) subíndices para el río Roble se realizan las siguientes observaciones:

Tramo 5: Comprende registros para los años 2017 y 2019, corresponden a las estaciones ubicadas aguas arriba de la quebrada Cajones. A continuación, se presentan las condiciones observadas en el ICA para el Tramo 5.

- El índice presenta condiciones de calidad **Aceptable** y **Regular**.
- En los registros del año 2017 se observa una condición **Regular** de la calidad, debido principalmente a un muy alto contenido de coliformes fecales, alta concentración de DQO y altos niveles de conductividad.
- Para los registros del año 2019, en la estación ubicada aguas arriba de la quebrada Cajones, se presentan condiciones calidad **Aceptable**. En la época de bajos caudales se presentan niveles altos de coliformes.

Tramo 6: Comprende registros para los años 2017, 2018 y 2019, correspondientes a las estaciones ubicadas aguas abajo de la quebrada Portachuelo y aguas arriba de la quebrada La Soledad (Bocatoma de Montenegro). A continuación, se presentan las condiciones observadas en el ICA para el Tramo 6.

- El índice presenta condiciones de calidad **Aceptable** y **Regular**.
- De forma general, se observa que se presentan niveles muy altos de coliformes fecales en todos los registros.
- Se observa incrementos en la conductividad al final del Tramo, en la estación ubicada aguas arriba de la Bocatoma de Montenegro.
- Se han presentado niveles representativos de una condición de calidad Regular en el subíndice de la DQO.

Tramo 7: Comprende registros para los años 2017 y 2019, correspondientes a las estaciones ubicadas aguas debajo de la bocatoma de Montenegro y aguas arriba de la confluencia del río Roble con el río La Vieja. A continuación, se presentan las condiciones observadas en el ICA para el Tramo 7.

- El índice presenta condiciones de calidad **Aceptable** y **Regular**. En la parte más alta de este tramo correspondiente a los puntos ubicados aguas abajo del casco urbano de Montenegro presenta condiciones de calidad **Aceptables**, mientras que en el sector La Española, predomina condiciones de calidad **Regular**.
- De forma general, se observa que se presentan niveles altos y muy altos de coliformes fecales en todos los registros.
- En el sector denominado La Española se presenta un incremento en la conductividad en comparación con la estación ubicada aguas abajo del casco urbano de Montenegro.
- En dos (2) de los cinco (5) registros se presentaron niveles Regulares de DQO.

| TRAMO | Red de Monitoreo | Año | Estación | ICA | Caudal (L/s) | Ic.F | Ic.E | IdQO | In/P | Iod | I _{PH} | I _{SST} |
|-------|------------------|------|--|------|--------------|------|------|------|------|------|-----------------|------------------|
| 5 | ERA | 2017 | Río Roble Arriba De Quebrada Cajones | 0,59 | 119 | 0,10 | 0,33 | 0,26 | 0,60 | 0,81 | 1,00 | 0,98 |
| 5 | PORH | 2019 | RRob_01 - Río Roble aguas arriba de quebrada Cajones | 0,76 | 290 | 0,46 | 0,86 | 0,91 | 0,35 | 0,93 | 0,81 | 1,00 |
| 5 | PORH | 2019 | RRob_01 - Río Roble aguas arriba de quebrada Cajones | 0,83 | 2.158 | 0,85 | 0,70 | 0,91 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | ERA | 2017 | Río Roble Aguas Arriba Confluencia Portachuelo | 0,73 | 397 | 0,10 | 0,88 | 0,51 | 0,80 | 0,86 | 1,00 | 0,97 |
| 6 | PORH | 2019 | RRob_02 - Río Roble aguas abajo de quebrada Portachuelo | 0,71 | 467 | 0,10 | 0,74 | 0,91 | 0,35 | 0,96 | 0,86 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | RRob_02 - Río Roble aguas abajo de quebrada Portachuelo | 0,69 | 588 | 0,24 | 0,66 | 0,51 | 0,60 | 0,86 | 0,95 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | RRob_02 - Río Roble aguas abajo de quebrada Portachuelo | 0,76 | 5.895 | 0,24 | 0,92 | 0,51 | 0,80 | 0,85 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | RRob_02 - Río Roble aguas abajo de quebrada Portachuelo | 0,80 | 7.600 | 0,10 | 0,92 | 0,91 | 0,80 | 0,88 | 1,00 | 0,99 |
| 6 | ERA | 2017 | Bocatoma Montenegro | 0,86 | 2.812 | 0,69 | 0,86 | 0,91 | 0,80 | 0,83 | 1,00 | 0,95 |
| 6 | CRQ | 2018 | Río Roble Bocatoma de Montenegro | 0,70 | 361 | 0,10 | 0,84 | 0,91 | 0,15 | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | RRob_03 - Río Roble arriba de quebrada La Soledad (Bocatoma Montenegro) | 0,72 | 918 | 0,36 | 0,07 | 0,91 | 0,80 | 0,87 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | RRob_03 - Río Roble arriba de quebrada La Soledad (Bocatoma Montenegro) | 0,65 | 15.786 | 0,10 | 0,00 | 0,91 | 0,80 | 0,75 | 1,00 | 0,98 |
| 7 | ERA | 2017 | Río Roble Puente Montenegro Quimbaya | 0,72 | 4.557 | 0,10 | 0,85 | 0,51 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 0,95 |
| 7 | PORH | 2019 | RRob_04 - Río Roble Abajo de vertimientos Montenegro | 0,79 | 881 | 0,10 | 0,77 | 0,91 | 0,80 | 0,96 | 1,00 | 1,00 |
| 7 | PORH | 2019 | RRob_04 - Río Roble Abajo de vertimientos Montenegro | 0,79 | - | 0,10 | 0,91 | 0,91 | 0,80 | 0,82 | 1,00 | 1,00 |
| 7 | ERA | 2017 | Río Roble La Española | 0,77 | 4.768 | 0,27 | 0,79 | 0,91 | 0,80 | 0,82 | 0,77 | 1,00 |
| 7 | PORH | 2019 | RRob_05 - Río Roble Sector Aguas arriba Quebrada La Paloma (La Española) | 0,70 | 830 | 0,31 | 0,00 | 0,91 | 0,80 | 0,88 | 1,00 | 1,00 |
| 7 | PORH | 2019 | RRob_05 - Río Roble Sector Aguas arriba Quebrada La Paloma (La Española) | 0,67 | 10.102 | 0,10 | 0,52 | 0,51 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 0,94 |

Tabla 116. Cálculo del ICA para el Río Roble

De forma general para la corriente principal del río Roble, se presentan condiciones de calidad **Aceptable** y **Regular**. Estas condiciones se observaron tanto en la parte alta (Tramo 5) como en la zona Media y Baja del río Roble (Tramos 6 y 7). El subíndice de mayor interés son los coliformes, los cuales se presentan en niveles altos y muy altos a lo largo de todo el cuerpo de agua.

El subíndice de SST se mantiene en un nivel bajo, inclusive en los monitoreos realizados durante la época de altos caudales, en los cuales es posible el incremento de estos sólidos, debido al

arrastre de material. En algunas estaciones se presentan niveles muy altos de conductividad y condiciones regulares del Subíndice de la DQO.

1.8.4.3.3.2. Resultados del ICA para la quebrada Cajones

El análisis contemplará la sectorización realizada previamente, de esta forma La quebrada Cajones se encuentra dividida en dos (2) tramos:

- **Tramo 3:** Nacimiento de la quebrada Cajones – Inicio del casco urbano del municipio de Circasia.
- **Tramo 4:** Inicio del casco urbano del municipio de Circasia – Desembocadura en el río Roble.

Con respecto a los resultados del cálculo del ICA y de los siete (7) subíndices para la quebrada Cajones se realizan las siguientes observaciones:

Tramo 2: Comprende reportes de calidad del año 2017 (ERA) y del año 2019 (PORH), aguas arriba y aguas abajo de la captación del municipio de Circasia. A continuación, se presentan las condiciones observadas en el ICA para el Tramo 3.

- El índice presenta condiciones de calidad **Aceptable**.
- El único determinante que se considera crítico, de acuerdo con los registros del año 2019, son los coliformes, los cuales presentarían concentraciones muy altas.
- En el monitoreo del año 2017 no se presentaron determinantes con condiciones de calidad que se puedan considerar críticas.
- Para el registro de la época de lluvias se presenta un índice **Regular**, relacionado con un incremento en la concentración de coliformes y de la conductividad con respecto a la época seca. En la época de lluvias se presentan mejores concentraciones de la DQO.

Tramo 4: Comprende registros únicamente para el año 2019 (PORH), con estaciones ubicadas en la parte central del casco urbano de Circasia y aguas arriba de la última descarga municipal de Circasia (QCD9), cerca de su desembocadura en el río Roble. A continuación, se presentan las condiciones observadas en el ICA para el Tramo 4.

- El índice presenta condiciones de calidad **Aceptable y Regular**.
- De forma general, se observa que se presentan condiciones deficientes de calidad en cuanto a los coliformes, con niveles muy altos en la parte central del municipio de Circasia (Puente Calle 7) y niveles altos en la desembocadura en el río Roble.
- El subíndice de conductividad permite identificar una afectación en la calidad del agua por el contenido de sólidos disueltos, presentando una condición regular en la zona media del municipio de Circasia (época seca) y niveles altos y muy altos cerca de la desembocadura en el río Roble.
- No se presenta una afectación por un alto contenido de materia orgánica, medida a través del subíndice de la DQO, sin embargo, se observa en el subíndice del oxígeno disuelto, que se presenta una condición de calidad regular en la zona media del municipio de

Circasia (época seca) y una condición de mala calidad cerca de la desembocadura en el río Roble.

- La relación nitrógeno/fósforo presenta un subíndice de condiciones de calidad desde aceptables hasta muy malas.

| TRAMO | RED de Monitoreo | Año | Estación | ICA | Caudal (L/s) | Ic.F | Ic.E | IbQO | In/P | Iod | IpH | IsST |
|-------|------------------|------|--|------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3 | ERA | 2017 | QCAJ_00 - Aguas Arriba de Captación Circasia | 0,87 | 33 | 0,73 | 0,89 | 0,91 | 0,80 | 0,77 | 1,00 | 1,00 |
| | PORH | 2019 | QCAJ_01 - Aguas Abajo de Captación Circasia | 0,80 | 2 | 0,10 | 0,80 | 0,91 | 0,80 | 0,96 | 1,00 | 1,00 |
| | PORH | 2019 | QCAJ_01 - Aguas Abajo de Captación Circasia | 0,77 | 279 | 0,10 | 0,87 | 0,91 | 0,60 | 0,87 | 1,00 | 1,00 |
| 4 | PORH | 2019 | QCAJ_02 - Arriba de Puente Calle 7 | 0,66 | 22 | 0,10 | 0,62 | 0,91 | 0,35 | 0,68 | 1,00 | 0,98 |
| | PORH | 2019 | QCAJ_02 - Arriba de Puente Calle 7 | 0,80 | 398 | 0,10 | 0,89 | 0,91 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 0,98 |
| | PORH | 2019 | QCaj_03 - Quebrada Cajones Arriba desembocadura en Río Roble | 0,64 | 37 | 0,27 | 0,19 | 0,91 | 0,15 | 0,93 | 1,00 | 1,00 |
| | PORH | 2019 | QCaj_03 - Quebrada Cajones Arriba desembocadura en Río Roble | 0,65 | 724 | 0,27 | 0,38 | 0,91 | 0,60 | 0,48 | 1,00 | 0,96 |

Tabla 117. Cálculo del ICA para la Quebrada Cajones

De forma general, se observan condiciones de calidad **Aceptable** en el Tramo 3 de la quebrada Cajones (hasta antes del casco urbano del municipio de Circasia) y condiciones de calidad **Regular** en la zona media del municipio y cerca de la desembocadura en el río Roble.

El subíndice más crítico corresponde al de coliformes, seguido por la conductividad y la relación nitrógeno/fósforo. Los problemas de calidad pueden estar asociados principalmente a las descargas del casco urbano del municipio de Circasia. Además, dado que en la parte alta también se ha registrado un contenido alto de coliformes, puede que se estén presentando aportes por descargas puntuales no identificadas por la Corporación, o por aportes difusos, debido a actividades agrícolas o pecuarias. En la parte alta se identifica un área importante de condominios, por otra parte, no se identifican actividades porcícolas en la microcuenca de la quebrada Cajones.

1.8.4.3.3.3. Resultados del ICA para la quebrada Portachuelo

El análisis contemplará la sectorización realizada previamente, de esta forma La quebrada Portachuelo se encuentra dividida en dos (2) tramos:

- **Tramo 1:** Nacimiento de la quebrada Portachuelo – Inicio del casco urbano del municipio de Filandia.
- **Tramo 2:** Inicio del casco urbano del municipio de Filandia – Desembocadura en el río Roble.

Con respecto a los resultados del cálculo del ICA y de los siete (7) subíndices para la quebrada Portachuelo se realizan las siguientes observaciones:

Tramo 1: Comprende únicamente dos (2) registros para el año 2019, para la estación ubicada aguas arriba de la quebrada Chorro de Madres. A continuación, se presentan las condiciones observadas en el ICA para el Tramo 1.

- El índice presenta condiciones de calidad **Aceptable** y **Regular**.

- Para el registro de la época seca se presenta una Calidad **Aceptable**, y se destaca una concentración alta de coliformes y una condición regular de la DQO.
- Para el registro de la época de lluvias se presenta un índice **Regular**, relacionado con un incremento en la concentración de coliformes y de la conductividad con respecto a la época seca. En la época de lluvias se presentan mejores concentraciones de la DQO.

Tramo 2: Comprende registros para los años 2017 y 2019, para estaciones ubicadas aguas arriba y aguas abajo de la quebrada Las Cruces y en el punto de cierre, antes de la desembocadura en el río Roble. A continuación, se presentan las condiciones observadas en el ICA para el Tramo 2.

- El índice presenta condiciones de calidad **Aceptable**.
- De forma general, se observa que se presentan niveles altos y muy altos de coliformes fecales en los registros. Solo en el reporte del ERA, realizado en el año 2017 se presenta un nivel aceptable de coliformes.
- Se observa valores muy altos de conductividad aguas arriba de la quebrada Chorro de Madres (época de lluvias) y aguas arriba de la quebrada Las Cruces (época seca).
- Se han presentado niveles representativos de una condición de calidad regular en el subíndice de la DQO, tanto al inicio del Tramo de monitoreo como en la desembocadura en el río Roble. Sin embargo, esta condición no se presenta forma permanente.

| TRAMO | RED de Monitoreo | Año | Estación | ICA | Caudal (L/s) | I _{c.F} | I _{c.E} | I _{DQO} | I _{N/P} | I _{OD} | I _{pH} | I _{SST} |
|-------|------------------|------|---|------|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 5 | PORH | 2019 | QPort_01 - Quebrada Portachuelo Arriba de Quebrada Chorro de Madres | 0,80 | 55 | 0,45 | 0,90 | 0,51 | 0,80 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| 5 | PORH | 2019 | QPort_01 - Quebrada Portachuelo Arriba de Quebrada Chorro de Madres | 0,67 | 860 | 0,10 | 0,00 | 0,91 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 0,97 |
| 6 | PORH | 2019 | QPort_02 - Quebrada Portachuelo Arriba de Quebrada Cruces | 0,73 | 112 | 0,45 | 0,05 | 0,91 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | QPort_02 - Quebrada Portachuelo Arriba de Quebrada Cruces | 0,77 | 314 | 0,10 | 0,83 | 0,91 | 0,80 | 0,77 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | ERA | 2017 | Quebrada Portachuelo abajo de Quebrada Cruces | 0,90 | 1.116 | 0,85 | 0,91 | 0,91 | 0,80 | 0,82 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | ERA | 2017 | QPort_03 - Quebrada Portachuelo desembocadura en Río Roble | 0,80 | 958 | 0,35 | 0,89 | 0,71 | 0,80 | 0,82 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | QPort_03 - Quebrada Portachuelo desembocadura en Río Roble | 0,82 | 316 | 0,48 | 0,79 | 0,91 | 0,60 | 0,96 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | QPort_03 - Quebrada Portachuelo desembocadura en Río Roble | 0,79 | 305 | 0,49 | 0,74 | 0,51 | 0,80 | 0,98 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | QPort_03 - Quebrada Portachuelo desembocadura en Río Roble | 0,74 | 3.066 | 0,10 | 0,81 | 0,51 | 0,80 | 0,94 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PORH | 2019 | QPort_03 - Quebrada Portachuelo desembocadura en Río Roble | 0,78 | 2.900 | 0,10 | 0,87 | 0,91 | 0,80 | 0,82 | 0,95 | 1,00 |

Tabla 118. Cálculo del ICA para la Quebrada Portachuelo

De forma general para la quebrada Portachuelo, se encuentra principalmente condiciones de calidad **Aceptable** y un (1) solo registro de calidad **Regular**. El subíndice de coliformes es el que presenta las condiciones más deficientes de calidad (mala y muy mala), seguido de la

conductividad (muy mala) en dos (2) reportes y DQO (regular) en tres (3) de los diez (10) reportes.

Algunos de los problemas de calidad pueden estar relacionados con los aportes de aguas residuales de los municipios de Circasia y Montenegro, así como de las actividades avícolas identificadas en dos predios. Por otra parte, es posible que se presenten aportes difusos de actividades agrícolas o pecuarias. Se identificaron predios destinados a la porcicultura desde la parte alta del río Roble, hasta aguas abajo del casco urbano del municipio de Montenegro, en la Vereda La Montaña.

En la *Tabla 119* se presenta el cálculo del ICA para algunos de los afluentes más importantes de la quebrada Portachuelo, siendo estos la quebrada Chorro de Madres e Innominada, que reciben las aguas residuales del municipio de Filandia, en donde se observa lo siguiente:

- Solo se cuenta con información de las campañas realizadas en el año 2019. Se observan condiciones de calidad **Aceptable** y **Regular**.
- En la quebrada Chorro de Madres se presentan condiciones de calidad **Aceptables** y **Regular**, siendo los subíndices más críticos el de coliformes (regular en época seca y muy alto en época de lluvias).
- En la quebrada Innominada se presentan condiciones de calidad **Regular**, relacionadas con niveles de coliformes altos (época seca) y muy altos (época de lluvias), niveles de conductividad muy altos (época seca) y regulares (época de lluvia), nivel alto de DQO (época seca) y una condición regular en el oxígeno disuelto.

La quebrada Las Cruces presenta condiciones de calidad **Aceptables** (época seca) y **Regular** (época de lluvias). Los subíndices más críticos corresponden a coliformes (niveles regulares en época seca y muy altos en época de lluvias), DQO (niveles regulares en época seca y de lluvias) y oxígeno disuelto (nivel regular en la época seca).

En resumen, se observa que los afluentes de la quebrada Portachuelo pueden presentar condiciones regulares de calidad, que en algunos casos se pueden relacionar directamente con la descarga de aguas residuales de Filandia (quebrada Chorro de Madres e Innominada), mientras que para el caso de la quebrada Las Cruces, no es posible asociarlo a una descarga, ya que no se identificaron vertimientos puntuales en esta zona. Por lo tanto, es posible que existan vertimientos puntuales que no se han identificado por la Corporación y/o aportes difusos, por ejemplo, aportes por actividades pecuarias, los cuales se pueden incrementar durante la época de lluvias.

En la unidad hidrográfica de la quebrada Las Cruces se identificó la actividad porcícola, en la granja Membrillal, vereda la Concha. Otros predios con actividades porcícolas se han identificado en la parte alta y media de la quebrada Portachuelo.

| TRAMO | RED de Monitoreo | Año | Estación | ICA | Caudal (L/s) | Ic.F | Ic.E | IdQO | INP | IOD | IPH | ISST |
|-------|------------------|------|--|------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2 | PORH | 2019 | QMad_01 - Quebrada Chorro de Madres Desembocadura en Río Roble | 0,67 | 22 | 0,54 | 0,25 | 0,26 | 0,60 | 0,98 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | PORH | 2019 | QMad_01 - Quebrada Chorro de Madres Desembocadura en Río Roble | 0,77 | 211 | 0,10 | 0,83 | 0,91 | 0,60 | 0,93 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | PORH | 2019 | QNN_03 - Quebrada Innominada 3 Desembocadura en Río Roble | 0,62 | 10 | 0,43 | 0,00 | 0,26 | 0,80 | 0,85 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | PORH | 2019 | QNN_03 - Quebrada Innominada 3 Desembocadura en Río Roble | 0,69 | 178 | 0,10 | 0,61 | 0,91 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | PORH | 2019 | QCru_01 - Quebrada Las Cruces Desembocadura en Río Roble | 0,79 | 87 | 0,51 | 0,73 | 0,51 | 0,80 | 0,93 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | PORH | 2019 | QCru_01 - Quebrada Las Cruces Desembocadura en Río Roble | 0,68 | 508 | 0,10 | 0,87 | 0,51 | 0,60 | 0,66 | 1,00 | 1,00 |

Tabla 119. Cálculo ICA Afluentes de la Quebrada Portachuelo

1.8.5. Estimación de la vulnerabilidad, amenaza y Riesgos

Se implementó un análisis del riesgo asociado a la oferta hídrica disponible y los usos actuales y potenciales, a partir de los resultados del índice de calidad físico químico (ICA). El análisis se realizó para cada uno de los siete (7) Tramos, comprendiendo tres (3) Tramos sobre la corriente principal (Tramos 5, 6 y 7) y cuatro (4) Tramos sobre dos (2) afluentes importantes, la quebrada Cajones (Tramos 3 y 4) y la quebrada Portachuelo (Tramos 1 y 2).

1.8.5.1. Vulnerabilidad

En la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, la Vulnerabilidad se define como la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. La vulnerabilidad corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

De acuerdo con la Guía, la vulnerabilidad se determinará identificando los usos del agua, de forma que las captaciones para abastecimiento doméstico corresponden a una **Vulnerabilidad Alta**, las captaciones para usos agrícola y pecuario corresponden a una **Vulnerabilidad Media**. Los demás usos corresponderán a **Vulnerabilidad Baja**. Para los tramos en los cuales no se encontraron captaciones se consideran como no Vulnerables.

A partir del análisis realizado en el numeral 1.8.4.1 (Consolidación de usos Existentes del Recurso Hídrico) se definieron las categorías de Vulnerabilidad para los diferentes tramos del río Roble, así como de la quebrada Cajones y la quebrada Portachuelo.

1.8.5.1.1. Vulnerabilidad en los tramos del río Roble

Para el río Roble se considera que en su parte alta (Tramo 5) y en la zona Media (Tramo 6) se presenta una **Vulnerabilidad Alta**, debido a la presencia de captaciones para Consumo humano y uso doméstico (Figura 152).

En la zona Baja (Tramo 7) no se considera Vulnerable debido a la ausencia de captaciones identificadas en las bases de datos de la CRQ. En este tramo se recibe un número importante de descargas del municipio de Montenegro. Por otra parte, en campo se observó la presencia de actividades de extracción manual de materiales del lecho del río, la cual no se encuentra concesionada. Actualmente se considera que el uso de este tramo es principalmente Estético.

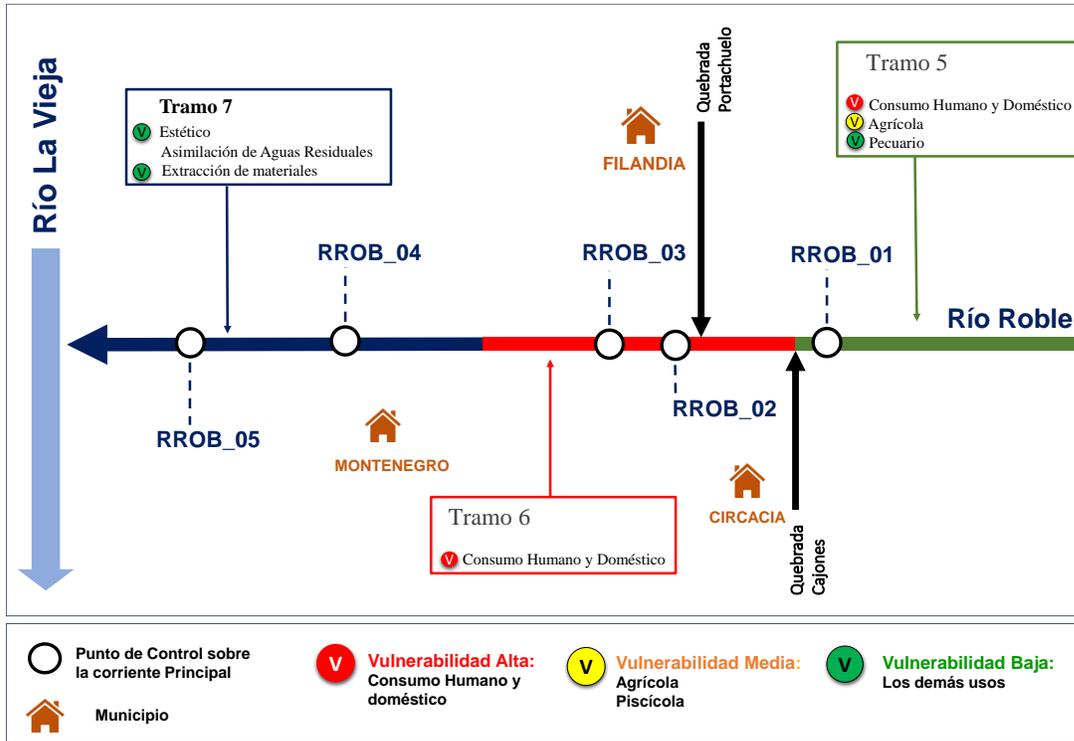


Figura 152. Esquema con las categorías de Vulnerabilidad en los Tramos definidos para el río Roble

1.8.5.1.2. Vulnerabilidad en los tramos de la quebrada Cajones

Para la quebrada Cajones se considera que en su parte alta (Tramo 3) se presenta una **Vulnerabilidad Alta**, debido a la presencia de captaciones para Consumo Humano y Uso Doméstico (Figura 153).

En la zona Media y Baja (Tramo 4) no se identificaron captaciones en las Bases de datos de la CRQ. Se define únicamente como uso actual el estético, por lo que el Tramo 4 se clasifica como de **Vulnerabilidad Baja**. En este tramo se recibe un número importante de descargas del municipio de Circasia.

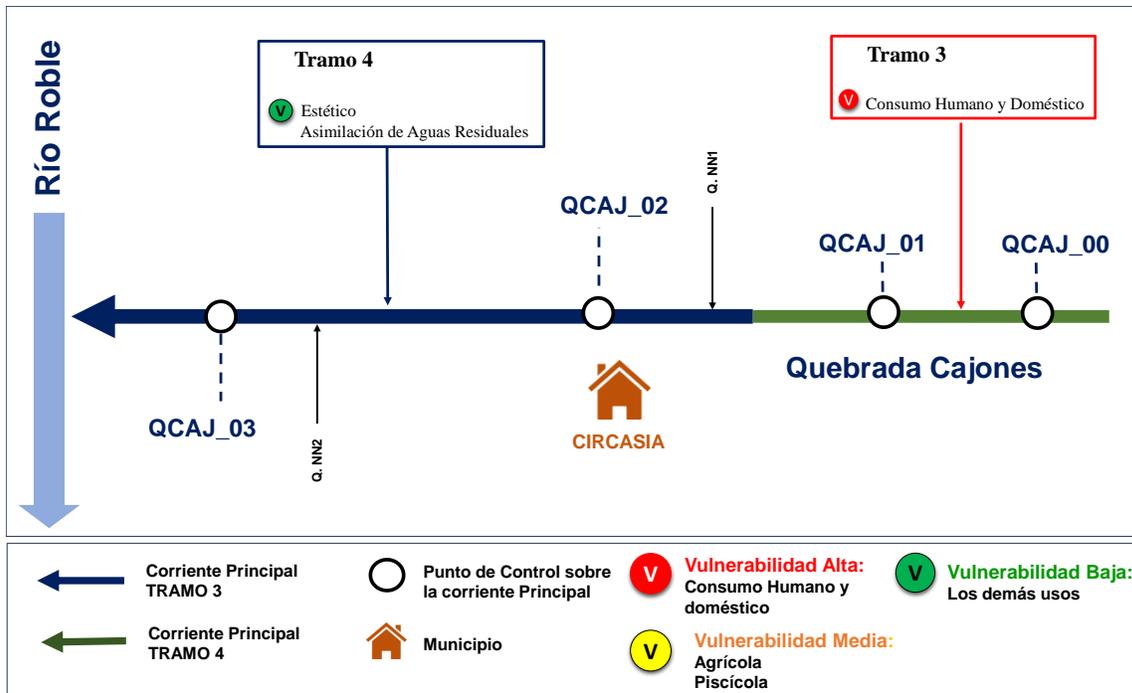


Figura 153. Esquema con las categorías de Vulnerabilidad en los Tramos definidos para la quebrada Cajones

1.8.5.1.3. Vulnerabilidad en los tramos de la quebrada Portachuelo.

Para la quebrada Portachuelo se considera que en su parte alta (Tramo 1) se presenta una **Vulnerabilidad Media**, debido a la presencia de captaciones para Riego y uso Pecuario humano y uso doméstico (Figura 154). Dentro de los talleres realizados con la comunidad, está informo sobre captaciones para Consumo Humano en la parte alta de la quebrada Portachuelos, sin embargo, no se identificó este uso en las bases de datos de la CRQ.

En la zona Media y Baja (Tramo 2) no se identificaron captaciones en las bases de datos de la CRQ. Se define únicamente como uso actual el estético, por lo que el Tramo 2 se clasifica como de **Vulnerabilidad Baja**. En este tramo se recibe un número importante de descargas del municipio de Filandia, a través de la quebrada Chorro de Madres y la quebrada Innominada.

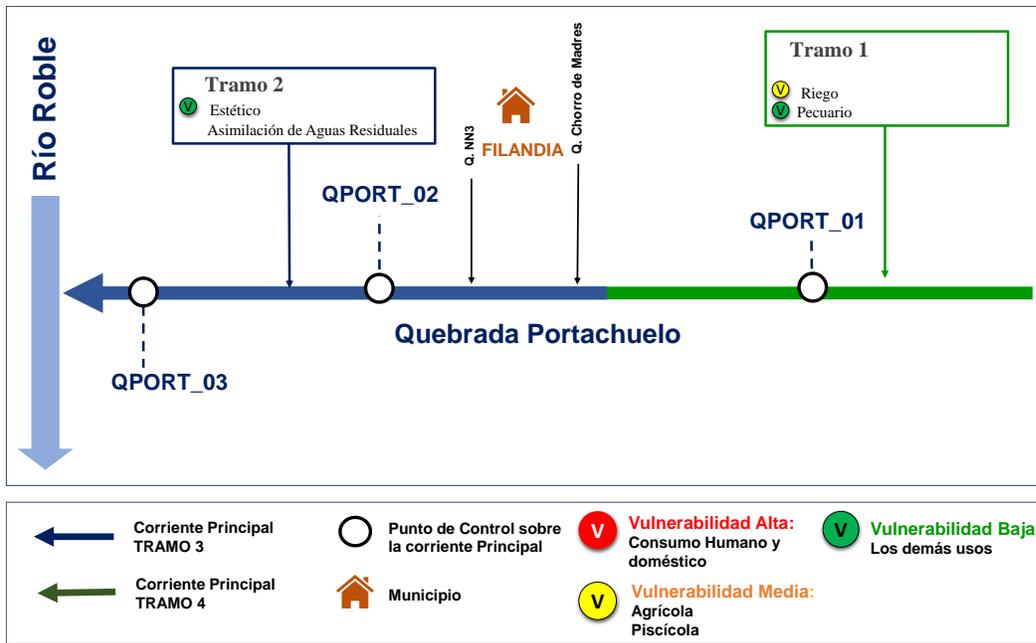


Figura 154. Esquema con las categorías de Vulnerabilidad en los Tramos definidos para la quebrada Portachuelo

1.8.5.2. Amenaza

El concepto de amenaza se define en la Ley 1523 de 2012 del Congreso de la República de Colombia, como: "Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales"

De acuerdo con la guía, la calidad aceptable corresponderá a una **Amenaza Baja**, la calidad Regular a una **Amenaza Media** y la Calidad Mala a un **Amenaza Alta**. De forma complementaria se asigna en el presente estudio la calidad Muy Mala a la **Amenaza Alta** y la Calidad Buena a la **Amenaza Baja** (Figura 155). Debido a que se dispone de varios valores del ICA por cada tramo o sector de los principales cuerpos de agua (río Roble, quebradas Cajones y Portachuelo), se escogió el valor más bajo del ICA para la determinación de la Amenaza.

| ICA | Amenaza |
|-----------|---------|
| Muy mala | ALTA |
| Mala | |
| Regular | MEDIA |
| Aceptable | BAJA |
| Buena | |

Figura 155 Determinación de la categoría de Amenaza a partir del ICA

1.8.5.3. **Riesgo**

El Análisis y Evaluación del Riesgo implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades (Ley 1523 de 2012).

El análisis de riesgo se basa en la conciencia de que el riesgo es el resultado de la concurrencia de una amenaza y de la vulnerabilidad de los elementos amenazados (elementos expuestos). Por consiguiente, tomando en cuenta esta combinación de factores, el análisis de riesgos apunta a estimar y evaluar las posibles consecuencias de fenómenos naturales y/o antrópicos en un determinado grupo poblacional y en sus bases de vida. Se trata tanto de efectos o consecuencias a nivel social, como también económico y ambiental (Guía Técnica para la formulación de POMCAS, 2014).

Para la determinación del riesgo asociado a la disponibilidad del recurso hídrico (por calidad) se consideraron los resultados de la clasificación de la Amenaza (a partir del ICA) y de la Vulnerabilidad (a partir de los usos actuales). De acuerdo con la Guía, la categoría del Riesgo corresponderá a la condición más crítica entre la Amenaza y la Vulnerabilidad, tal como se presenta en la Tabla 120.

| AMENAZA | VULNERABILIDAD | RIESGO |
|---------|----------------|--------|
| Alta | Alta | ALTO |
| Alta | Media | ALTO |
| Alta | Baja | ALTO |
| Media | Alta | ALTO |
| Baja | Alta | ALTO |
| Media | Media | MEDIO |
| Media | Baja | MEDIO |
| Baja | Media | MEDIO |
| Baja | Baja | BAJO |

Tabla 120 Categorización del Riesgo

1.8.5.3.1. **Análisis del Riesgo en el río Roble**

El análisis del Riesgo se realiza únicamente para la corriente principal de este tramo, es decir, para el río Roble, y no se consideran los afluentes a esta, diferentes a la quebrada Cajones y a la quebrada Portachuelo.

En la zona Alta y Media del río Roble (Tramos 5 y 6) se considera que se presenta un **Riesgo Alto**, debido principalmente a la presencia de captaciones para consumo Humano y Uso Doméstico (Tabla 121). Se presenta una Amenaza Media relacionada con una calidad del agua Regular.

En la zona Baja del río Roble (Tramo 7), se realizó el análisis para dos (2) subtramos, el primero comprendido desde el Final del Casco Urbano del municipio de Montenegro hasta la desembocadura de la quebrada La Carmelita (Sector ROBLE_09 a ROBLE_10), y el segundo desde

la desembocadura de la quebrada La Carmelita hasta la desembocadura del río Roble en el río La Vieja (Sector ROBLE_11 a ROBLE_12).

En el primer subtramo, se considera que existe un **Riesgo Bajo**, relacionado con una Vulnerabilidad Baja (contempla el uso Estético y uso para extracción de materiales). Se presenta una Amenaza Baja, asociada a una calidad del agua Aceptable.

En el segundo subtramo se presenta un **Riesgo Medio**. La Vulnerabilidad se considera Baja, al igual que en el primer subtramo, pero se presenta una Amenaza Media, relacionada con una calidad del Agua Regular.

| TRAMO | SECTOR | VULNERABILIDAD | AMENAZA | RIESGO |
|-------|---------------------|----------------|---------|--------|
| 5 | ROBLE_01 a ROBLE_03 | Alta | Media | ALTO |
| 6 | ROBLE_04 a ROBLE_08 | Alta | Media | ALTO |
| 7 | ROBLE_09 ROBLE_10 | Baja | Baja | BAJO |
| 7 | ROBLE_11 ROBLE_12 | Baja | Media | MEDIO |

Tabla 121 Estimación del riesgo por disponibilidad en el río Roble

En la zona Alta y Media del río Roble (Tramos 5 y 6) se considera que se presenta un **Riesgo Alto**, debido principalmente a la presencia de captaciones para consumo Humano y Uso Doméstico. Se presenta una Amenaza Media relacionada con una calidad del agua Regular.

1.8.5.3.2. Análisis del Riesgo en la quebrada Cajones

El análisis del Riesgo se realiza únicamente para la corriente principal de este tramo, es decir, para la quebrada Cajones, y no se consideran los afluentes a esta.

En la zona Alta de la quebrada Cajones (Tramo 3) se considera que se presenta un **Riesgo Alto**, debido principalmente a la captación de agua para consumo Humano y Uso Doméstico. Se presenta una Amenaza Baja relacionada con una calidad del agua Aceptable (Tabla 122).

En la Zona Media y Baja de la quebrada Cajones (Tramo 4), se identifica un **Riesgo Medio**, el cual está relacionado con una Amenaza Media, que a su vez se debe a una calidad del agua Regular. No se identificaron captaciones en este tramo y se definió como uso actual únicamente el Estético, por lo tanto, la Vulnerabilidad para este tramo es Baja.

| TRAMO | SECTOR | VULNERABILIDAD | AMENAZA | RIESGO |
|-------|-------------------------|----------------|---------|--------|
| 3 | CAJONES_01 | Alta | Baja | ALTO |
| 4 | CAJONES_02 a CAJONES_03 | Baja | Media | MEDIO |

Tabla 122 Estimación del riesgo por disponibilidad en la quebrada Cajones

1.8.5.3.3. Análisis del Riesgo en la quebrada Portachuelo

El análisis del Riesgo se realiza únicamente para la corriente principal de este tramo, es decir, para la quebrada Portachuelo, y no se consideran los afluentes a esta.

En la zona Alta de la quebrada Portachuelo (Tramo 1) se considera que se presenta un **Riesgo Medio**, debido a la captación de agua para Riego y Uso Pecuario y a una Amenaza Media, que a su vez está relacionada con una calidad Regular del agua.

En la zona Media y Baja de la quebrada Portachuelo (Tramo 2), se identifica un **Riesgo Bajo**, el cual está relacionado con una Amenaza Baja, que a su vez se debe a una calidad del agua Aceptable. No se identificaron captaciones en este tramo y se definió como uso actual únicamente el Estético, por lo tanto, la Vulnerabilidad para este tramo es Baja.

| TRAMO | SECTOR | VULNERABILIDAD | AMENAZA | RIESGO |
|-------|---------------------|----------------|---------|--------|
| 1 | PORTA_01 | Media | Media | MEDIO |
| 2 | PORTA_02 a PORTA_04 | Baja | Baja | BAJO |

Tabla 123 Estimación del riesgo por disponibilidad en la quebrada Portachuelo

1.9. ESTADO DE CALIDAD HIDROBIOLÓGICA DEL AGUA

Los ecosistemas acuáticos de alta montaña son particulares debido a sus condiciones geográficas, climáticas e hidrológicas, que los hacen únicos y les permiten albergar una gran diversidad de organismos acuáticos, los cuales se adaptan a estas condiciones. Además de esto, estos ecosistemas son importantes para los seres humanos ya que, en Colombia, estos surten de agua a un gran número de habitantes.

Los ecosistemas acuáticos son importantes matrices que albergan innumerables formas de vida, que se desarrollan directamente dentro ellos (Roldán y Ramírez, 2008). La mayoría de los sustratos que se encuentran sumergidos en estos ecosistemas fluviales, se encuentran cubiertos por una capa o *biofilm*, compuesta por asociaciones de microorganismos como por ejemplo microbios, algas y rotíferos entre muchos otros, los cuales son conocidos como perifiton (Morales et al., 2010).

Estos organismos son piezas claves de las redes tróficas que mantienen la diversidad y estabilidad de los ecosistemas acuáticos. Debido a la sensibilidad que presentan algunos organismos perifíticos, como las algas, estas son ampliamente usadas como indicadoras de la calidad de los ecosistemas ya que responden rápidamente a los cambios que se presentan en los cuerpos de agua (Aragón 2011).

Por otra parte, se encuentran los macroinvertebrados acuáticos, los cuales al estar inmersos y cumplir su ciclo de vida enteramente dentro del agua, tienen la capacidad de reflejar las condiciones ambientales del hábitat, por lo tanto, se les atribuye una gran importancia como bioindicadores, son un importante modelo que permite la comprensión de la dinámica de los sistemas loticos (Reinoso et al, 2007).

Dentro de las comunidades acuáticas los macroinvertebrados acuáticos son probablemente, la fauna más subestimada y poco percibida por la comunidad en general y es de las que generan los mayores beneficios para el ecosistema (Hanson, Springer y Ramírez, 2010). En general la presencia de un alto número de taxones de esta comunidad se asocia con la conservación de los ecosistemas.

Asimismo, el trabajo con macroinvertebrados como sensores de la calidad de agua, presenta un factor limitante y es la resolución taxonómica sobre la cual se decide trabajar, por lo tanto es imperativo hacer estudios a niveles más específicos, los cuales representaran con mayor fidelidad los cambios ambientales dentro de los ecosistemas (Giaccometti y Bersosa, 2006), dado que las funciones ecológicas pueden ser descritas a través de atributos asociados a las especies, que son capaces de reflejar su adaptación a las condiciones ambientales (Townsend y Hildrew, 1994).

Finalmente, el conocimiento de la fauna íctica y de sus aspectos biológicos y ecológicos es clave para asegurar su conservación y uso sostenible, incluyendo sus ecosistemas acuáticos (Usma y Trujillo 2011), asimismo, la icitofauna ha sido utilizada para identificar áreas prioritarias para la conservación en la región de la Orinoquía.

En general los estudios hidrobiológicos son utilizados como un indicativo de la salud de los ecosistemas por esta razón, siempre es necesario incluir esta comunidad en los estudios ecológicos y de impacto ambiental que tengan relación con el ecosistema acuático (Thorp y Rogers, 2015).

1.9.1. Diseño del Plan de Monitoreo Hidrobiológico

Se establecieron 11 estaciones de muestreo, las cuales abarcan el cauce principal del río Roble y sus principales tributarios (Tabla 1), las estaciones se ubicaron en un rango altitudinal comprendido entre 1600 y 2700 m.s.n.m. Es de resaltar que la estación 1 del río Roble no pudo ser muestreada en los dos monitoreos, debido a que la vía de acceso se encuentra cerrada para los vehículos y los peatones por reparación, y no hay otra vía de acceso.

1.9.1.1. Estaciones de muestreo establecidas en el cauce principal del río Roble:

1.9.1.1.1. Río Roble E2

Ubicada en el municipio de Circasia a 1657 m.s.n.m., fondo de arena y roca principalmente, abundante vegetación riparia en los márgenes del río; temperatura del agua promedio de 18°C, profundidad media de 0.4 m, con ancho del cauce del 9.85 m; flujo del agua medio, velocidad de 0.61 m/s y caudal de 2.52 m³/s (Figura 156).



Figura 156. Río Roble estación 2.

1.9.1.1.2. Río Roble E3

Estación ubicada en el municipio de Filandia, margen izquierda del río aguas arriba abrupta y margen derecha aguas arriba suaves; márgenes con vegetación riparia abundante; temperatura promedio del agua de 19°C, profundidad media de 0.41 m y ancho del cauce de 14.5 m; flujo del agua rápido con una velocidad de 1.06 m/s y caudal de 6.3 m³/s (Figura 157).



Figura 157. Río Roble estación 3.

1.9.1.1.3. Río Roble E4

Estación de muestreo ubicada en el municipio de Montenegro, márgenes del río con pendientes abruptas, cubierta parcialmente por vegetación riparia; temperatura del agua de 21°C, profundidad media de 0.58 m y ancho del cauce de 9 m; flujo del agua medio, con velocidad promedio de 0.3 m/s y caudal promedio de 1.59 m³/s (Figura 158).



Figura 158. Río Roble estación 4

1.9.1.1.4. Río Roble E5

Estación ubicada en el municipio de Montenegro, cerca de la desembocadura en el río La Vieja; temperatura promedio del agua de 21°C, profundidad promedio de 0.28 m y ancho del cauce de 17 m; flujo del agua medio con velocidad de 0.84 m/s y caudal promedio de 3.97 m³/s (Figura 159).



Figura 159. Río Roble estación 5

1.9.1.2. *Estaciones de muestreo establecidas en los principales afluentes del río Roble*

1.9.1.2.1. *Quebrada Las Cruces*

Quebrada ubicada en el municipio de Filandia a 1733 m.s.n.m., desemboca en la estación 2 de la quebrada Portachuelo; fondo de arena y roca principalmente; temperatura media del agua de 16°C, profundidad promedio de 1.03 m y ancho del cauce de 5 m; flujo del agua medio, con velocidad promedio de 0.74 m/s y caudal de 4.08 m³/s (Figura 160).



Figura 160. Quebrada Las Cruces

1.9.1.2.2. *Quebrada Portachuelo E1*

Estación de muestreo ubicada en el municipio de Filandia a 1766 m.s.n.m., cubierta totalmente por vegetación riparia, presencia de abundante material vegetal dentro de su cauce y fondos de arena, grava y roca principalmente; temperatura del agua de 18°C, con profundidad promedio de 0.42 y ancho del cauce de 6 m; flujo del agua rápido con velocidad de 0.87 m/s y caudal de 2.26 m³/s (Figura 161).



Figura 161. Quebrada Portachuelo estación 1

1.9.1.2.3. Quebrada Portachuelo E2

Estación de muestreo ubicada cerca de la desembocadura de la quebrada Las Cruces, en el municipio de Filandia; se ubica 1 733 m.s.n.m.; fondos de arena y roca, con abundante hojarasca y troncos sumergidos; temperatura promedio del agua de 17°C, profundidad media de 0.65 m y ancho del cauce de 6 m; flujo del agua rápido con velocidad media de 0.97 m/s y caudal de 3.83 m³/s (Figura 162).

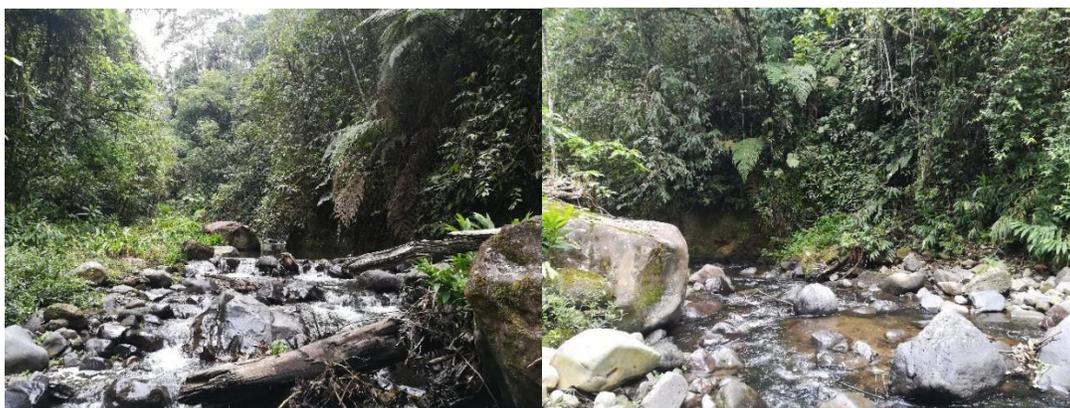


Figura 162. Quebrada Portachuelo estación 2

1.9.1.2.4. Quebrada Portachuelo E3

Estación de muestreo situada en el municipio de Filandia, la estación está ubicada en la desembocadura de esta, cerca de la estación 3 del río Roble; presenta fondos de arena, roca y grava. Temperatura del agua de 19°C, con profundidad media de 0.4 m y ancho de la corriente de 12.75 m, flujo del agua rápido con velocidad media de 1.6 m/s y caudal de 7.87 m³/s (Figura 163).



Figura 163. Quebrada Portachuelo estación 3

1.9.1.2.5. Quebrada Cajones E1

Estación de muestreo ubicada en la bocatoma, en el municipio de Circasia a 1855 m.s.n.m., fondos de roca y arena principalmente, estación cubierta totalmente de vegetación riparia; temperatura promedio del agua de 17°C, con profundidad media de 0.15 m y ancho del cauce de 4 m; flujo del agua lento con velocidad de 0.25 m/s y caudal de 0.11 m³/s (Figura 164).



Figura 164. Quebrada Cajones estación 1

1.9.1.2.6. Quebrada Cajones E2

Estación de muestreo ubicada en la desembocadura de la quebrada Cajones, en el municipio de Circasia a 1641 m.s.n.m.; en esta estación es evidente la contaminación por materia orgánica; presenta fondos de roca y arena; temperatura del agua de 19°C, profundidad media de 0.24 m y

ancho del cauce de 3.5 m; la quebrada desemboca en la estación 2 del río Roble, presenta un flujo del agua medio con velocidad promedio de 0.57 m/s y caudal de 0.41 m³/s (Figura 165).



Figura 165 Quebrada Cajones estación 2

| Estación | Municipio | Coordenadas | | Altura (m.s.n.m.) |
|-------------------------|------------|-------------|--------------|----------------------|
| | | N | W | |
| Quebrada Las Cruces | Filandia | 4°39'10.1" | 75°39'27.4" | 1733 |
| Quebrada Portachuelo E1 | Filandia | 4°40'11.3" | 75°38'32.1" | 1766 |
| Quebrada Portachuelo E2 | Filandia | 4°39'09.4" | 75°39'28.8" | 1733 |
| Quebrada Portachuelo E3 | Filandia | 4°37'39.1" | 75°40'6" | 2246 |
| Quebrada Cajones E1 | Circasia | 4°37'34.1" | 75°37'26.4" | 1855 |
| Quebrada Cajones E2 | Circasia | 4°37'28.7" | 75°38'47.9" | 1641 |
| Río Roble E2 | Circasia | 4°37'29" | 75°38'47" | 1657 |
| Río Roble E3 | Filandia | 4°37'34.31" | 75°40'34.12" | 1484 |
| Río Roble E4 | Montenegro | 4°34'10.57" | 75°45'5.5" | |
| Río Roble E5 | Montenegro | 4°34'35.15" | 75°51'1.17" | |

Tabla 124. Estaciones de muestreo establecidas en la cuenca del río Roble, departamento del Quindío.

1.9.1.3. Variables físicas

Se evaluaron diferentes variables físicas en cada una de las estaciones muestreadas, se tomaron datos de temperatura del agua (°C), se determinó la profundidad (m), ancho del cauce (m), velocidad de la corriente (m/s) y caudal (m³/s).

1.9.1.4. *Perifiton*

1.9.1.4.1. *Metodología de campo*

Para la colecta de la comunidad perifítica, se seleccionaron rocas y troncos sumergidos a lo largo de un transecto de 100 m longitudinales en las márgenes del cuerpo de agua. Posteriormente, con la ayuda de un cepillo en cada roca y tronco se realizó un raspado en un área de 0.09 m² (Figura 166). En total se evaluaron dos rocas y dos troncos en los cuales se realizaron dos raspados en cada uno. Esto con el fin de evaluar un área total de 0.72 m². El material raspado fue almacenado en frascos plásticos ámbar de capacidad 150 ml. El material fue fijado usando Lugol y alcohol al 70% en proporciones iguales.



Figura 166. Colecta y fijación del perifiton en las estaciones de muestreo establecidas en la cuenca del río Roble

Para la determinación y el conteo de los organismos se utilizó un microscopio invertido, con ocular de 16X y objetivo de 40X para un aumento total de 800X; adicionalmente, para el conteo de los organismos se utilizó la cámara de conteo Sedgwick-Rafter, la cual limita el área y el volumen tomado a partir del material raspado en campo, permitiendo calcular las densidades de las especies (célula por unidad de área) siguiendo la metodología propuesta por APHA, 1992 y Ramírez, 2000:

$$\text{Organismos/mm}^2 = \frac{N \times At \times Vt}{Ac \times Vs \times As}$$

Dónde:

N = número de organismos contados,

At = Área total de la cámara (mm²)

Vt= Volumen total de la muestra en suspensión

Ac= Área contada (bandas o campos) (mm²)

Vs=Volumen usado en la cámara (ml)

As= Área del sustrato o superficie raspada (mm²)

La identificación taxonómica de los individuos se realizará según las claves de Lopretto y Tell (1995), Ramírez (2000), Streble y Krauter (1987), Prescott (1964), Kudo (1980), Yacobson (1969), Novelo (2012).

1.9.1.4.2. Análisis de datos

1.9.1.4.2.1. Esfuerzo de muestreo

Para evaluar la representatividad del muestreo en el área de estudio, se construyó la curva de acumulación de especies con los datos de abundancia, con lo cual se calcularon los estimadores no paramétricos de riqueza: ACE y Chao 1, utilizando el programa *EstimateS* v.8.2 (Colwell 2009).

1.9.1.4.2.2. Análisis ecológico y de taxones

Se determinó la abundancia relativa de las clases, órdenes, y taxones a partir del número de individuos colectados de cada especie y su relación con el número total de individuos de la muestra. Este se calculó, con el fin de determinar la importancia y proporción en la cual se encuentra cada una de las especies con respecto a la comunidad.

$$AR = \frac{\text{No de individuos de cada especie en la muestra} \times 100}{\text{No total de individuos en la muestra}}$$

La diversidad alfa fue calculada teniendo en cuenta el Índice de diversidad Shannon-Wiener (H'), evaluado mediante usando la función *diversity* de la librería *Vegan* del programa estadístico *R*, asumiendo que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra, esto mediante la fórmula:

$$H' = -\sum (P_i \ln P_i)$$

Donde,

$P_i = n_i/N$

$n_i =$ número de individuos de la especie i

$N =$ número total de individuos en la muestra

Además, se utilizó el índice de dominancia de Simpson, el cual se describe con la siguiente formula:

$$\lambda = \sum P_i^2$$

Donde,

$P_i = n_i/N$

$n_i =$ número de individuos de la especie i

$N =$ número total de individuos en la muestra

Posteriormente, se determinó el número efectivo de especies, utilizando los números de Hill, los cuales permiten tener una aproximación más clara de la diversidad entendida esta, 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 ($1-D$).

La diversidad beta fue entendida y evaluada con el coeficiente de similitud de Jaccard mediante el programa *PastProgram* versión 3.0.2 (Hammer et al., 2016); el cual mide diferencias en la presencia o ausencia de especies, y se formula con el siguiente algoritmo. Con el fin de determinar

la similitud de la composición de mamíferos en los distintos tipos de cobertura se utilizaron datos de incidencia con el coeficiente de Jaccard, cuyo agrupamiento se realizó mediante UPGMA (ligamento promedio por la media aritmética no ponderada).

$$I_j = c / (a + b - c)$$

Donde,

a = número de especies en el sitio A

b = número de especies en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B, es decir que están compartidas.

1.9.1.4.2.3. Índice Diatómico Genérico (IDG)

Con el objetivo de utilizar el perifiton como bioindicador de la calidad del agua, se empleó el IDG. Este índice propuesto por Rumeau y Coste (1988) y modificado por Benkhedda et al. (2017), permite utilizar las diatomeas como una herramienta para determinar la calidad de los cuerpos de agua. El IDG tiene en cuenta la sensibilidad de cada taxon a la contaminación (S), la amplitud ecológica del género (V) y la densidad de estos (A).

Para calcular el índice se utilizó la siguiente formula:

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^n A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^n A_j V_j}$$

Donde:

A_j: Densidad relativa del taxon

S_j: Valor de sensibilidad global del genero

V_j: Valor de amplitud ecológica del genero

| Rango | Nivel de contaminación orgánica | Significado | Catalogación colorimétrica |
|---------------|---------------------------------|---|---|
| IDG > 4.5 | Cero | Calidad biológica óptima |  |
| 4 < IDG < 4.5 | Baja | Calidad normal, contaminación débil |  |
| 3.5 < IDG < 4 | Moderada | Contaminación moderada, eutrofización |  |
| 3 < IDG < 3.5 | Intermedia | Contaminación media, eutrofización acentuada |  |
| 2 < IDG < 3 | Alta | Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte |  |
| 1 < IDG < 2 | Muy alta | Contaminación muy fuerte |  |
| IDG = 0 | Total | La población es considerada como inexistente (contaminación tóxica), se encuentra por debajo de 10 individuos por mm ² |  |

Fuente: Modificado de Benkhedda et al., 2017, autores, (2018)

Tabla 125. Valores e interpretación del índice Diatómico Genérico.

1.9.1.5. Macroinvertebrados Acuáticos

1.9.1.5.1. Metodología 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) (Figura 167), siguiendo la metodología propuesta por Wantzen y

Rueda (2009). El material se depositó en frascos plásticos debidamente etiquetados y se fijó con Formol (10%) para su limpieza y determinación en el Laboratorio de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima.



Figura 167. Metodología de colecta de macroinvertebrados acuáticos en las estaciones establecidas en la cuenca del río Roble.

1.9.1.5.2. Metodología de laboratorio

En el Laboratorio de Investigación en Zoología 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 fueron almacenados en alcohol (70%) e ingresados a la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima, sección macroinvertebrados acuáticos (CZUT-Ma).

1.9.1.5.3. Análisis de datos

1.9.1.5.3.1. Representatividad del muestreo

Con el fin de determinar la representatividad del muestreo, fueron calculados los estimadores de diversidad Chao 1, ACE y Jack 1, 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).

1.9.1.5.3.2. Abundancia

Se determinó la abundancia relativa a partir del número de individuos colectados de cada familia y su relación con el número total de individuos de la muestra. Fue calculado 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.

1.9.1.5.3.3. Diversidad

Para determinar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos, se calcularon los números efectivos de especies de la serie de Hill (q_0 , q_1 , y q_2), mediante la transformación de los valores obtenidos de los índices de Shannon-Wiener y Simpson. Para el cálculo de los índices se utilizó el paquete estadístico PastProgram® (Hammer, Harper, y Ryan, 2001).

1.9.1.5.3.4. *Análisis de escalamiento no métrico multidimensional (EMNM)*

Con el fin de determinar si existía diferencia a nivel de la composición y estructura de la comunidad en cada uno de los ecosistemas evaluados, se realizó un NMDS utilizando la distancia de Bray-Curtis. Para el cálculo de este análisis fue empleando el programa PastProgram® (Hammer, Harper y Ryan, 2001).

1.9.1.5.3.5. *Índice de Calidad Ambiental*

Con el fin de determinar la calidad del agua de los ecosistemas evaluados se aplicó el índice de bioindicación BMWP/Col (Roldan y Ramírez, 2008)

1.9.1.6. *Ictiofauna*

1.9.1.6.1. *Aspectos metodológicos*

1.9.1.6.1.1. *Colecta de ejemplares*

La colecta se realizó mediante el uso de un equipo de electropesca portátil, el cual es un tipo de pesca ventajoso debido a que no es selectivo y es más eficiente en las capturas por unidad de esfuerzo (Growth et al., 1996). El equipo consiste en una corriente que fluye entre dos electrodos opuestos en el agua y que al tener contacto con los peces les produce un estado de electrotaxis (natación de forma obligada), electrotétano (contracción muscular) y electronarcosis (relajación muscular) (Lobón-Cerviá, 1996), lo que facilita su captura. Para el muestreo se empleó un equipo portátil de corriente pulsante de 340 voltios y un amperio; consta de una nasa redonda (ánodo) con un mango de PVC y el cátodo es una fibra de hierro, ubicada en el cuerpo de agua.

1.9.1.6.1.2. *Fijación de ejemplares colectados*

Una vez capturados los especímenes, se fijaron usando una solución de formol al 10%, los peces mayores de 10 cm fueron inyectados con formol en la cavidad abdominal; posteriormente, los peces fueron preservados en alcohol etílico al 70% y etiquetados con datos de localidad de captura y fecha.

1.9.1.6.1.3. *Determinación taxonómica de especies*

Para la determinación taxonómica se utilizaron claves y descripciones correspondientes para los grupos ícticos de las cuencas del río La Vieja, Magdalena y Cauca, Albornoz-Garzón et al. (2018), Maldonado-Ocampo et al. (2005), Román-Valencia et al. (2010) y Román-Valencia et al. (2018).

1.9.1.6.1.4. *Almacenamiento*

Luego de la identificación, los peces fueron almacenados en la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima, sección Ictiología (CZUT-IC). Esta colección de referencia constituye los registros más completos de los peces de la cuenca del río Roble, lo cual se convertirá en un legado histórico para las futuras generaciones.

1.9.1.6.2. *Análisis de datos*

1.9.1.6.2.1. *Representatividad del muestreo*

Para evaluar la efectividad del muestreo, se calcularon los estimadores de diversidad Chao 1 y ACE, los cuales son adecuados para datos donde se tiene en cuenta la abundancia de organismos (Villarreal et al., 2004).

1.9.1.6.2.2. *Abundancia*

Con el fin de determinar la importancia y proporción en la cual se encuentra cada una de las especies con respecto a la comunidad, se calculó la abundancia relativa a partir del número de individuos colectados de cada especie y su relación con el número total de individuos colectados, en las diferentes estaciones de muestreo.

$$AR = \frac{\# \text{ de individuos de cada especie en la muestra}}{\# \text{ total de individuos en la muestra}} \times 100$$

1.9.1.6.2.3. *Números de Hill o número efectivo de especies*

Para medir la diversidad se usaron los números de Hill, los cuales son las unidades de medición de diversidad verdadera (Moreno et al., 2011). Los números de Hill fueron calculados a través de la ecuación denominada qD (Jost, 2006).

$${}^qD = (\sum_{i=1}^S p_i^q)^{1/(1-q)}$$

Dónde qD es la diversidad.

El exponente q determina la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de las especies.

La diversidad de orden cero ($q=0$), la cual es insensible a las abundancias de las especies, el valor obtenido es el equivalente a la riqueza de especies; la diversidad de orden 1 ($q=1$), incluye a todas las especies con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad, tiene en cuenta las especies comunes; y, los valores de q mayores a 1 ($q=2$), tienen más en cuenta las especies dominantes (Hill, 1973).

Se realizó un análisis de rarefacción y extrapolación usando el número efectivo de especies para los órdenes de diversidad $q=0$, $q=1$ y $q=2$, con el fin de identificar diferencias en la diversidad de especies (Chao et al., 2014) entre estaciones, usando el programa estadístico R versión 3.2.5 y las librerías Vegan y iNEXT. (R Development Core Team 2016).

1.9.1.6.2.4. *Ensamblaje de especies*

Con el fin de identificar diferencias a nivel de la comunidad en cada uno de los cuerpos de agua evaluados (quebrada y río), se realizó un análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (EMNM), usando la distancia de Bray-Curtis; el análisis se consideró robusto cuando el valor de estrés fue menor a 0.2. Se utilizó el programa estadístico R versión 3.2.5 y la librería Vegan (R Development Core Team, 2016).

Posterior al ordenamiento, se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) (Chapman y Underwood, 1999), con el fin de determinar diferencias significativas entre dos o más grupos. Estos análisis se desarrollaron con el programa estadístico R versión 3.2.5 y la librería Vegan (R Development Core Team, 2016).

1.9.1.6.2.5. *Relación del ensamblaje de peces con variables ambientales*

Para identificar si existen relaciones entre las variables ambientales y los ensamblajes de peces, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), seguido por una selección de variables usando el procedimiento hacia adelante y permutaciones de Monte Carlo, con el fin de identificar

las variables que influyeron de manera significativa en la comunidad íctica (Braak y Verdonshot, 1995).

1.9.1.6.2.6. Importancia de las especies

Con la información disponible para Colombia, se realizó una revisión de literatura (por ejemplo, Ajiaco-Martínez et al., 2012; Lasso et al., 2011; Mojica et al., 2012), para determinar si las especies registradas son ornamentales, de consumo, migratorias y bajo qué grado de amenaza se encuentran.

1.9.1.6.3. Ecología De Las Especies Ícticas

1.9.1.6.3.1. Estructura de tallas

Se establecieron intervalos de la longitud estándar (LE) en milímetros, basados en las longitudes registradas para cada una de las especies colectadas.

Relación Longitud - Peso (L - W)

La relación L - W muestra el incremento del peso (W) en función de la longitud (L), y es un indicador del comportamiento biológico de una especie determinada. Su expresión matemática obedece a un modelo exponencial (Bagenal, 1978):

$$W = a L^b$$

Dónde,

a= es la constante de proporcionalidad.

b= es el coeficiente de alometría.

Si el coeficiente "b" es igual a 3 es un crecimiento isométrico, lo cual indica que el pez al crecer mantiene su forma. Si este coeficiente es mayor a 3 el crecimiento es alométrico positivo o si es menor a 3 el crecimiento es alométrico negativo, estos dos casos se presentan cuando se pierde dicha proporcionalidad entre el peso y su longitud.

1.9.1.6.3.2. Ecología reproductiva

Estados de madurez gonadal (EMG) y proporción de sexos

Para evaluar el estado de madurez sexual se realizó la observación macroscópica de las gónadas. Los estadios de madurez gonadal y el sexo de cada ejemplar se determinaron siguiendo la escala propuesta por Vazzoler (1996), y modificada y adaptada por el Grupo de Investigación en Zoología (GIZ), donde se toman en cuenta el tamaño de la gónada, su irrigación sanguínea y la presencia/ausencia de oocitos.

- Estado I: Inmaduro, ovarios y testículos de 1/3 de longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos y filiformes, traslúcidos, oocitos invisibles a simple vista; testículos blancuzcos y filiformes.
- Estado II: Madurando, ovarios y testículos de 2/3 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos o amarillos con aspecto granular, presencia de algunos oocitos de pequeño tamaño; testículos blancuzcos y lobulados.

- Estado III: Maduro, ovarios y testículos ocupan 2/3 de toda la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios turgentes de color naranja rosáceo, con vasos sanguíneos superficiales visibles, oocitos maduros, grandes y transparentes. Testículos de color crema, blandos y turgentes.
- Estado IV: Desovados, ovarios y testículos contraídos en estado de reabsorción cerca de 1/2 de la longitud de la cavidad abdominal, con paredes flojas. Los ovarios son traslúcidos y pueden contener restos de oocitos opacos u oscuros en desintegración. Testículos sanguinolentos y flácidos.

Índice Gonadosomático (IGS)

Este índice permite establecer el estado de desarrollo reproductivo en el cual se encuentra una población, se emplea como indicador de su actividad reproductiva y representa la relación porcentual del peso de las gónadas con respecto al peso corporal.

$$\text{IGS} = \text{peso gónada (gr)} / \text{peso total (gr)} * 100$$

Factor de condición (K)

Este factor establece el grado de bienestar del pez en un determinado momento de su desarrollo, teniendo en cuenta que los cambios ambientales afectan las condiciones de vida de los organismos.

$$\text{Factor K} = (W / L^b) \times 100$$

Dónde,

W es el peso total en gramos.

L es la longitud estándar en centímetros.

b es el coeficiente de alometría obtenido de la relación L-W.

1.9.1.6.3.3. *Ecología trófica*

Determinación de hábitos alimenticios

La determinación de los hábitos alimenticios requiere del análisis de los contenidos estomacales, de cada uno de los ejemplares colectados por especie; para esto se siguió la metodología propuesta por Yáñez-Arancibia et al. (1985).

Se calculó el coeficiente de vacuidad (V) con el fin de hallar posibles variaciones temporales y espaciales en la dieta, y para determinar si se cuenta con un número significativo de estómagos que permitan obtener información sobre los hábitos alimenticios.

$$V = E_v / E_t$$

Dónde,

E_v es el número de estómagos vacíos hallados.

E_t es el número total de estómagos analizados.

Se determinó el coeficiente de repleción (R_p), estableciendo las cinco categorías propuestas por Yáñez-Arancibia et al. (1985): vacío (0), poco lleno (1/4), medio lleno (1/2), casi lleno (3/4), completamente lleno (1).

$$R_p = E_a / E_t$$

Dónde,

E_a es el número de estómagos con alimento.

E_t es el número total de estómagos analizados.

Cada contenido estomacal fue vertido en una caja de Petri, siguiendo la metodología propuesta por Laevastu (1979), donde se separaron los diferentes grupos tróficos y estos se almacenaron en tubos Ependorff con alcohol al 70%, para su determinación taxonómica, hasta el máximo nivel posible, empleando claves especializadas.

Una vez determinados taxonómicamente los ítems alimenticios, se obtuvo su peso siguiendo la metodología propuesta por Hyslop (1980), donde cada muestra se secó en un horno a 60° C durante 24 horas, se dejaron enfriar por 4 horas y se pesaron en una balanza analítica de precisión 0.0001 g.

La determinación taxonómica de los diferentes ítems se llevó hasta género, empleando las claves taxonómicas propuestas Domínguez et al. (2006), Posada y Roldán (2003), Roldán (1988), Needham y Needham (1991), Streble y Krauter (1987), Wehr y Sheath (2002) y Yacobson (1969).

La categoría trófica fue determinada combinando los métodos de porcentaje en peso (%P), frecuencia relativa (%F) e índice de importancia relativa (IIR). El porcentaje de frecuencia se calculó de acuerdo con la propuesta de Yáñez-Arancibia et al. (1985).

$$F = n_e / N_e \times 100$$

Dónde,

F es la frecuencia (%) de aparición de un tipo de alimento.

n_e es el número de estómagos con un tipo de alimento.

N_e es el número de estómagos llenos examinados.

El análisis gravimétrico fue expresado, para cada categoría alimenticia o grupo taxonómico, como el porcentaje del peso total del contenido estomacal de todos los estómagos analizados (Yáñez-Arancibia et al., 1985), de esta manera se tiene:

$$G = p_e / P_e \times 100$$

Dónde,

G es el porcentaje en peso de un grupo de alimento particular.

p_e es la suma del peso de este grupo en todos los estómagos.

P_e es la suma del peso del contenido estomacal de todos los estómagos.

Se calculó el índice de importancia relativa (IIR), el cual permite cuantificar la importancia de cada ítem trófico dentro de la dieta de una especie. Relaciona la frecuencia y el peso del alimento, siendo los parámetros más importantes en la alimentación de los peces, a través de la siguiente fórmula:

$$IIR = (F \times G) / 100$$

Dónde,

IIR es el índice de importancia relativa.

F es el porcentaje de la frecuencia.

G es el porcentaje o gravimétrico.

De esta forma el espectro trófico, para cada una de las especies analizadas, está determinado por el porcentaje gravimétrico, el porcentaje de frecuencia y el índice de importancia relativa en relación con tres cuadrantes: el cuadrante I correspondiente a grupos tróficos ocasionales o circunstanciales, el II a grupos tróficos secundarios y el III a grupos preferenciales o principales (Yáñez-Arancibia et al., 1985).

1.9.2. Análisis de calidad por Perifiton

1.9.2.1. Resultados de los monitoreos de material perifítico

1.9.2.1.1. Representatividad

Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, las especies observadas representaron el 96% de las especies esperadas para la cuenca del río Roble y sus principales tributarios (Figura 168). Estos valores son indicativos de una excelente eficiencia y representatividad del muestreo, por lo tanto, el número de taxones registrados es una aproximación real de los organismos que se encuentran los cuerpos de agua evaluados.

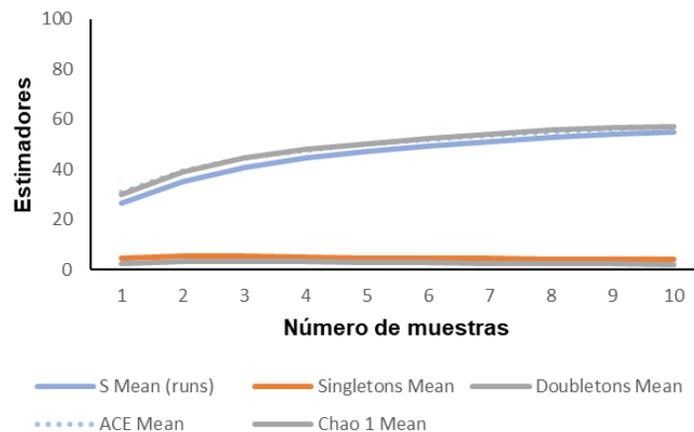


Figura 168. Curva de acumulación de las especies colectadas del perifiton en el río Roble y sus tributarios.

1.9.2.1.2. Composición general de los taxones

Durante los muestreos realizados en los meses de octubre (M1) y noviembre (M2), se registró un total de 325.211 organismos/mm², en las estaciones evaluadas del río Roble y sus tributarios. Estos organismos se distribuyeron en nueve filos, 14 clases, 32 órdenes y 55 taxones (Tabla 126, Figura 169). De los cuales, los más abundantes fueron *Nitzchia* sp., *Melosira* sp., *Fragilaria* sp., *Navicula* sp., y *Oscillatoria* sp. Estos representaron aproximadamente el 65% de los individuos registrados.

| Filo | Clase | Orden | Familia | Especie | Densidad Ind/mm ² | |
|-----------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Bacillariophyta | Bacillariophyceae | Tabellariales | Tabellariaceae | <i>Diatoma</i> sp. | 188.89 | |
| | | Bacillariales | Bacillariaceae | <i>Hantzchia</i> sp. | 85.19 | |
| | | | | <i>Nitzchia</i> sp. | 54613.11 | |
| | | Cocconeidales | Cocconeidaceae | <i>Cocconeis</i> sp. | 13912.32 | |
| | | Cymbellales | Cymbellaceae | <i>Cymbella</i> sp. | 25846.36 | |
| | | | Gomphonemataceae | <i>Encyonema</i> sp. | 103.70 | |
| | | | | <i>Gomphonema</i> sp. | 21233.21 | |
| | | | Rhoicospheniaceae | <i>Rhoicosphenia</i> sp. | 18965.96 | |
| | | Eunotiales | Eunotiaceae | <i>Eunotia</i> sp. | 593.93 | |
| | | Fragilariales | Fragilariaceae | <i>Fragilaria</i> sp. | 41255.30 | |
| | | | | <i>Synedra</i> sp. | 1527.98 | |
| | | Mastogloiales | Achnantheaceae | <i>Achnanthes</i> sp. | 833.33 | |
| | | | | <i>Achnantheidium</i> sp. | 616.69 | |
| | | Naviculales | Amphipleuraceae | <i>Amphipleura</i> sp. | 643.25 | |
| | | | | <i>Frustulia</i> sp. | 5549.34 | |
| | | | Naviculaceae | <i>Gyrosigma</i> sp. | 864.20 | |
| | | | | <i>Navicula</i> sp. | 30106.07 | |
| | | | Neidiaceae | <i>Neidium</i> sp. | 518.52 | |
| | | | Pinnulariaceae | <i>Pinnularia</i> sp. | 733.53 | |
| | | Rhopalodiales | Rhopalodiaceae | <i>Rhopalodia</i> sp. | 825.96 | |
| | | Surirellales | Surirellaceae | <i>Surirella</i> sp. | 85.23 | |
| | | Tabellariales | Tabellariaceae | <i>Tabellaria</i> sp. | 74.09 | |
| | | | Thalassiosiphysales | Catenulaceae | <i>Amphora</i> sp. | 111.12 |
| | Coscinodiscophyceae | Melosirales | Melosiraceae | <i>Melosira</i> sp. | 53907.02 | |
| | Mediophyceae | Stephanodisciales | Stephanodiscaceae | <i>Cyclotella</i> sp. | 55.56 | |
| Charophyta | Conjugatophyceae | Desmidiiales | Closteriaceae | <i>Closterium</i> sp. | 165.43 | |
| | | | Desmidiaceae | <i>Cosmarium</i> sp. | 988.89 | |
| | | | | <i>Desmidium</i> sp. | 795.08 | |
| | | | | <i>Pleurotaenium</i> sp. | 55.76 | |
| | | Zygnematales | Zygnemataceae | <i>Mougeotia</i> sp. | 55.56 | |
| | | | | <i>Spirogyra</i> sp. | 889.19 | |
| Chlorophyta | Chlorophyceae | Chaetophorales | Chaetophoraceae | <i>Gongrosira</i> sp. | 166.67 | |
| | | | | <i>Stigeoclonium</i> sp. | 11.11 | |
| | | Oedogoniales | Oedogoniaceae | <i>Oedogonium</i> sp. | 211.15 | |
| | | Sphaeropleales | Microsporaceae | <i>Microspora</i> sp. | 307.44 | |
| | | | Scenedesmaceae | <i>Scenedesmus</i> sp. | 703.70 | |
| | | | Selenastraceae | <i>Ankistrodesmus</i> sp. | 55.56 | |
| | | | Treubariaceae | <i>Treubaria</i> sp. | 11.11 | |
| | | Trebouxiophyceae | Chlorellales | Chlorellaceae | <i>Closteriopsis</i> sp. | 64.81 |
| | | | Trebouxiophyceae | Trebouxiophyceae | <i>Crucigenia</i> sp. | 61.73 |
| | | Ulvophyceae | Ulotrichales | Ulotrichaceae | <i>Ulothrix</i> sp. | 7962.96 |
| | | Ciliophora | Ciliata | Peritrichida | Vorticellidae | <i>Vorticella</i> sp. |
| Cyanobacteria | Cyanophyceae | Chroococcales | Chroococcaceae | <i>Chroococcus</i> sp. | 611.11 | |
| | | | Nostocales | Nostocaceae | <i>Anabaena</i> sp. | 600.00 |
| | | | Oscillatoriales | Oscillatoriaceae | <i>Lyngbya</i> sp. | 7250.00 |
| | | | | <i>Oscillatoria</i> sp. | 29285.44 | |
| | | | Spirulinales | Spirulinaceae | <i>Spirulina</i> sp. | 281.58 |
| Euglenozoa | Euglenophyceae | Euglenales | Euglenaceae | <i>Euglena</i> sp. | 0.06 | |
| | | | Euglenidae | <i>Trachelomonas</i> sp. | 55.56 | |
| Nematoda | Indeterminado | Indeterminado | Indeterminado | <i>Nematoda</i> sp. | 33.33 | |
| Protozoa | Lobosa | Arcellinida | Arcellidae | <i>Arcella</i> sp. | 151.88 | |

| Filo | Clase | Orden | Familia | Especie | Densidad Ind/mm ² |
|--------------|-----------|-------------|---------------|------------------------|------------------------------|
| | | | Diffugiidae | <i>Diffugia</i> sp. | 226.55 |
| | Lobosa | Arcellinida | Centropyxidae | <i>Centropyxis</i> sp. | 338.37 |
| | | | Nebelidae | <i>Nebela</i> sp. | 438.27 |
| Rotifera | Monogonta | Ploima | Lecanidae | <i>Lecane</i> sp. | 0.01 |
| Total | | | | | 325211.47 |

Tabla 126. Estructura y composición de la comunidad perifítica en el río Roble y sus tributarios, expresados en Densidad (Ind/mm²).

Respecto a los filos, Bacillariophyta y Cyanobacteria fueron los más abundantes y dominantes con aproximadamente el 95 % de los individuos (Figura 169). En cuanto a las clases, Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae y Cyanophyceae fueron las más abundantes con el 95 % y con relación a los órdenes Cymbellales, Bacillariales Melosirales, Fragilariales, Naviculales y Oscillatoriales representaron aproximadamente el 90% de los organismos registrados (Figura 169).

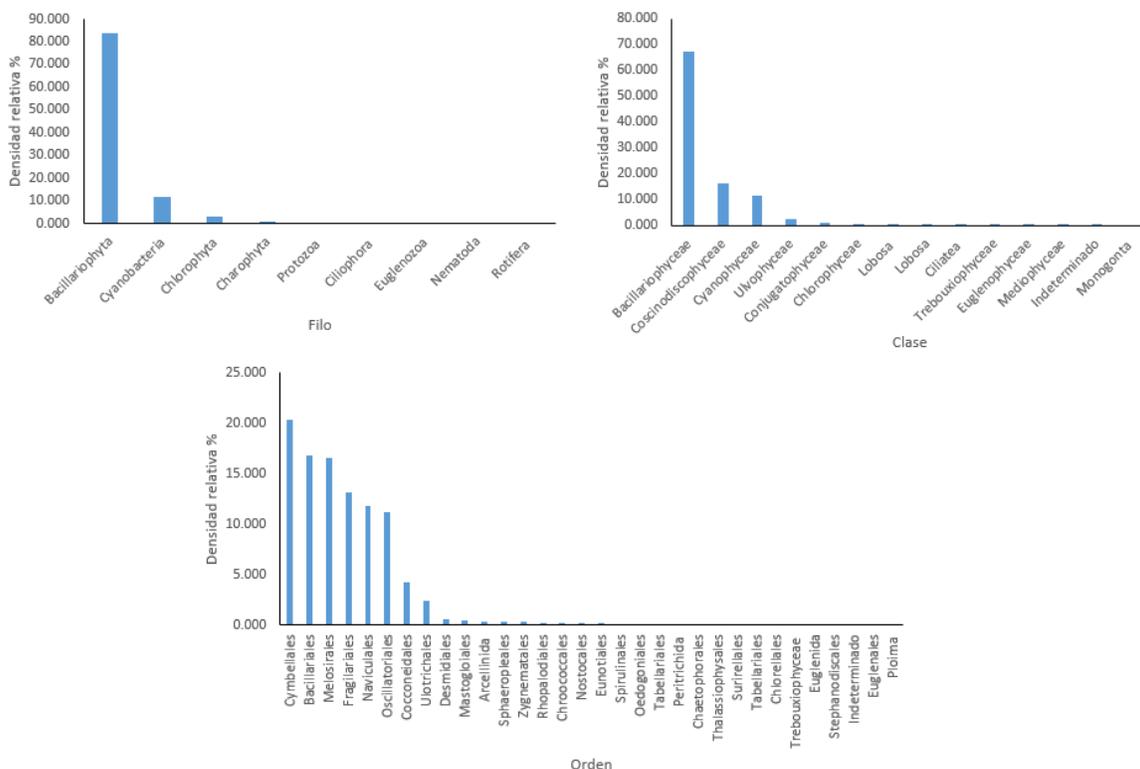


Figura 169. Densidad relativa de los filos, clase y órdenes de la comunidad perifítica en el río Roble y sus tributarios

1.9.2.1.3. Composición por tipo de ecosistemas acuáticos

1.9.2.1.3.1. Río Roble

En las cuatro estaciones evaluadas en el río, se registraron 155.393 organismos/mm², pertenecientes a seis filos, 26 órdenes y 43 taxones. El filo más abundante fue Bacillariophyta con más del 90% de las especies registradas, los menos abundantes fueron Protozoa y Ciliophora con menos del 1% de los organismos registrados.

Con relación a los órdenes, Melosirales, Cymbellales, Fragilariales, y Naviculales fueron los más abundantes, representando aproximadamente el 80% de los organismos registrados. Respecto a los taxones, *Melosira sp*, *Fragilaria sp.*, *Cymbella sp.*, *Navicula sp.*, *Rhoicosphenia sp.*, *Nitzchia sp.*, *Gomphonema sp.*, *Cocconeis sp.* y *Oscillatoria sp.*, fueron los abundantes con el 93% de los organismos registrados. Los taxones menos abundantes fueron *Stigeoclonium sp.*, *Surirella sp.*, *Treubaria sp.*, con menos del 1% de la densidad total de los organismos colectados (Figura 170).

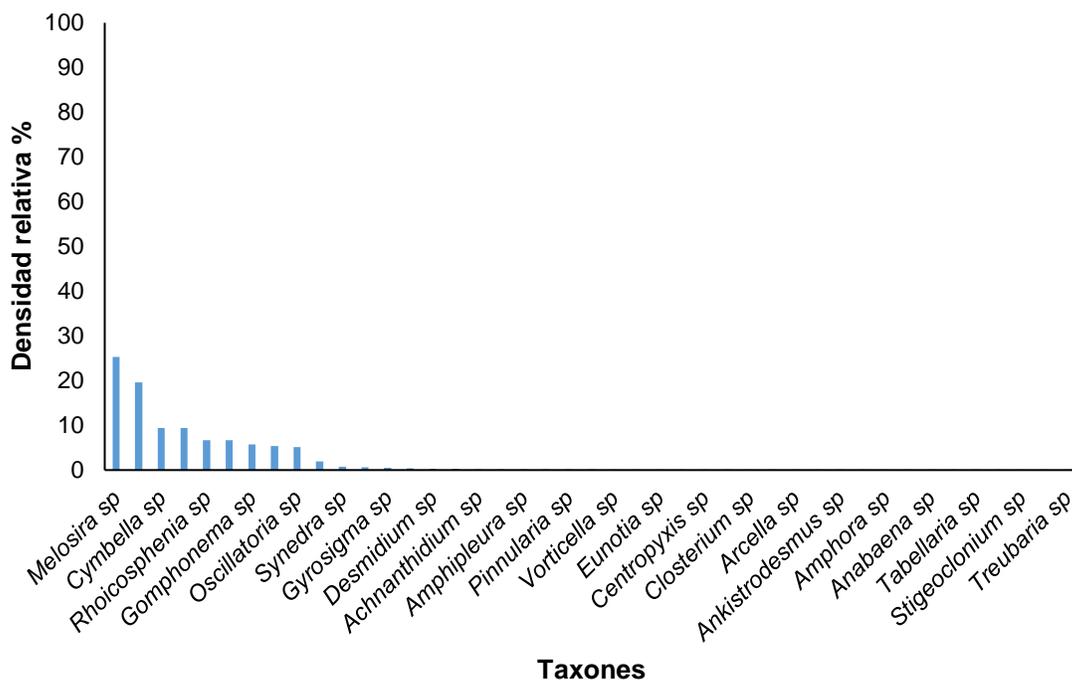


Figura 170. Densidad relativa de taxones de la comunidad perifítica en el río Roble

1.9.2.1.3.2. Quebradas Portachuelo y Cajones

De manera general, en las estaciones de las quebradas evaluadas, se registraron 169.819 organismos/mm², pertenecientes a ocho filos, 29 órdenes y 49 taxones. Los filos más abundantes fueron Bacillariophyta y Cyanobacteria con 76 y 17 % de las especies registradas, los menos abundantes fueron Charophyta, Protozoa, Euglenozoa, Nematoda y rotifera cada uno con menos del 1% de los organismos registrados.

Con relación a los órdenes, Bacillariales, Cymbellales, Oscillatoriales, Naviculales, Melosirales, Fragilariales y Ulotrichales fueron los más abundantes, representando aproximadamente el 93% de los organismos registrados. Respecto a los taxones, *Nitzchia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Navicula sp.*, *Melosira sp.*, *Gomphonema sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Rhoicosphenia sp.*, *Ulothrix sp.* y *Lyngbya sp.*, fueron los más abundantes con el 90% de los organismos registrados. Los taxones menos abundantes fueron *Euglena sp.*, *Oedogonium sp.* y *Lecane sp.*, (Figura 171)

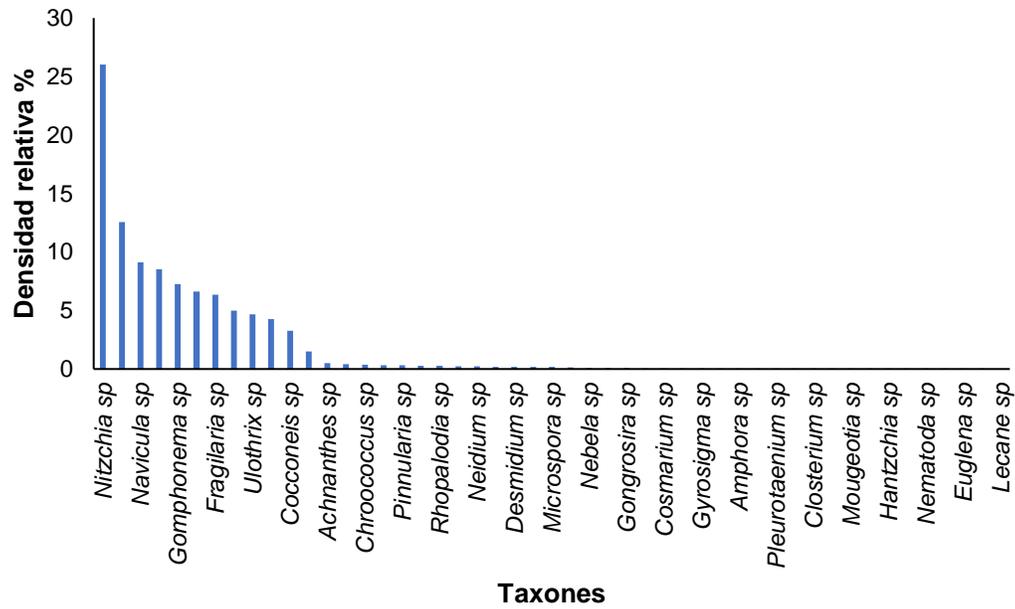


Figura 171. Densidad relativa de taxones de la comunidad perifítica en las quebradas evaluadas

1.9.2.1.4. Composición por muestreos

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos, fue registrada durante el muestreo M1 realizado durante el mes de octubre (Figura 172), lo que corresponde a la época climática en la cual se observó un bajo caudal y pocas precipitaciones.

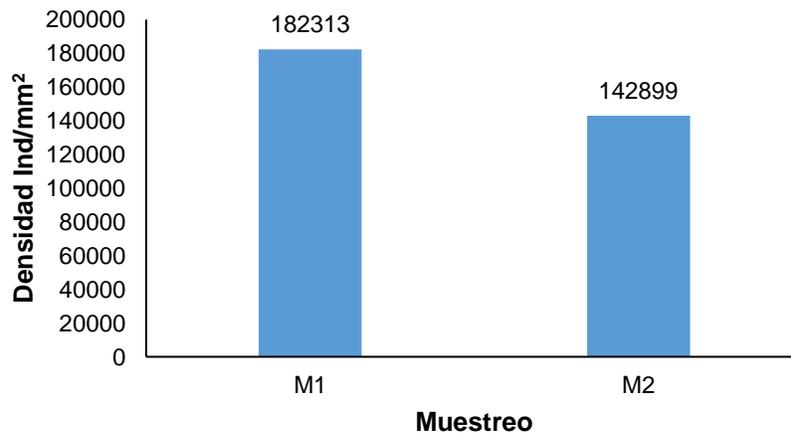


Figura 172. Densidad total de la comunidad perifítica en el río Roble y sus tributarios, en el primer y segundo muestreo.

1.9.2.1.4.1. Primer muestreo

Durante el primer muestreo se colectaron 182313 organismos/mm², pertenecientes a siete filos, 9 clases y 42 taxones. Los filos más abundantes fueron Bacillariophyta, Cyanobacteria, estos representaron aproximadamente el 98% de los organismos registrados durante este periodo. Con relación a las clases, Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Cyanophyceae registraron el 97% de la densidad total (Figura 174)

Respecto a los taxones, *Fragilaria sp.*, *Nitzchia sp.*, *Melosira sp.*, *Navicula sp.*, *Cymbella sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Gomphonema sp.*, *Cocconeis sp.*, y *Rhoicosphenia sp.*, fueron los abundantes con el 94% de los organismos registrados. Los taxones menos abundantes fueron *Euglena sp.*, *Amphora sp.*, y *Lecane sp.*, estos solo se registraron una vez durante este periodo (Figura 174).

1.9.2.1.4.2. Segundo muestreo

Durante el segundo muestreo fueron colectados 142899 organismos/mm², pertenecientes a cinco filos, 11 clases y 44 taxones. Los filos más abundantes fueron Bacillariophyta, Cyanobacteria, estos representaron aproximadamente el 93% de los organismos registrados durante este periodo. Con relación a las clases, Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Cyanophyceae registraron el 93% de la densidad total (Figura 174)

Respecto a los taxones, *Fragilaria sp.*, *Nitzchia sp.*, *Melosira sp.*, *Navicula sp.*, *Cymbella sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Gomphonema sp.*, *Cocconeis sp.*, y *Rhoicosphenia sp.*, fueron los abundantes con el 76% de los organismos registrados. Los taxones menos abundantes fueron *Gyrosigma sp.*, *Diffflugia sp.*, *Tabellaria sp.*, estos solo se registraron una vez durante este periodo (Figura 174).

1.9.2.1.5. Composición por sustratos

Con relación a los sustratos evaluados en las quebradas y el río, se evidenció que la mayor densidad y número taxones se registró en el sustrato de roca (Figura 173). Al igual que en las épocas evaluadas, en ambos sustratos los filos más abundantes fueron Bacillariophyta, Cyanobacteria y las clases, Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Cyanophyceae (Figura 175).

En cuanto a los taxones, *Melosira sp.*, *Fragilaria sp.* y *Nitzchia sp.* fueron los más abundantes en el sustrato de roca, y en tronco fueron *Oscillatoria sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzchia sp.* y *Melosira sp.* (Figura 175).

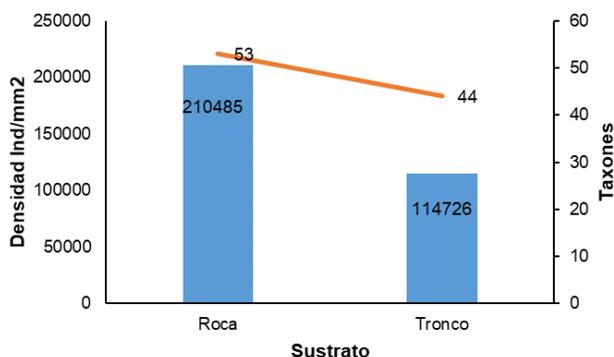


Figura 173. Densidad total y número de taxones de la comunidad perifítica en el río Roble y sus tributarios, durante el primer y segundo muestreo.

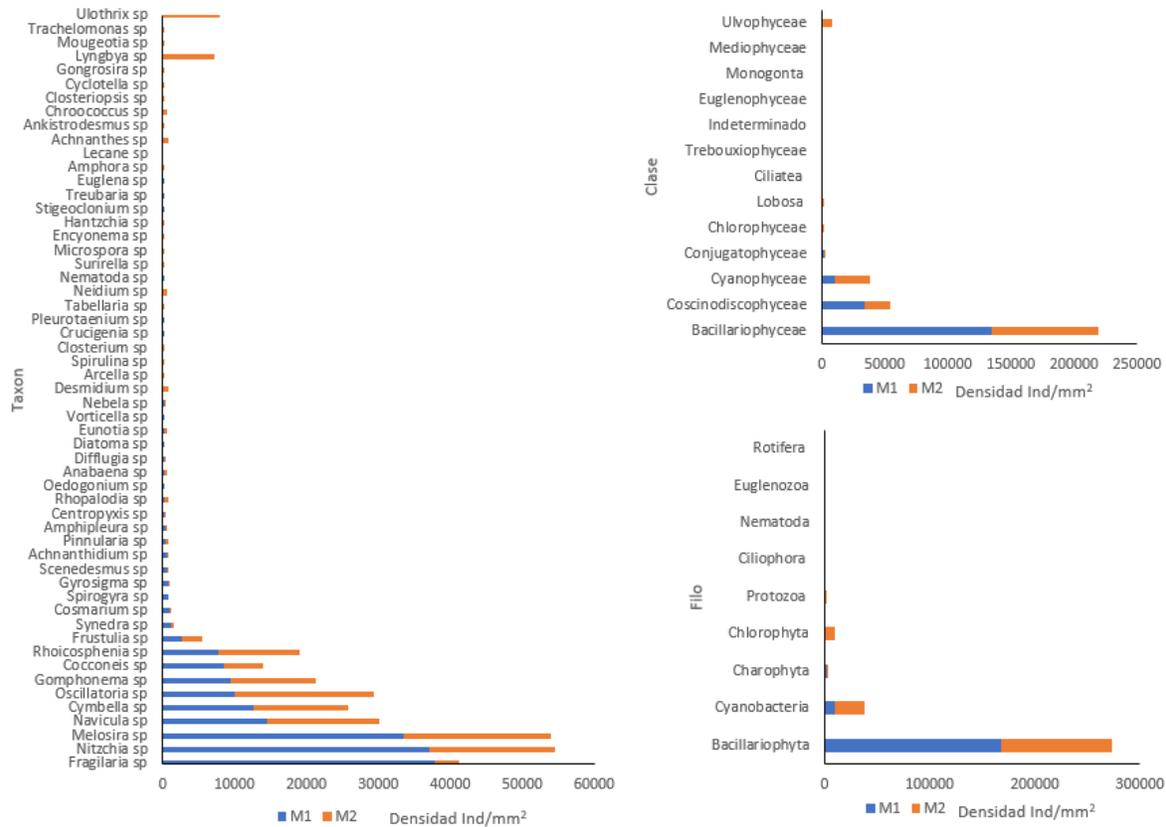


Figura 174. Densidad de la comunidad perifítica en el río Roble y sus tributarios, durante el primer y segundo muestreo.

1.9.2.1.6. Números de Hill o números efectivos de especies

1.9.2.1.6.1. General

A partir de la extrapolación del número de especies (⁰D) a nivel general, se determinó que las estaciones 2, 5 y 3 evaluadas en el río Roble, junto con la estación 3 de la quebrada Portachuelo, concentran los valores más elevados de riqueza. En contraste, la estación E2 de la quebrada Cajones y E2 de la quebrada Portachuelo presentaron los valores más bajos (Figura 176 y Figura 177a).

A partir del número de especies típicas (¹D) y especies dominantes (²D) se evidenció que nuevamente las estaciones quebrada Portachuelo E1, quebrada Cajones E1, quebrada las Cruces y río Roble E5, obtuvieron los mayores registros, los valores más bajos fueron registrados en las estaciones de la quebrada Cajones E2 (Figura 176y Figura 177b, Figura 177c).

La diversidad beta, analizada a través del índice de Jaccard, permitió evidenciar la conformación de tres grandes grupos. El primero conformado por las estaciones quebrada las Cruces y quebrada Portachuelo E1 y E2, con una similitud del 60%. El segundo conformado por las estaciones evaluadas en el río Roble y las quebradas Portachuelo E3 y Quebrada Cajones E1 con una similitud del 50% y finalmente la estación E2 de la quebrada Cajones, la cual se aparta de todas las otras debido al bajo número de taxones registrados (Figura 178).

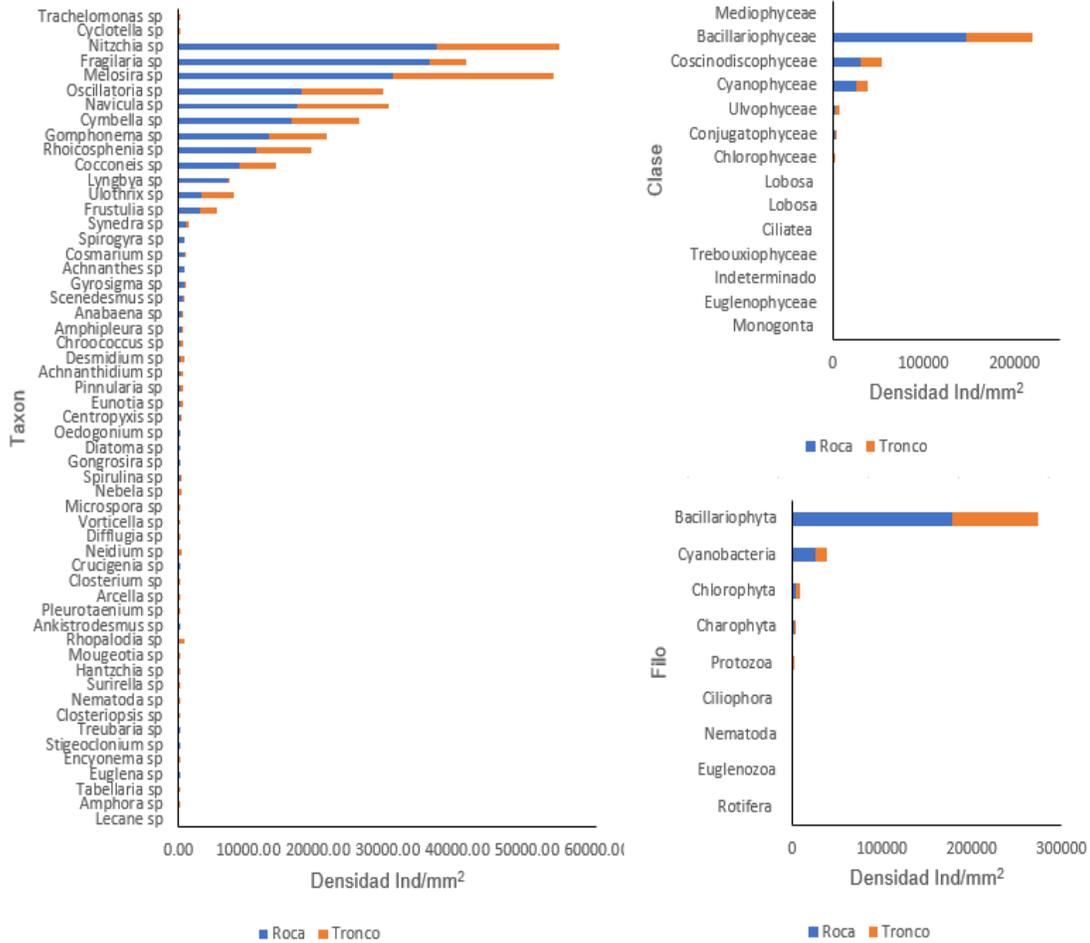


Figura 175. Densidad de la comunidad perifítica por sustratos en el río Roble y sus tributarios, durante el primer y segundo muestreo.

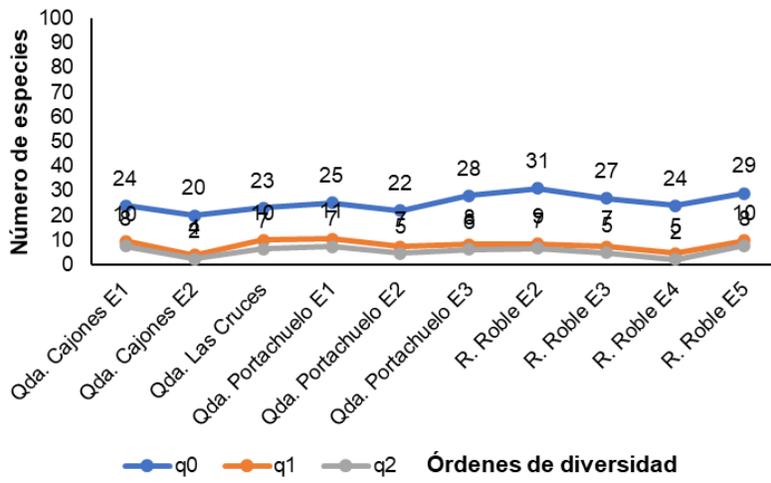


Figura 176. Diversidad del perifiton expresado en número efectivo de especies de los órdenes q= 0, q= 1 y q= 2 para las estaciones del río Roble y sus tributarios.

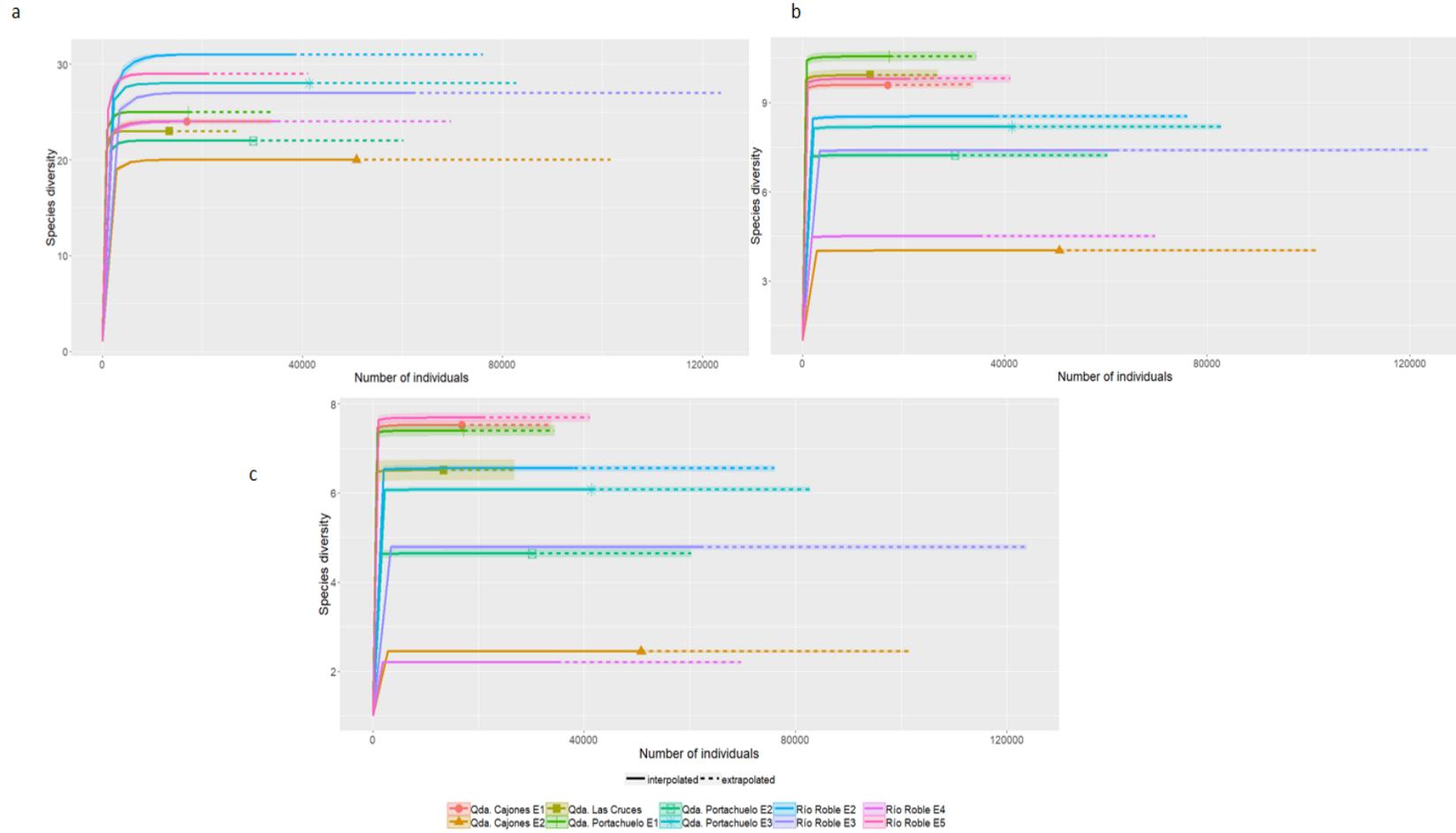


Figura 177. Extrapolación del número efectivo de especies de los órdenes $q=0$ (a), $q=1$ (b) y $q=2$ (c), en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

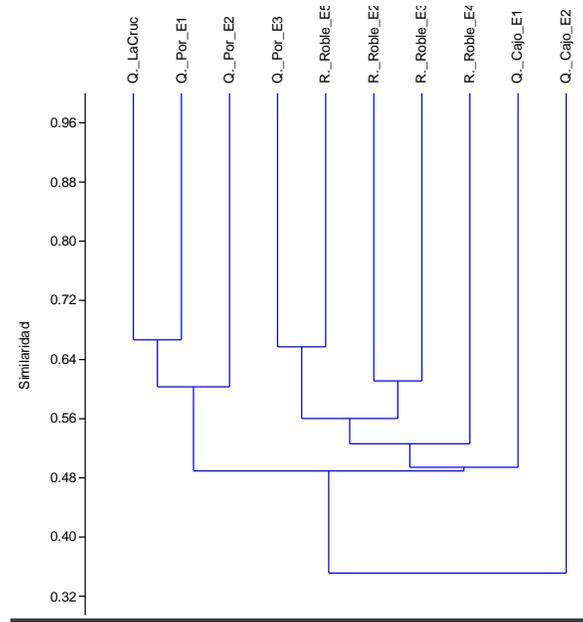


Figura 178. Índice de Jaccard del perifiton registrado en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.2.1.6.2. Sustratos

A partir de la extrapolación del número de especies (⁰D) en los sustratos evaluados, se determinó que el sustrato de roca presenta los valores más elevados de riqueza. (Figura 179 y Figura 180a). Sin embargo, al tener en cuenta el número de especies comunes (¹D) y dominantes (²D), se evidenció que ambos sustratos registraron el mismo número efectivo de especies (Figura 179 y Figura 180b,c).

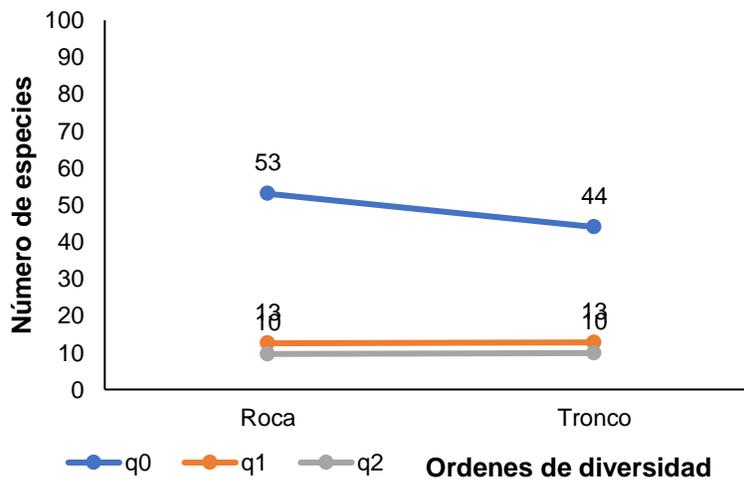


Figura 179. Diversidad del perifiton expresado en número efectivo de especies de los órdenes q= 0, q= 1 y q= 2 para las estaciones del río Roble y sus tributarios en los sustratos evaluados.

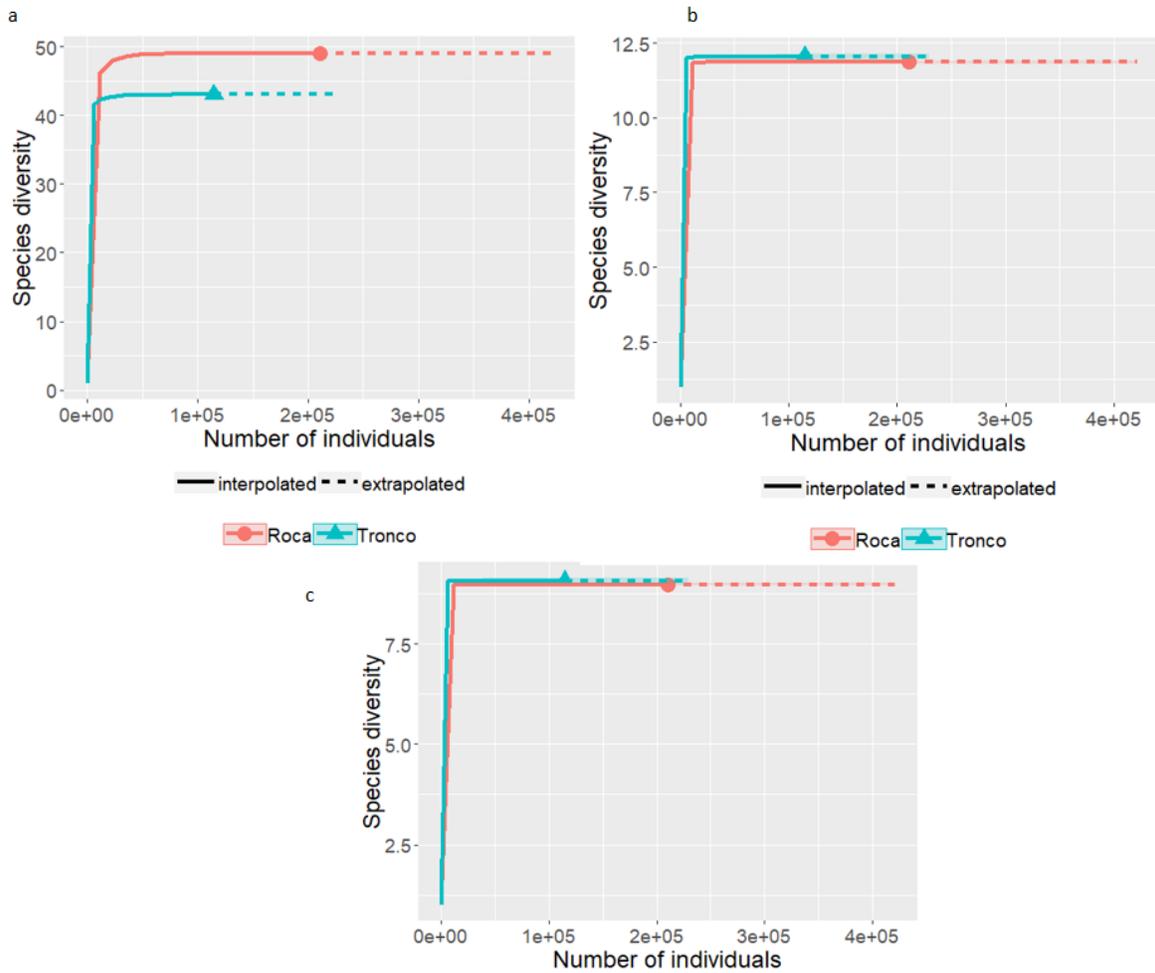


Figura 180. Extrapolación del número efectivo de especies de los órdenes $q= 0$ (a), $q= 1$ (b) y $q= 2$ (c), en las estaciones del río Roble y sus tributarios en los sustratos evaluados.

1.9.2.1.7. Ensamblaje de especies

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que existe una clara y significativa separación entre las quebradas y las estaciones evaluadas en el río Roble debido a la composición de la comunidad en cada uno de estos ecosistemas (ANOSIM, $p < 0.043$) (Figura 181). Estas diferencias a nivel del ensamblaje de las comunidades se deben principalmente a que en las quebradas se registró un mayor número de taxones y a la presencia de algunos taxones como por ejemplo *Cyclotella* sp., *Lyngbya* sp., *Mougeotia* sp., *Nematoda* sp., *Trachelomonas* sp. y *Ulothrix* sp., los cuales fueron registrados solamente en las quebradas tributarias del río Roble.

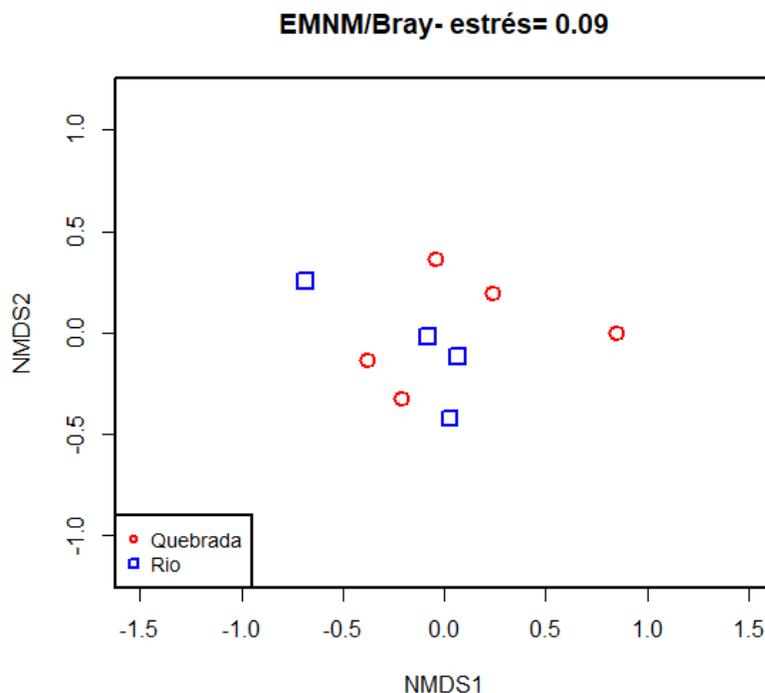


Figura 181. Diagrama de ordenación EMNM de la comunidad perifítica para las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.2.1.8. *Relación del ensamblaje perifítico con las variables ambientales*

Los resultados obtenidos por el análisis de Correspondencia Canónica (ACC), permitieron corroborar los resultados obtenidos por el EMNM en los cuales se evidencia una clara separación entre las estaciones del río Roble y las quebradas. La separación entre estos ecosistemas obedece principalmente a variables físicas de los cuerpos de agua como por ejemplo el ancho y caudal, los cuales fueron mayores en las estaciones evaluadas en el río Roble (Figura 182). Adicionalmente, según los resultados del ACC, ninguna de las variables evaluadas influyó de manera significativa en la distribución de los taxones de la comunidad perifítica.

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto y muy alto (Tabla 127). Siendo las quebradas Las Cruces, Portachuelo estación E1 y Río Roble E4 las más afectadas. Es importante resaltar que este índice es solamente una aproximación al estado de los cuerpos de agua.

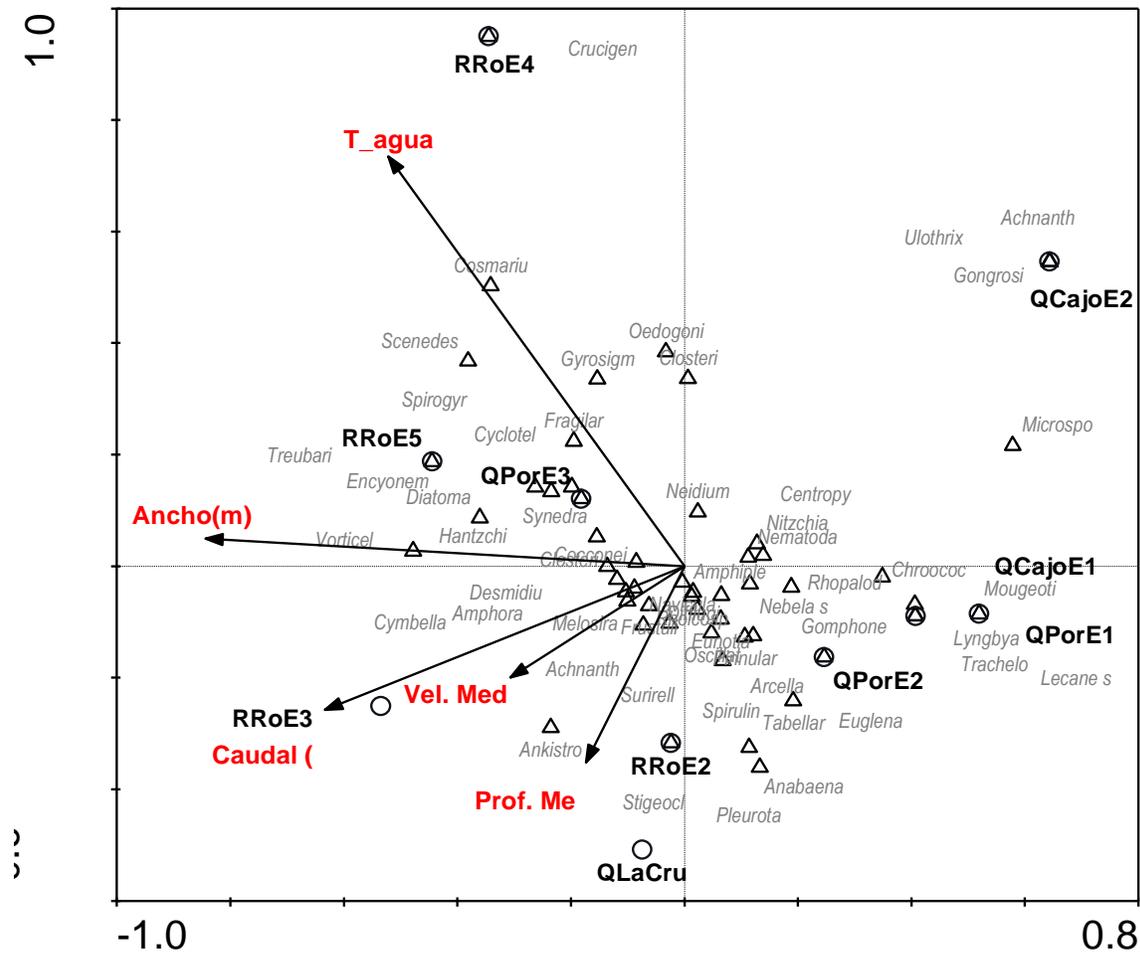


Figura 182. Análisis de Correspondencia Canónica de los taxones del perifiton y las variables físicas evaluadas en las estaciones del río Roble y sus tributarios

| Estaciones | IDG |
|-------------------|-----|
| Q.Cajones E1 | 2 |
| Q. Cajones E2 | 2.1 |
| Q. Las Cruces | 1.5 |
| Q. Portachuelo E1 | 1.6 |
| Q. Portachuelo E2 | 2.1 |
| Q. Portachuelo E3 | 2 |
| Río Roble E2 | 2.3 |
| Río Roble E3 | 2 |
| Río Roble E4 | 1.8 |
| Río Roble E5 | 2 |

Tabla 127. Valores del Índice Diatómico Genérico en el río Roble y sus tributarios

1.9.2.1.9. *Importancia de las especies*

Estado de conservación: de manera general, en las estaciones de muestreo del río Roble y sus tributarios, no se registraron especies amenazadas o bajo alguna categoría de amenaza.

Especies migratorias: De las especies colectadas, ninguna presenta algún tipo de migración.

Especies endémicas: No se registraron.

Especies comerciales y ornamentales: No se registraron.

1.9.2.2. *Discusión del estado y composición de perifiton*

La composición y estructura de la comunidad perifítica en los cuerpos de agua depende de múltiples factores que interactúan a diferentes escalas. Las comunidades algales son el producto de la interacción de variables geomorfológicas, hidrológicas y bióticas como, por ejemplo; el caudal, temperatura, turbidez, cobertura y productividad de los ecosistemas acuáticos (Gualtero y Trilleras, 2001).

Para el caso del presente estudio, las estaciones evaluadas, sobre el Río Roble y sus quebradas tributarias registraron condiciones similares a las de otros cuerpos de agua altoandinos, en los cuales las especies algales dominantes pertenecen a la clase Bacillariophyceae (Pinilla, 1998; Ramírez y Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez y Donato, 2003). La gran abundancia y diversidad de esta clase, concuerda con lo reportado en la mayoría de los estudios realizados en ecosistemas lóticos como los de Ramírez y Viña (1998), Ramírez (2000), y Martínez y Donato, (2003), quienes consideran que los organismos pertenecientes a la clase Bacillariophyceae son muy comunes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y pequeños arroyos, en los cuales son muy frecuentes y abundantes.

Este hecho se debe posiblemente a que los organismos pertenecientes a esta clase se caracterizan principalmente por tener una nutrición heterotrófica facultativa, sobrevivir en ambientes con baja luminosidad y segregar estructuras mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua y así de esta manera soportar las fuertes corrientes las cuales son características de dichos ecosistemas (Pinilla, 1998; Bustamante et al., 2009).

La alta abundancia registrada de la clase Cyanophyceae, con su taxon *Oscillatoria* sp., se debe posiblemente a la estrategia de vida de este taxon y/o grupo, los cuales son considerados como oportunista debido a que aprovecha cambios físicos y químicos en el ecosistema, que ocasionan que durante algunos meses se registren altas densidades (Ramírez, 2000). Estos incrementos en las densidades son conocidos como bloom de algas, para este caso se dio principalmente por la disminución del caudal e incremento de la temperatura en los cuerpos de agua.

Es importante resaltar que cuando estas explosiones demográficas son demasiado altas, la gran densidad de Cianobacterias ha sido asociadas a la disminución de la diversidad de algas, muertes de peces e incluso intoxicaciones en humanos debido a que algunos taxones producen cianotoxinas. Según Pinilla (2000), la presencia de este taxon está asociada a aguas con conductividad alta

Los taxones más abundantes y frecuentes durante los dos muestreos realizados fueron: *Nitzchia* sp., *Melosira* sp., *Fragilaria* sp., *Navicula* sp. Todos pertenecientes a la clase Bacillariophyceae, la cual como se mencionó previamente se desarrolla ampliamente en este tipo de ecosistemas de corrientes rápidas, debido a la capacidad que poseen estos organismos para tolerar el estrés producido por la corriente del agua y a la capacidad de soportar cambios en las condiciones ambientales que se presentan a lo largo del cuerpo de agua evaluado. Algunos autores como Bellinger y Sigee (2010), consideran que estos taxones, se distribuyen ampliamente en los ecosistemas acuáticos, principalmente en los cuerpos de agua con fuertes corrientes. La alta dominancia y frecuencia de estos taxones ha sido reportada por estudios en el departamento del Quindío como los de Bustamante et al., (2008, 2009), Marín et al., (2011), Obando y Bustamante, (2014) y CRQ et al., (2015).

Con respecto a la variación espacial, se observó que las quebradas obtuvieron una mayor densidad de organismos y número de taxones. Esto se debe probablemente a que en las quebradas los microhábitats son más estables, por lo que permiten el establecimiento y mantenimiento de las comunidades perifíticas. Debido a que el río es alimentado por un gran número de cuerpos de agua, las fluctuaciones en el nivel del caudal son rápidas e impredecibles lo que afecta la densidad de la comunidad.

Con relación a la variación temporal, se observó una disminución en la densidad de la comunidad perifítica durante el segundo muestreo, en el cual se observó un incremento en el caudal y la velocidad de los cuerpos de agua, producto de las precipitaciones de las semanas anteriores. Según Martínez y Donato, (2003), el caudal de los cuerpos de agua afecta la colonización y densidad de las algas de manera negativa.

Los índices ecológicos son herramientas que permiten determinar el estado de los ecosistemas, aquellos lugares con valores altos de los índices de diversidad se pueden considerar como conservados o en buen estado (Magurran,1998), ya que estos albergan un gran número de especies y esto solo es posible si el cuerpo de agua presenta una adecuada cantidad de nutrientes, hábitats heterogéneos y buenas condiciones físicas y químicas.

Durante este estudio, las estaciones 2, 5 y 3 evaluadas en el río Roble, junto con la estación 3 de la quebrada Portachuelo parecen reunir estas características ya que concentran el mayor número de taxones. Es importante resaltar, que la estación quebrada Cajones E2, registro los valores más bajos de diversidad. En este cuerpo de agua se evidencio una fuerte contaminación, producto de su cercanía al casco urbano el cual probablemente descarga todas sus aguas residuales sobre este cuerpo de agua.

A nivel de sustratos, se observó una mayor densidad y riqueza en el sustrato de roca. Esto se debe principalmente a la mayor frecuencia de este y a la estabilidad de este dentro de los ecosistemas acuáticos, lo cual permite una óptima colonización y desarrollo de la comunidad perifítica (Pinilla, 1998).

Según los resultados del índice diatómico genérico, propuesto por Rumeau y Coste, (1988), las estaciones evaluadas presentan niveles de contaminación altos y muy altos. Esto teniendo en cuenta la alta densidad de géneros resistentes a la contaminación como *Amphora*, *Gomphonema*, *Melosira*, *Navicula*, *Synedra*, registrados en todas las estaciones evaluadas. Los resultados del

análisis de Correspondencia Canónica permitieron evidenciar que para estos cuerpos de agua las variables físicas no influyeron de manera significativa en la distribución de las algas. Por lo que se podría pensar que la comunidad perifítica en estos cuerpos de agua depende principalmente de otras variables como, por ejemplo: fosfatos y nitratos, los cuales son nutrientes importantes en el establecimiento y colonización de las algas en los ecosistemas acuáticos (Morales et al., 2010).

La comunidad perifítica se caracterizó por la alta densidad de organismos de las clases Bacillariophyceae y Cyanophyceae, las cuales son muy comunes en ecosistemas lóticos como ríos y quebradas.

Los organismos de clase Bacillariophyceae como *Nitzschia* sp., *Melosira* sp., *Fragilaria* sp. y *Navicula* sp., los más abundantes durante este estudio se caracterizan por adherirse a sustratos como rocas y troncos, esta habilidad les permite colonizar cuerpos de agua lóticos, generalmente están asociados a aguas pobres en nutrientes y en grandes cantidades le dan al agua olor a tierra o a pescado.

la alta densidad de géneros resistentes a la contaminación (*Amphora*, *Gomphonema*, *Melosira*, *Navicula*, *Synedra*) y de amplia amplitud ecológica (*Achnanthes*, *Cocconeis*, *Encyonema*, *Fragilaria*, *Melosira*, *Navicula*, *Rhoicosphenia*, *Synedra*), registrados en todas las estaciones evaluadas, clasificaron las estaciones evaluadas con niveles de contaminación orgánica altos y muy altos.

La estación quebrada Cajones E2, registro los valores más bajos de diversidad, producto de las fuertes descargas de aguas residuales en este cuerpo de agua, las cuales fueron observadas en campo, debido a la cercanía de esta al casco urbano.

1.9.3. Análisis de calidad por Macroinvertebrados Acuáticos

1.9.3.1. Resultados de los monitoreos

1.9.3.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 80 géneros observados, en las 76 muestras evaluadas que corresponden al 90.3% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y 92.9% para Chao 1 (Figura 183).

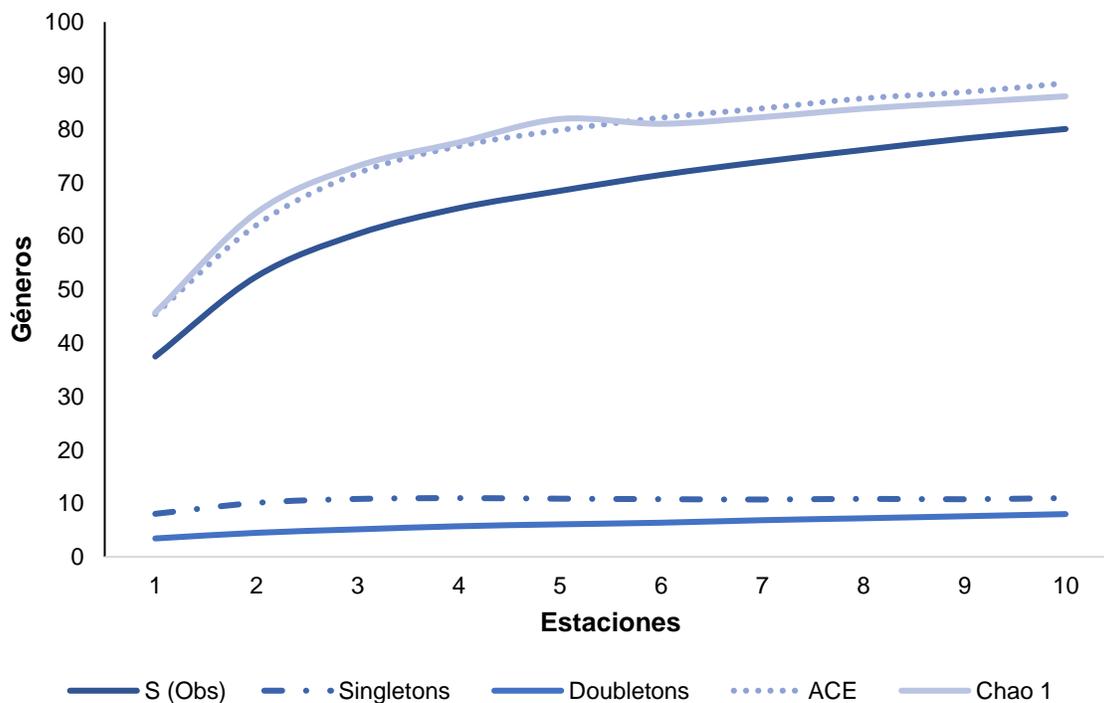


Figura 183. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.1.2. Composición taxonómica

Se colectó un total de 16061 organismos distribuidos en cuatro filos, siete clases, 18 órdenes, 46 familias y 80 géneros (Tabla 128).

| Filo | Clase | Orden | Familia | Genero | Abundancia |
|-----------------|---------------|-----------------|----------------------|-----------------------|------------|
| Platyhelminthes | Rhabditophora | Neophora | Dugesidae | <i>Girardia</i> | 610 |
| Annelida | Clitellata | Hirudinida | Glossiphoniidae | <i>Helobdella</i> | 13 |
| | | Tubificida | Naididae | <i>Tubifex</i> | 879 |
| Mollusca | Bivalvia | Veneroidea | Pisidiidae | <i>Pisidium</i> | 5 |
| | Gastropoda | Basommatophora | Ancylidae | <i>Ferrissia</i> | 46 |
| | | | Physidae | <i>Physa</i> | 168 |
| | | Neotaenioglossa | Hydrobiidae | <i>Amnicola</i> | 6 |
| | | | Thiaridae | <i>Melanoides</i> | 11 |
| Arthropoda | Euchelicerata | Trombidiformes | Rhynchohydracharidae | * | 2 |
| | Malacostraca | Decapoda | Trichodactylidae | <i>Sylviocarcinus</i> | 1 |
| | | Isopoda | Oniscidae | <i>Oniscus</i> | 1 |
| | Insecta | Coleoptera | Elmidae | <i>Austrolimnius</i> | 71 |
| | | | | <i>Cyloopus</i> | 78 |
| | | | | <i>Heterelmis</i> | 1137 |
| | | | | <i>Hexacyloopus</i> | 1 |
| | | | | <i>Hexanchorus</i> | 1 |
| | | | | <i>Holcelmis</i> | 1 |
| | | | | <i>Huleechius</i> | 56 |
| | | | | <i>Macrelmis</i> | 85 |
| | | | | <i>Microcyloopus</i> | 68 |
| | | | | <i>Neoelmis</i> | 279 |
| | | | | <i>Phanocerus</i> | 2 |
| | | | | <i>Stegoelmis</i> | 2 |
| | | | | <i>Xenelmis</i> | 271 |

| Filo | Clase | Orden | Familia | Genero | Abundancia |
|------|-------|---------------|-----------------|------------------------|------------|
| | | | Hydrophilidae | <i>Derallus</i> | 1 |
| | | | Psephenidae | <i>Psephenops</i> | 16 |
| | | | Ptilodactylidae | <i>Anchytarsus</i> | 74 |
| | | | Staphylinidae | <i>Bledius</i> | 6 |
| | | Diptera | Blephariceridae | <i>Limonicola</i> | 1 |
| | | | Ceratopogonidae | <i>Alluaudomyia</i> | 36 |
| | | | | <i>Atrichopogon</i> | 2 |
| | | | Chironomidae | Chironominae | 1452 |
| | | | | Orthoclaadiinae | 2656 |
| | | | | Tanypodinae | 34 |
| | | | | <i>Xestochironomus</i> | 13 |
| | | | Empididae | <i>Chelifera</i> | 1 |
| | | | | <i>Hemerodromia</i> | 7 |
| | | | Ephydriidae | * | 2 |
| | | | Psychodidae | <i>Maruina</i> | 29 |
| | | | | <i>Psychoda</i> | 6 |
| | | | Simuliidae | <i>Simulium</i> | 1371 |
| | | | Tipulidae | <i>Limonia</i> | 7 |
| | | | | <i>Molophilus</i> | 3 |
| | | Ephemeroptera | Baetidae | <i>Americabaetis</i> | 1190 |
| | | | | <i>Baetodes</i> | 85 |
| | | | | <i>Camelobaetidius</i> | 129 |
| | | | | <i>Zelus</i> | 2 |
| | | | Leptohyphidae | <i>Leptohyphes</i> | 1742 |
| | | | | <i>Tricorythodes</i> | 73 |
| | | | Leptophlebiidae | <i>Farrodes</i> | 15 |
| | | | | <i>Thraulodes</i> | 84 |
| | | | | <i>Traverella</i> | 2 |
| | | Hemiptera | Gelastocoridae | <i>Nerthra</i> | 1 |
| | | | Hebridae | <i>Hebrus</i> | 2 |
| | | | Naucoridae | <i>Cryphocricos</i> | 20 |
| | | | Veliidae | <i>Rhagovelia</i> | 329 |
| | | Lepidoptera | Crambidae | <i>Petrophila</i> | 5 |
| | | Megaloptera | Corydalidae | <i>Corydalis</i> | 22 |
| | | Odonata | Calopterygidae | <i>Hetaerina</i> | 8 |
| | | | Coenagrionidae | <i>Argia</i> | 3 |
| | | | Gomphidae | <i>Gomphoides</i> | 6 |
| | | | Libellulidae | <i>Brechmorhoga</i> | 140 |
| | | | | <i>Elasmothermis</i> | 5 |
| | | | | <i>Sympetrum</i> | 1 |
| | | | Polythoridae | <i>Cora</i> | 6 |
| | | Plecoptera | Perlidae | <i>Anacroneuria</i> | 70 |
| | | Trichoptera | Glossosomatidae | <i>Culoptila</i> | 59 |
| | | | Helicopsychidae | <i>Helicopsyche</i> | 467 |
| | | | Hydrobiosidae | <i>Atopsyche</i> | 117 |
| | | | Hydropsychidae | <i>Leptonema</i> | 264 |
| | | | | <i>Smicridea</i> | 437 |
| | | | Hydroptilidae | <i>Leucotrichia</i> | 51 |
| | | | | <i>Metrichia</i> | 232 |
| | | | | <i>Neotrichia</i> | 1 |
| | | | | <i>Ochrotrichia</i> | 44 |
| | | | | <i>Oxyethira</i> | 23 |
| | | | Leptoceridae | <i>Atanatolica</i> | 803 |
| | | | | <i>Nectopsyche</i> | 21 |
| | | | | <i>Oecetis</i> | 72 |
| | | | Philopotamidae | <i>Chimarra</i> | 19 |

Tabla 128. Composición taxonómica de Macroinvertebrados acuáticos registrados en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

Se registraron 18 órdenes de los cuales Diptera (35%) presentó la mayor abundancia, seguido de Ephemeroptera (20.7%) y Trichoptera (16.3%). Por otro lado, Plecoptera, Megaloptera, Neotaenioglossa, Hirudinia, Lepidoptera, Veneroidea, Trombidiformes, Decápoda e Isopoda y presentaron abundancias inferiores al 1% (Figura 184).

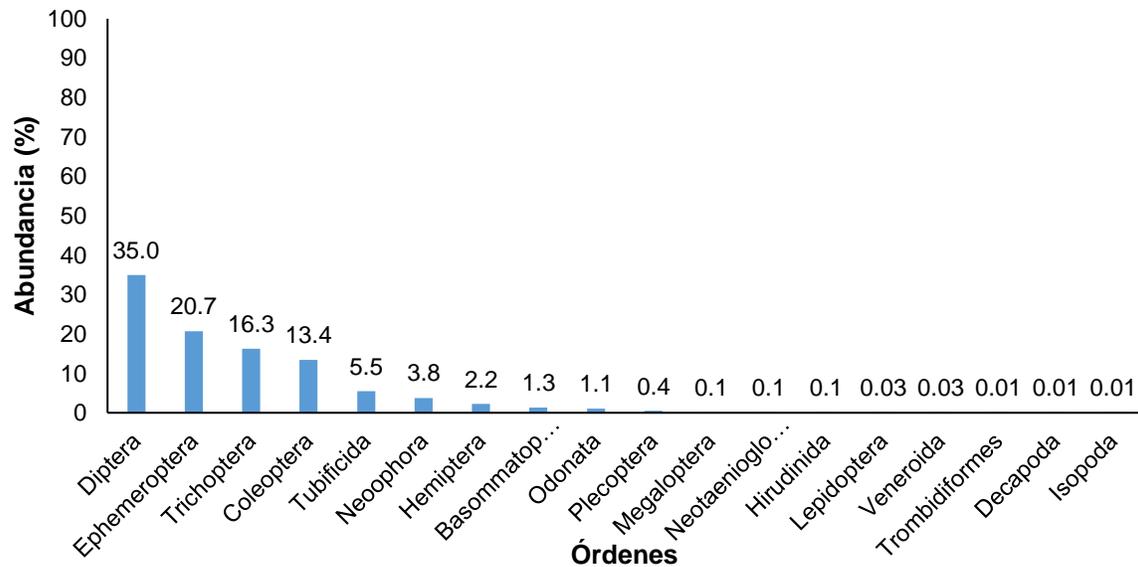


Figura 184. Abundancia relativa de órdenes registrados en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

Se registraron 75 géneros de los cuales nueve se encuentran indeterminados (Figura 185), dentro de los cuales Orthoclaadiinae (16.2%), *Leptohyphes* (13.3%) y Chironominae (8.6%) presentan las mayores abundancias. Por el contrario, se registran 63 géneros con abundancias inferiores al 1%.

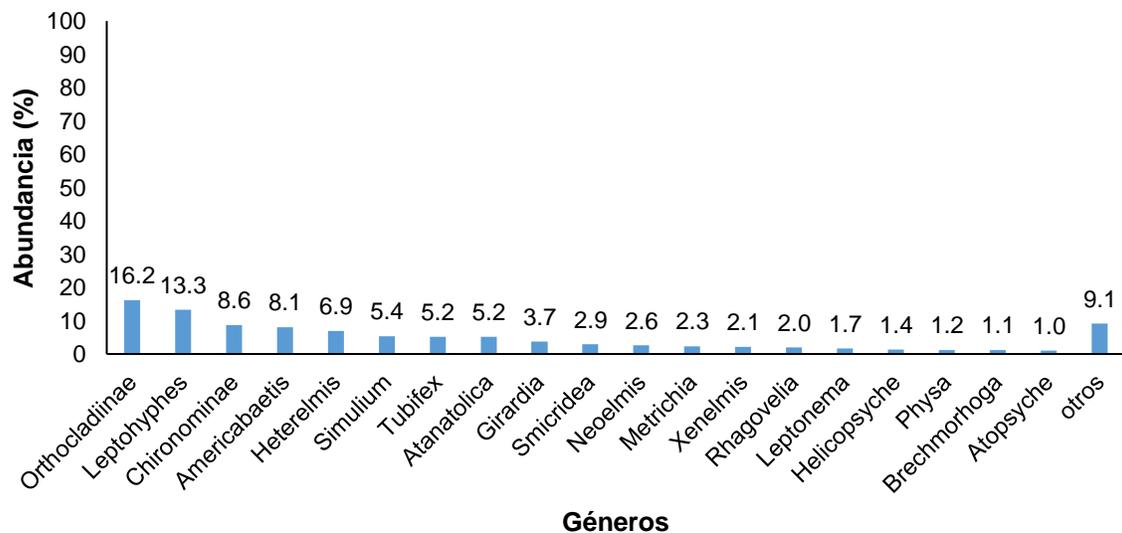


Figura 185. Abundancia relativa de los géneros más abundantes registradas en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.1.2.1. Composición en el río Roble

En las cuatro estaciones ubicadas sobre el cauce del río Roble, se colectaron 9170 organismos distribuidos en 62 géneros que corresponden al 57.1% de la abundancia total registrada. Los órdenes más abundantes fueron Diptera (19.3%), Ephemeroptera (16.8%) y Trichoptera (6.2%), mientras que Odonata, Megaloptera, Neotaenioglossa, Plecoptera, Lepidoptera, Veneroida y Trombidiformes presentaron la menor (>1%).

En cuanto a los géneros, Orthoclaadiinae (11%), Leptohyphes (9.6%) y Americabaetis (6.1%), son los más abundantes (Figura 31), por otro lado, *Petrophila*, *Pisidium*, *Traverella*, *Amnicola*, *Anchytarsus*, *Argia*, *Gomphoides*, *Hebrus*, *Hetaerina*, *Neotrichia*, Rhynchohydracharidae, *Stegoelmis* y *Sympetrum*, se encuentran representados por un organismo (0.01%). Los géneros *Elasmothermis*, *Hemerodromia*, *Leucotrichia*, *Melanoides*, *Neotrichia*, *Sympetrum* y *Traverella* fueron colectados únicamente en las estaciones del río Roble (Figura 186).

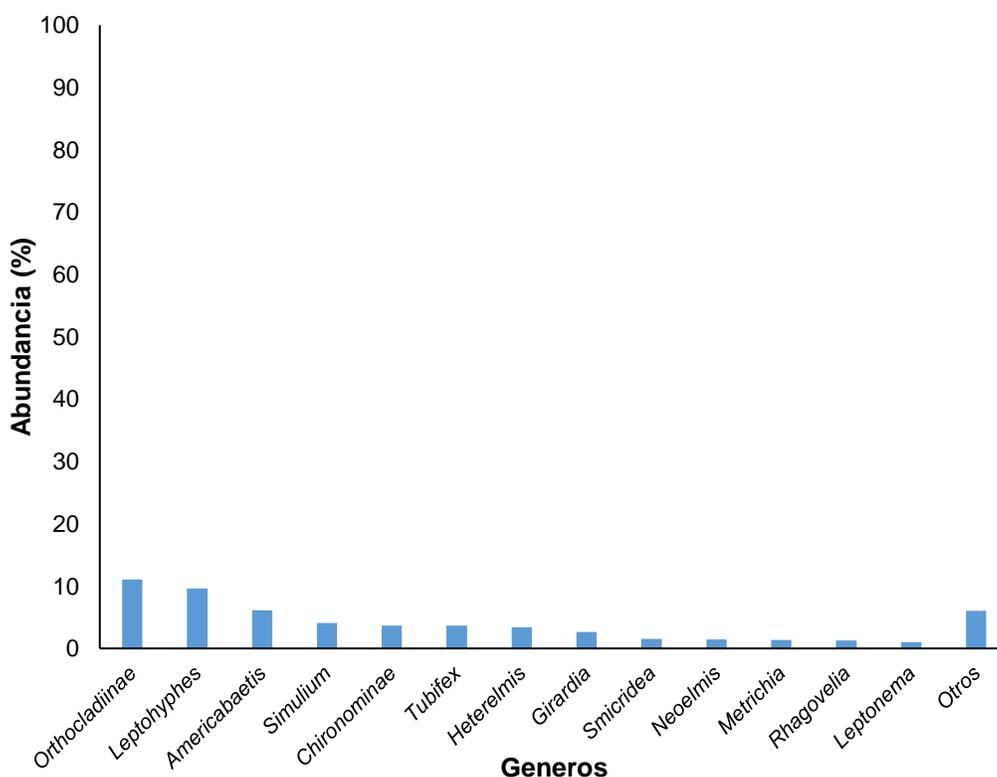


Figura 186. Abundancia relativa de los géneros más abundantes registradas en las estaciones del río Roble.

1.9.3.1.2.2. Composición en las quebradas Portachuelo y Cajones

En las seis estaciones ubicadas sobre las quebradas tributarias, Cajones, Portachuelo y Las Cruces, se colectaron 6891 organismos distribuidos en 73 géneros que corresponden al 57.1% de la abundancia total registrada. Los órdenes más abundantes fueron Diptera (15.7%), Trichoptera (10%) y Coleoptera (7.7%), mientras que Odonata, Hemiptera, Plecoptera, Basommatophora, Hirudinida, Megaloptera, Neotaenioglossa, Lepidoptera, Veneroida, Decapoda, Isopoda y Trombidiformes presentaron la menor (>1%).

En cuanto a los géneros, Orthoclaadiinae (884 individuos, 5.5%), Chironominae (862 individuos, 5.4%) y *Simulium* (716 individuos, 4.4%), son los más abundantes (Figura 187), por otro lado, *Argia*, *Atrichopogon*, *Bledius*, *Ephydriidae*, *Phanocerus*, *Zelus*, *Chelifera*, *Derallus*, *Hebrus*, *Hexacylloepus*, *Hexanchorus*, *Holcelmis*, *Limonicola*, *Nerthra*, *Oniscus*, *Rhynchohydracharidae*, *Stegoelmis*, *Sylviocarcinus*, se encuentran representados por un organismo (0.01%).

Los géneros *Atrichopogon*, *Chelifera*, *Cora*, *Derallus*, *Ephydriidae*, *Farrodes*, *Helobdella*, *Hexacylloepus*, *Hexanchorus*, *Holcelmis*, *Limonicola*, *Molophilus*, *Nerthra*, *Oniscus*, *Phanocerus*, *Psychoda* y *Sylviocarcinus* fueron colectados únicamente en las estaciones de las quebradas tributarias.

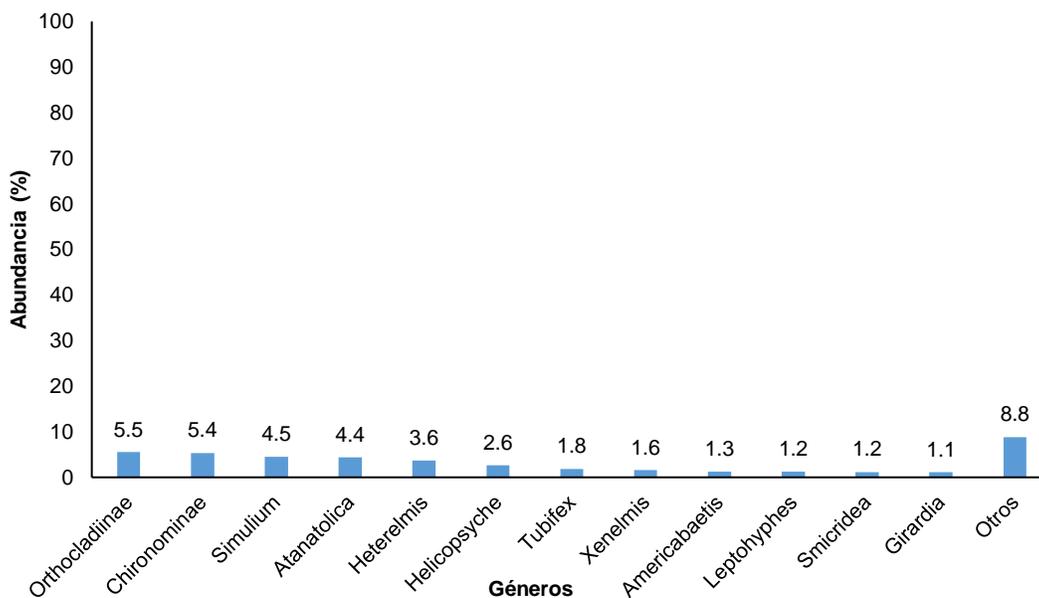
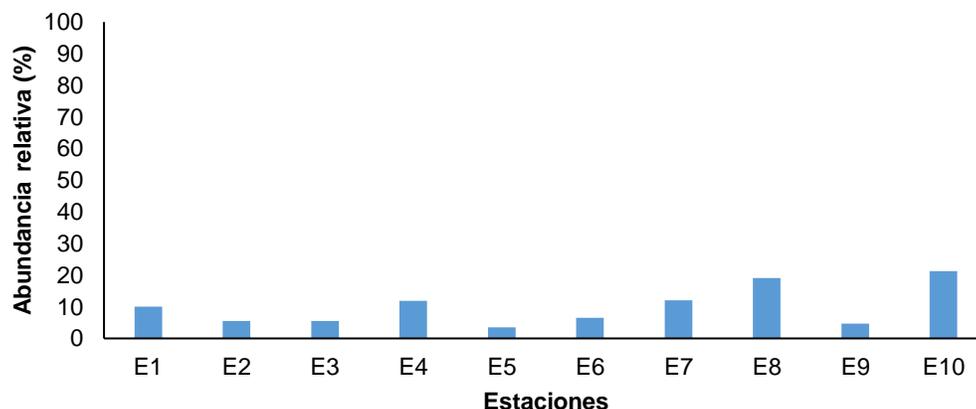


Figura 187. Abundancia relativa de los géneros más abundantes registradas en las quebradas.

1.9.3.1.3. Distribución espacial

Se evaluaron 10 estaciones de las cuales la E10 (Roble E5) presento la mayor abundancia con el 21.3%, seguido de E8 (Roble E3) con 19.1% (Figura 188). Es de resaltar que la estación E9 (Roble E4) solo se muestreo una vez. El análisis de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las abundancias registradas en las estaciones de muestreo ($p= 1.93E^{-11}$), dentro de las que destaca la estación E6 (Cajones E2), la cual presento el menor número de géneros y poca abundancia.

Los generos *Girardia*, *Tubifex*, Chironominae y Orthoclaadiinae se encuentran ampliamente distribuidos y fueron registrados en todas las estaciones de muestreo, por otro lado, *Sylviocarcinus*, *Derallus*, *Hexacylloepus*, *Hexanchorus*, *Holcelmis*, *Phanocerus*, *Chelifera*, *Ephydriidae*, *Limonicola*, *Psychoda*, *Traverella*, *Zelus*, *Nerthra*, *Oniscus*, *Elasmothermis*, *Sympetrum* y *Neotrichia*, se encuentran restringidos a una única estación cada uno (Tabla 129).



Convenciones: E1: Q. Las Cruces; E2: Q. Portachuelo E2; E3: Portachuelo E1; E4: Portachuelo E3; E5: Q. Cajones E1; E6: Cajones E2; E7: Río Roble E2; E8: Roble E3; E9: Roble E4; E10: Roble E5.

Figura 188. Abundancia relativa en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

| Orden | Géneros | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
|----------------|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Neophora | <i>Girardia</i> | 20 | 12 | 102 | 37 | 9 | 1 | 139 | 49 | 74 | 167 |
| Tubificida | <i>Tubifex</i> | 28 | 165 | 12 | 30 | 40 | 15 | 112 | 158 | 14 | 305 |
| Veneroida | <i>Pisidium</i> | 1 | * | * | * | 2 | * | * | * | * | 2 |
| Basommatophora | <i>Ferrissia</i> | 3 | 11 | * | * | 9 | * | 1 | 7 | 1 | 14 |
| | <i>Physa</i> | * | 25 | * | 1 | * | 4 | 114 | 14 | 1 | 9 |
| Trombidiformes | Rhynchohydracharidae | * | * | * | 1 | * | * | 1 | * | * | * |
| Decapoda | <i>Sylviocarcinus</i> | 1 | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Coleoptera | <i>Anchytarsus</i> | 10 | 1 | 61 | * | 1 | * | 1 | * | * | * |
| | <i>Austrolimnius</i> | 6 | * | 49 | 6 | * | * | 9 | 1 | * | * |
| | <i>Bledius</i> | * | * | 1 | * | 1 | * | 1 | 3 | * | * |
| | <i>Cylloepus</i> | 7 | * | 43 | 4 | 4 | * | 19 | 1 | * | * |
| | <i>Derallus</i> | 1 | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Heterelmis</i> | 16 | 88 | 20 | 448 | 13 | * | 101 | 266 | 48 | 137 |
| | <i>Hexacylloepus</i> | 1 | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Hexanchorus</i> | * | * | 1 | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Holcelmis</i> | * | * | 1 | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Huleechius</i> | 9 | 3 | 16 | 16 | * | * | 7 | 1 | * | 4 |
| | <i>Macrelmis</i> | 18 | * | 24 | 25 | * | * | 12 | 5 | 1 | * |
| | <i>Microcyllloepus</i> | 15 | * | 4 | 14 | * | * | 19 | 5 | 6 | 5 |
| | <i>Neoelmis</i> | 22 | 1 | 9 | 14 | * | * | 72 | 153 | * | 8 |
| | <i>Phanocerus</i> | * | * | 2 | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Psephenops</i> | 3 | * | 8 | 1 | * | * | * | * | * | 4 |
| | <i>Stegoelmis</i> | * | * | * | 1 | * | * | * | 1 | * | * |
| | <i>Xenelmis</i> | 61 | 2 | 169 | 16 | 1 | * | 20 | 1 | * | 1 |
| Diptera | <i>Alluaudomyia</i> | * | * | * | 3 | * | * | 2 | 19 | 4 | 8 |
| | <i>Atrichopogon</i> | * | * | * | 2 | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Chelifera</i> | 1 | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Chironominae | 11 | 193 | 18 | 34 | 6 | 600 | 166 | 305 | 82 | 37 |
| | Ephydriidae | * | 2 | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Hemerodromia | * | * | * | * | * | * | * | 1 | * | 6 |
| | Limonia | * | 1 | * | * | 1 | 1 | * | 2 | * | 2 |
| | Limonicola | * | 1 | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Maruina | * | 2 | * | 2 | 2 | * | * | 5 | 1 | 17 |
| | Molophilus | 1 | 2 | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Orthocladiinae | 57 | 36 | 22 | 176 | 159 | 434 | 325 | 816 | 262 | 369 |

| Orden | Géneros | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
|-----------------|------------------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | <i>Psychoda</i> | * | 6 | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Simulium</i> | 1 | 159 | 16 | 326 | 214 | * | 406 | 166 | * | 83 |
| | Tanypodinae | 20 | * | 8 | 1 | 2 | * | * | * | 2 | 1 |
| | <i>Xestochironomus</i> | 4 | * | * | 1 | 2 | * | 5 | * | * | 1 |
| Ephemeroptera | <i>Americabaetis</i> | 17 | 16 | 39 | 118 | 16 | * | 112 | 569 | 45 | 258 |
| | <i>Baetodes</i> | 3 | 1 | * | 4 | * | * | * | 8 | 13 | 56 |
| | <i>Camelobaetidius</i> | 4 | 2 | 2 | 45 | * | * | 3 | 32 | 9 | 32 |
| | <i>Farodes</i> | 1 | * | 13 | 1 | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Leptohyphes</i> | 110 | 2 | 20 | 63 | * | * | 17 | 113 | 79 | 1338 |
| | <i>Thraulodes</i> | 47 | 1 | 27 | 4 | * | * | 4 | 1 | * | * |
| | <i>Traverella</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | * | 2 |
| | <i>Tricorythodes</i> | 6 | 19 | 30 | 11 | 1 | * | * | 3 | 3 | * |
| | <i>Zelusia</i> | * | * | * | 2 | * | * | * | * | * | * |
| Hemiptera | <i>Cryphocricos</i> | 9 | * | 3 | 1 | * | * | 2 | 4 | 1 | * |
| | <i>Hebrus</i> | * | * | 1 | * | * | * | 1 | * | * | * |
| | <i>Nerthra</i> | * | * | 1 | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Rhagovelia</i> | 90 | * | 12 | 9 | 7 | * | 68 | 2 | 26 | 115 |
| Hirudinida | <i>Helobdella</i> | * | 12 | * | * | * | 1 | * | * | * | * |
| Isopoda | <i>Oniscus</i> | * | * | 1 | * | * | * | * | * | * | * |
| Lepidoptera | <i>Petrophila</i> | 3 | * | * | * | * | * | 1 | * | * | 1 |
| Megaloptera | <i>Corydalus</i> | * | * | 7 | 1 | * | * | 4 | 3 | * | 7 |
| Neotaenioglossa | <i>Amnicola</i> | 1 | * | * | 2 | 2 | * | 1 | * | * | * |
| | <i>Melanoides</i> | * | * | * | * | * | * | 1 | * | * | 10 |
| Odonata | <i>Argia</i> | * | 1 | * | * | 1 | * | * | * | * | 1 |
| | <i>Brechmorhoga</i> | 55 | 17 | 30 | 13 | 4 | * | 15 | 4 | 1 | 1 |
| | <i>Cora</i> | 1 | * | 5 | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Elasmothermis</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | * | 5 |
| | <i>Gomphoides</i> | 1 | * | 3 | 1 | * | * | * | * | * | 1 |
| | <i>Hetaerina</i> | 4 | 1 | * | * | 2 | * | * | * | 1 | * |
| | <i>Sympetrum</i> | * | * | * | * | * | * | * | 1 | * | * |
| Plecoptera | <i>Anacroneuria</i> | 49 | 3 | 5 | 7 | * | * | 4 | 2 | * | * |
| Trichoptera | <i>Atanotolica</i> | 655 | * | 20 | 28 | * | * | 96 | 4 | * | * |
| | <i>Atopsyche</i> | 7 | 7 | 2 | 9 | 4 | * | 9 | 74 | 3 | 2 |
| | <i>Chimarra</i> | 2 | * | 2 | * | 6 | * | 9 | * | * | * |
| | <i>Culoptila</i> | 11 | 9 | 6 | 20 | * | * | * | 10 | * | 3 |
| | <i>Helicopsyche</i> | 53 | 56 | 25 | 251 | 37 | * | * | 42 | 3 | * |
| | <i>Leptonema</i> | 28 | 3 | 7 | 51 | 7 | * | 2 | 103 | 41 | 22 |
| | <i>Leucotrichia</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | 20 | 31 |
| | <i>Metrichia</i> | * | * | 8 | 6 | 4 | * | 17 | 15 | 3 | 179 |
| | <i>Nectopsyche</i> | * | 6 | * | 1 | 1 | * | * | 13 | * | * |
| | <i>Neotrichia</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | * | 1 |
| | <i>Ochrotrichia</i> | * | * | * | 10 | 12 | * | 12 | 8 | * | 2 |
| | <i>Oecetis</i> | 48 | 1 | 9 | 4 | 2 | * | 4 | 4 | * | * |
| | <i>Oxyethira</i> | * | * | 1 | 2 | 1 | * | 7 | 9 | 3 | * |
| | <i>Smicridea</i> | 82 | 6 | 12 | 85 | * | * | 13 | 58 | 12 | 169 |
| Total | | 1604 | 873 | 877 | 1908 | 573 | 1056 | 1934 | 3061 | 759 | 3416 |

Convenciones: E1: Q. Las Cruces; E2: Q. Portachuelo E2; E3: Portachuelo E1; E4: Portachuelo E3; E5: Q. Cajones E1; E6: Cajones E2; E7: Río Roble E2; E8: Roble E3; E9: Roble E4; E10: Roble E5.

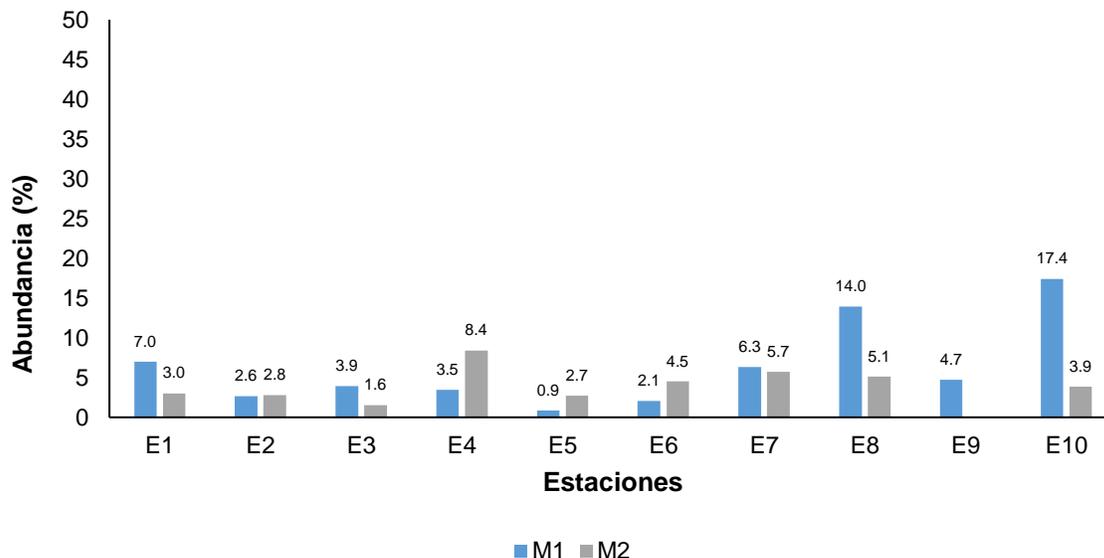
Tabla 129. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.1.4. Distribución Temporal

Se evaluaron dos periodos de muestreo, donde se registraron macroinvertebrados acuáticos en las diez estaciones monitoreadas, de las cuales E1, E8 y E10 son las más abundantes en el primer muestreo y para el segundo fueron E4, E7 y E8 (Figura 189). El primer muestreo registró la mayor

abundancia con 10011 organismos (62.3%), mientras que en el segundo se colectaron 6050 organismos (37.7%). el análisis de Kruskal-Wallis no evidencio diferencias entre las abundancias de los periodos evaluados ($p= 0.1$).

En cuanto a la distribución temporal de los géneros de macroinvertebrados acuáticos, 60 de ellos fueron colectados en ambas temporadas de muestreo, no obstante, se registran los taxones *Bledius*, *Derallus*, *Hexacylloepus*, *Hexanchorus*, *Holcelmis*, *Phanocerus*, *Atrichopogon*, *Chelifera*, *Ephydridae*, *Limonicola*, *Elasmothemis*, *Sympetrum*, *Leucotrichia* y *Neotrichia* para el primer muestreo y *Oniscus*, *Stegoelmis*, *Sylviocarcinus*, *Zelus*, *Hebrus* y *Nerthra* para el segundo.



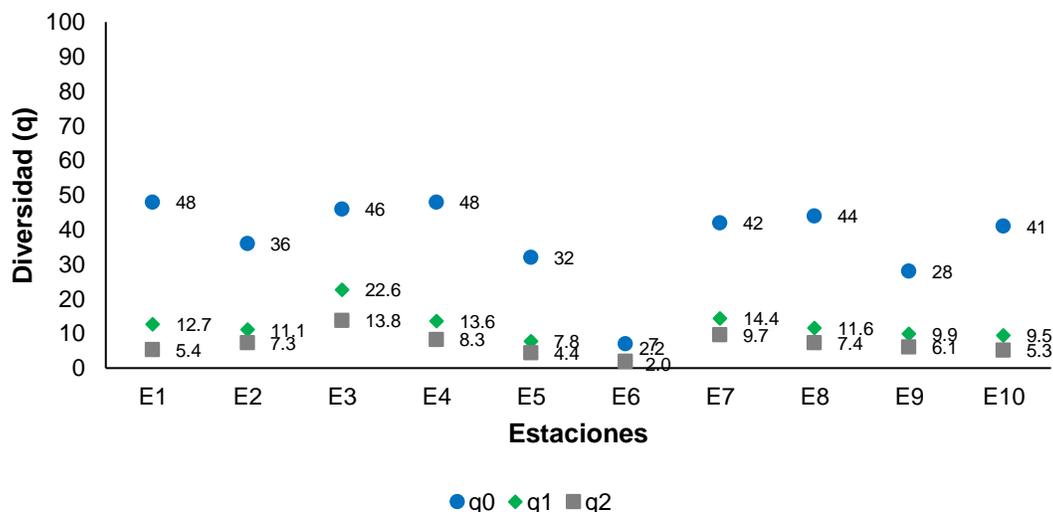
Convenciones: **E1:** Q. Las Cruces; **E2:** Q. Portachuelo **E2;** **E3:** Portachuelo E1; **E4:** Portachuelo E3; **E5:** Q. Cajones E1; **E6:** Cajones E2; **E7:** Río Roble E2; **E8:** Roble E3; **E9:** Roble E4; **E10:** Roble E5.

Figura 189. Abundancia por muestreos en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.1.5. Diversidad

A nivel general, la riqueza específica (0D) oscilo entre 7 y 48 géneros, donde las estaciones E1 (Cajones), E4 (Portachuelo E3) (48 géneros, respectivamente) y E3 (Portachuelo E1) (46 géneros) presentan los valores más altos, los cuales muestran un gran contraste con la estación E6 (Cajones E2) (7 géneros) con el valor más bajo.

A partir del número de taxones típicos o comunes ($1D$) se observa que los valores oscilan entre 2.2 y 22.6, los valores más altos se registran en E3 (22.6 géneros), E7 (14.4 géneros) y E4 (13.6 géneros) y el menor valor nuevamente se ubica en E6 (2.2 géneros). Por último, con respecto a la dominancia (2D) se repite el patrón de mayores valores en E3 (13.8 géneros), E7 (9.7 géneros) y E4 (8.3 géneros), mientras que el más bajo se muestra en E6 (2 géneros) (Figura 190).



Convenciones: **E1:** Q. Las Cruces; **E2:** Q. Portachuelo **E2;** **E3:** Portachuelo E1; **E4:** Portachuelo E3; **E5:** Q. Cajones E1; **E6:** Cajones E2; **E7:** Río Roble E2; **E8:** Roble E3; **E9:** Roble E4; **E10:** Roble E5.

Figura 190. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos registrados en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.1.5.1. Diversidad en las estaciones del río Roble

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones del río Roble, se puede establecer que los valores de riqueza más altos (⁰D) en las estaciones E7, E8 y E10, son muy similares y no parece que existan diferencias en la composición de ellas, se hallaron entre 41 y 43 taxones en cada una, por otro lado, la estación E9 registro un valor bajo (28 géneros), cabe aclarar que esta estación solo fue muestreada en un periodo de muestreo (Figura 191a).

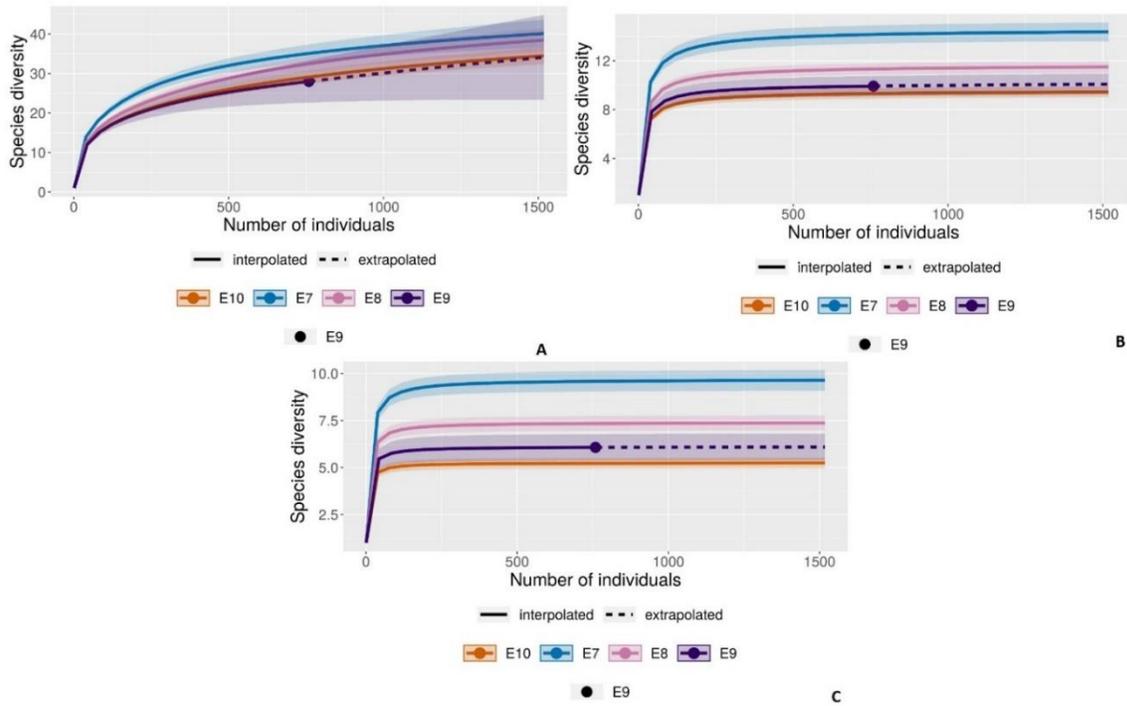
Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (¹D), indican un valor más alto en la estación E7 (9.7 géneros), y una posible diferencia con las demás estaciones, contrario a esto las estaciones E9 (9.9 géneros) y E10 (9.5 géneros), presentaron los más bajos (Figura 191b).

Por último, de acuerdo con el número de taxones dominantes (²D), se observa un comportamiento similar al obtenido del q1 donde la estación E7 (9.7 especies) registra el valor más alto, respecto a las estaciones E9 y E10, en las cuales solo se hallaron 5 géneros en cada una (Figura 191c).

1.9.3.1.5.2. Diversidad en las quebradas Portachuelo y Cajones

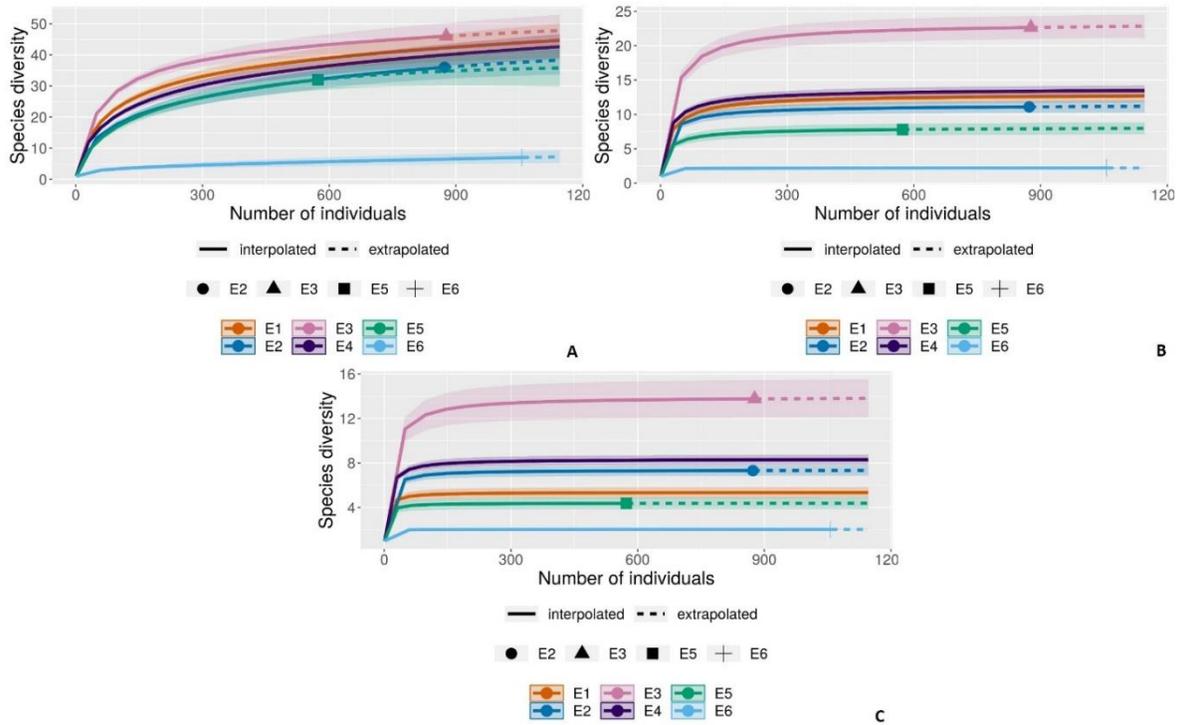
Según la extrapolación del número de especies (⁰D) en las quebradas evaluadas, se determinó que las estaciones E1 (Las Cruces) y E4 (Portachuelo E3) presentaron los valores más altos de riqueza con 48 géneros cada una, en comparación con la estación E6 (Cajones) con 7 géneros, la cuales presento los valores más bajos (Figura 192a).

Respecto al número de géneros típicos (¹D), se observa que la estación E3 (q. Portachuelo E1) presenta el mayor registro con 22.6 géneros, contrario a esto las estaciones de la quebrada Cajones E5 (7.8 géneros) y E6 (2 géneros) presentaron los valores más bajos (Figura 192b). En cuanto al número de géneros dominantes (²D), la estación E3 (quebrada Portachuelo E1) registra el valor más alto (13.8 géneros) y el más bajo se observa en estación E6 (Cajones E2) donde se hallaron únicamente 2 géneros (Figura 192c).



Convenciones: **E7**: Río Roble E2; **E8**: Roble E3; **E9**: Roble E4; **E10**: Roble E5.

Figura 191. Extrapolación del número efectivo de especies en las estaciones del río Roble.



Convenciones: **E1**: Q. Las Cruces; **E2**: Q. Portachuelo **E2**; **E3**; Portachuelo E1; **E4**: Portachuelo E3; **E5**: Q. Cajones E1; **E6**: Cajones E2.

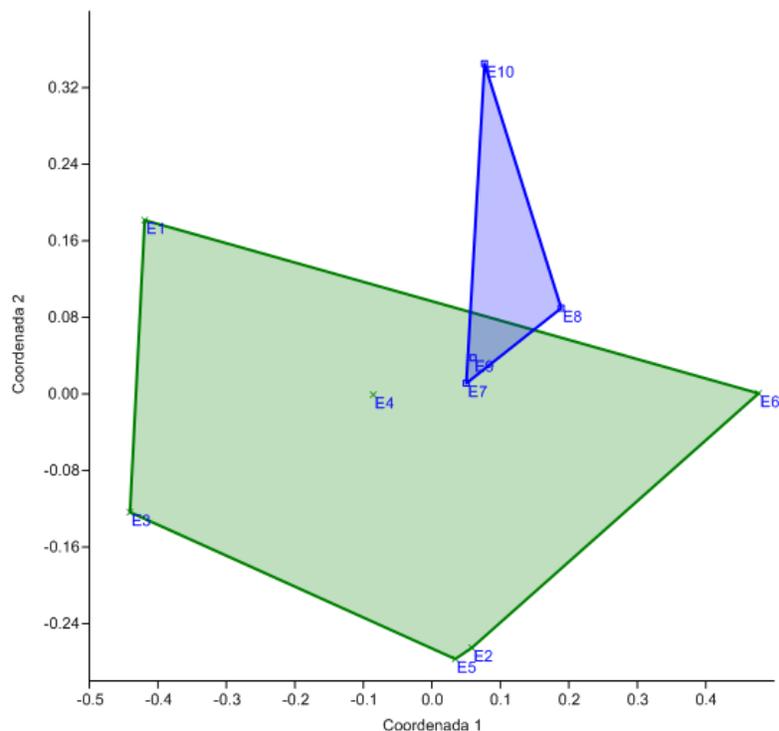
Figura 192. Extrapolación del número efectivo de especies en las quebradas evaluadas.

1.9.3.1.6. Ensamblaje de especies

Los resultados del análisis EMNM teniendo en cuenta la abundancia de los géneros (Bray-Curtis) en cada una de las estaciones, no muestra agrupamientos definidos entre el río Roble y las quebradas (estrés= 0.20) (Figura 193). El diagrama muestra que las estaciones del río Roble tienden a agruparse, por lo que se asume que son muy similares en cuanto a composición taxonómica, por otra parte, las estaciones de las quebradas si muestran una gran disimilitud entre ellas.

Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallan diferencias estadísticamente significativas entre los tributarios y río Roble ($p= 0.5$).

las diferencias que se observan entre los grupos evaluados obedecen a la presencia de taxones exclusivos, para las estaciones del río Roble, los géneros *Elasmothermis*, *Hemerodromia*, *Leucotrichia*, *Melanoides*, *Neotrichia*, *Sympetrum* y *Traverella* y para las quebradas los géneros *Atrichopogon*, *Chelifera*, *Cora*, *Derallus*, *Ephydridae*, *Farrodes*, *Helobdella*, *Hexacylloepus*, *Hexanchorus*, *Holcelmis*, *Limonicola*, *Molophilus*, *Nerthra*, *Oniscus*, *Phanocerus*, *Psychoda* y *Silviocarcinus*.



Convenciones: E1: Q. Las Cruces; E2: Q. Portachuelo E2; E3: Portachuelo E1; E4: Portachuelo E3; E5: Q. Cajones E1; E6: Cajones E2; E7: Río Roble E2; E8: Roble E3; E9: Roble E4; E10: Roble E5.

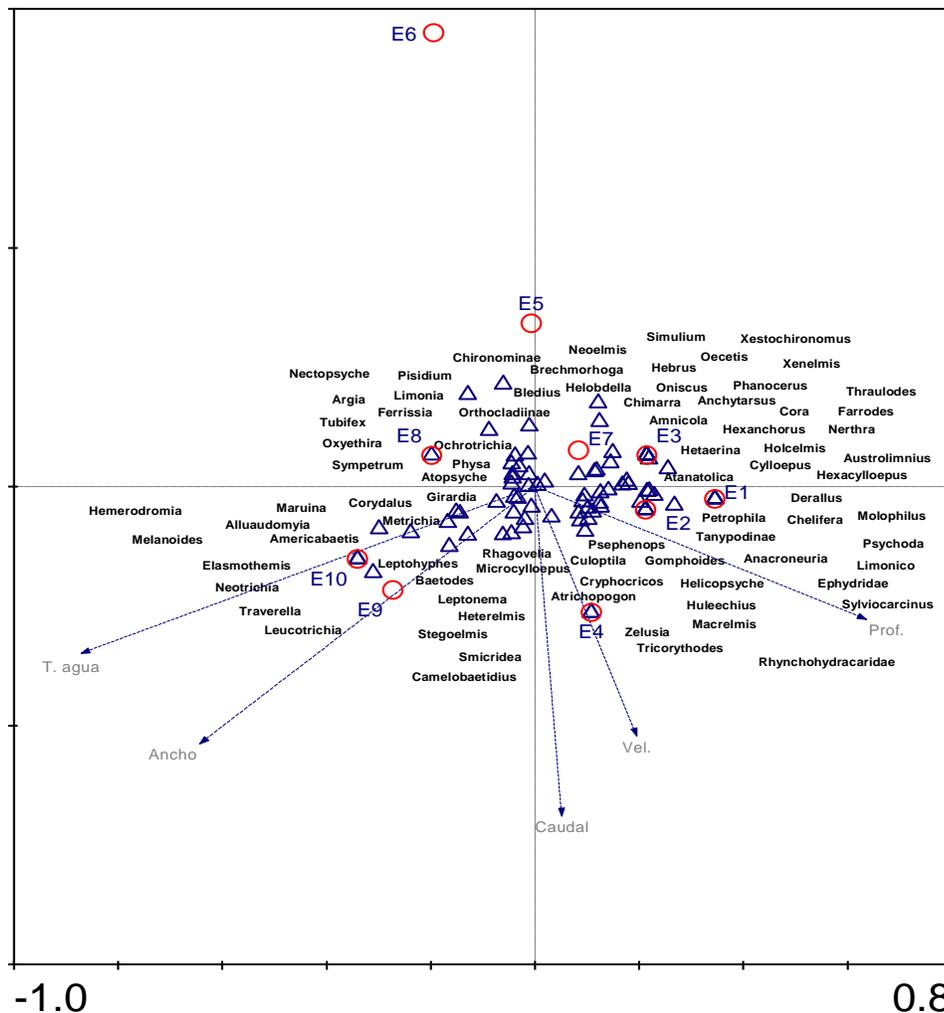
Figura 193. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.1.7. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, solo la temperatura del agua presenta diferencias estadísticamente significativas. Las variables que tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos fueron el ancho y el caudal (Figura 194).

En general no se encuentran asociaciones claras entre los taxones registrados y las estaciones y variables evaluadas, se observa que la mayoría de las localidades se encuentran muy cercanas, al igual que los géneros, esto indica que la composición en estas zonas es altamente similar, existen algunos casos atípicos como la estación E6, que se separa completamente de las demás, dado que presenta una baja cantidad de taxones asociados. Las variables físicas muestran cierta asociación positiva con algunas estaciones, la temperatura se asocia directamente con la estación E10, el ancho con la E9, la velocidad de corriente con la E4 y la profundidad con la E2.

Por otro lado, algunas estaciones presentan algunas asociaciones específicas con los macroinvertebrados acuáticos como son el caso de E1, E2, E3, E4, E8 y E10, que es donde se ubican los géneros exclusivos *Elasmothermis*, *Hemerodromia*, *Leucotrichia*, *Melanoides*, *Neotrichia*, *Sympetrum*, *Traverella*, *Atrichopogon*, *Chelifera*, *Cora*, *Derallus*, *Ephydriidae*, *Farrodes*, *Helobdella*, *Hexacylloepus*, *Hexanchorus*, *Holcelmis*, *Limonicola*, *Molophilus*, *Nerthra*, *Oniscus*, *Phanocerus*, *Psychoda* y *Silviocarcinus*.



Convenciones: E1: Q. Las Cruces; E2: Q. Portachuelo E2; E3: Portachuelo E1; E4: Portachuelo E3; E5: Q. Cajones E1; E6: Cajones E2; E7: Río Roble E2; E8: Roble E3; E9: Roble E4; E10: Roble E5.

Figura 194. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables físicas y la abundancia de los macroinvertebrados acuáticos registrados en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.1.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones E1, E2, E3, E4, E5, E7, E8, E10 presentan una calidad buena de agua durante los dos periodos de muestreo, mientras que E6 cuentan con una calidad de agua muy crítica en ambos periodos (Tabla 130).

| Estación | M1 | Calidad | M2 | Calidad |
|----------|-----|-------------|-----|-------------|
| E1 | 168 | Buena | 174 | Buena |
| E2 | 117 | Buena | 129 | Buena |
| E3 | 175 | Buena | 160 | Buena |
| E4 | 127 | Buena | 158 | Buena |
| E5 | 116 | Buena | 142 | Buena |
| E6 | 9 | Muy Crítica | 16 | Muy Crítica |
| E7 | 152 | Buena | 142 | Buena |
| E8 | 151 | Buena | 128 | Buena |
| E9 | 108 | Buena | * | No evaluada |
| E10 | 160 | Buena | 101 | Buena |

Convenciones: E1: Q. Las Cruces; E2: Q. Portachuelo E2; E3: Portachuelo E1; E4: Portachuelo E3; E5: Q. Cajones E1; E6: Cajones E2; E7: Río Roble E2; E8: Roble E3; E9: Roble E4; E10: Roble E5.

Tabla 130. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.3.2. Discusión del estado y composición de Macroinvertebrados

En cuanto la representatividad del muestreo, según los resultados obtenidos durante los dos periodos evaluados se han registrado un alto número de taxones pertenecientes a macroinvertebrados acuáticos presentes en la cuenca del río Roble del departamento del Quindío, lo cual indica una alta eficiencia durante las colectas (Brower et al., 1997), sin embargo, se trata de una comunidad diversa y sumamente abundante, lo cual indica que aún es necesario continuar muestreando para alcanzar la asíntota, que, según los valores obtenidos de los súper duplicados (Chao et al., 2017) permanecen sin detectar el 9.7% de los taxones que equivaldrían a 8.6 géneros. Por último, estos valores deben considerarse con cautela debido a que son dependientes del tamaño de la muestra, del método de colecta y de la resolución taxonómica empleada, por lo tanto, puede no reflejar la realidad total de la fauna de macroinvertebrados en el departamento del Quindío.

Respecto a la composición, todos los organismos colectados se encuentran reportados para la región Andina Colombiana (SIB, 2019) y para esta misma cuenca (CRQ, 2018). Se registran como los más abundantes los órdenes Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera que en general son los más diversos, cosmopolitas y persistentes en el tiempo, presentan una gran variedad de adaptaciones físicas y etológicas, que les permite explotar los recursos y colonizar los hábitats disponibles (Vásquez y Reinoso, 2012).

Por su parte los órdenes que presentaron menor abundancia se caracterizan por estar pobremente representados en las colectas, dado que sus miembros son de comportamiento activo, siempre en busca de presas, esta movilidad dificulta la colecta por los métodos empleados, que aunque son eficientes pueden subestimar la diversidad y abundancia de este tipo de organismos, además muchos de los órdenes encontrados presentan cierta sensibilidad a los cambios ambientales y modificación en las condiciones fisicoquímicas del agua producto de actividades naturales y artificiales (Domínguez y Fernández, 2009).

En cuanto a los géneros registrados como los más abundantes, son organismos bastante comunes, que en presencia de factores benéficos pueden incrementar su tamaño poblacional, los chironomidos son generalistas, eurioicos, cosmopolitas y muy resistentes, por lo que son generalmente los organismo dominante en las colectas de macroinvertebrados, por otro lado *Leptohyphes* presenta diversas adaptaciones anatómicas que le permiten habitar en cualquier microhábitat de tipo inorgánico y compensar la fuerza del caudal (Adler, Curry y Wood, 2004).

Por otro lado, la gran cantidad de géneros con poca abundancia son indicativos de una lata heterogeneidad en la distribución de las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos, además que los ecosistemas evaluados poseen recursos suficientes para mantener una fauna tan variada como lo es este grupo taxonómico (Posada y Roldan, 2008; Domínguez y Fernández, 2009).

En cuanto a la composición del río Roble se observa una gran cantidad de taxones registrados, además que se presentó la mayor abundancia en estas estaciones, los géneros más relevantes son generalistas y sobreviven en ecosistemas conservados y degradados, cabe resaltar que este río, presenta fuertes afectaciones a lo largo de sus cauce dentro de las que se incluye, recepción de residuos domésticos, industriales y agrícolas, uso de algunas zonas para actividades turísticas, recreativas, explotación minera, entre otras (CRQ, 2018), estas acciones constituyen fuertes barreras que limitan drásticamente el desarrollo de estos organismos que en su mayoría son estadios inmaduros en pleno desarrollo y que son sensibles a los cambios de las condiciones del medio en el que habitan (Roldan, 2003), sin embargo los organismos de esta comunidad son importantes precursores en la degradación de materia orgánica, lo cual en cierta medida beneficia su desarrollo, lo que se refleja en una mayor resiliencia en el ecosistema, que a pesar de estar impactado (Tamariz et al., 2013).

En los tributarios se presentó mayor cantidad de taxones, pero menor abundancia de ellos, esto se debe a que las localidades son ecosistemas independientes con poca conectividad entre sí, por lo que cada una tiene tensores particulares que afectan directamente a la fauna que allí habita (Gutierrez et al., 2006). Para los casos de las quebradas Las Cruces y Portachuelo, son ecosistemas conservados, que presentan pocas afectaciones drásticas, cuentan con un importantes elementos estructurales de hábitat que proporcionan cuantiosos recursos que permiten el desarrollo de múltiples taxones, sin embargo un caso contrario es la quebrada Cajones, este ecosistema se encuentra fuertemente perturbado, donde solo sobreviven animales adaptados a cambios drásticos y contaminación severa (Domínguez y Fernández, 2009).

Se observa que la abundancia fue mayor en las estaciones del río Roble que en sus tributarios, por otro lado se evidencian fuertes alteraciones que ponen en riesgo la supervivencia de las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos que allí habitan, con especial atención en la estación E6, en esta quebrada (Cajones E2) son notorios los efectos de la recepción de aguas servidas del

municipio de Circasia, en esta localidad únicamente se hallaron chironomidos y tubificidos que son indicadores de una calidad crítica de agua (Roldan, 2003).

Respecto a la distribución temporal, se observaron cambios en la abundancia en los dos periodos de colecta, durante el primer muestreo los caudales en todas las estaciones fueron bajos, durante este periodo había mayor heterogeneidad espacial, lo cual permitió la colecta de un mayor número de organismos y mayor cantidad de taxones diferentes, para el segundo los caudales eran considerablemente mayores, lo cual dificultó la colecta, dado que, durante los periodos de inundación, la fuerza del caudal obliga a los macroinvertebrados bentónicos a derivar, redistribuyendo las poblaciones y reduciendo las abundancias en las zonas evaluadas (Junk et al., 1989; Tamariz et al., 2013).

La diversidad medida en las estaciones evaluadas es relativamente alta comparada con otras zonas similares, en especial en cuencas de similar porte en el departamento y en general la región andina, este río y sus tributarios cuentan con algunas propiedades estructurales que le permiten mantener una alta diversidad de géneros, entre ellas destacan un bosque ripario bien conservado, abundante flujo de material aloctono como hojarasca, flujo de agua continuo, baja sedimentación, entre otros, estos factores son benéficos para el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Hanson et al., 2010; Hamada et al., 2014).

En el río Roble la diversidad más alta se asocia a los sitios más alejados de los focos de intervención antrópica, en estas zonas el caudal es alto, presenta gran variedad de sustratos y por efecto del transporte de biomasa desde los tributarios, se registran estos valores (Gamboa et al., 2008). Por otro lado, la estación E9, se ubica en el municipio de Montenegro, en esta zona son evidentes los focos de contaminación e intervención, en este lugar existen puntos de descarga de aguas grises y se extrae arena, estas actividades suponen fuertes limitantes que reducen los taxones a únicamente los más tolerantes (Roldan y Ramírez, 2008).

En el caso de las quebradas Las cruces y Portachuelo, se encuentran bien conservadas y las condiciones ambientales en estos puntos son benéficas para el desarrollo de la comunidad en general, además es allí donde se encuentra el número más alto de taxones raros y de alto valor de Bioindicación (Roldan, 2003). Para el caso de la quebrada Cajones, ambas estaciones se encuentran impactadas por procesos antropogénicos, en la primera, se ubica una bocatoma, que limita la deriva de organismos y produce un aislamiento de las poblaciones y para la segunda el vertimiento de los desechos de la ciudad de Circasia, ponen en evidencia una muy fuerte degradación de este ecosistema, en ese sitio tan solo se hallan organismos tolerantes como Chironomidae y Naididae (Posada y Roldan, 2008).

Los resultados arrojados por el ANOSIM corresponden a la conectividad de los ecosistemas, de este modo, que las estaciones del río se encuentren cercanas en composición, obedece a que el río es un ecosistema continuo que, por efecto del caudal, desplaza continuamente las poblaciones de las zonas altas a las bajas, razón por la cual existe mayor similitud entre estas estaciones (Flecker y Feifarek, 1994).

Por otro lado, las quebradas muestran un gran distanciamiento en la composición de organismos, dado que son ecosistemas independientes que no interactúan entre sí, las similitudes están determinadas por las condiciones ambientales que poseen, de este modo, las condiciones

ecológicas similares, contribuyen al desarrollo de una biota similar, sin embargo, es necesario tener en cuenta los tensores naturales y artificiales que afectan cada ecosistema (Merritt et al., 2008). Cada quebrada tiene factores internos y externos que permiten el desarrollo y la supervivencia de una biota particular, razón por la cual es poco probable que se encuentren parecidos entre ellas (Robinson et al., 2003).

El ACC conjunto con variables físicas muestra que la temperatura y el caudal son factores determinantes en la configuración de los organismos. La temperatura del agua es importante para el intercambio gaseoso y para el desarrollo de animales poiquiloterms, mientras que el caudal incide en el desplazamiento de los organismos y el transporte de nutrientes (Ramírez y Viña, 1998; Domínguez y Fernández, 2008). Sin embargo, para el caso del río Roble y sus tributarios no es posible determinar un efecto directo de estas variables sobre la disposición de los organismos en los ecosistemas, para estos casos es necesario tener información de variables químicas que afectan a nivel fisiológico al organismo y pueden ser determinantes en estas cuencas con fuertes intervenciones de tipo orgánico (Roldan y Ramírez, 2008, Elozegi, 2009).

El BMWP/Col Indica que la mayoría de las estaciones de muestreo tiene una calidad de agua poco intervenida (Roldan, 2003). Las estaciones evaluadas generalmente se ven más afectadas por el efecto de las actividades de urbanización y agricultura, principalmente por el vertimiento de aguas grises, y la captación de agua, además, la influencia del pulso de inundación presenta un efecto abrumador sobre la posición de las poblaciones, lo cual da como resultado fuertes tensiones para la supervivencia de los organismos (Gutiérrez, Riss y Ospina, 2006).

Sin embargo, la fauna que habita estos ecosistemas presenta estrategias que les permite mitigar estos efectos y mantener estables sus poblaciones. A pesar de la evidente degradación de los ecosistemas, los macroinvertebrados son importantes actores en los procesos de reciclaje de nutrientes y descomposición de la materia orgánica, en algunos casos eventos por contaminación orgánica tienden a aumentar las poblaciones de algunos organismos, en especial los detritívoros, que son la mayor parte de la comunidad de invertebrados (Medianero y Samaniego, 2004).

Los órdenes Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera presentaron la mayor abundancia y por tanto constituyen el componente principal de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Roble y sus tributarios. Esto se debe a que son órdenes diversos, abundantes, generalistas y cosmopolitas que se ven poco afectados por las modificaciones ambientales.

En cuanto al ensamblaje de organismos, se denota que la composición taxonómica de géneros es parcialmente diferente entre las estaciones del río y los tributarios, ya que se trata de ecosistemas diferentes, los organismos que allí habitan estarán condicionados por los recursos que oferta cada uno de ellos y las tensiones ocasionadas por factores antrópicos o naturales.

El ACC para el río Roble y tributarios no arroja evidencia de que ninguna de las variables evaluadas tenga un efecto significativo, se recomienda continuar con los monitoreos sobre este cuerpo de agua y adicionalmente efectuar el análisis químico, que permita establecer las condiciones a las que están sometidos los macroinvertebrados acuáticos.

El índice BMWP/Col muestra que la mayoría de las estaciones tiene calidad de agua buena, debido a la existencia de organismos bioindicadores que permiten establecer que al parecer en las zonas

evaluadas existen mecanismos naturales de mitigación de los efectos de las actividades antropogénicas.

1.9.4. Análisis de calidad por Ictiofauna

1.9.4.1. Resultados de los monitoreos

1.9.4.1.1. Representatividad

De acuerdo con lo obtenido por la curva de acumulación de especies en los muestreos realizados en la cuenca del río Roble y sus principales tributarios, los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, las especies observadas representan el 66.48% y 71.42% respectivamente, de las especies esperadas, valores que permiten establecer que hubo una buena eficacia y representatividad del muestreo, a pesar de las lluvias y el incremento en el caudal de los cuerpos de agua (Figura 195).

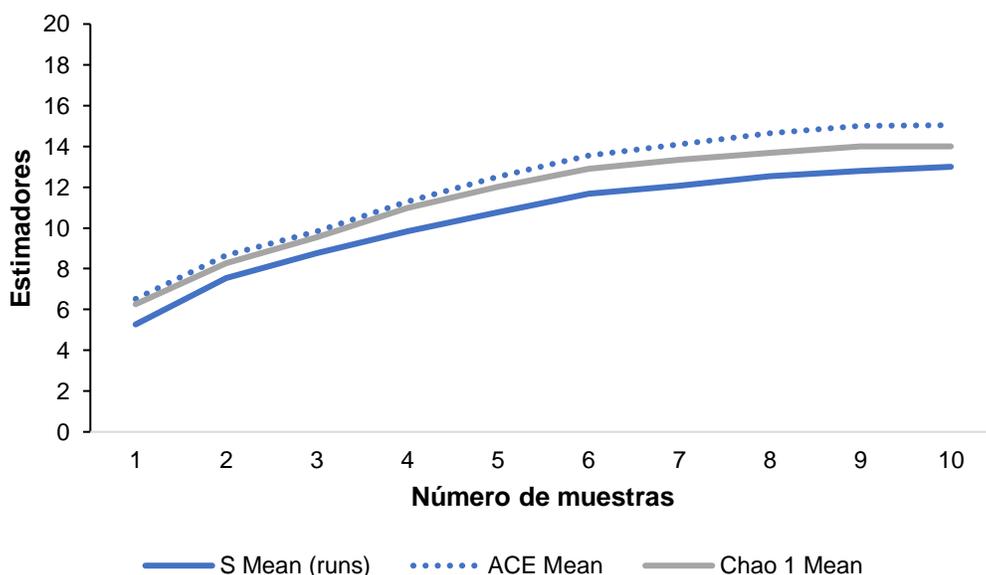


Figura 196. Curva de acumulación de las especies colectadas en el río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.2. Composición general de especies

De manera general se colectaron 432 individuos, pertenecientes a dos órdenes, seis familias, 12 géneros y 13 especies. El orden más abundante estuvo representado por Characiformes (233 individuos, 53.94%), seguido de Siluriformes (199 individuos, 46.06%).

Respecto a las familias, Characidae fue la más abundante (150 individuos, 34.72%), seguida de Bryconidae (83 individuos, 19.21%), contrario a esto, Heptapteridae (63 individuos, 14.58%), Astroblepidae (60 individuos, 13.89%), Trichomycteridae (53 individuos, 12.27%) y Loricariidae (23 individuos, 5.32%) fueron las menos abundantes.

En cuanto a las especies, *Hemibrycon palomae* (107 individuos, 24.77%), *Brycon henni* (83 individuos, 19.21%), *Cetopsorhamdia boquillae* (63 individuos, 14.58%) y *Trichomycterus chapmani* (53 individuos, 12.27%) fueron las más abundantes representando más del 70% del total de las especies (Figura 197), por otra parte, *Hemiancistrus wilsoni* y *Sturisomatichthys leightoni* fueron las menos abundantes representadas por 1 solo individuo.

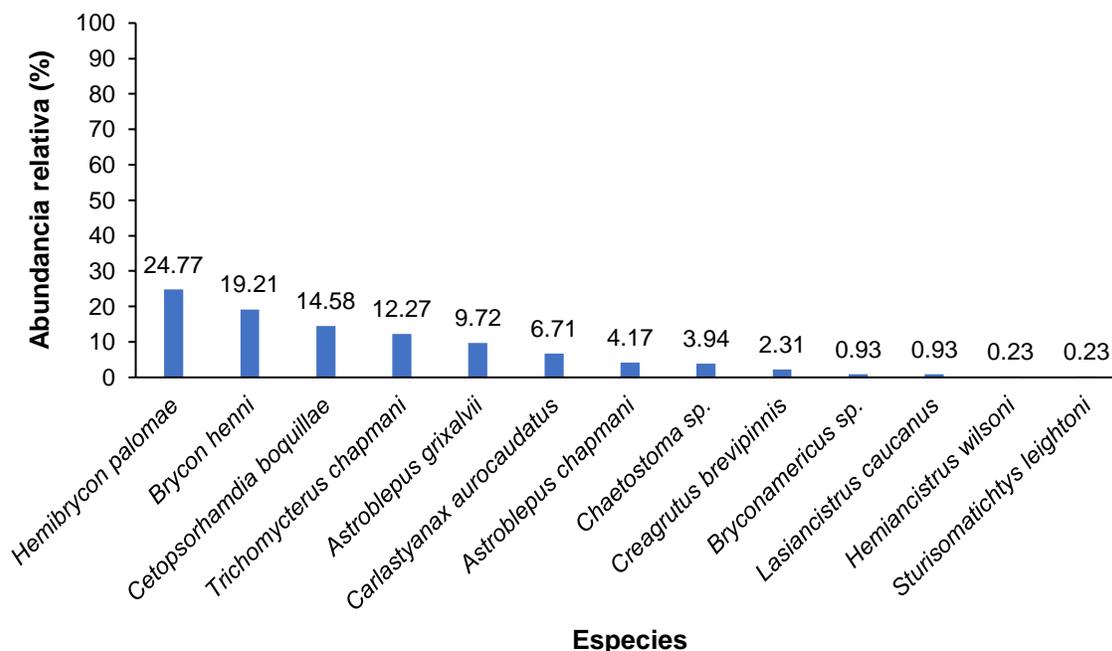


Figura 197. Abundancia relativa de las especies presentes en el río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.3. Composición por tipo de hábitats

1.9.4.1.3.1. Río Roble

En las estaciones del río, fueron colectados 177 individuos, pertenecientes a dos órdenes, seis familias, 12 géneros y 13 especies. Characiformes fue el más abundante con 58.76%, contrario a esto, Siluriformes fue el menos abundante con 41.24%. Respecto a las familias, Bryconidae (55 individuos, 31.07%) y Characidae (49 individuos, 27.68%) fueron las más abundantes, representando más del 50% del total de la abundancia relativa; por otra parte, Trichomycteridae (26 individuos, 14.69%), Heptapteridae (25 individuos, 14.12%), Loricariidae (13 individuos, 7.34%) y Astrolepididae (9 individuos, 5.08%) fueron las menos abundantes durante el muestreo.

Respecto a las especies, *B. henni* (55 individuos, 31.07%), *H. palomae* (28 individuos, 15,82%), *T. chapmani* (26 individuos, 14.69%) y *C. boquillae* (25 individuos, 14.12%), fueron las más abundantes, representando el 75.71% del total. Las menos abundantes y representadas por un solo individuo fueron, *A. chapmani*, *H. wilsoni* y *S. leightoni* (Figura 198).

Es de resaltar que *H. wilsoni*, *S. leightoni*, *L. caucanus*, *C. brevipinnis* y *Bryconamericus sp.*, fueron colectadas exclusivamente en las estaciones del río Roble, y no en sus tributarios.

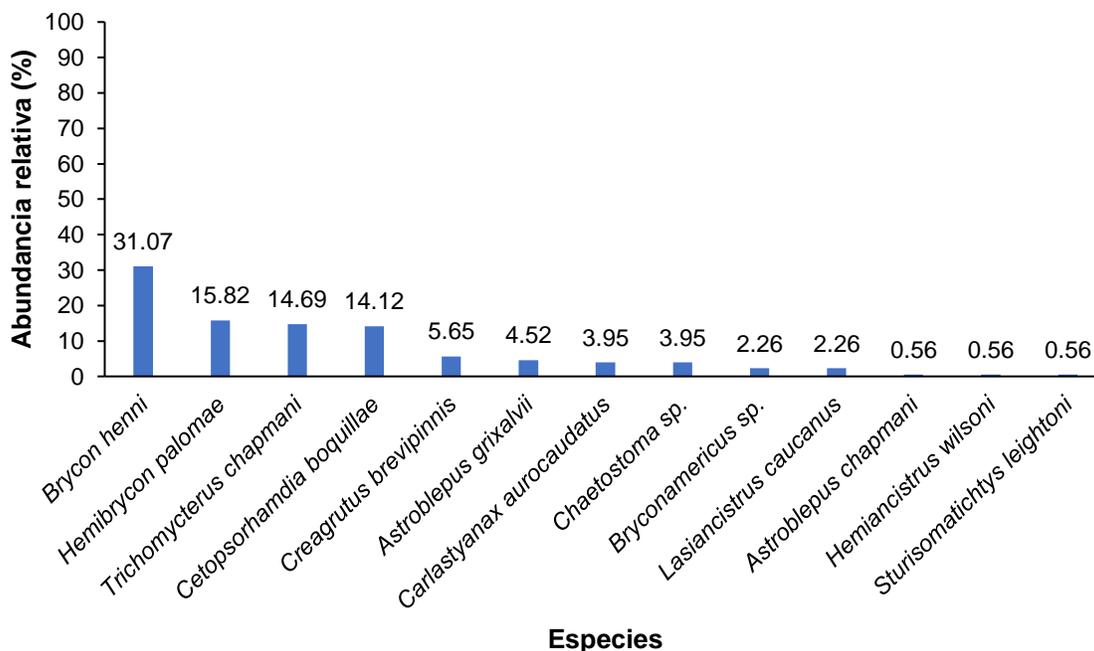


Figura 198. Abundancia relativa de las especies presentes en las estaciones de muestreo del río Roble.

1.9.4.1.3.2. Quebradas Portachuelo y Cajones

De manera general, en las estaciones de las quebradas evaluadas, fueron colectados 255 individuos correspondientes a dos órdenes, seis familias, siete géneros y ocho especies. Characiformes nuevamente fue el más abundante (129 individuos, 50.59%), seguido por Siluriformes (126 individuos, 49.41%).

Respecto a las familias, Characidae (101 individuos, 39.61%), Astrobalepidae (51 individuos, 20%) y Heptapteridae (38 individuos, 14.9%) fueron las más abundantes; contrario a esto, Bryconidae (28 individuos, 10.98%), Trichomycteridae (27 individuos, 10.59%) y Loricariidae (10 individuos, 3.92%) fueron las menos abundantes en los tributarios del río Roble.

En cuanto a las especies, *H. palomae* (79 individuos, 30.98%), *C. boquillae* (38 individuos, 14.9%) y *A. grimalvii* (34 individuos, 13.33%) fueron las más abundantes, representando más del 60% del total. Las menos abundantes estuvieron representadas por *Chaetostoma sp.* (10 individuos, 3.92%), *A. chapmani* (17 individuos, 6.67%) y *C. aurocaudatus* (22 individuos, 8.63%) (Figura 199).

1.9.4.1.4. Composición por muestreos

1.9.4.1.4.1. Primer muestreo

Durante el primer muestreo se colectaron 310 individuos, pertenecientes a dos órdenes, seis familias, 12 géneros y 11 especies. El orden más abundante estuvo representado por Characiformes (176 individuos, 56.77%), seguido de Siluriformes (134 individuos, 43.23%).

Characidae fue la familia más abundante (119 individuos, 38.39%), seguida de Bryconidae (57 individuos, 18.39%) y Astroblepidae (49 individuos, 15.81%); contrario a esto, Trichomycteridae (34 individuos, 10.97%), Loricariidae (32 individuos, 10.32%) y Heptapteridae (19 individuos, 6.13%), fueron las menos abundantes.

En cuanto a las especies, *H. palomae* (98 individuos, 31.61%), *B. henni* (57 individuos, 18.39%), *C. boquillae* (49 individuos, 15.81%) y *T. chapmani* (34 individuos, 10.97%) fueron las más abundantes representando más del 70% del total de las especies (Figura 200).

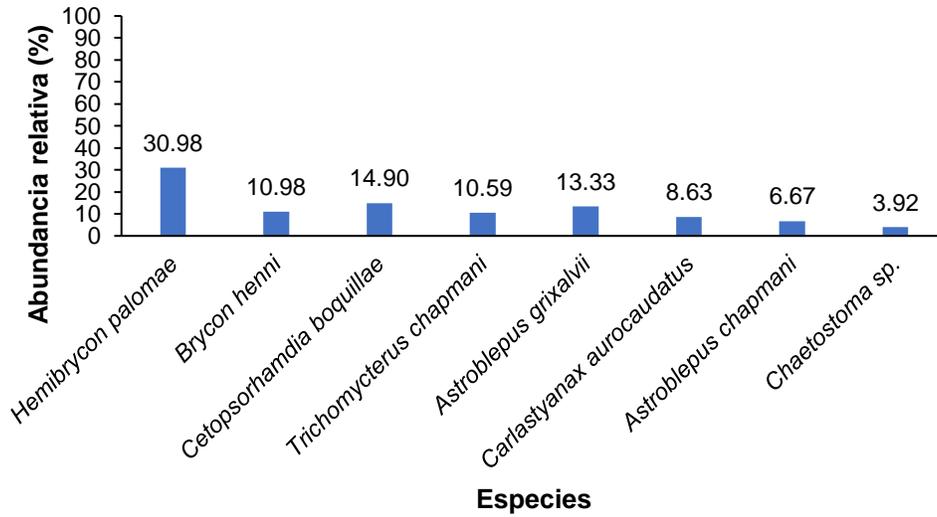


Figura 199 Abundancia relativa de las especies presentes en las estaciones de muestreo ubicadas en las quebradas de la cuenca del río Roble.

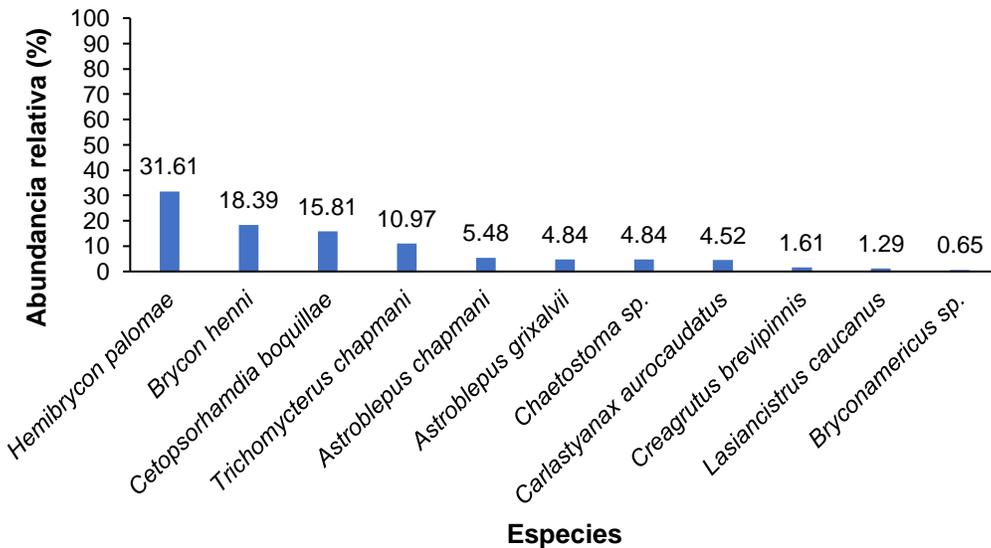


Figura 200. Abundancia relativa de las especies presentes en el río Roble y sus tributarios, durante el primer muestreo.

1.9.4.1.4.2. Segundo muestreo

Durante el segundo muestreo fueron colectados 122 individuos, pertenecientes a dos órdenes, seis familias, 12 géneros y 12 especies. El orden más abundante estuvo representado por Siluriformes (65 individuos, 53.28%), seguido de Characiformes (57 individuos, 46.72%).

Respecto a las familias, Characidae fue la más abundante (31 individuos, 25.41%), seguida de Loricariidae (28 individuos, 22.95%) y Bryconidae (26 individuos, 21.31%); contrario a esto, Heptapteridae (4 individuos, 3.28%) fue la menos abundante.

En cuanto a las especies, *Astroblepus grivalvii* (27 individuos, 22.13%), *Brycon henni* (26 individuos, 21.31%), *Trichomycterus chapmani* (19 individuos, 15.57%) fueron las más abundantes representando más del 50% del total de las especies (Figura 201), por otra parte, *Astroblepus chapmani*, *Hemiancistrus wilsoni* y *Sturisomatichthys leightoni* fueron las menos abundantes representadas por 1 solo individuo.

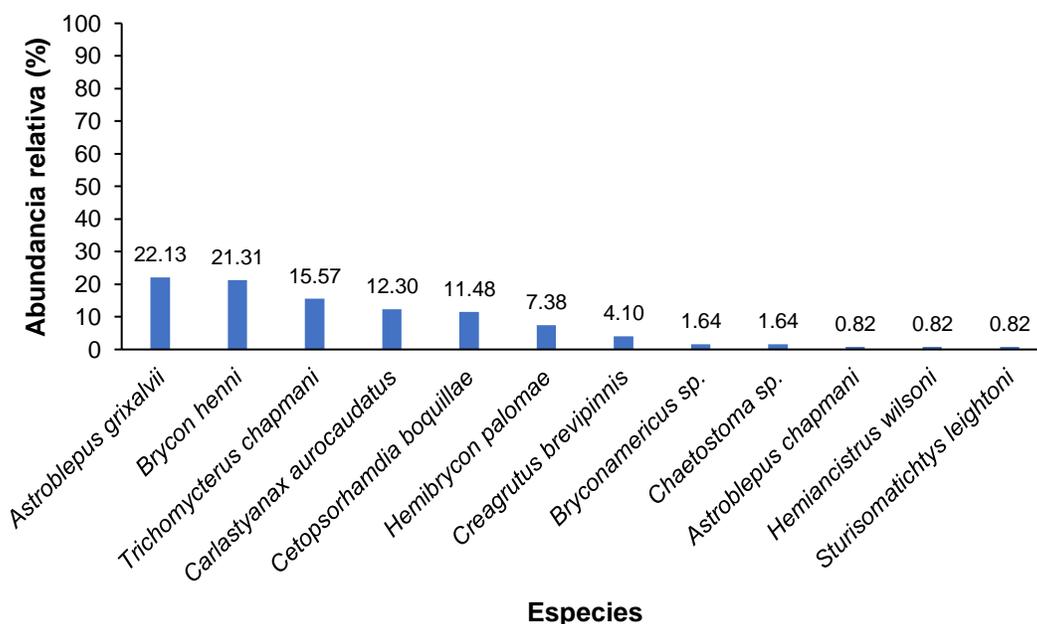


Figura 201. Abundancia relativa de las especies colectadas en el río Roble y sus tributarios, durante el segundo muestreo.

1.9.4.1.5. Números de Hill o números efectivos de especies

1.9.4.1.5.1. General

A partir de la extrapolación del número de especies (⁰D) a nivel general, se determinó que las estaciones 3 (8 spp.), 4 (7 spp.) y 5 (9 spp.) del río Roble, junto con la estación 3 de la quebrada Portachuelo (7 spp.), concentran los valores más elevados de riqueza. En contraste, las estaciones de la quebrada Cajones presentaron los valores más bajos Figura 202 y Figura 203a).

A partir del número de especies típicas o comunes (¹D) se evidenció que nuevamente las estaciones 3 (6 spp.) y 5 (7 spp.) del río Roble y la estación 3 de la quebrada Portachuelo (6 spp.), obtuvieron los mayores registros, los valores más bajos fueron observados en las estaciones de

la quebrada Cajones (Figura 202y Figura 203b). Con respecto al número de especies dominantes (²D), las estaciones 3 y 5 del río Roble y las estaciones 1 y 3 de la quebrada Portachuelo presentaron los valores más elevados, cada una de ellas con 5 especies (Figura 202 y Figura 203c).

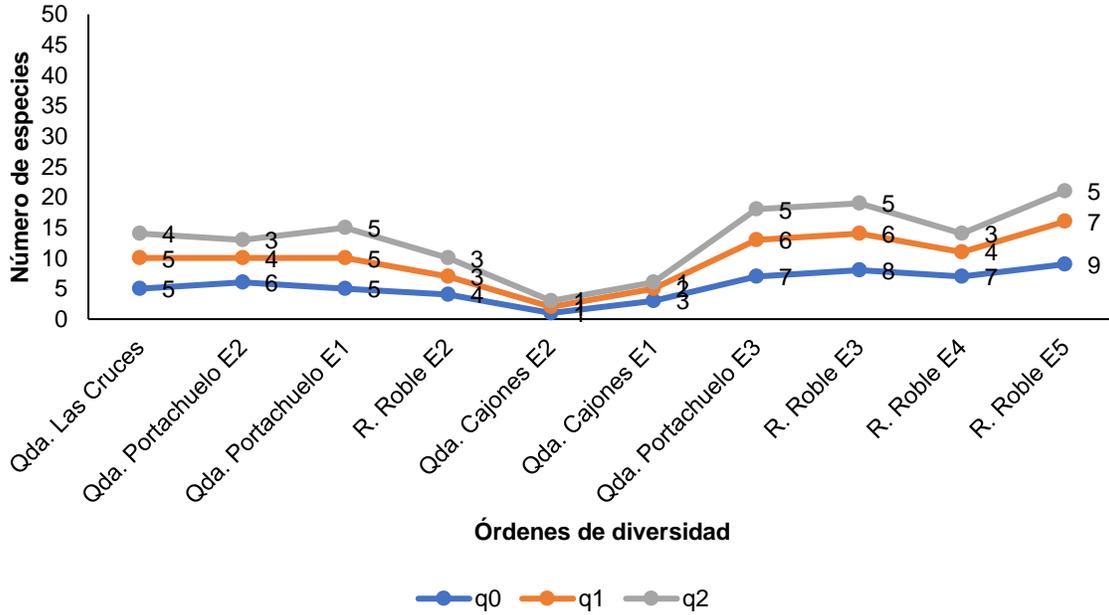


Figura 202. Diversidad expresada en número efectivo de especies de los órdenes q= 0, q= 1 y q= 2 para las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.5.2. Río Roble

De acuerdo con la extrapolación del número de especies (⁰D) en las estaciones del río Roble, se determinó que las estaciones 3 (8 spp.), 4 (7 spp.) y 5 (8 spp.), concentraron los valores más altos de riqueza (Figura 204 y Figura 205a). Respecto al número de especies típicas o comunes (¹D), se evidenció que las estaciones 3 y 5 (cada una con 6 especies), obtuvieron los mayores registros, contrario a esto las estaciones 2 (3 spp.) y 4 (4 spp.) presentaron los valores más bajos (Figura 204 y Figura 205b).

Finalmente, de acuerdo con el número de especies dominantes (²D), nuevamente las estaciones 3 y 5 del río (cada una con 5 especies) registraron los valores más altos, respecto a las estaciones 2 y 4, en las cuales solo se hallaron 3 especies en cada una (Figura 204 y Figura 205c).

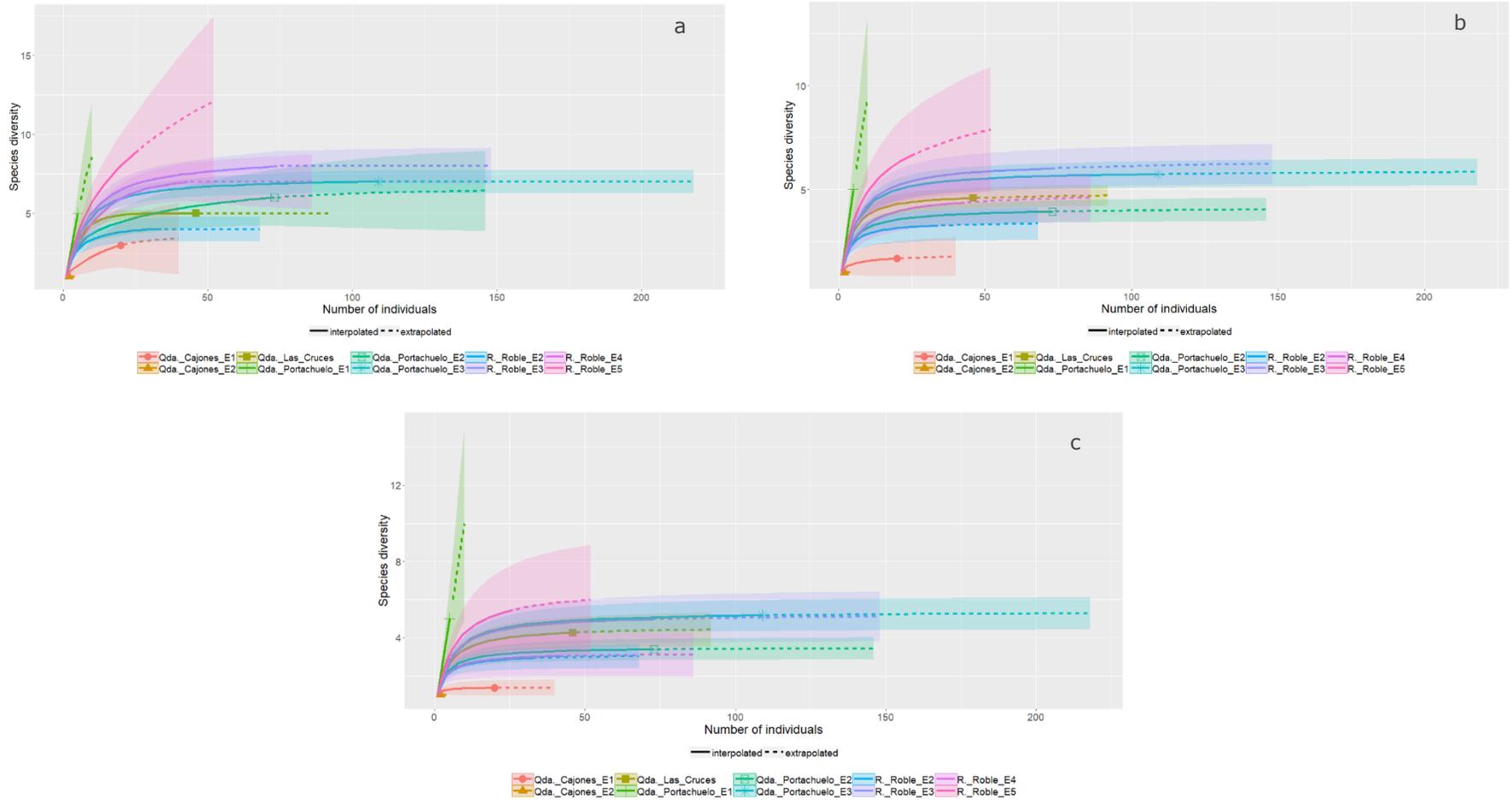


Figura 203. Extrapolación del número efectivo de especies de los órdenes $q=0$ (a), $q=1$ (b) y $q=2$ (c), en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

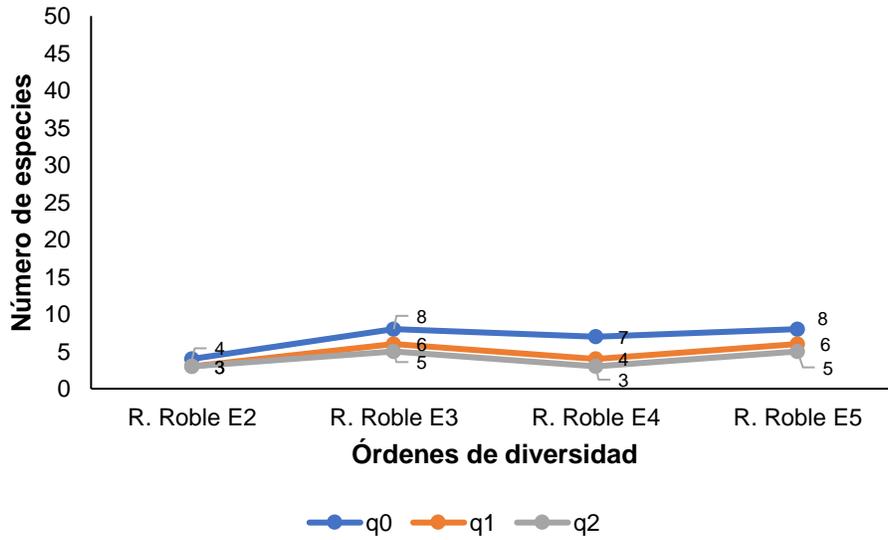
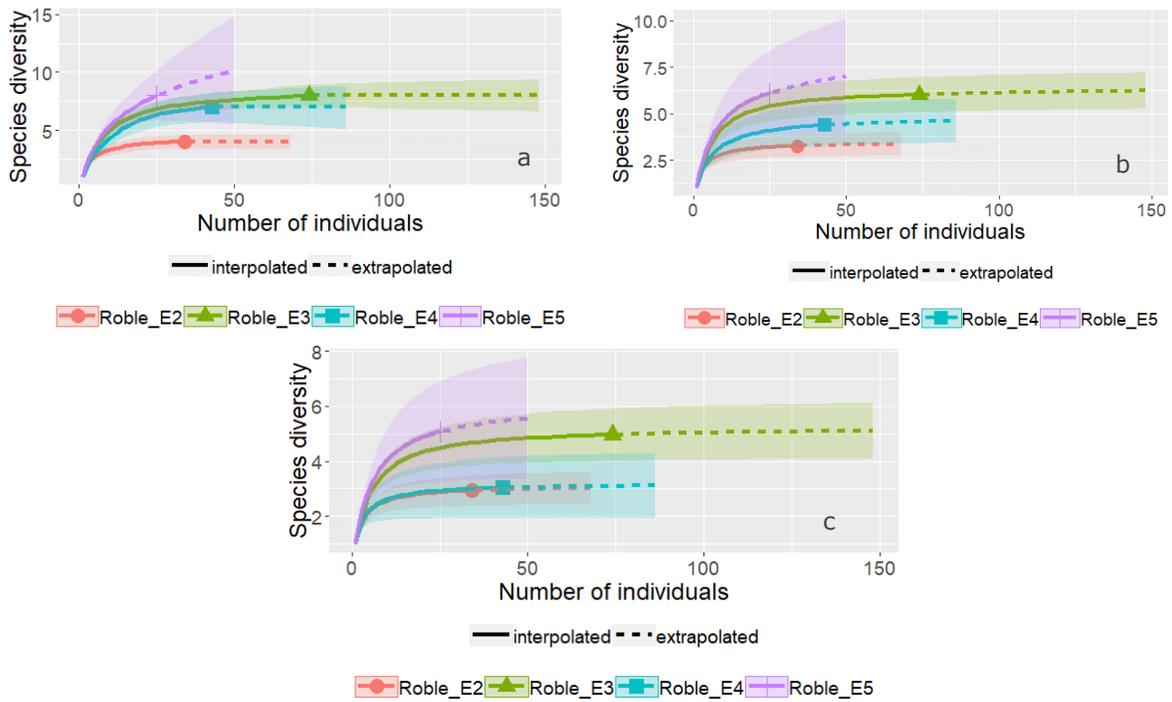


Figura 204. Diversidad expresada en número efectivo de especies de los órdenes $q=0$, $q=1$ y $q=2$ para las estaciones del río Roble.



1.9.4.1.5.3. Quebradas Portachuelo y Cajones

Según la extrapolación del número de especies (⁰D) en las quebradas evaluadas, se determinó que las estaciones 2 (6 spp.) y 3 (7 spp.) de la quebrada Portachuelo, presentaron los valores más altos de riqueza, en comparación con las estaciones 1 (3 spp.) y 2 (1 spp.) de la quebrada Cajones, las cuales presentaron valores muy bajos (Figura 206 y Figura 207a).

Respecto al número de especies típicas (¹D), se evidenció nuevamente que las estaciones 3 (6 spp.) y 1 (5 spp.) de la quebrada Portachuelo obtuvieron los mayores registros, contrarios a esto las estaciones 1 (2 spp.) y 2 (1 spp.) de la quebrada Cajones presentaron los valores más bajos (Figura 206 y Figura 207b).

En cuanto al número de especies dominantes (²D), las estaciones 1 y 3 de la quebrada Portachuelo registraron los valores más altos (5 especies cada una), respecto a las demás; y en las estaciones de la quebrada Cajones solo se halló 1 especie (Figura 206 y Figura 207c).

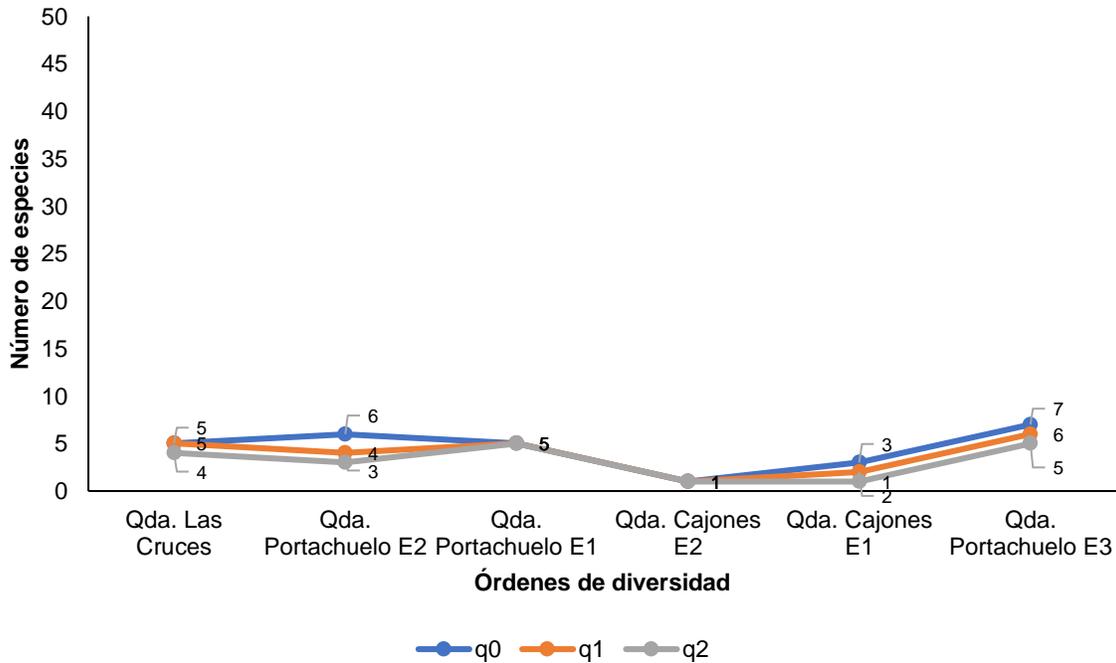


Figura 206. Diversidad expresada en número efectivo de especies de los órdenes q= 0, q= 1 y q= 2 para las estaciones las quebradas.

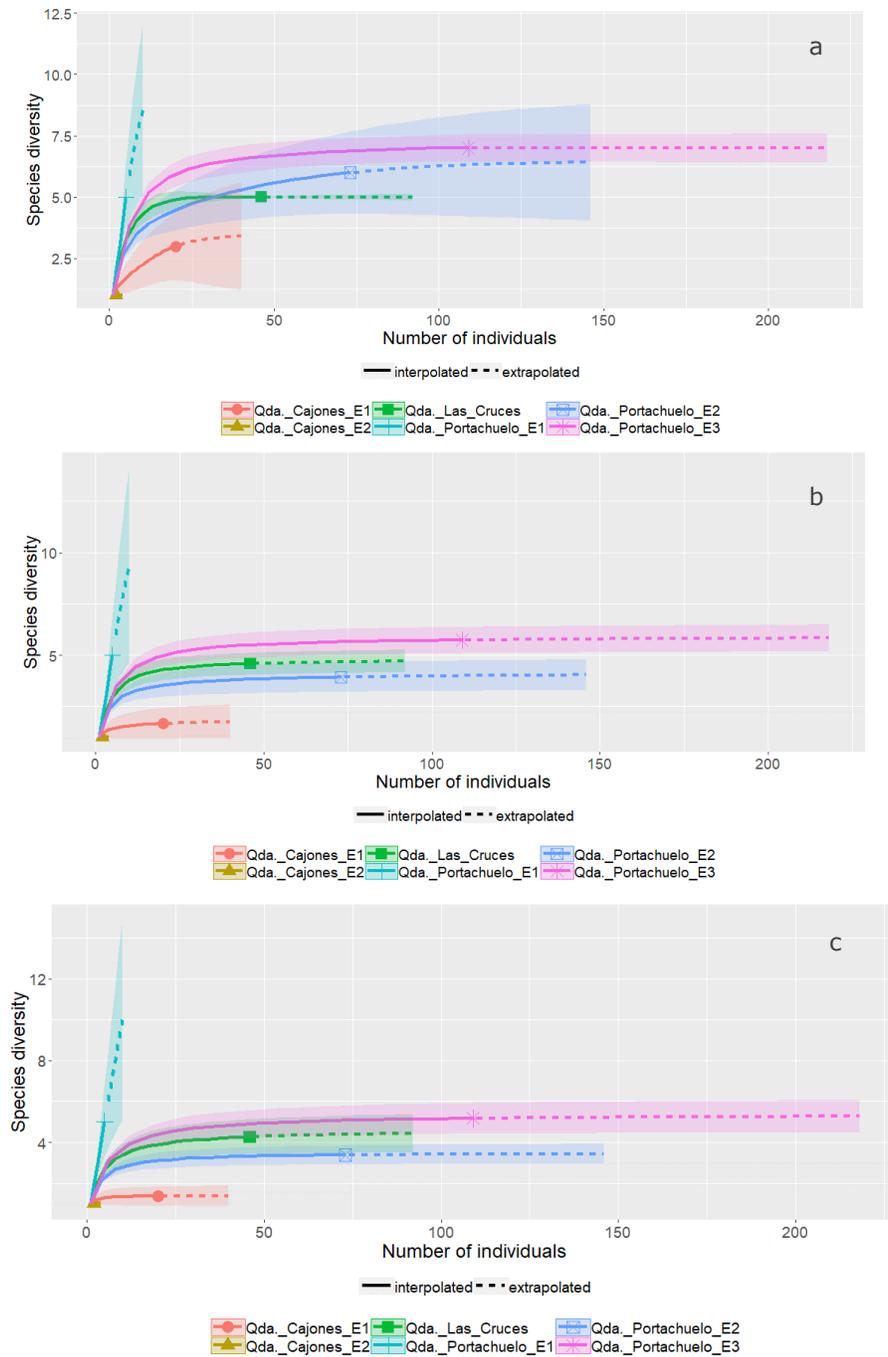


Figura 207. Extrapolación del número efectivo de especies de los órdenes $q=0$ (a), $q=1$ (b) y $q=2$ (c), en las estaciones de las quebradas.

1.9.4.1.6. *Ensamblaje de especies*

El EMNM resumió la composición y estructura de las asociaciones de peces y separó claramente las estaciones del río Roble y las quebradas (Figura 208), el nivel de estrés demuestra que es un análisis robusto con un valor de 0.059.

La separación de las estaciones del río obedece a que es el hábitat con un mayor número de especies exclusivas, como es el caso de *H. wilsoni*, *L. caucanus*, *C. brevipinnis* y *Bryconamericus* sp.; por otra parte, algunas de las estaciones están muy cercanas entre sí, debido a que comparten cerca del 80% de sus especies. A pesar de que en el diagrama se observa la separación de algunas estaciones del río Roble, es de resaltar que no se detectaron diferencias en las comunidades de peces entre los hábitats evaluados (ANOSIM, $p < 0.433$).

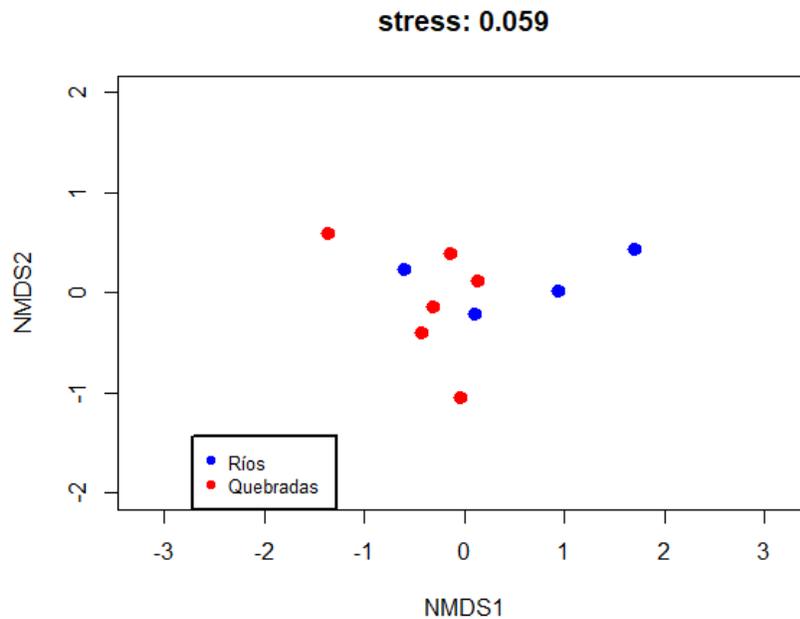


Figura 208. Diagrama de ordenación EMNM para las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.7. *Relación del ensamblaje de peces con variables ambientales*

El análisis de Correspondencia Canónica (ACC), permitió corroborar los resultados obtenidos por el análisis EMNM, donde se observa que a nivel de la comunidad no existen diferencias entre las estaciones del río y las quebradas. De acuerdo con esto, según los resultados obtenidos de las cinco variables evaluadas, la temperatura del agua ($F = 4.73$, $p = 0.002$) influyó de manera significativa en la distribución de las especies en las estaciones 4 y 5 del río Roble. Las demás variables no tuvieron efectos estadísticos significativos sobre la distribución de las especies según los efectos condicionante de la prueba de Monte Carlo (caudal: $F = 1.32$, $p = 0.232$; profundidad: $F = 0.89$, $p = 0.47$; ancho del cauce: $F = 0.28$, $p = 0.918$; velocidad: $F = 0.7$, $p = 0.58$).

Respecto al diagrama de ordenación (Figura 209), la profundidad se relaciona de manera positiva con todas las quebradas y las especies *H. palomae*, *T. chapmani* y *C. boquillae*; a su vez, la

velocidad y el caudal se relacionaron de manera negativa con las estaciones 2 y 3 del río Roble y con las especies *C. aurocaudatus*, *A. grixalvii*, *A. chapmani* y *Chaetostoma* sp.

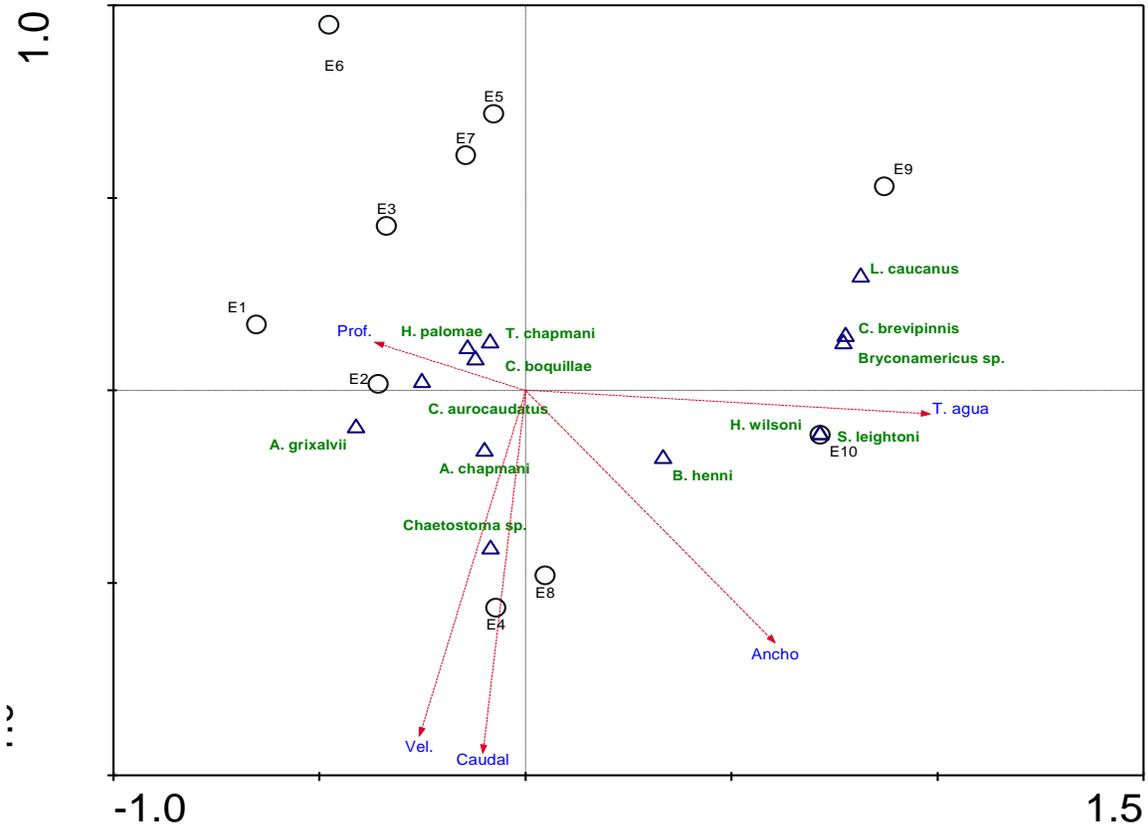


Figura 209. Análisis de Correspondencia Canónica de las especies y las variables físicas evaluadas en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.8. Importancia de las especies

Estado de conservación y especies migratorias: de manera general, en las estaciones de muestreo del río Roble y sus tributarios, no se registraron especies amenazadas o bajo alguna categoría de amenaza. Asimismo, ninguna presentó algún tipo de migración.

Especies endémicas: Se registró una especie endémica para la cuenca del río La Vieja, *Hemibrycon palomae* (Román-Valencia et al., 2018).

Especies comerciales y ornamentales: De las especies registradas para la cuenca del río Roble, *Brycon henni* fue la única con uso comercial y utilizada para la pesca deportiva (Lasso et al., 2011), las demás no representan ningún uso.

1.9.4.1.9. Estructura de tallas y relación longitud peso

1.9.4.1.9.1. *Astroblepus grixalvii*, Humboldt 1805

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 41 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 19 mm a 132 mm de LE. El mayor número de ejemplares se

encontraron entre los 50 mm y 60 mm de LE (Figura 210). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.0001^{3.0628}$ ($b = 3.0628$; $r^2 = 0.9885$) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento isométrico, lo cual indica que el pez al crecer mantiene su forma.

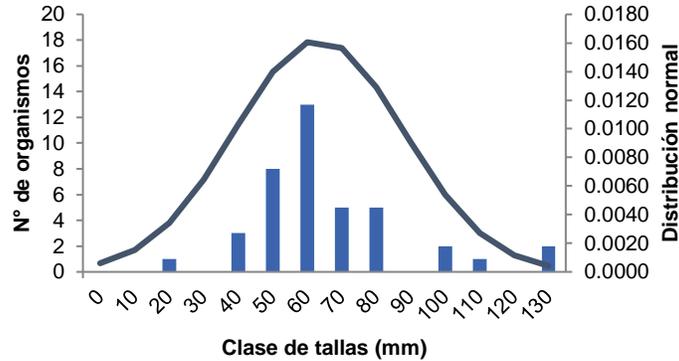


Figura 210. Distribución de los ejemplares de *A. grixelvii* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.2. *Astroblepus chapmani* (Eigenmann 1912)

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 18 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 32 mm y 60 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron en un rango entre 40 mm y 50 mm (Figura 211). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.000007^{3.1213}$ ($b = 3.1213$; $r^2 = 0.9363$), de acuerdo con lo anterior, los individuos evaluados presentaron un crecimiento alométrico positivo.

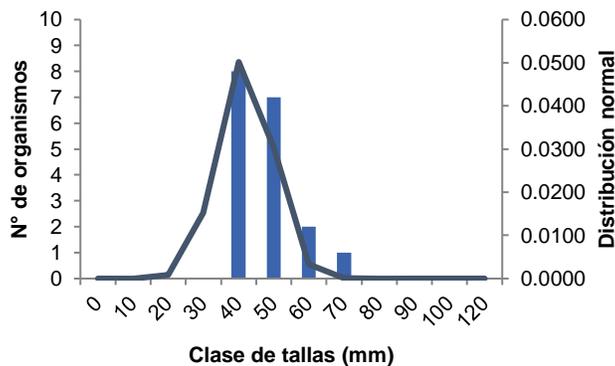


Figura 211. Distribución de los ejemplares de *A. chapmani* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.3. *Brycon henni*, Eigenmann 1913

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 84 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 28 mm a 241 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron entre los 40 mm y 60 mm de LE (Figura 212). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.00006^{3.0794}$ ($b = 3.0794$; $r^2 =$

0.9686) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento isométrico, lo cual indica que el pez al crecer mantiene su forma.

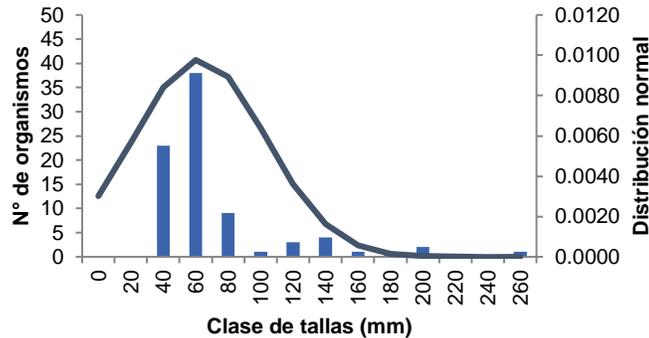


Figura 212. Distribución de los ejemplares de *B. henni* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.4. *Carlastyanax aurocaudatus* (Eigenmann 1913)

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 29 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 20 mm a 62 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron entre los 30 mm y 35 mm de LE (Figura 213). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.000007^{4.2332}$ ($b = 4.2332$; $r^2 = 0.8686$) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento alométrico positivo.

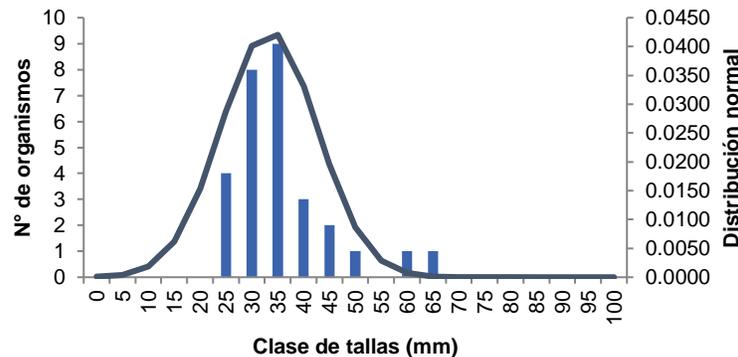


Figura 213. Distribución de los ejemplares de *C. aurocaudatus* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.5. *Cetopsorhamdia boquillae*, Eigenmann 1922

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 32 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 35 mm a 90 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron entre los 80 mm y 90 mm de LE (Figura 214). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.00006^{3.0838}$ ($b = 3.0838$; $r^2 = 0.9833$) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento isométrico.

En ejemplares colectados en el río La Vieja, el rango de tamaño varió entre 56.1 - 107.15 mm de LT para machos y hembras; la especie presentó el mayor valor del Índice Gonadosomático (IGS) para las hembras en agosto, la fecundidad absoluta dio un promedio de 4358 ovocitos y la fecundidad relativa 3160 ovocitos/gramo de gónada (Usma et al., 2002).

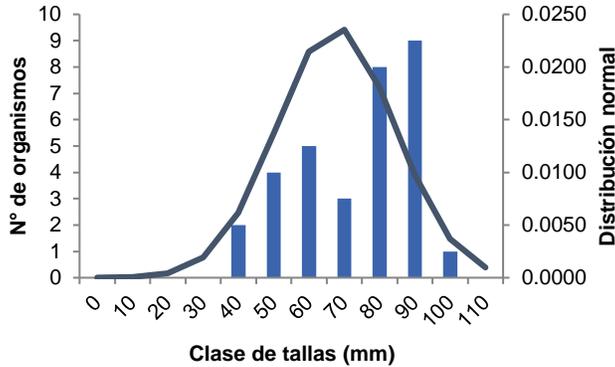


Figura 214. Distribución de los ejemplares de *C. boquillae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.6. *Chaetostoma sp., Tschudi 1846*

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 17 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 20 mm a 111 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron en 50 mm de LE (Figura 215). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.00001^{3.1005}$ ($b = 3.1005$; $r^2 = 0.9939$) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento alométrico positivo.

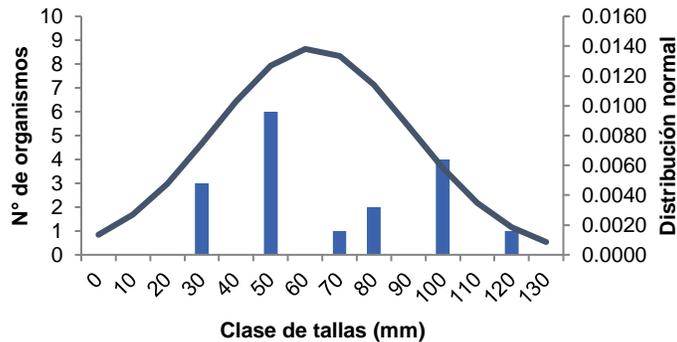


Figura 215. Distribución de los ejemplares de *Chaetostoma sp.* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.7. *Creagrutus brevipinnis*, Eigenmann 1913

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 10 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 23 mm a 58 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron en 40 mm de LE (Figura 216). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.000004^{3.2101}$ ($b = 3.2101$; $r^2 = 0.9777$) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento alométrico positivo.

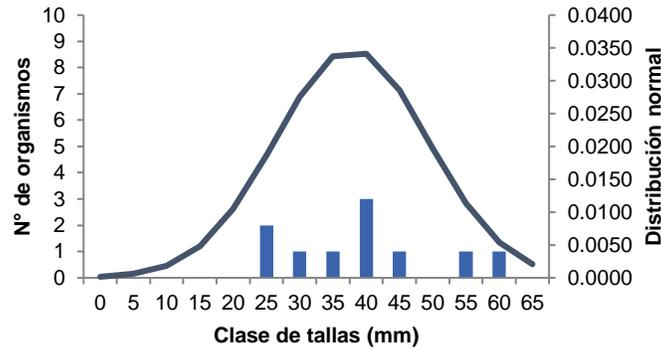


Figura 216. Distribución de los ejemplares de *C. brevipinnis* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.8. *Hemibrycon palomae*, Román-Valencia, García-Alzate, Ruiz-C. & Taphorn 2010

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 106 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 38 mm a 112 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron entre los 60 mm y 90 mm de LE (Figura 217). La correlación entre la longitud y el peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.000003^{3.2703}$ ($b = 3.2703$; $r^2 = 0.9892$) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento alométrico positivo.

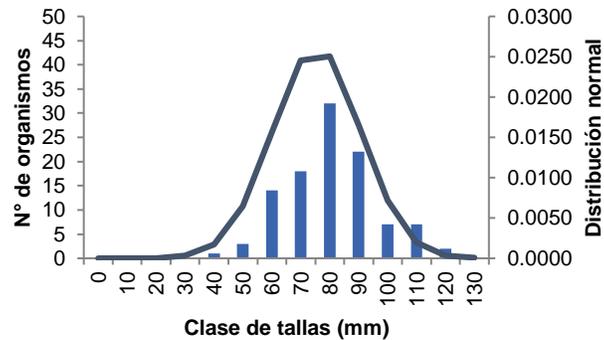


Figura 217. Distribución de los ejemplares de *H. palomae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.9.9. *Trichomycterus chapmani* (Eigenmann 1912)

Estructura de tallas y relación longitud-peso: fueron registrados 52 individuos, los cuales se encontraron en un rango entre 30 mm a 133 mm de LE. El mayor número de ejemplares se encontraron entre los 50 mm y 70 mm de LE (Figura 218). La correlación entre la longitud y el

peso de los individuos evaluados está dada por la ecuación $W = 0.000006^{3.0796}$ ($b = 3.0796$; $r^2 = 0.9865$) de acuerdo con esto, la población evaluada presentó un crecimiento isométrico.

En ejemplares colectados en la cuenca del río La Vieja, el rango de tamaño varió entre 5.6 – 10.7 cm de LT para machos y hembras; la especie presentó el mayor valor del Índice Gonadosomático (IGS) para las hembras en agosto, la fecundidad absoluta dio un promedio de 4358 ovocitos y la fecundidad relativa 3160 ovocitos/gramo de gónada (Usma et al., 2002).

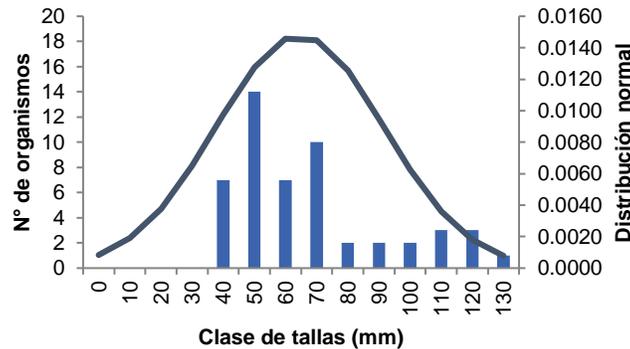


Figura 218. Distribución de los ejemplares de *T. chapmani* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.10. Ecología trófica y reproductiva.

Los datos disponibles para la elaboración de los análisis ecológicos presentados a continuación permitieron una descripción general y no temporal para las especies más abundantes, por lo tanto, la información concerniente al factor de condición K y aspectos reproductivos no podrían ser discutidos a fondo.

1.9.4.1.10.1. *Astroblepus grixalvii*, Humboldt 1805

Estados de madurez gonadal y proporción de sexos: Se examinaron 15 gónadas, de las cuales 1 fue hembra (en estadio II) y 14 fueron machos; de acuerdo con los estadios de madurez sexual de los machos, se encontraron 7 en estadio I, 2 en estadio II y 5 en estadio III (Figura 219a). El valor del IGS fue mayor en el estadio III (IGS= 0.98) y menor en el estadio I (IGS= 0.31) (Figura 219b).

Factor de condición (k): El factor de condición para *A. grixalvii* fue de $K = 0.0000096$.

Ecología trófica: Fueron analizados 10 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos, el coeficiente de repleción fue de 1. En total se identificaron cinco ítems alimenticios, entre ellos los de mayor porcentaje fueron MONI (material orgánico no identificado) (36.36%) y Chironomidae (27.27%) (Tabla 131, Figura 220). Según este estudio, se puede considerar a *A. grixalvii* como invertívora o insectívora, resultados que concuerdan con los obtenidos por Maldonado-Ocampo et al. (2005), quienes afirman que los hábitos alimenticios de la especie se basan principalmente en insectos acuáticos, que capturan entre las rocas y material vegetal acumulado en los fondos de los cuerpos de agua.

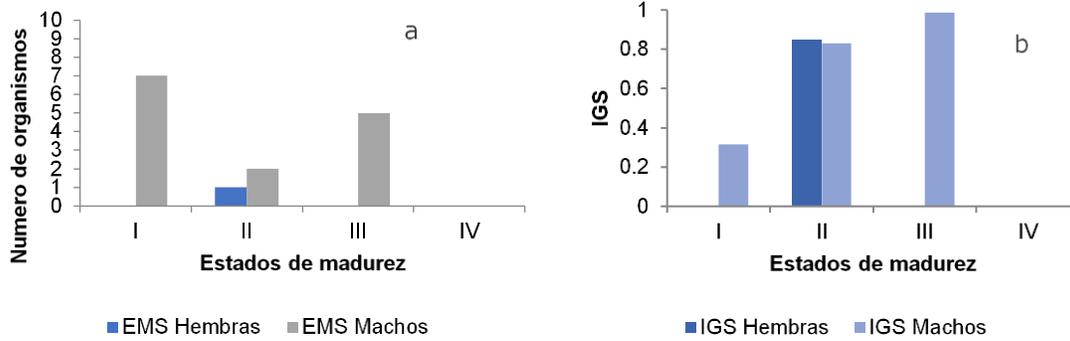


Figura 219. Estados de madurez sexual y valor del Índice Gonadosomático de *A. grimaldii* en las estaciones del río Roble y sus tributarios

| Ítems | %F | %P | IIR |
|--------------------|-------|-------|--------|
| MONI | 0,156 | 36,36 | 0,056 |
| Chironomidae | 0,12 | 27,27 | 0,032 |
| Simulidae | 0,04 | 18,18 | 0,0072 |
| Restos de insectos | 0,035 | 9,09 | 0,0031 |
| Libellulidae | 0,038 | 9,09 | 0,0034 |

Tabla 131. Porcentajes gravimétrico y de frecuencia e Índice de Importancia Relativa (IIR) de los ítems alimenticios de *A. grimaldii*, en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

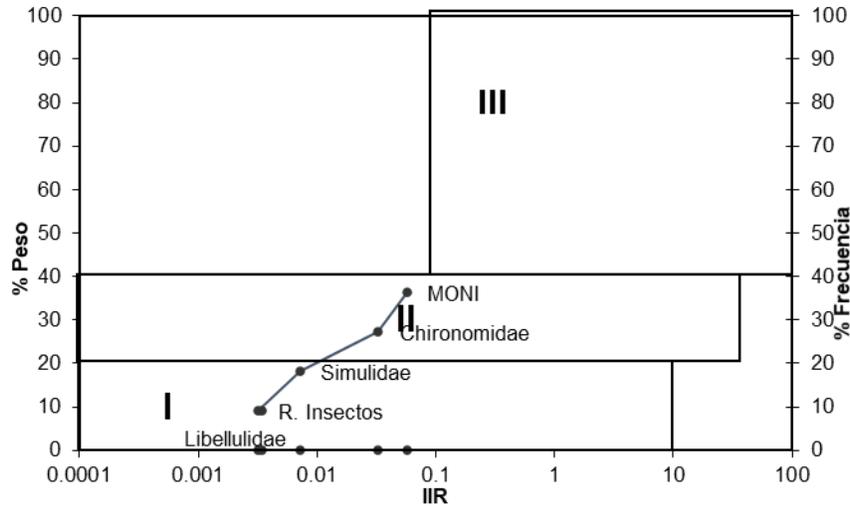


Figura 220. Espectro trófico de *A. grimaldii* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.10.2. *Brycon henni*, Eigenmann 1913

Estados de madurez gonadal y proporción de sexos: Se examinaron 26 gónadas, de las cuales 2 fueron hembras (1 en estadio I, y 1 en estadio II) y 24 fueron machos; de acuerdo con los estadios de madurez sexual de los machos, se encontraron 12 en estadio I, 6 en estadio II y 6 en estadio III (Figura 221a). El valor del IGS fue mayor en el estadio III (IGS= 1.27) y menor en el estadio I (IGS= 0.61) (Figura 221b).

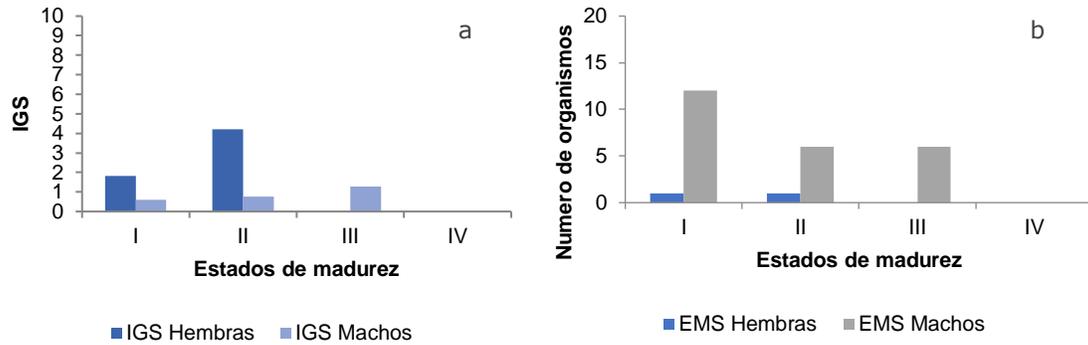


Figura 221. Estados de madurez sexual y valor del Índice Gonadosomático de *B. henni* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

Factor de condición (k): El factor de condición para *B. henni* fue de $K = 0.0000093276$.

Ecología trófica: Fueron analizados 26 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos, el coeficiente de repleción fue de 1. En total se identificaron 10 ítems alimenticios, entre ellos los de mayor porcentaje fueron Chironomidae (25.95%), Leptoceridae (22.22%) y restos de macroinvertebrados acuáticos (14.81%) (Tabla 132, Figura 222).

Según este estudio, se puede considerar a *B. henni* como omnívora con tendencia a la invertivoría, los resultados concuerdan con el estudio realizado por Maldonado-Ocampo y sus colaboradores (2005), quienes mencionan que la especie tiene hábitos alimentarios muy flexibles, consumiendo desde frutos, flores y hojas hasta insectos terrestres que caen al agua desde la vegetación marginal, macroinvertebrados acuáticos y peces pequeños.

| Ítems | %F | %P | IIR |
|-----------------------|------|-------|----------|
| Chironomidae | 0,22 | 25,92 | 0,057037 |
| Leptoceridae | 0,87 | 22,22 | 0,194444 |
| R. Macroinvertebrados | 0,06 | 14,81 | 0,009174 |
| MONI | 0,40 | 11,11 | 0,044573 |
| Hydropsychidae | 0,01 | 7,40 | 0,001368 |
| Simulidae | 1,06 | 3,70 | 0,039444 |
| R. Insectos | 0,11 | 3,70 | 0,004174 |
| Trichomycteridae | 0,13 | 3,70 | 0,0051 |
| Baetidae | 0,04 | 3,70 | 0,001524 |
| Hydropsychidae | 0,10 | 3,70 | 0,003775 |

Tabla 132. Porcentajes gravimétrico y de frecuencia e Índice de Importancia Relativa (IIR) de los ítems alimenticios de *B. henni*, en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

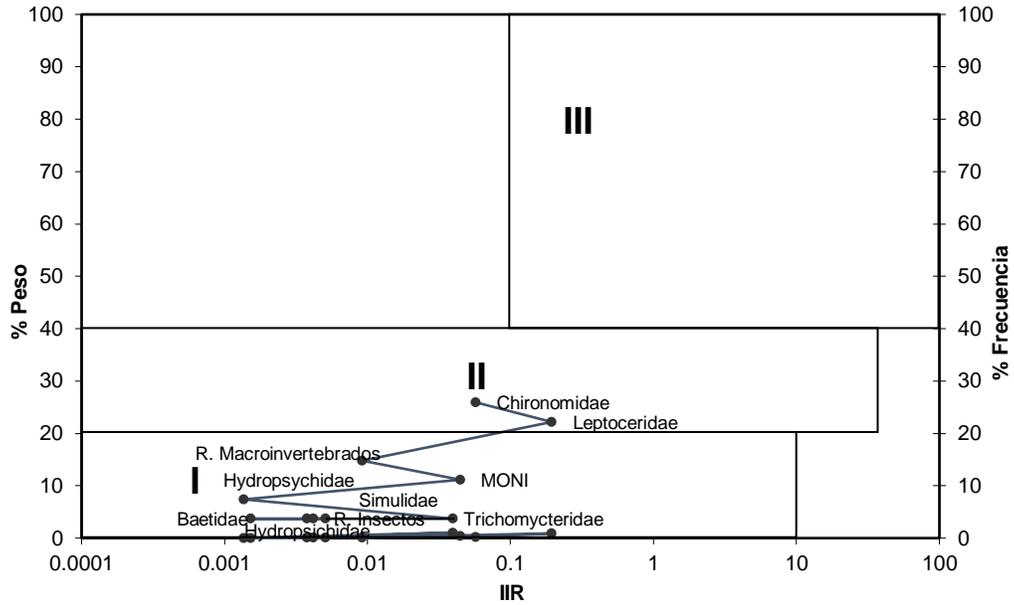


Figura 222. Espectro trófico de *B. henni* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.10.3. *Cetopsorhamdia boquillae*, Eigenmann 1922

Estados de madurez gonadal y proporción de sexos: Se examinaron 33 gónadas, de las cuales 14 fueron hembras y 19 fueron machos. De acuerdo con los estadios de madurez sexual de las hembras, se encontraron 6 en estadio II, 7 en estadio III y 1 en estadio IV; respecto a los machos, fueron encontradas 2 en estadio I, 12 en estadio II y 5 en estadio III (Figura 223a).

El valor del IGS para las hembras fue mayor en el estadio III (IGS= 9.61) y menor en el estadio IV (IGS= 0.78); para los machos el IGS fue mayor en estadio II (IGS= 1.61) y menor en el estadio I (IGS= 1.1) (Figura 223b).

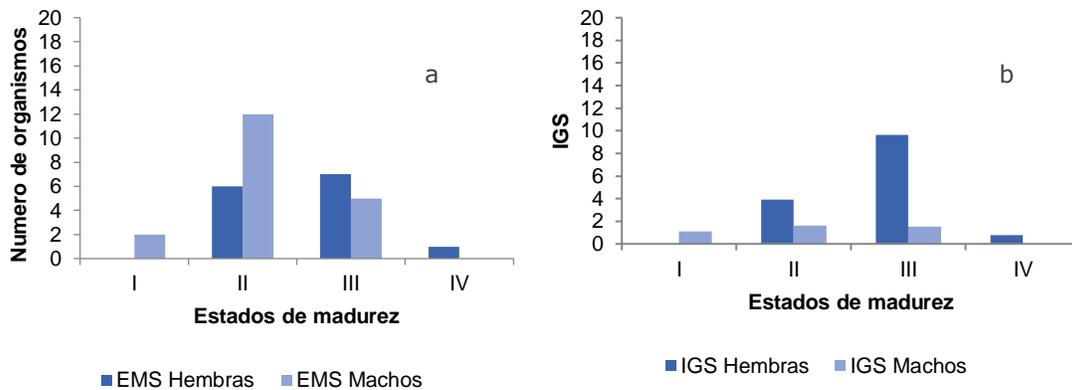


Figura 223. Estados de madurez sexual y valor del Índice Gonadosomático de *C. boquillae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

Factor de condición (k): El factor de condición para *C. boquillae* fue de $K = 0.000006117$.

Ecología trófica: Fueron analizados 33 estómagos, de los cuales 14 estuvieron vacíos y 19 llenos, el coeficiente de repleción fue de 0.57. En total se identificaron cinco ítems alimenticios, entre ellos los de mayor porcentaje fueron MONI (31.57%), restos de macroinvertebrados acuáticos (26.31%) y Chironomidae (21.05%) (Tabla 133, Figura 224).

Según estos resultados, se puede catalogar a *C. boquillae* como insectívora o invertívora, en otros contenidos estomacales, han encontrado insectos de las familias Leptoceridae, Helicopsychidae, Hydropsychidae, Tricorythidae, Baetidae, Simuliidae, Culicidae, Tabanidae, Psychodidae, Chironomidae, Vellidae, y otros invertebrados como hydras, anélidos y nemátodos, además restos vegetales (Maldonado-Ocampo et al., 2005).

| Ítems | %F | %P | IIR |
|-----------------------|-------|-------|----------|
| MONI | 0,11 | 31,57 | 0,036842 |
| R. Macroinvertebrados | 0,08 | 26,31 | 0,02193 |
| Chironomidae | 0,02 | 21,05 | 0,005933 |
| Simuliidae | 0,03 | 15,78 | 0,00488 |
| R. Insectos | 0,006 | 5,26 | 0,000351 |

Tabla 133. Porcentajes gravimétrico y de frecuencia e Índice de Importancia Relativa (IIR) de los ítems alimenticios de *C. boquillae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

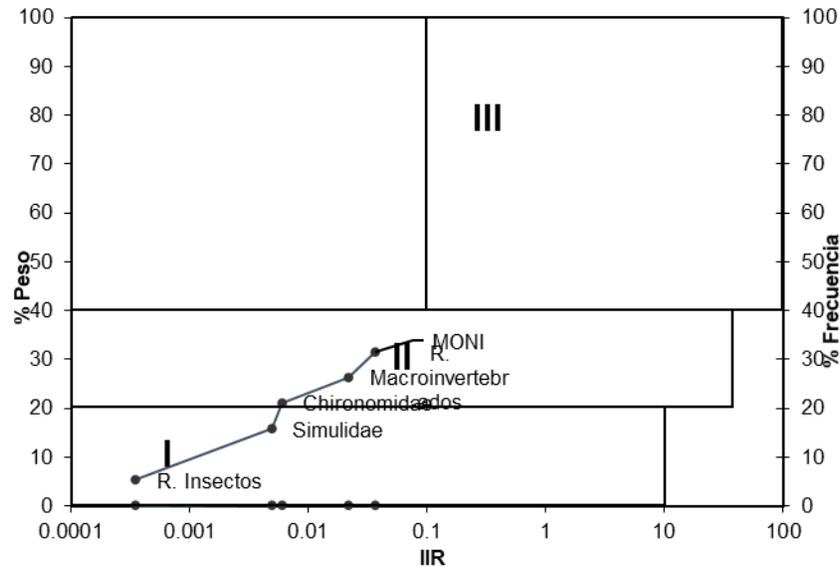


Figura 224. Espectro trófico de *C. boquillae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.10.4. *Hemibrycon palomae*, Román-Valencia, Garcia-Alzate, Ruiz-C. & Taphorn 2010

Estados de madurez gonadal y proporción de sexos: Se examinaron 27 gónadas, de las cuales 10 fueron hembras y 17 fueron machos. De acuerdo con los estadios de madurez sexual

de las hembras, se encontraron 4 en estadio I, 2 en estadio II y 4 en estadio IV; respecto a los machos, fueron encontradas 5 en estadio I, 7 en estadio II y 5 en estadio III (Figura 225a).

El valor del IGS para las hembras fue mayor en el estadio IV (IGS= 7.15) y menor en el estadio I (IGS= 1.4); para los machos el IGS fue mayor en estadio III (IGS= 2.99) y menor en el estadio I (IGS= 0.71) (Figura 225b).

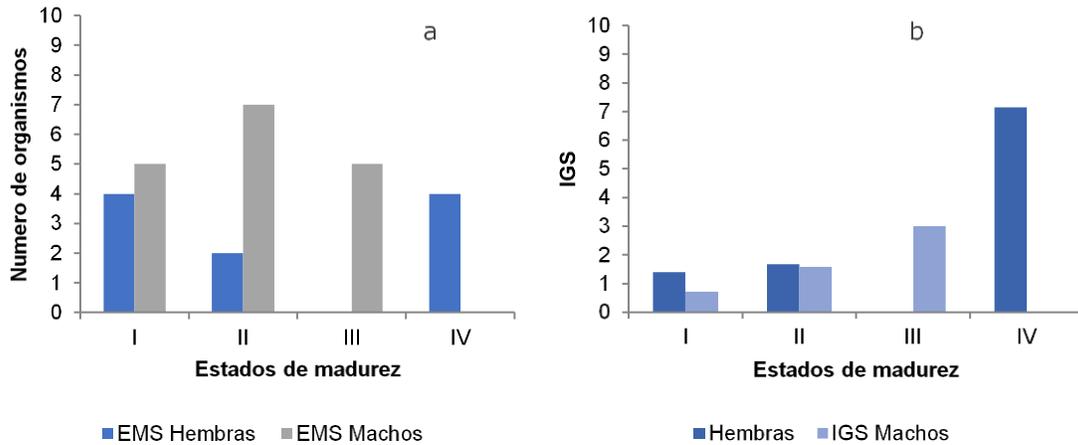


Figura 225. Estados de madurez sexual y valor del Índice Gonadosomático de *H. palomae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

Factor de condición (k): El factor de condición para *H. palomae* fue de $K = 0.000003095$.

Ecología trófica: Fueron analizados 27 estómagos, de los cuales 3 estuvieron vacíos y 24 llenos, el coeficiente de repleción fue de 0.88. En total se identificaron siete ítems alimenticios, entre ellos los de mayor porcentaje fueron MONI (50%) y restos de insectos terrestres (29.16%), los demás obtuvieron porcentajes de 4.16% (Tabla 134, Figura 226). Según este estudio, se puede catalogar a *H. palomae* como invertívora o insectívora, no hay estudios para contrastar con estos resultados.

| Ítems | %F | %P | IIR |
|--|-------|-------|----------|
| MONI | 0,35 | 50 | 0,17537 |
| Restos de insectos | 0,23 | 29,16 | 0,069244 |
| Chironomidae | 0,003 | 4,16 | 0,000139 |
| Simulidae | 0,002 | 4,16 | 9,26E-05 |
| Restos de macroinvertebrados acuáticos | 0,11 | 4,16 | 0,004907 |
| Hydropsychidae | 0,05 | 4,16 | 0,002099 |
| Veliidae | 0,014 | 4,16 | 0,000617 |

Tabla 134. Porcentajes gravimétrico y de frecuencia e Índice de Importancia Relativa (IIR) de los ítems alimenticios de *H. palomae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

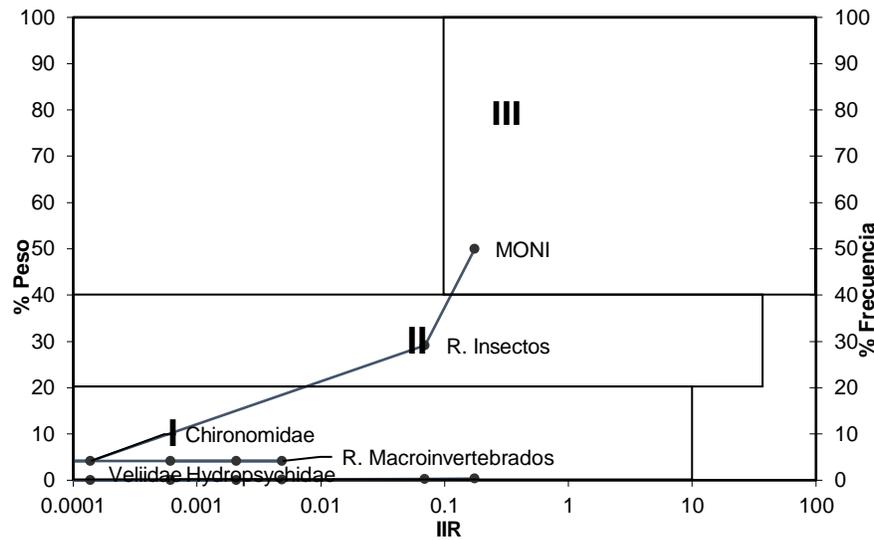


Figura 226. Espectro trófico de *H. palomae* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.1.10.5. *Trichomycterus chapmani* (Eigenmann 1912)

Estados de madurez gonadal y proporción de sexos: Se examinaron 21 gónadas, de las cuales seis fueron hembras y 15 fueron machos. De acuerdo con los estadios de madurez sexual de las hembras, se encontraron 1 en estadio I, 3 en estadio II y 2 en estadio III; respecto a los machos, fueron encontradas 10 en estadio I, 3 en estadio II y 2 en estadio III (Figura 227a). El valor del IGS para las hembras fue mayor en el estadio III (IGS= 4.55) y menor en el estadio I (IGS= 1.4); para los machos el IGS fue mayor en estadio III (IGS= 3.88) y menor en el estadio I (IGS= 0.51) (Figura 227b).

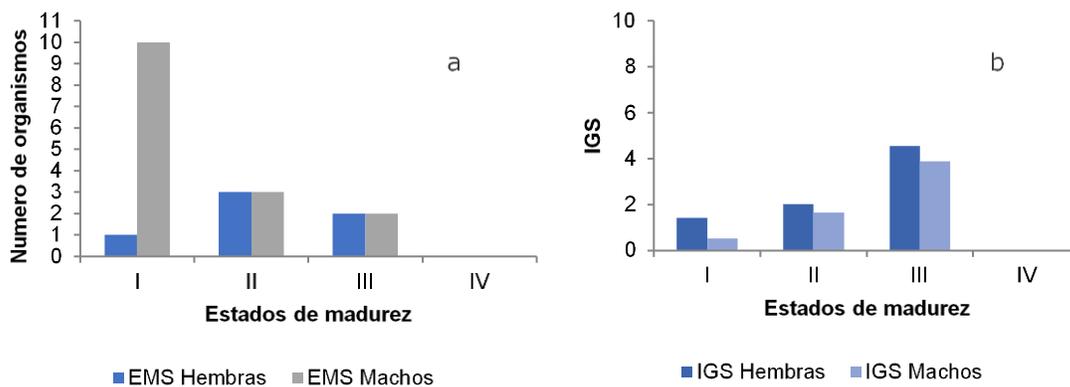


Figura 227. Estados de madurez sexual y valor del Índice Gonadosomático de *T. chapmani* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

Factor de condición (k): El factor de condición para *T. chapmani* fue de K= 0.000005786.

Ecología trófica: Fueron analizados 21 estómagos, de los cuales 16 estuvieron vacíos y 5 llenos, el coeficiente de repleción fue de 0.23. En total se identificaron cuatro ítems alimenticios, entre ellos los de mayor porcentaje fueron MONI (50%) y restos de insectos terrestres, Chironomidae y Baetidae obtuvieron porcentajes de 16.66% (Tabla 135, Figura 228).

Resultados provenientes del estudio realizado por Maldonado-Ocampo y sus colaboradores (2005), encontraron que *T. chapmani* se alimenta principalmente de insectos acuáticos (Leptoceridae, Helicopsychidae, Hydropsychidae, Tricorythidae, Baetidae, Simuliidae, Culicidae, Tabanidae, Psychodidae, Chironomidae y Vellidae), artrópodos, Hydra, Anélida, Nemátoda y restos vegetales, resultados similares a los registrados en el presente informe.

| Ítems | %F | %P | IIR |
|--------------|-------|-------|----------|
| MONI | 0,02 | 50 | 0,01 |
| Chironomidae | 0,004 | 16,66 | 0,000714 |
| R. Insectos | 0,002 | 16,66 | 0,000476 |
| Baetidae | 0,004 | 16,66 | 0,000794 |

Tabla 135. Porcentajes gravimétrico y de frecuencia e Índice de Importancia Relativa (IIR) de los ítems alimenticios de *T. chapmani* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

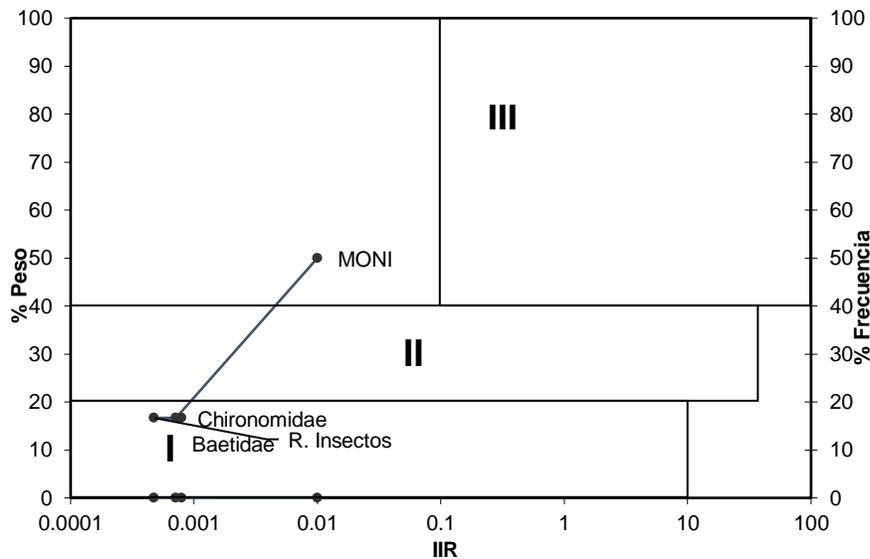


Figura 228. Espectro trófico de *T. chapmani* en las estaciones del río Roble y sus tributarios.

1.9.4.2. Discusión del estado y composición de la Ictiofauna

Las especies observadas representaron el 76.92% de las especies esperadas, que junto con el comportamiento asintótico de la curva de acumulación indicaron una buena representatividad y, por lo tanto, un buen muestreo (Villarreal et al., 2006).

La cuenca Magdalena-Cauca presenta una riqueza estimada de 220 especies ícticas según el estudio realizado por DoNascimento y sus colaboradores (2017), es la cuarta región más diversa en Colombia, y se encuentra expuesta a amenazas como la deforestación, represamientos, contaminación antrópica y en algunas partes de la cuenca explotación petrolera, lo cual pone en riesgo la diversidad existente en la zona.

Respecto al área de estudio, la cuenca del río Roble registró una riqueza de 13 spp. ícticas, los estudios realizados se han enfocado en la cuenca del río La Vieja, en el cual desemboca el río Roble, y en el área del Alto Cauca, es decir, que este estudio genera información primaria para la conservación de estos ecosistemas.

De acuerdo con lo anterior, la riqueza registrada en las estaciones del río Roble y sus tributarios, corresponde al 24.52% del total de las especies reportadas para la cuenca del río La Vieja y al 16.66% del total de las especies registradas para el Alto Cauca.

Así, la composición taxonómica de los peces del Alto Cauca está representada por 78 especies, de las cuales, 36 spp. pertenecen al orden Siluriformes y 31 spp. a Characiformes. La riqueza taxonómica de la ictiofauna del Alto Cauca es producto de una larga historia geológica y de diversos procesos evolutivos y ecológicos (Román-Valencia et al., 2018). Por otra parte, la cuenca del río La Vieja registra una riqueza de 53 especies ícticas (Román-Valencia et al., 2018).

Es de resaltar, que la poca representatividad de especies en este estudio es debido a que los muestreos fueron realizados en época de lluvias altas, lo cual hace que disminuya la eficiencia del muestreo, ya que, los aparejos de pesca se hacen menos eficaces en esta temporada.

Por otra parte, la baja riqueza se debe a la altura a la cual están ubicados los cuerpos de agua, ya que, factores como la altitud están relacionados de manera inversa con la diversidad; de acuerdo con lo anterior, en las zonas de mayor altura la diversidad de una amplia gama de organismos, incluidos vertebrados, invertebrados y plantas, el patrón observado se encuentra marcado por una disminución en la diversidad de especies y la sustitución de las mismas a medida que aumenta la altitud (Lomolino, 2001).

La composición general de especies en las distintas estaciones muestreadas no se aleja del patrón normal, donde los Characiformes y Siluriformes son los más diversos a nivel de orden y familia, no sólo para esta región sino también para distintas cuencas del país (Taphorn, 2003; Lasso et al., 2004; Urbano -Bonilla et al., 2009; Villa-Navarro et al., 2011; Maldonado-Ocampo et al., 2013).

La mayor abundancia de estos órdenes estaría relacionada con una gran capacidad para colonizar y sobrevivir en ambientes muy variados, explotando eficientemente distintas fuentes alimenticias (Buckup, 2005; Castro-Roa, 2006; Guisande et al., 2012; Lozano, 2008), lo cual podría estar asociado a su gran diversidad morfológica y fisiológica (Lowe-McConnel, 1987).

De acuerdo a lo anterior, las especies con mayor abundancia, *Hemibrycon palomae* y *Brycon henni* que suman más del 40% del total colectado, pertenecen al orden Characiformes y se caracterizan por presentar estrategias tróficas y reproductivas que les permite la explotación de los diferentes ecosistemas acuáticos evaluados durante el estudio; es de resaltar que *H. palomae* es la única

especie endémica registrada en el estudio y que *B. henni* es la única especie con valor de uso comercial, lo cual serviría para la formulación de planes de conservación de la cuenca del río Roble.

Según los resultados de los números de Hill, las estaciones 4 y 5 del río Roble fueron las de mayor riqueza, estas estaciones ofertaron un mayor número de microhábitats (roca, guijarro, arena, hojarasca), lo que sugiere más refugios para las especies, facilitando la colonización de un mayor número de ellas.

Es importante considerar que las características estructurales de los ambientes tropicales ejercen efectos en la composición de las comunidades ícticas (Montoya et al., 2018), de tal forma que los microhábitats y variaciones en el sustrato influyen en los patrones de distribución de las comunidades de peces (Mueller y Pyron, 2010).

Por otra parte, en las estaciones establecidas en la quebrada Cajones fueron colectadas muy pocas especies, lo cual se debe a la notable contaminación antrópica que hay en este cuerpo de agua, representada en basura, aguas hervidas y desechos orgánicos principalmente, condiciones que no permiten el establecimiento de la fauna acuática.

Respecto a las variables físicas evaluadas, se ha determinado que las características estructurales de los ecosistemas acuáticos tienen influencia sobre la composición de las comunidades ícticas; de esta manera, la estructura de las comunidades ícticas en los ríos, se han relacionado principalmente con la temperatura del agua, velocidad, caudal y profundidad (Bussing y López, 1977; Angermeier y Karr, 1984). Lo anterior se corrobora en el presente estudio, en donde la temperatura del agua es un factor que influyó de manera positiva sobre la comunidad íctica del río Roble, al igual que la profundidad de los cuerpos de agua evaluados.

La ictiofauna del río Roble y sus tributarios, no presentó variación a nivel temporal pero sí a nivel espacial, lo cual podría deberse a que cada estación de muestreo presentó características estructurales diferentes entre sí, como el ancho y velocidad de la corriente y la heterogeneidad del sustrato.

A partir de la ecología trófica de las especies, se ha encontrado que los peces podrían ser empleados como especies indicadoras (Welcomme et al., 2006), de esta forma, especies con hábitos alimenticios especialistas podrían relacionarse a un ecosistema conservado, caso contrario con las especies de hábitos generalistas (Casatti et al., 2012).

Hemibrycon palomae y *Brycon henni* fueron las especies más abundantes, y son las únicas del estudio con algún tipo de uso y con endemismo. Las estaciones del río con mayor número de especies corresponden a las que están más cercanas a la desembocadura del río.

1.10. SÍNTESIS DE PROBLEMÁTICAS Y CONFLICTOS DERIVADOS DEL USO DEL RECURSO HÍDRICO

Con base en la participación comunitaria, institucional y sectores de usuarios del recurso hídrico se identificaron varias problemáticas y conflictos que se resumen a continuación por municipio.

1.10.1. Problemática del recurso hídrico río Roble y quebrada Portachuelo municipio de Filandia

En seguida se presenta el listado de problemáticas identificadas por la población en lo referente a la cantidad de agua en las cuencas del río Roble y la quebrada Portachuelo:

- Cambios en el uso del suelo en las zonas de nacimientos y rondas hídricas del Roble, la quebrada Portachuelo y sus tributarios.
- Aumento de temperatura y variabilidad climática. "Acueductos de Aguaceros".
- Aumento en la demanda a causa del aumento de población visitantes y turistas.
- Problemas de oferta y demanda.
- Se destacan áreas de potreros en nacimientos y riberas del río Roble.
- Algunas épocas del año disminuyen el caudal del río y la comunidad se siente en situación de vulnerabilidad.
- El agua se capta desde los nacimientos para el consumo y luego disminuye el caudal aguas abajo, por tanto, no hay caudal de vida en tiempo de verano en la quebrada La Arenosa.
- El agua de la quebrada Portachuelo escasea y cada vez la demanda es mayor.
- Disminución de caudal en épocas de verano junio, julio, agosto y hasta principios de septiembre.
- La quebrada La Arenosa está desprotegida, hay desabastecimiento para los usuarios que toman de allí.
- No se respeta el lecho del río, tala de árboles y siembras inapropiadas bajan el flujo del caudal.
- Humedales drenados en la parte alta vereda Cruces y el Roble.

En relación con la calidad del recurso, en el municipio de Filandia la comunidad expresa que:

- Existen vertimientos de actividades productivas agrícolas, pecuarias y turísticas.
- Existen vertimientos de aguas residuales domésticas en áreas urbanas del municipio.
- La Autopista del Café incide en la contaminación desde el nacimiento por el tránsito de vehículos, se ha observado desagües de carrotanques en la vía vereda el Roble.
- Contaminación en la quebrada Portachuelo por el aporte de la quebrada Chorro de Madres.
- Predios rurales sin sistemas de tratamiento de aguas (pozos sépticos) en las veredas El Vergel, Cauchera y el vigilante.
- Faltan estudios de calidad del agua tanto del río Roble como en la quebrada Portachuelo.
- Falta de aplicación de correctivos por vertimientos en la parte alta, nacimiento del río Roble.
- Incremento de contaminación de algunas fuentes abastecedoras, en la quebrada Portachuelo por actividad ganadera.
- Aumento de cultivos de aguacate, lulo y otros de clima frío, de los cuales puede generarse contaminación por escorrentía a la quebrada la Arenosa y Portachuelo en la vereda el Vergel.
- No hay tratamiento de potabilización apropiado al recurso hídrico del río y de la quebrada.

Mientras, en lo relacionado con el acceso al agua la comunidad establece que:

- Falta de infraestructura apropiada en las bocatomas.
- No hay clara identificación de nacimientos y su importancia de conservación.
- En la quebrada Portachuelo la captación no tiene ninguna regulación.
- Acceso al recurso sin calidad, en la zona rural los propietarios que se certifiquen en buenas prácticas deben tener agua potable y no la hay.
- El acceso en la zona rural es para uso agrícola y se pone en riesgo la salud pública ya que no hay acceso a agua potable.
- Captaciones ilegales en la quebrada Portachuelo.
- Servicio ineficiente, baja capacidad de almacenamiento de los acueductos.
- Ampliar el acceso al río y quebradas para actividades recreativas y de turismo.
- Pocas alternativas de otras fuentes de abastecimiento.
- Falencias en las acciones restrictivas para la captación y uso del recurso.
- Acceso limitado en épocas de sequía.

Por otra parte, en relación con la sostenibilidad del recurso hídrico en el municipio de Filandia, la población destacó lo siguiente:

- Falta de aplicación de los mecanismos de acción sobre conservación del recurso hídrico.
- Falta regulación para el buen uso del agua quebrada Portachuelo, y falta de regulación de vertimientos
- En la quebrada portachuelo hay desprotección de rondas hídricas
- Continuidad limitada por variaciones climáticas con veranos prolongados
- Poca articulación entre los instrumentos municipales para regular los usos y la conservación
- Desprotección de nacimientos y ocupación de cauces con ganadería y cultivos, aumento paulatino de frontera agrícola en el río Roble y la quebrada Portachuelo
- Desprotección del Nacimiento de la quebrada La Arenosa la cual surte gran parte de la vereda el Vergel.
- Poca voluntad de propietarios para hacer reforestación y posibilitar las franjas de protección en las riberas.
- Falta incentivos para el fomento de reforestación en quebradas.
- Falta de planes de contingencia eficientes por parte de EPQ y se encuentra haciendo usos inadecuados.
- Hay erosión del suelo, faltan técnicas de contención y barreras.

Por último, en lo referente al comportamiento social frente al recurso hídrico en el municipio de Filandia, la participación de la comunidad permitió destacar que:

- Falta de conciencia y cultura ambiental.
- Interés de suplir la necesidad personal a nivel productivo sin importar la afectación de usuarios del recurso.
- Uso recreativo en la quebrada Portachuelo, las personas depositan basuras y el agua ya viene contaminada con heces de ganadería y de humanos falta de conocimiento de la importancia de esta quebrada.
- Solo se acude al cuidado cuando hay alerta de escases.
- Algunos productores con pocas técnicas para mitigar la contaminación del agua.
- Poca participación de sector educativo, salud, gestión del riesgo en los procesos de planificación.
- Falta la exponer el problema y diseño de estrategias conjuntas.
- Falta de orientación y control para propietarios que hacen talas, quemas, contaminación por fungicidas.
- Falta de educación para la comunidad, sobre el manejo de los residuos.
- Poca sensibilidad el propietario del Predio la Coronilla donde nace la Quebrada la Arenosa, pues no permite acciones de mejoramiento de cuidado y protección del nacimiento.

En el municipio de Filandia se encontraron áreas críticas en todas las categorías de análisis, excepto en asentamientos humanos con posibilidad riesgo, como se describe a continuación.

| | |
|--|--|
| Áreas con vertimientos | Zonas aledañas a los nacimientos escuela el Roble y restaurantes vereda el Roble, sector de restaurantes en cruces y vía autopistas del café vertimientos de lixiviados por carros compactadores de basura, en la quebrada Portachuelo, vertimientos por residuos de sistemas productivos, vereda Cruces, el Vergel, la Cauchera, vertimientos sobre el Chorro de las Madres, en Pavas y el Laurel, observación de espumas y aguas residuales domésticas en la vereda Vergel parte baja ya que las fincas no cuentan con pozo séptico. Vertimientos en los nacimientos donde empieza la vereda la cauchera Vertimientos de aguas residuales de una parte de los barrios del pueblo, contaminando directamente la quebrada y el río Roble aguas abajo, área de la quebrada la Coronilla que recibe aguas negras, la quebrada Portachuelo está contaminada por vertimientos del barrio Santiago López y gran parte de Filandia. En el paso de los aguadeños se hacen paseos de olla actividad que deja residuos contaminantes. |
| Áreas con ocupación de cauces | Área de bocatoma, comité de cafeteros, quebrada Portachuelo. Área de la quebrada Portachuelo donde se junta con el Roble. Áreas cultivadas hasta la base del río por el paso de los aguadeños. |
| Áreas con sedimentos | Ronda hídrica vereda el Vigilante, sector del paso de los aguadeños (peña) sector vereda La Cauchera sedimentos por erosión en la vereda El Vergel, al comienzo del año 2019. Sedimentos por deslizamientos de tierra por la vereda Barcelona Alta después del paso de los Aguadeños Sedimentos en la Arenosa y Portachuelo Playa Azul, varios tramos en la Vereda Cruces. |
| Áreas con disminución de caudal | Cauces en las veredas la cauchera y el vigilante La quebrada La Arenosa que tributa al Portachuelo no hay caudal ecológico ya que toda el agua es captada en la bocatoma. |
| Otras áreas | El Comité de cafeteros no hace ningún tipo de seguimiento a las dos bocatomas que tiene en la vereda el Vergel en lo relacionado a la oferta. presenciando quemas directas al bosque que protege el río Roble en la vereda Membrillal o la Concha de Circasia |

Tabla 136. Áreas o sectores críticos en la jurisdicción del municipio de Filandia.

1.10.2. Problemática río Roble y quebrada Cajones en el municipio de Circasia

De acuerdo con la aplicación de las actividades de participación comunitaria, se destacan los siguientes aspectos de percepción individual y colectiva en el río Roble y entorno a la quebrada Cajones.

En cuanto a la problemática relacionada con la cantidad de agua, en el municipio de Circasia la comunidad destaca que:

- El caudal del río ha sido insuficiente, debido a la limitada disponibilidad del recurso hídrico para abastecer en el municipio.
- Disminución de caudal en todas las quebradas que confluyen al río Roble principalmente en la quebrada Cajones.
- Limitada cantidad en épocas de verano, variaciones climáticas, prolongados veranos e inviernos severos.
- Falta mayor planificación.
- Limitada disponibilidad del recurso en la quebrada Cajones.
- No hay reforestación adecuada por parte de la comunidad.
- Ausencia de programas de restauración y planes de conservación para sostenimiento del caudal.
- Labores agrícolas en las aguacateras hacen zanjas de drenaje cada 10 m para manejo de los aguaceros, lo que afecta la cantidad de agua en el cauce.

En relación con la calidad del recurso hídrico en el municipio de Circasia, la opinión de la comunidad es la siguiente:

- Contaminación por actividades porcícolas predio la Siria, aguas arriba de la bocatoma y cultivos de aguacate en la quebrada Cajones.
- Vertimientos y residuos (patas y plumas) de actividad Avícolas de Galpón empresa mediana aguas arriba de la bocatoma de Circasia, materiales irreversibles.
- Contaminación por arrastre de agroquímicos de las actividades agrícolas como los cultivos de aguacate.
- Contaminación por vertimientos del alcantarillado del casco urbano de Circasia. Turbiedad y lixiviados, en la Quebrada Cajones.
- Fácil ingreso de personas a la quebrada Cajones a actividades recreativas (Baño) sector de Ataúd, y quebrada El Manantial.
- Vertimientos de aguas residuales al río en Barcelona Alta.
- El agua no llega en óptimas condiciones para uso doméstico.
- Contaminación por residuos orgánicos, lavado de motos.
- Vertimientos de residuos en Barcelona Alta y Baja.
- Sedimentación por actividades en el condominio residencial Zimbabwe arrojando de residuos sólidos, tanto en el río como en la quebrada.
- Vertimiento de aguas residuales en el caserío el Triunfo en Barcelona Alta, pozo séptico clausurado.

Por otra parte, la comunidad manifestó su opinión en relación con el acceso al recurso hídrico en el municipio de Circasia, mencionando:

- Ilegalidad, se destacan captaciones ilegales.
- Conflicto de competencia de acueductos por el recurso.
- El acceso debe ser democratizado a todos, en la quebrada Cajones la oportunidad de acceso es poca ya que solo se toma una pequeña cantidad.
- Limitada en sequía hay desabastecimiento.
- Limitación en la disponibilidad, algunas personas no pueden acceder al recurso.
- Se impide el acceso hay sitios restringidos por propietarios para el cuidado del recurso.
- El acceso a la quebrada Cajones se ve limitado porque la mayor parte de su trayecto está contaminado.
- No todos los predios tienen el servicio o el acceso.
- Falta de oferta hídrica y de acueducto que surta a los usuarios

Por otra parte, en relación con la continuidad y sostenibilidad del recurso hídrico, en Circasia la comunidad manifiesta:

- El caudal no es sostenible, falta mayor protección en el cauce, han talado árboles y guaduales.
- Falta aumentar áreas boscosas para mejorar la oferta y mantener el caudal.
- El suministro del recurso no ha sido permanente debido a la escasez y se ha acudido al racionamiento, en la quebrada Cajones se ha racionado para el casco urbano, pero se ha mantenido para la zona rural.
- Pérdida del potencial de abastecimiento por falta de fuentes hídricas locales con condiciones óptimas.
- Deforestación, contaminación y cambio climático, disminución del cauce.
- Falta de planificación y desabastecimiento por el crecimiento poblacional
- Ocupación de cauces con ganadería, cultivos y patios de fincas

El comportamiento social de la comunidad del municipio de Circasia frente al recurso hídrico es:

- Falta mayor sensibilidad y conciencia sobre la importancia del recurso hídrico.
- Poca participación social en el manejo del río, la participación no ha tenido repercusiones en los programas institucionales.
- Mal manejo del agua, desperdicio.
- Poca cultura ambiental, creen que es inagotable y que es potable.
- Hace falta más educación ambiental en la población, para el uso razonable del recurso, sensibilizar sobre el cuidado y buen manejo de las quebradas.
- Intereses privados y particulares por encima del bienestar colectivo.
- Se carece de cultura con relación al cuidado de la cuenca y sus tributarios, falta implementar mayores procesos culturales y educativos.
- Actividades recreativas en el río.
- Uso del recurso sin responsabilidad sobre su cuidado.

La comunidad manifiesta que en municipio de Circasia se encontraron áreas críticas en todas las categorías de análisis, como se describe a continuación.

| | |
|---------------------------------|--|
| Áreas con vertimientos | Áreas de los condominios campestres y establecimientos como restaurantes veredas el Roble, San Antonio, la Siria, producción pecuaria en las veredas de las partes altas Caserío Barcelona Alta Quebrada Cajones, vereda Barcelona Alta, tramo el Ataúd, Quebrada Manantial y Cajones Vertimientos predio la Siria al lado de la quebrada Cajones, actividad pecuaria, en el puente que comunica con el predio porvenir. Vertimientos en todo el cauce de la quebrada Cajones desde la parte alta hasta su unión con el río, igualmente el río en la parte alta, media y baja. |
| Áreas con ocupación de cauces | Cauces cerrados por propietarios que impiden la conservación en el río Roble Fincas que no respetan ronda hídrica y llegan hasta el cauce con cultivos y pasto, problemas de reconversión ganadera. |
| Áreas con sedimentos. | Condominio residencial Zimbaue en la parte baja de la cuenca. |
| Asentamientos humanos en riesgo | En la parte media casco urbano de Circasia Asentamiento humano caserío el silencio en la vereda Barcelona Alta |
| Áreas con disminución de caudal | Ha disminuido casi en todo el recorrido parte alta media y baja se ha presentado disminución de caudal en la bocatoma del acueducto Barcelona Alta. Toda la cuenca debido al tiempo seco |

Tabla 137. Áreas o sectores críticos en la jurisdicción del municipio de Circasia.

1.10.3. Problemática en el río Roble en el municipio de Montenegro

Mediante la aplicación de la metodología para el ejercicio de participación individual y colectiva en el municipio de Montenegro, se obtuvo la siguiente relación con respecto al río Roble.

- Disminución del caudal en temporadas secas, falta regulación para que siempre haya agua.
- Mínimo recurso en tiempo de cosechas y altos costos en el servicio.
- Escasez de agua en el río sector La Paloma.
- Falta de planificación para mantener la oferta en las temporadas de alta demanda.
- Aumento de carga poblacional, alto consumo, aumento de la demanda.
- Uso desmedido del recurso y deforestación de laderas.
- Tala de guaduales contribuyen a la disminución acelerada del caudal.
- Deforestación, expansión de la frontera agrícola, conversión a áreas de potrero inciden en los bajos niveles del caudal.
- Falta de repoblamiento con especies nativas que ayuden a mantener estable el caudal.

Mientras, con relación a la calidad del recurso hídrico, la comunidad manifiesta que en el municipio de Montenegro se destaca:

- Descargas de contaminantes de las actividades domésticas comerciales, industriales y productivas de la zona urbana del municipio.
- Contaminación por actividades agropecuarias y aguas residuales sin tratamiento de zona rural.
- Lavaderos clandestinos de automotores que realizan la ocupación del cauce.
- Ocupación de cauces por ganadería, el ganado bebe agua directa del río y genera contaminación directa por ganadería.
- Afectaciones por vertimientos no controlado efecto escorrentía presencia de sustancias de interés sanitario.
- Ocupación de cauce con cultivos que demandan uso de productos químicos.
- Predios sin franjas de protección facilitan la llegada de vertimientos al río.
- Falta PTAR, Implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales, pozos sépticos.
- Se observa espuma en el agua y color grisáceo.
- Contaminación por descargas desde Circasia y por ello el agua no es apta para el consumo humano.
- Contaminación con residuos sólidos de actividades de recreación en el río.
- Se presta el servicio, costoso y sin calidad.
- Agua no potable, acueducto del Comité de Cafeteros.

Por otra parte, con relación a la oportunidad de acceso al recurso hídrico en Montenegro, la comunidad destaca lo siguiente:

- Captaciones ilegales sin suficiente control.
- Falta de monitoreo a las fuentes hídricas abastecedoras.
- Falta de Planificación de zonas de desarrollo urbano y crecimiento poblacional que faciliten calcular las posibilidades de acceso al recurso.
- Captaciones y bocatomas del Comité de cafeteros no tratan el agua, limitando el uso para consumo doméstico en la zona rural.
- Falta mayor capacidad de almacenamiento y distribución de los acueductos. Falta visibilizar la posibilidad de mejorar fuentes hídricas alternas que puedan utilizarse en tiempos de desabastecimiento como en la quebrada Cajones, la Soledad y la Paloma.
- El recurso ya es limitado para el abastecimiento de la población en ciertas épocas y la infraestructura obsoleta para atender la demanda.
- Acceso a actividades turísticas en el río, con limitación para todos los visitantes.
- Racionamiento continuo en el servicio y altos costos en las facturas.

Por otra parte, en lo relacionado con la continuidad y sostenibilidad del recurso hídrico en el municipio de Montenegro, la comunidad destaca que:

- Falta de eficacia en la aplicación de la ley respecto de la ronda hídrica del río Roble.
- Deforestación de árboles y guaduales desestabiliza la sostenibilidad del recurso, ausencia de control y vigilancia. Construcciones cerca del cauce del río ocupaciones no legalizadas, ausencia de control y seguimiento.
- Falta recuperar áreas de protección, pérdida paulatina de cobertura vegetal en ronda hídrica.
- Falta más información sobre sostenibilidad de la cuenca a propietarios de predios y comunidad, ausencia de divulgación de incentivos.
- Zonas inestables, canal de conducción a cielo abierto.
- Falta de fortalecimiento de corredores biológicos, urbanos y rurales donde existen quebradas.
- Actividades productivas de ganadería, sin un manejo amigable con el río, falta limitar el uso.
- Falta limitar el uso de actividades productivas de cultivos intensivos con manejo poco amigable con la protección del río.

- Actividades de extracción minera con prácticas poco amigables con la protección del río. Falta limitar el uso.
- Actividades turísticas y recreativas poco comprometidas con el cuidado del río. falta limitar el uso.

La comunidad establece que el comportamiento social frente al recurso hídrico en el municipio de Montenegro es el siguiente:

- Falta de sentido de pertenencia y compromiso por nuestro río Roble de propietarios de predios instituciones y comunidad en general.
- Falta cultura ambiental, una apropiada educación ambiental en la familia y la escuela
- Anualmente hay problemas de desabastecimiento y aun así falta conciencia en el buen uso del recurso.
- Desconocimiento de las normas, leyes, incentivos y beneficios.
- Inasistencia y falta de participación de actores fundamentales en el manejo del río.
- Desmotivación de las comunidades frente a procesos institucionales.
- Falta de recursos económicos para educación y campañas ambientales.
- Poca credibilidad de las comunidades frente a los planes y programas.
- Prima el interés personal por encima del bienestar común.
- Indiferencia frente a la escasez del recurso, mal manejo en el uso y derroche.
- Falta de programas de educación ambiental, de ahorro del agua y buen manejo del recurso institucional de las autoridades ambientales y de los prestadores del servicio.
- La educación no solo debe descargarse a las instituciones educativas.

Por último, en relación con las áreas críticas del recurso hídrico del río Roble en el municipio de Montenegro, la comunidad establece:

| | |
|--|--|
| Áreas con vertimientos | Zona Urbana: Barrios La Isabela, Santa Elena, la Balastrea, La cabaña, Turín, Barrio Golfo y La Julia. En el sector del puente en Montenegro quebrada Cajones por el casco urbano de Montenegro. Problemas de residuos sólidos Barrio el Carmen. Zona Rural: vertimientos directos Sector de la Cascada, frente a la vereda la Frontera, en la Morelia Baja, actividades económicas sobre ronda hídrica del río. Vertimiento de varias fincas aledañas al río, y vereda la Julia Porcícolas la Siria, vereda Española Quimbaya cerca de las desembocaduras, finca Playa azul, vereda el Gigante finca La Pesquera. |
| Áreas con ocupación de cauces | Zona llamada La Rocha, La Cabaña, lugares de recreación, construcciones cerca del río en varios sectores B/ La Isabela, Pablo VI y la Balastrea la octava, Golfo, salida para Pueblo Rico después del Puente. Deforestación y quemas en la finca La Irlanda, actividad ganadera en varios predios aledaños al río no se respeta la ronda hídrica, afectación por actividades pecuarias y agrícolas En toda la microcuenca Sector Cabaña Sector de la finca el Quinto y Turín Expansión de la frontera agrícola y ganadera en las riberas del río Roble veredas el Gigante, Urania, la Montaña, Risaralda en diversas áreas en todo lo largo del cauce. |
| Áreas con sedimentos | El Golfo Área la Frontera con el sur de Circasia, zonas deforestadas y afectadas por el cambio climático y movimientos en masa altas pendientes a lo largo de la microcuenca Finca la Montaña Procesos erosivos veredas cercanas a la desembocadura con el río la Vieja Puerto Samaria. Asentamientos en Puerto Samaria, Barrio la 18, el Golfo, zona urbana, B/ Marín Q/ Cajones áreas deforestadas varias a lo largo del río Zona Granito de oro, la Rocha, el Siniestro, el Ataúd |
| Asentamientos humanos en riesgo | Zona llamada la 18 Casco urbano de Montenegro Pablo VI, la Balastrea, el Golfo, Santa Elena, B/Marín, Pueblo Nuevo, Álamos el Carmen, Turbay Invasiones finca con problemas de riesgo en la Cabaña zonas sin acceso a saneamiento básico primario, Sector denominado la Cascada, río Roble La Cabaña, la Rocha, parte de atrás. Desembocadura al río la Vieja Vivienda del ermitaño. |

| | |
|--|--|
| Áreas con disminución de caudal | Todo el casco urbano del municipio Todo el río desde la Frontera hasta la desembocadura en la Vieja Todo el río ha disminuido su caudal zonas de captación con afectación por concesiones no legalizadas Q/ Cajones, deforestación corredora biológico urbano Quebrada Cajones Barrio Colon. |
| Otras áreas | Vereda la frontera Actividades recreativas que dejan residuos, donde está la cascada aproximadamente 1,5 km vía circasia desde Montenegro Granjas avícolas que están en la parte de las veredas el Gigante, Cuzco, Once Casas y la Urania, No hay Control y son más de 34 granjas avícolas Ruta de selección de residuos sólidos sector centro, primer colegio basura cero Santa María Goretti |

Tabla 138. Áreas o sectores críticos en la jurisdicción del municipio de Montenegro.

1.10.4. Problemática en el río Roble en el municipio de Quimbaya

Resultado del análisis individual y colectivo con la aplicación de la metodología de participación establecida, se obtuvo la siguiente percepción de la comunidad con el río Roble en el tramo que se ubica sobre la jurisdicción del municipio de Quimbaya.

En lo que respecta a la cantidad del recurso hídrico en el municipio de Quimbaya, la población destaca que:

- Falta de regulación hídrica por falta o pérdida de cobertura vegetal.
- Desabastecimiento del recurso hídrico por fenómenos climáticos (niño) especialmente en las veredas Trocaderos, La Unión, Naranjal, y las partidas

La opinión de la comunidad en lo correspondiente a la calidad del recurso es la siguiente:

- Disminución en la capacidad de autodepuración, aumento en los problemas de calidad.
- Extracción de material del río (Pueblo Rico, puente).
- Vertimiento de aguas residuales de los caseríos o centros poblados al Roble
- Residuos sólidos y líquidos y peligrosos.
- Agua turbia llega a los usuarios por la tubería proveniente de la quebrada Portachuelo, afectación por agroquímicos principalmente por cultivo de plátano y por el vaciado de piscinas.

La opinión de la comunidad en lo correspondiente a la calidad del recurso es la siguiente:

- Conexiones fraudulentas, falta de legalidad, usos incompatibles.
- Aprovechamiento desmedido para uso de riego y uso recreativo limita el acceso a otros usuarios para uso doméstico.

En lo referente a la continuidad y sostenibilidad del recurso en el municipio de Quimbaya, la población establece que:

- Falta de programas de uso eficiente y ahorro del agua, tanques de reserva.
- Aprovechamiento desmedido de guadua y especies forestales protectoras de la cuenca

Además, el comportamiento de la social frente al recurso hídrico en Quimbaya destaca estos problemas según la comunidad:

- Falta de conocimiento sobre la posibilidad de actividades prácticas de sostenibilidad ambiental frente a los conflictos de uso del suelo

- Desconocimiento de la normativa legal aplicada, falta de aprovechamiento y conocimiento por parte de la población acerca del origen del RH

Por último, frente a las áreas críticas que en municipio de Quimbaya generan inconveniente al estado del recurso hídrico, particularmente del río Roble, se destaca:

| | |
|---------------------------------|--|
| Áreas con vertimientos | Aguas residuales Pueblo Rico, por vaciado de piscinas y actividades turísticas vereda la Morelia alta y baja, Naranjal, las partidas, zona hotelera del Chaquiro, el Castillo, caserío el Laurel, vertimientos vereda Santa Ana, fonda los arrieros. |
| Áreas con ocupación de cauces | Pueblo rico, Construcción de Hotel el Acuario en la vereda el Castillo, minería ilegal en Puerto Samaria, deforestación para ganadería en veredas la cabaña y la española |
| Áreas con sedimentos | Construcción de Hotel el Acuario salida para Montenegro. |
| Asentamientos humanos en riesgo | Pueblo Rico, Naranjal |
| Áreas con disminución de caudal | Tramos vereda Trocaderos Naranjal y la Unión |

Tabla 139. Áreas o sectores críticos en la jurisdicción del municipio de Quimbaya.

De acuerdo con la percepción de la comunidad, las problemáticas del recurso hídrico en el río Roble, río Cajones y río Portachuelo está influenciada por el desarrollo de una variedad de actividades económicas, malas prácticas ambientales, debilidades en las actividades de control y planificación, entre otras; las cuales se presentan de forma esquemática se en la Figura 229.

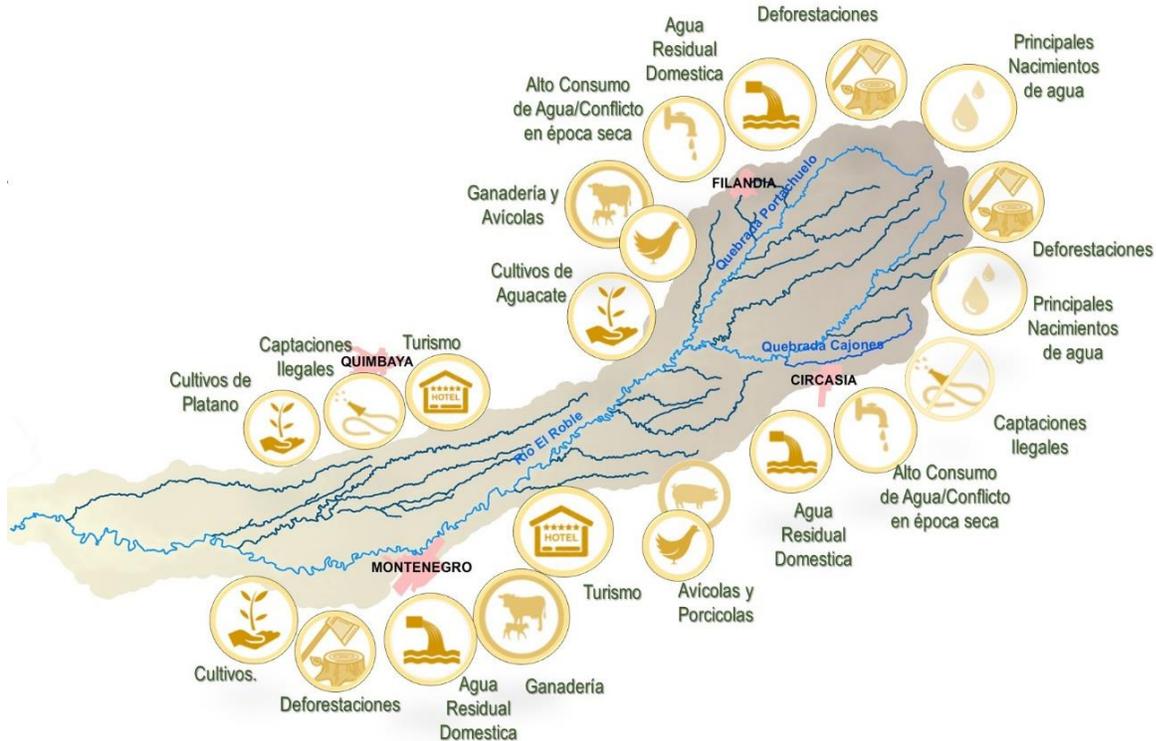


Figura 229. Problemáticas identificadas mediante la participación comunitaria.

2. FASE: IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES

Esta fase permite identificar los usos potenciales del recurso hídrico a partir de la información obtenida en la fase de diagnóstico. Lo anterior mediante la implementación de herramientas y metodologías (modelación matemática, encuentros de socialización, discusión y participación, cartografía social) orientadas a la formulación, discusión y análisis de escenarios futuros partiendo de conflictos existentes sobre el agua, las expectativas de aprovechamiento y el conocimiento que tiene la sociedad sobre el recurso natural. En consecuencia, los principales propósitos son establecer que corrientes podrán o no recibir vertimientos, definir objetivos de calidad para lograr los usos deseados en conformidad con las medidas de control sobre el recurso hídrico, límites a descargas de aguas residuales, e identificación de amenazas y riesgos.

Esta fase comprende el análisis de los usos potenciales del recurso hídrico en los cauces principales del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, a partir de la formulación de escenarios futuros de uso sostenible del recurso hídrico, lo cual se realizó siguiendo el esquema recomendado por el MADS (2018, Figura 230). El informe contiene la proyección de la demanda de agua de acuerdo con las estimaciones realizadas a partir de la población actual y esperada para el mediano (año 2025) y largo plazo (año 2029). Se calibró un modelo de calidad del agua a partir de la información de calidad y cantidad disponible y estimada de vertedores, afluentes y de las corrientes objeto de ordenamiento (río Roble, quebrada Cajones y Quebrada Portachuelo).

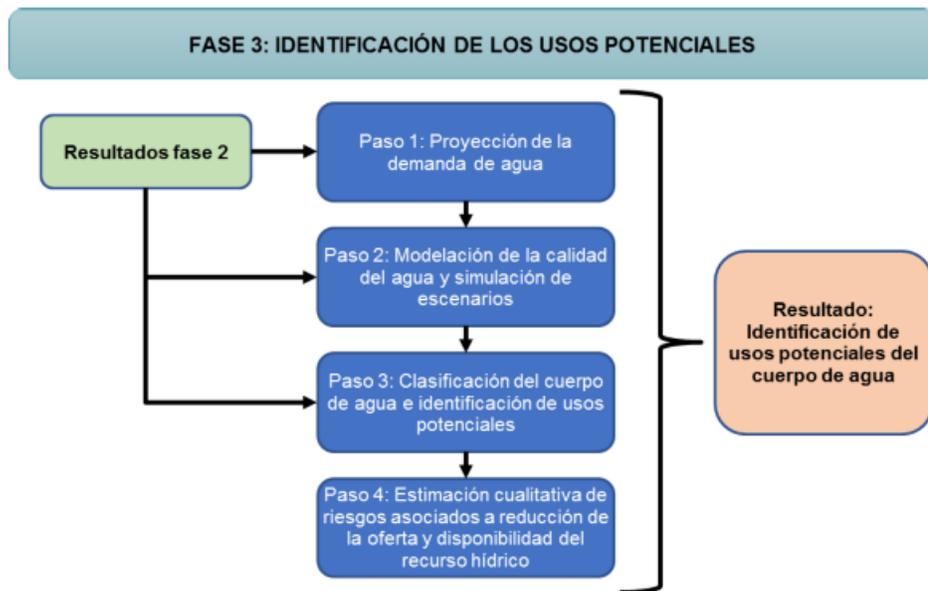


Figura 230 Desarrollo de la Fase de identificación de usos potenciales

A partir de los resultados de las simulaciones y de los criterios de calidad definidos en el Decreto 1076 de 2015 (el cual compiló el Decreto 1594 de 1984), correspondientes los usos presentados en el artículo 2.2.3.3.2.1, se realizó la clasificación del cuerpo de agua y se realizó la identificación

de los usos potenciales. Finalmente, se realizó la estimación cualitativa de los riesgos asociados a la disponibilidad del recurso hídrico, en lo relacionado con la calidad del agua.

Un insumo fundamental para la definición de los escenarios de simulación fue el análisis elaborado por los actores en relación con los posibles usos potenciales para cada tramo y la tipificación de las acciones necesarias para alcanzarlos desde sus saberes, experiencias y conocimiento del territorio. En la sección 2.1 se detallan los resultados de cuatro (4) talleres participativos desarrollados con actores relevantes y representativos de uso del recurso hídrico desarrollados con el fin de alimentar el proceso de formulación de escenarios y la posterior identificación de usos potenciales por tramo, en la sección 2.2 se presentan detalles relacionados con la implementación de la modelación hidráulica y de calidad del agua en los tramos objeto de ordenamiento, los resultados de los diferentes escenarios de calidad del agua en el río roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones se describen en la sección 2.3, la clasificación de los cuerpos de agua y los usos potenciales se indican para cada tramo en la sección 2.4, el establecimiento de estos usos potenciales implicaron una revisión de los objetivos de calidad del agua para cada tramo, por lo que sus resultados se presentan en la sección 2.5. Finalmente, las secciones 2.6 y 2.7 relacionan las zonas de prohibición de usos específicos y la estimación del riesgo a la disponibilidad hídrica respectivamente.

2.1. PERSPECTIVA DE ACTORES SOBRE USOS PROSPECTIVOS DEL AGUA

En el marco de la implementación de la estrategia de participación, y teniendo en cuenta los conflictos por el agua, se implementaron ejercicios participativos mediante la aplicación de herramientas de trabajo comunitario para la identificación y análisis de usos potenciales del recurso hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones con el fin de contar con insumos acordes a la realidad socioambiental de los cuerpos de agua para la proyección de escenarios futuros.

Previa contextualización sobre los conflictos que presenta el recurso y mediante diálogo de saberes según sus percepciones, experiencias y observaciones de los cuerpos de agua, se construye una lectura compartida de su estado actual, lo cual facilita la identificación de usos potenciales del agua. Del proceso participativo se destaca que los actores tuvieron puntos de vista coincidentes en el análisis cualitativo de los escenarios tendenciales y deseados sobre los tramos considerados para la identificación de usos potenciales del Recurso Hídrico.

2.1.1. Enfoque participativo

Siguiendo la ruta metodológica planteada en la estrategia de participación, la realización de estos espacios responde a las condiciones y dinámicas sociales en la fase de Prospectiva y Formulación del PORH; los grupos participantes en estas fases son grupos activos ya informados del proceso y que hacen parte de la estructura metodológica como actores relevantes, convirtiéndose en grupos de influencia. Las Mesas Municipales Río Roble se constituyen en una estrategia mediante la cual se manifiestan dinámicas socio - culturales a nivel local (veredal, municipal), fundamentales en el proceso de construcción del conocimiento colectivo del río.

2.1.1.1. Actores participantes en la identificación de los usos potenciales del agua en el río Roble.

Los actores convocados suman un total de 79 entre relevantes y representativos de los cuales participaron 44 (un 56%, Figura 231), pertenecientes a los municipios de Armenia, Filandia, Circasia, Montenegro y Quimbaya. Los actores hacen parte de diversos sectores, entre ellos: Institucional, productivo, académico, organizativo, gremios, servicios y comunidad.

| Municipio | Actores convocados | Actores Participantes |
|------------|--------------------|-----------------------|
| Armenia | 15 | 13 |
| Circasia | 13 | 5 |
| Filandia | 19 | 8 |
| Montenegro | 17 | 11 |
| Quimbaya | 15 | 6 |
| TOTAL | 79 | 44 |

Tabla 140. Actores convocados y participantes en el taller de usos potenciales del recurso hídrico del río Roble

La mayor participación de los actores se presentó en el municipio de Montenegro donde se contó con un grupo de 18 personas entre actores relevantes y representativos del municipio y del departamento. De otra parte, la asistencia y participación en los municipios de Circasia y Quimbaya fue la más reducida (Tabla 140, Figura 232).

En la participación de los actores se contó con diversos sectores, siendo los más representativos, el sector institucional, el social organizativo y el comunitario de los municipios de Filandia Montenegro y Quimbaya. El sector institucional estuvo representado por la Corporación Autónoma Regional del Quindío y la Secretaría Departamental de Agricultura entre otros. Del sector social organizativo se contó con la asistencia y activa participación de representantes de Consejos de Desarrollo Rural, Asociaciones de Ambientalistas y grupos organizados de la Sociedad Civil. Líderes comunitarios, Juntas de Acción Comunal y propietarios de predios representaron el sector comunidad. Hubo ausencia de la Administración Municipal de Circasia, el Comité Departamental de Cafeteros y las Instituciones Educativas convocadas.

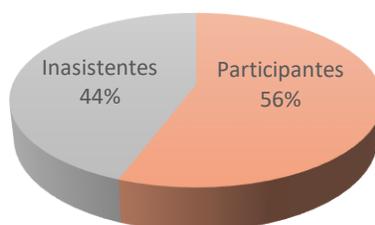


Figura 231. Participación de actores en los talleres de análisis de usos potenciales del recurso hídrico en río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

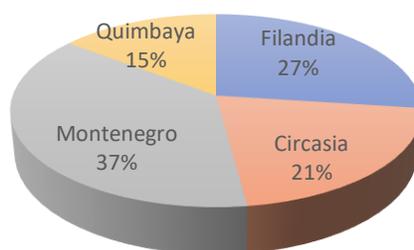


Figura 232. Participación de actores por municipio. Taller usos potenciales recurso hídrico en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

2.1.1.2. *Momentos metodológicos*

El desarrollo metodológico comprendió los siguientes momentos:

- Socialización de problemáticas y conflictos por el agua del río Roble, para contextualizar a los participantes sobre el estado actual del recurso hídrico
- Orientación sobre Decreto 1076 de 2015 en lo relacionado a la definición de aguas de uso público y aguas de dominio privado, al igual que las categorías de uso en el proceso de ordenamiento del recurso hídrico del río Roble y sus principales tributarios.
- Ejercicio de trabajo colaborativo y cartografía social en la identificación y análisis de usos potenciales del agua.
- Plenaria y presentación de las propuestas de usos. La plenaria es un ejercicio de socialización del trabajo de los equipos que se enriquece con las opiniones de los participantes, visibilizando puntos de coincidencia y diferencia de los grupos de trabajo.

2.1.1.3. *Técnicas y herramientas implementadas*

2.1.1.3.1. *Ficha de recolección de información sobre usos potenciales del agua*

La identificación de los usos potenciales del agua se realizó mediante una herramienta de trabajo colectivo que permitió identificar por tramos los usos potenciales del recurso hídrico en el río Roble, y plantear acciones necesarias para alcanzar estos usos. El ejercicio facilitó el registro y análisis de información, construcción de conocimiento y trabajo colaborativo. El Anexo 1 contiene las fichas de identificación de usos potenciales del agua generadas en los cuatro talleres realizados. En dicho instrumento de recolección de información se clasificaron las siguientes tipologías de usos potenciales se presentan a continuación (decreto 1076 de 2015):

- **Consumo Humano y Doméstico.** Bebida directa y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas.
- **Uso para la preservación de flora y fauna.** Actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

- **Uso para pesca, maricultura y acuicultura.** Actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas.
- **Uso agrícola.** Utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas.
- **Uso pecuario.** Utilización para el consumo del ganado y demás animales y actividades conexas.
- **Uso recreativo.** Actividades de contacto primario (natación, buceo, baños medicinales) y contacto secundario (deportes náuticos y pesca).
- **Uso Industrial.** Procesos manufactureros de transformación o explotación, generación de energía, minería, hidrocarburos, elaboración de alimentos destinados a su comercialización, fabricación o procesamiento de drogas, cosméticos, y productos similares.
- **Navegación y transporte acuático.** Movilización de embarcaciones o materiales por contacto directo con el agua.
- **Uso Estético.** Armonización y embellecimiento del paisaje.

2.1.1.3.2. Cartografía Social

Cada ficha fue diligenciada por los grupos de trabajo participativo conformadas por los actores tuvo asociada una representación espacial generada mediante la técnica de cartografía social. Este ejercicio se desarrolló para el cauce principal y las quebradas Portachuelo y Cajones.

Para el desarrollo de este ejercicio se utilizó un mapa de la cuenca del río Roble en el cual se identificaron los siete tramos objeto de ordenamiento, los cuales fueron definidos considerando los cambios de régimen hidrológico y presión ejercida sobre el uso y calidad del recurso hídrico, con el propósito de ubicar los usos potenciales del agua.

2.1.2. Usos potenciales identificados por los actores

| Tramo 1 | | |
|-----------------------------------|---|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Consumo Humano y doméstico | Área de afloramientos, | Preservación de bosques y rondas hídricas, cerramiento y cercas para evitar paso de ganado, restringir cultivos transitorios y de alto impacto con agroquímicos. Establecimiento de planta de potabilización, promover investigación, soluciones tecnológicas: bio-remediación |

| Tramo 1 | | |
|--------------------------------------|---|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| | Oferta hídrica menos contaminada y rondas hídricas más protegidas, existencia de bocatomas. En el momento abastece población rural, presenta condiciones de caudal apropiados de calidad aceptable. | Control y restricción en el manejo de licencias ambientales, recuperación de áreas de restauración ecológica. |
| | Gran cantidad de población demanda del recurso para satisfacer sus necesidades primarias | Regulación del uso del suelo para ganadería. |
| | | Regulación de actividades agrícolas y pecuarias |
| | | Compra de predios de interés según 1007 de 2018 |
| | | Limitar construcciones, asentamientos humanos, actividades comerciales y agrícolas. |
| | | Erradicar vertimientos. Uso y ahorro eficiente, manejo de fugas |
| | | Sistemas de tratamiento de residuos agrícolas y pecuarios |
| Preservación de flora y fauna | En época de sequía el caudal de la quebrada disminuye y la bocatoma capta todo el recurso, afectando el caudal ecológico, se debe garantizar las condiciones permanentes de caudal y servicios ecosistémicos. | Técnicas culturales, ubicar lata de zinc liso en una parte de la bocatoma para que parte del agua corra y no se afecte el caudal aguas abajo. Reforestación, enriquecimiento de áreas y cerramiento de áreas de nacimientos, aumento de cobertura boscosa, monitoreo |
| | Este tramo hace parte de un área protegida: Distrito de Conservación de Suelos Barbas Bremen, presencia de especies en riesgo. | Cumplimiento de las determinantes ambientales y el Plan de manejo y conservación del distrito. Divulgación e implementación de incentivos de conservación |
| | Propósitos de educación ambiental | Restricción para ampliación de cultivos Implementación de corredores biológicos |
| Estético | Posibilidades de contemplación y apreciación de paisaje bosque subandino, armonización del paisaje | Recuperación de áreas degradadas, recuperación de especies de flora en extinción, establecimiento de conectores biológicos |
| Agrícola | Por la dinámica de uso del suelo, áreas en conservación con sistemas productivos | Planificación de uso del suelo rural, BPA, establecimiento de sistemas agroforestales |

| Tramo 1 | | |
|-----------------------|--|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Pecuario | Existencia de dinámica ganadera como actividad socioeconómica y de uso del suelo | Sistemas silvopastoriles, Buenas prácticas ganaderas |

Tabla 141. Descripción usos y acciones potenciales en el Tramo 1

| Tramo 2 | | |
|-----------------------------------|--|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Consumo Humano y doméstico | Existencia de bocatomas, aumento de la demanda, condiciones aceptables del recurso, oferta hídrica. | Protección de rondas hídricas, previo estudio de tamaño predial en las riberas de los cauces. |
| | | Vigilancia y cumplimiento de la norma |
| | | Manejo apropiado de aguas residuales. |
| | | Establecimiento de PTAR en casco urbano de Filandia |
| | | Manejo y mantenimiento de sistemas sépticos |
| | | Limitación de Construcciones |
| | | Formalizar captaciones |
| Preservación Fauna y Flora | Protección del recurso para garantizar condiciones permanentes de servicios ecosistémicos. Mejorar la calidad y cantidad del recurso, alta biodiversidad | Protección y cerramiento en bocatomas |
| | | Establecimiento de franjas protectoras dependiendo de las condiciones de cada predio. Manejo de suelos |
| Agrícolas | Demanda de producción de alimentos, suelos agrícolas, oferta hídrica para sistemas productivos | Buenas prácticas agrícolas, restricción de ampliación de cultivos, asistencia técnica a propietarios. |
| | | Implementación de agricultura alternativa, sistemas agroforestales Establecer sistemas de control y manejo de residuos líquidos y sólidos orgánicos y químicos producto de la actividad. |
| Pecuaría (ganadería) | Existencia de este sistema de producción, oferta hídrica para sistemas productivos | Regular la actividad, asistencia técnica, sistemas silvopastoriles, planificación de uso de suelo, buenas prácticas ganaderas, ganadería sostenible, Establecer sistemas de control y manejo de residuos líquidos y sólidos orgánicos y químicos producto de la actividad. |
| Recreativo | Acceso al cauce del río, establecer condiciones para este uso | Delimitar el uso y capacidad de carga, Manejo de residuos sólidos, educación ambiental |

Tabla 142. Descripción usos y acciones potenciales en el Tramo 2

| Tramo 3 | | |
|--------------------------------------|--|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Consumo Humano y doméstico | Aumento de la demanda del recurso hídrico por crecimiento poblacional y actividades turísticas, existencia de sitios de captación. | Preservación de bosques y rondas hídricas, cerramiento y cercas para evitar paso de ganado, regular actividades agrícolas y pecuarias de alto impacto con agroquímicos. Establecimiento de planta de potabilización, controlar construcciones y asentamientos humanos, regular actividades comerciales. Compra de predios por parte del municipio. No permitir vertimientos, campañas de uso eficiente y ahorro del agua. Cumplimiento de la responsabilidad social de las empresas prestadoras del servicio |
| Preservación de flora y fauna | Protección del recurso para garantizar condiciones permanentes de disponibilidad y servicios ecosistémicos. | Establecimiento de franjas protectoras, manejo de suelos, aumento de cobertura boscosa, divulgación e implementación de incentivos de conservación, establecimiento de corredores biológicos, estudios estratégicos para áreas de conservación, implementación de planes de manejo ambiental |
| Estético | Armonización y mejoramiento del paisaje para recuperar especies en vía de extinción | Compra de predios, educación ambiental, monitoreo de vertimientos |

Tabla 143 Descripción usos potenciales Tramo 3. Taller

| Tramo 4 | | |
|--------------------------------------|--|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Preservación de Flora y Fauna | Protección del recurso para garantizar condiciones permanentes de disponibilidad y servicios ecosistémicos | Construcción de Planta de tratamiento de aguas residuales del casco urbano de Circasia. Limitar actividades comerciales e industriales en el área de influencia de la quebrada |
| Estético | Armonización y embellecimiento del paisaje en contraste con área urbana | Destinación de áreas de reforestación en las riberas de la quebrada, |
| Agrícola | Dinámica del uso actual del suelo | Buenas prácticas agrícolas, sistemas agroforestales |

Tabla 144. Descripción usos potenciales tramo 4. Taller

| Tramo 5 | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Consumo Humano y doméstico | Área de afloramientos, oferta y rondas hídricas un poco más protegidas, existencia de bocatomas. En el momento abastece población rural, presenta condiciones de caudal apropiados de calidad aceptable. Población requiere el recurso para satisfacer sus necesidades primarias | Preservación de bosques y rondas hídricas, cerramiento y cercas para evitar paso de ganado, restringir cultivos transitorios y de alto impacto con agroquímicos. Establecimiento de planta de potabilización, promover investigación, soluciones tecnológicas: bio-remediación. Control y regulación en el manejo de licencias ambientales, recuperación de áreas de restauración ecológica. Limitación de uso de suelo para ganadería., actividades agrícolas, porcícolas y avícolas. Compra de predios de interés ambiental |
| | | Limitar construcciones, y establecimientos comerciales (restaurantes y hoteles) asentamientos humanos. Erradicar vertimientos. Uso y ahorro eficiente, manejo de fugas |
| | | Sistemas de tratamiento de residuos agrícolas y pecuarios |
| Agrícola | Dinámica de uso del suelo actual y oferta hídrica | Planificación de uso del suelo con restricciones y alternativas sustentables para la conservación del recurso. |
| Pecuario | Dinámica de actividad ganadera actual | Reglamentar buenas prácticas ganaderas, limitado solo para sistemas silvopastoriles con manejo de residuos orgánicos y químicos de la actividad. |
| Estético | Armonización y mejoramiento del paisaje para recuperar especies en extinción | Compra de predios, educación ambiental, monitoreo de vertimientos, |

Tabla 145. Descripción usos potenciales tramo 5. Taller

| Tramo 6 | | |
|--------------------------------------|---|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Consumo humano y doméstico | Existencia de bocatomas. En el momento abastece población. Gran cantidad de población demanda del recurso para satisfacer sus necesidades primarias | Controles periódicos de la calidad del agua, valoración del nivel de erosión del río, modernización de la infraestructura hidráulica que presta el servicio, se debe mejorar el sistema de captación, mejorar el sistema de potabilización del agua. |
| Preservación de flora y fauna | Se debe garantizar las condiciones permanentes de caudal, calidad y servicios ecosistémicos. | Establecimiento de técnicas para no afectar el caudal ecológico aguas abajo. |

| Tramo 6 | | |
|-----------------------|---|--|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| | Propósitos de educación ambiental. | Reforestación, enriquecimiento de áreas y cerramiento de áreas ribereñas al río, aumento de cobertura boscosa, monitoreo |
| | | Divulgación e implementación de incentivos de conservación |
| | | Implementación de corredores biológicos |
| Agrícola | Dinámica de uso del suelo actual y oferta hídrica, no es una zona tan alta y las condiciones socioeconómicas de la zona tradicionalmente han sido agropecuarias | Limitar el uso de suelos a usos forestales, control y asistencia en la producción agrícola, Buenas prácticas agrícolas, formalizar vertimientos, cumplimiento de la normatividad |
| Pecuario | Dinámica de uso del suelo actual y oferta hídrica, la zona es apropiada para el desarrollo de esta actividad productiva | Asistencia técnica y establecimiento de sistemas de tratamiento de residuos orgánicos producto de las actividades pecuarias |
| Recreativo | Se presentan actividades recreativas sin control, alta demanda de servicios turísticos. | Verificación del destino final del residuo, seguimiento a áreas protectoras en zonas turísticas para controlar deforestación y acceso al río. Delimitar la capacidad de carga, establecer condiciones para este uso. |
| Estético | Armonización del paisaje por la topografía y diversidad de las especies de flora y fauna | Delimitar la capacidad de carga y condiciones de uso y control de residuos sólidos por actividades turísticas |

Tabla 146. Descripción usos potenciales tramo 6. Taller

| Tramo 7 | | |
|-----------------------|--|---|
| Tipo de Uso Potencial | Justificación del tipo de uso propuesto | Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso |
| Agrícola | Dinámica de uso del suelo actual y oferta hídrica, zona tradicionalmente agropecuaria. | Implementación de Buenas prácticas agrícolas, alternativas de agricultura sostenible, limitar y reglamentar el uso del suelo para el establecimiento de monocultivos, asistencia técnica, control y establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales producto de las actividades agrícolas. Cerramiento y protección de rondas hídricas |

| | | |
|--------------------------------------|---|---|
| Pesca y acuicultura | Dinámica cultural de pesca, y problemáticas de pesca con dinamita, las condiciones del río facilitan la actividad. Presencia de algunas especies con potencial para su aprovechamiento | Promover la piscicultura en esta área como alternativa productiva y de uso del recurso, Buenas prácticas de manejo, regular mediante permisos y vedas, el desarrollo de la actividad. Formalizar vertimientos de actividades productivas y domésticas, prohibir pesca con dinamita. |
| Estético | Esta zona hace parte del paisaje cultural cafetero | Cumplimiento de las determinantes ambientales |
| Recreativo | Área de influencia turística en predios ribereños con servicios turísticos | Limitar y reglamentar la construcción de infraestructura turística, campañas educativas para el consumo responsable y ahorro del agua. |
| Pecuario | Dinámicas productivas de la zona. Tradicional y culturalmente han manejado este tipo de producción | Implementación de buenas prácticas pecuarias, saneamiento básico y establecimiento de sistemas de tratamiento de residuos orgánicos y químicos producto de la actividad |
| Preservación de flora y fauna | Protección del recurso y garantizar la sostenibilidad en términos de cantidad y calidad | Restauración de áreas degradadas. Control sobre predios para la protección de riberas con rondas hídricas |
| Consumo humano y doméstico | Conservar y propender por el cuidado de la calidad de este tramo para que a futuro se dé uso de consumo humano y doméstico, a raíz del crecimiento poblacional y urbanístico, y poder entregar agua de mejores condiciones al río la vieja que surte el acueducto de Cartago. | Construcción de Plantas de tratamiento de aguas residuales en Montenegro y Quimbaya, sistemas de tratamiento en áreas rurales, Control del crecimiento urbanístico sobre el área de influencia del río, manejo y control de residuos sólidos y basuras de los municipios de Montenegro y Quimbaya, educación ambiental. |

Tabla 147. Descripción usos potenciales tramo 7. Taller

2.1.2.1. *Escenario participativo prospectivo Del recurso hídrico*

El planteamiento general del método prospectivo, parte de tres visiones principales que surgen de los siguientes interrogantes: ¿cómo podría ser?, ¿cómo deseáramos que fuese? Y ¿qué debemos y podemos hacer hoy para lograr el futuro deseado? (Miklos y Tello, 2012).

El escenario deseado se construye con la participación de los actores a partir de los resultados del diagnóstico, aplicando la técnica denominada "Diagnostico-pronóstico", que consiste en configurar la imagen futura de la cuenca, a partir del análisis del mapa del presente (problemas y conflictos por el agua) elaborado en la fase de diagnóstico mediante cartografía social. En este ejercicio de participación los actores proponen alternativas que les permitan alcanzar el uso potencial deseado.

En la **(Figura 233)** se presenta el esquema del escenario del futuro deseado del uso del recurso hídrico del río roble y sus principales tributarios.

La ejecución de estos espacios de encuentro ha facilitado la interacción de los actores. A partir de la contextualización en marco de la identificación de problemas y conflictos, los actores sintonizan un lenguaje común sobre el estado actual del río, que conduce a manifestar que presenta deterioro, además de mostrarse sensibilizados sobre la tendencia de vulnerabilidad a la que está expuesto el recurso hídrico de no realizarse ningún tipo de acción.

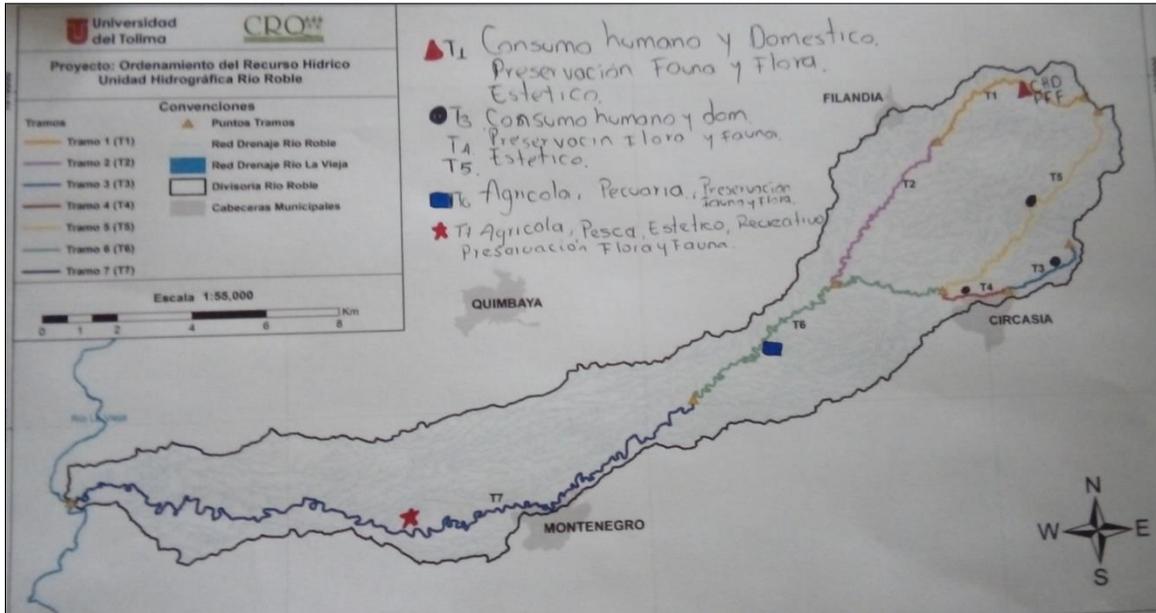


Figura 233. Mapa escenario deseado, cartografía social. Definición de usos potenciales del recurso hídrico río Roble

Se ha dado alcance al trabajo participativo mediante el reconocimiento de escenarios actuales y proyección de escenarios futuros, donde los actores como protagonistas en el proceso de planificación de su territorio, a partir de su conocimiento, rol e intercambio de saberes, reflexionan sobre las circunstancias que afectan o benefician el uso del recurso y sus condiciones de vida

El ejercicio se desarrolló por tramos y por municipio. En ninguno de los tramos se contempló uso industrial, de navegación o transporte. Respecto a los demás usos potenciales, el tramo 7 (desde la bocatoma de Montenegro hasta la desembocadura en el río La Vieja) tiene todas las posibilidades de uso.

Los participantes coinciden en que los usos potenciales deseados pueden ser alcanzados con acciones como conservación y protección de cabeceras y rondas hídricas, buenas prácticas de manejo en actividades agrícolas, pecuarias y de pesca, control y regulación de actividades comerciales y turísticas, plantas de tratamiento de aguas residuales, control y regulación de vertimientos entre otras. Además, consideran importante continuar con los ejercicios realizados, en espacios como las “mesas municipales por el río Roble” implementadas en el proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Roble, de manera que exista una motivación para continuar trabajando de forma participativa por el río. Sin embargo, los participantes manifiestan preocupación acerca de la capacidad institucional para responder a los conflictos detectados y acciones propuestas para alcanzar los usos potenciales deseados.

2.2. MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

El objetivo de esta sección es establecer el comportamiento más probable del cuerpo de agua en términos de su capacidad de asimilación y de autodepuración bajo diferentes escenarios de caudal en el cuerpo receptor y de carga contaminante en los tributarios y vertimientos. Para esto, se implementaron tres (3) modelos de calidad del agua, siendo estos uno para el río Roble, uno para la quebrada Cajones y uno para la Quebrada Cajones.

A partir del modelo se analizó su capacidad de asimilación y se implementó la simulación de escenarios que permitirán orientar la toma de decisiones a futuro.

2.2.1. Información Hidrológica para su ingreso al modelo de calidad del agua

Los caudales característicos requeridos en las simulaciones de los escenarios de calidad del agua fueron calculados a partir de la modelación hidrológica continua a escala diaria realizada en la fase de diagnóstico del PORH (sección 1.5.4).

2.2.2. Componente Hidráulico para la modelación de la calidad del agua

Dentro del ejercicio de modelación de calidad del agua, se requiere implementar modelos hidráulicos, con el fin de obtener las curvas que permiten predecir la velocidad y la profundidad de la sección transversal del cuerpo de agua a partir del caudal.

La modelación hidráulica se realizó con la ayuda del software HEC-RAS v.4.1, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. La información de ingreso al modelo hidráulico corresponde a las características geométricas de las secciones transversales, velocidad del agua y pendientes longitudinales del cauce. De forma general, el proceso de modelación realizado puede definirse a partir de los siguientes pasos:

- **Abscisado:** A partir de la ubicación de los puntos de interés se definió la distancia entre los puntos de mayor interés, tales como monitoreos en el cuerpo receptor, principales afluentes y vertimientos. Usando un modelo digital de elevación, se definieron las altitudes para cada punto y las pendientes longitudinales.
- **Ingreso de las secciones transversales:** La información obtenida del aforo de caudales es ingresada en el componente del modelo denominado *Geometric Data*.
- **Calibración del modelo:** Se ingresa la información de caudales en el componente denominado *Steady Flow Data*. Se ajusta el modelo de forma que se obtenga una representación de las velocidades y profundidades observadas en campo.

A partir de los resultados del aforo en las secciones transversales, se obtuvieron los datos de profundidad de la lámina de agua. Se definió iterativamente el valor del coeficiente n

de Manning de manera que el nivel del agua medido en las secciones de aforo fuese aproximadamente iguales a los resultados obtenidos por el modelo implementado en HEC-RAS para el caudal aforado. En el modelo se consideró una pendiente longitudinal obtenida a partir del modelo digital de elevaciones. La condición de frontera establecida aguas abajo fue la de flujo uniforme y profundidad normal, definiendo para estas, la pendiente de la parte alta y al final cada uno de los cuerpos de agua analizados.

- **Simulaciones:** Con el modelo calibrado, en el componente denominado *Perform a Steady flow simulation*, se corren los escenarios de simulación.

En esta etapa se definieron unas series de caudales para cada una de las secciones analizadas, escogiendo para estos valores menores y mayores al valor registrado en la campaña de laboratorio (y que fueron usados en la calibración). De esta forma se obtuvieron las curvas potenciales de Velocidad Vs Caudal, y Profundidad Vs Caudal para un rango de caudales.

A partir de las anteriores consideraciones, se hicieron las simulaciones de flujo permanente no uniforme para diferentes condiciones de caudal sobre la corriente principal. Con los resultados se obtuvieron las curvas de calibración de velocidad media (U) y de profundidad media (H) contra caudal (Q). H se calculó como el área mojada (A) dividida entre el ancho superficial (B). Dichas curvas se ajustaron a las relaciones potenciales de la forma:

$$H = aQ^b$$

$$U = \alpha Q^\beta$$

2.2.2.1. Componente Hidráulico en el río Roble

2.2.2.1.1. Abscisado del Río Roble

Para la implementación del modelo hidráulico fue necesario definir el abscisado del río Roble, tomando como punto de referencia la desembocadura del río Roble en el río La Vieja, correspondiendo al kilómetro 0,000 (Figura 234). Las distancias se incrementan hacia aguas arriba, llegando hasta los 48.23 km en la estación ubicada aguas arriba de la confluencia del río Roble con la quebrada Cajones. En la Tabla 148 se presenta el abscisado para el río Roble en el que se incluyen los afluentes principales, así como los puntos de control de cantidad y calidad del agua.

En la Tabla 148 se relaciona el abscisado para los puntos de mayor interés en la zona alta, media y baja del río Roble. Se definen los puntos sobre la corriente principal y además se identifica el ingreso de las quebradas Cajones, San Luis, Membrillal, Portachuelo, San José, La Soledad, Las Lajas, La Cristalina, La Carmelita y la Paloma. De estas, fueron medidos en campo el caudal y calidad del agua en quebrada Cajones, Portachuelo, La Soledad, La Carmelita y La Paloma, de las restantes esta información se estimó de forma presuntiva para su ingreso al modelo de calidad del agua.

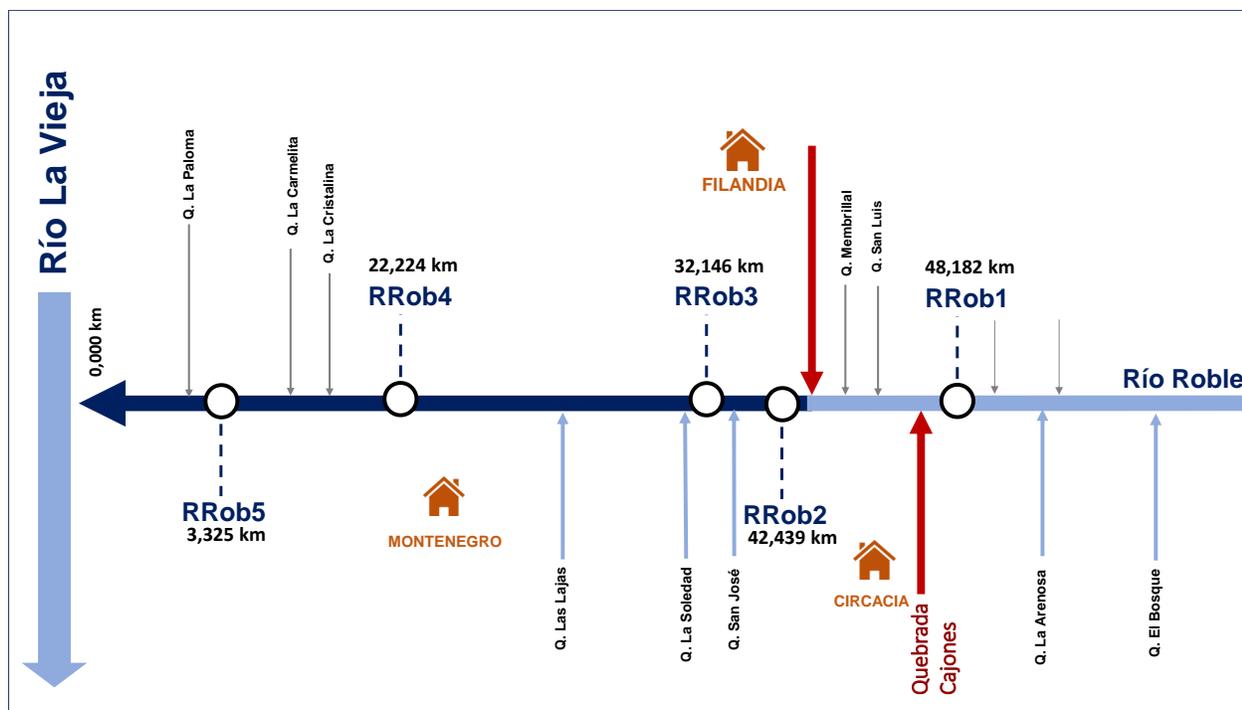


Figura 234 Esquema conceptual sobre la ubicación de los sitios de aforo de caudales.

Para la estimación de los caudales de estas quebradas se implementó un modelo hidrológico, a partir del cual se obtuvo el caudal mínimo, medio y máximo esperado para los días de monitoreo en la época seca (25 y 26 de septiembre de 2019), en la época de lluvias (21 y 22 de noviembre de 2019). También se determinó un valor representativo del caudal, así como mínimo, a través del Q_{95} (caudal igualado o excedido el 95% del tiempo).

| Sitio | Abscisa | Diferencia | Altura | Caudales |
|------------------------|---------|------------|---------|----------|
| RROB_01 | -48.238 | -0.045 | 1661.00 | 0.29 |
| QUEBRADA CAJONES | -48.193 | -2.312 | 1655 | 0.039 |
| QUEBRADA SAN LUIS | -45.881 | -2.381 | 1599 | 0.023 |
| QUEBRADA MEMBRILLAL | -43.5 | -1.036 | 1567 | 0.101 |
| QUEBRADA PORTACHUELO | -42.464 | -1.774 | 1530 | 0.316 |
| RROB_02 | -40.69 | -5.437 | 1503 | 0.769 |
| QUEBRADA SAN JOSÉ | -35.253 | -4.442 | 1437 | 0.094 |
| RROB_03 | -30.811 | -0.239 | 1377 | 0.883 |
| QUEBRADA LA SOLEDAD | -30.572 | -2.066 | 1373 | 0.07 |
| QUEBRADA LAS LAJAS | -28.506 | -6.487 | 1334 | 0.023 |
| RROB_04 | -22.019 | -8.035 | 1275 | 1.017 |
| QUEBRADA LA CRISTALINA | -13.984 | -1.237 | 1166 | 0.032 |
| QUEBRADA LA CARMELITA | -12.747 | -9.691 | 1132 | 0.178 |
| RROB_05 | -3.056 | -0.254 | 1020 | 1.193 |
| QUEBRADA LA PALOMA | -2.802 | -2.802 | 1018 | 0.24 |
| RROB_F | 0 | 0 | 1014 | 1.58 |

Tabla 148 Abscisado del río Roble

2.2.2.1.2. Calibración del modelo hidráulico del río Roble.

La información de entrada utilizada correspondió a cinco (5) secciones de aforo obtenidas durante la jornada de toma de muestras de calidad del agua en el río Roble en la parte alta los días 25 y 26 de septiembre de 2019 (época seca) y 21 y 22 de noviembre de 2019 (época de lluvias), las cuales se distribuyeron en el tramo de estudio desde la parte alta hasta cerca de su desembocadura en el río La Vieja. El día 25 de septiembre y 21 de noviembre de 2019 se realizó el aforo en las estaciones Río Roble 01 y 02, mientras que en el 26 de septiembre y 22 de noviembre de 2019 se realizó el monitoreo en las estaciones Río Roble 02, 03, 04 y 05.

La información de entrada utilizada correspondió a cinco (5) secciones de aforo obtenidas durante la jornada de toma de muestras de calidad del agua en el río Roble en la parte alta los días 25 y 26 de septiembre de 2019 (época seca) y 21 y 22 de noviembre de 2019 (época de lluvias), las cuales se distribuyeron en el tramo de estudio desde la parte alta hasta cerca de su desembocadura en el río Roble.

Definición del tramo y geometría de las secciones: Se definió un tramo de 4,182 km, iniciando en la desembocadura en el río La Vieja (km 0,000), seguido por la estación denominada RROB_05, ubicada unos kilómetros aguas arriba de la desembocadura, unas estaciones intermedias denominada Río Roble 04 (aguas abajo de los vertimientos del municipio de Montenegro), Río Roble 03 (aguas arriba de la quebrada La Soledad) y Río Roble 02 (Aguas abajo de la quebrada Portachuelo). La estación de aforo de caudal Río Roble 01 se encuentra en la parte más alta del tramo analizado y está ubicada aguas abajo de la captación del municipio de Circasia.

Geometría de las secciones: Las secciones medidas (RROB_01, 02, 03, 04 y 05) fueron ingresadas al modelo en la sección denominada *Geometry Data*.

Calibración del modelo hidráulico: A partir de un proceso iterativo, se modificó el valor del coeficiente de rugosidad (n de Manning) de forma que se obtuviera una representación aproximada de la profundidad medida en campo para la época seca (**Figura 235**). Los valores encontrados para el n de Manning, son considerablemente altos en comparación con los valores típicos encontrados en la literatura, por ejemplo, Ven te Chow (1994), situación que es considerada por el autor del manual del modelo Qual2k.

En la **Figura 236** se muestran las curvas de calibración obtenidas para su ingreso en el modelo de calidad del agua, con los respectivos valores de los coeficientes indicados en la **Tabla 149**.

| ESTACIÓN | VELOCIDAD | | PROFUNDIDAD | |
|-----------------|-----------|--------|-------------|--------|
| | a | b | c | d |
| RRob_01 - 48182 | 0.1418 | 0.2555 | 2.0801 | 0.6993 |
| RRob_02 - 42439 | 0.1983 | 0.3318 | 0.7522 | 0.5655 |
| RRob_03 - 32146 | 0.7496 | 0.3708 | 0.1935 | 0.5869 |
| RRob_04 - 22224 | 0.3079 | 0.3661 | 0.3087 | 0.5846 |
| RRob_05 - 3325 | 0.1635 | 0.3692 | 0.4511 | 0.5953 |

Tabla 149 Río Roble. Coeficientes de las curvas de calibración tipo Leopold-Maddock para el sector estudiado.

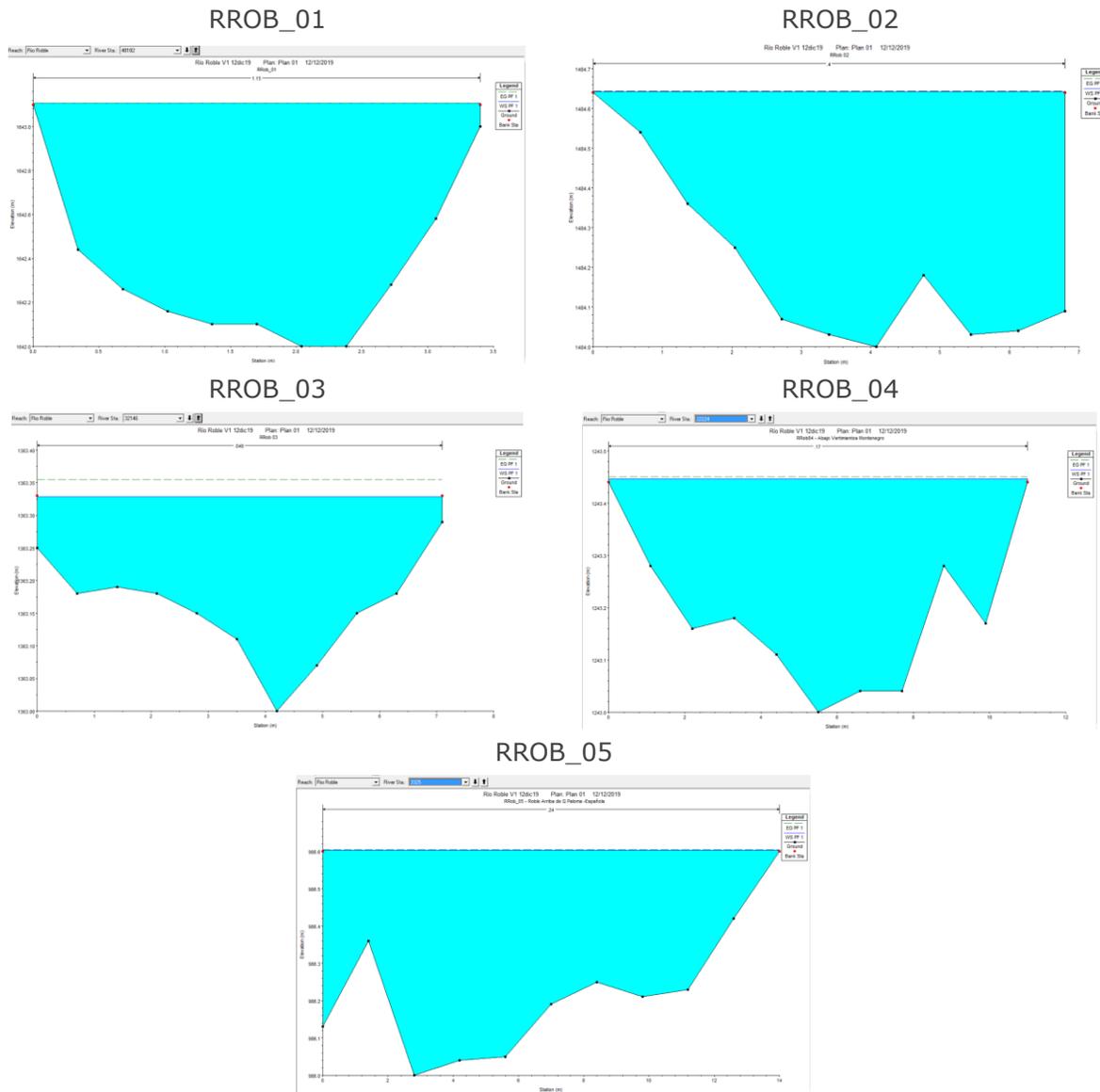


Figura 235 Ajuste del nivel observado en el Río Roble. Época Seca

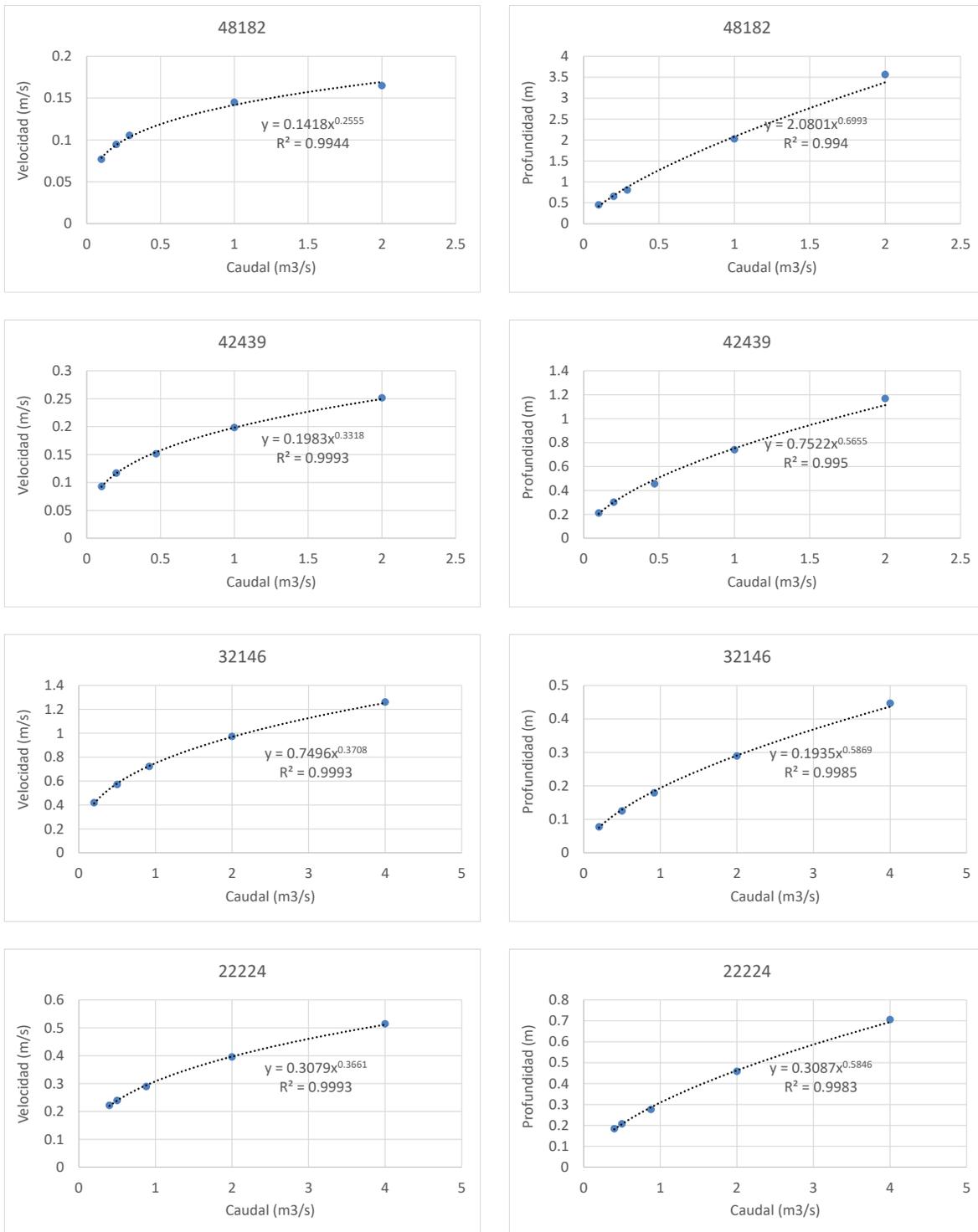


Figura 236 Curvas de calibración Velocidad vs Caudal y Profundidad Vs Caudal Río Roble. Época Seca

2.2.2.2. Componente Hidráulico en la quebrada Cajones

2.2.2.2.1. Abscisado de la quebrada Cajones

Para la implementación del modelo hidráulico fue necesario definir el abscisado de la quebrada Cajones, tomando como punto de referencia la desembocadura de la quebrada Cajones en el río Roble, correspondiendo al kilómetro 0,000 (Figura 237). Las distancias se incrementan hacia aguas arriba, llegando hasta los 3,129 km en la estación denominada QCaj_01, ubicada aguas abajo de la bocatoma del municipio de Circasia. En el Software HECRAS se extendió esta distancia unos metros aguas arriba con el fin de evitar problemas con la calibración de la estación en el límite del sistema.

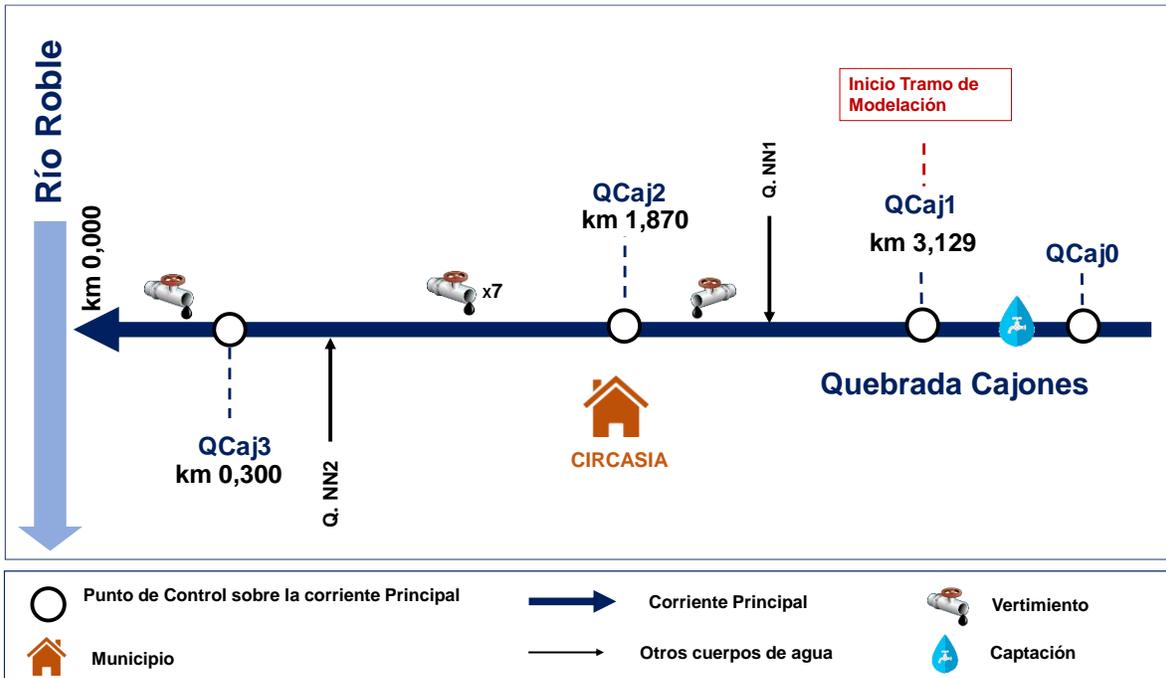


Figura 237 Esquema conceptual sobre la ubicación de los sitios de aforo de caudales en la quebrada Cajones

En la **Tabla 150** se relaciona el abscisado para los puntos de mayor interés en la quebrada Cajones. Se definen cuatro (4) puntos sobre la corriente principal y se consideran dos (2) afluentes innominados. Estos afluentes no fueron medidos directamente en campo, por lo tanto, la información de caudal como de calidad requerida para el modelo de calidad del agua se estima de forma. Para la estimación de los caudales de estas quebradas se implementó un modelo hidrológico, a partir del cual se obtuvo el caudal mínimo, medio y máximo esperado para el día de monitoreo (25 de septiembre de 2019 y 21 de noviembre de 2019) así como como para condiciones de caudal mínimo Q_{95} (caudal igualado o excedido el 95% de las veces).

| SITIO | ABSCISA (km) | DIFERENCIA (km) | ALTURA (m.s.n.m) | CAUDAL (L/s) |
|---|--------------|-----------------|------------------|--------------|
| QCAJ_01 QUEBRADA CAJONES AGUAS ABAJO CAPTACIÓN CIRCACIA | 3,129 | 1,342 | 1.835 | 0,262 |
| QCAJ_02 QUEBRADA CAJONES CASCO URBANO CIRCACIA PUENTE CALLE 7 | 1,787 | 1,487 | 1.783 | 0,398 |
| QCAJ_03 QUEBRADA CAJONES 300 m AGUAS ARRIBA DESEMBOCADURA EN RÍO ROBLE | 0,300 | 0,300 | 1.690 | 1,335 |
| QCAJ_04 QUEBRADA CAJONES DESEMBOCADURA EN RÍO ROBLE | 0,000 | 0,000 | 1.655 | 1.385 |

Tabla 150 Abscisado de la quebrada Cajones

2.2.2.2.2. Calibración del modelo hidráulico de la quebrada Cajones

La información de entrada utilizada correspondió a tres (3) secciones de aforo obtenidas durante la jornada de toma de muestras de calidad del agua en la quebrada Cajones los días 25 de septiembre de 2019 (época seca) y 21 de noviembre de 2019 (época de lluvias), las cuales se distribuyeron en el tramo de estudio desde la parte alta (QCAJ_01) hasta cerca de su desembocadura en el río Roble (QCAJ_03).

Definición del tramo: Se definió un tramo de 3,200 km, iniciando en la desembocadura de la quebrada Cajones en el río Roble (km 0,000), seguido por la primera estación medida denominada QCAJ_03, luego la estación ubicada en la mitad del casco urbano del municipio de circasia (QCAJ_02), posteriormente se ubica la estación en la cual inicia el modelo de calidad del agua denominada QCAJ_01.

Geometría de las secciones: Las secciones medidas (QCAJ_03, QCAJ_02 y QCAJ_01) fueron ingresadas al modelo en la sección denominada *Geometry Data*.

Calibración del modelo hidráulico: A partir de un proceso iterativo, se modificó el valor del coeficiente de rugosidad (n de Manning) de forma que se obtuviera una representación aproximada de la profundidad medida en campo para la época seca (**Figura 238**). Los valores encontrados para el n de Manning, son considerablemente altos en comparación con los valores típicos encontrados en la literatura, por ejemplo, Ven te Chow (1994), situación que es considerada por el autor del manual del modelo Qual2k.

| CALIBRACIÓN | | | | SIMULACIÓN | | | | | |
|-------------|---------|---------|------|------------|-------|-------|----------------|------|-----|
| ESTACIÓN | PROFILE | Q | n | PROFILE | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 |
| QCAJ_01 | 3129 | 0.00396 | 0.14 | 3129 | 0.002 | 0.003 | 0.00396 | 0.01 | 0.1 |
| QCAJ_02 | 1787 | 0.0216 | 0.38 | 1787 | 0.004 | 0.01 | 0.0216 | 0.05 | 0.2 |
| QCAJ_03 | 300 | 0.0366 | 0.38 | 300 | 0.004 | 0.01 | 0.0366 | 0.05 | 0.2 |

Tabla 151 Quebrada Cajones época Seca. Caudales usados para la Calibración y para la Simulación del modelo Hidráulico

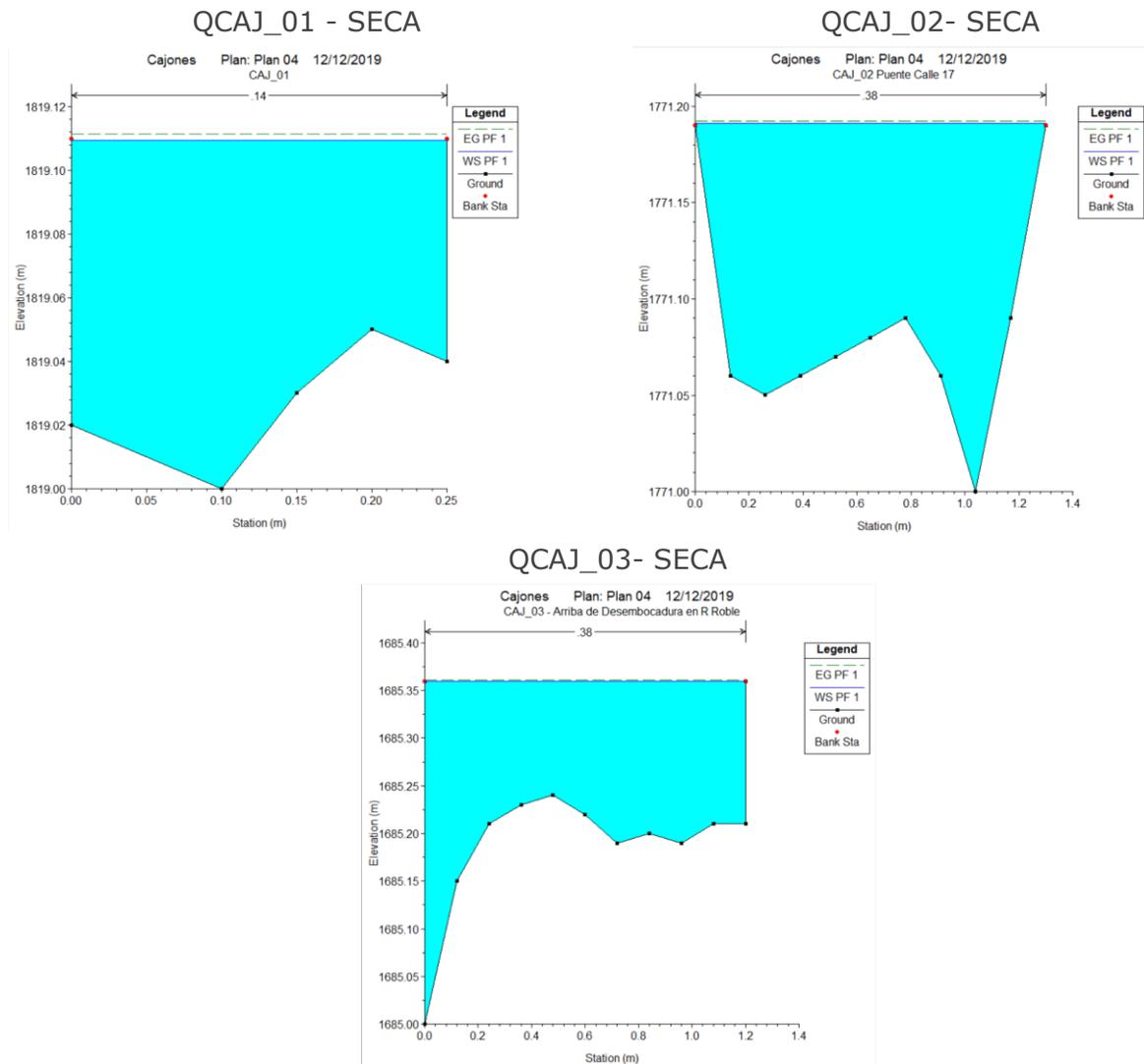


Figura 238 Ajuste del nivel observado en la quebrada Cajones. Época Seca

En la **Figura 239** se presentan las curvas exponenciales que relacionan el caudal con la velocidad y con la profundidad en las diferentes secciones de la quebrada Cajones en la época seca. En la **Tabla 152** se muestran los valores obtenidos de los parámetros del modelo hidráulico para su ingreso en el modelo de calidad del agua.

| ESTACIÓN | VELOCIDAD | | PROFUNDIDAD | |
|--------------|-----------|--------|-------------|--------|
| | a | b | c | d |
| QCaj_01 3131 | 0.4972 | 0.1814 | 8.0709 | 0.8197 |
| QCaj_02 1780 | 0.5527 | 0.3656 | 1.2719 | 0.5978 |
| QCaj_03 305 | 0.7619 | 0.446 | 1.0940 | 0.5541 |

Tabla 152 Quebrada Cajones Temporada SECA. Coeficientes de la curva de calibración tipo Leopold-Maddock para el sector estudiado.

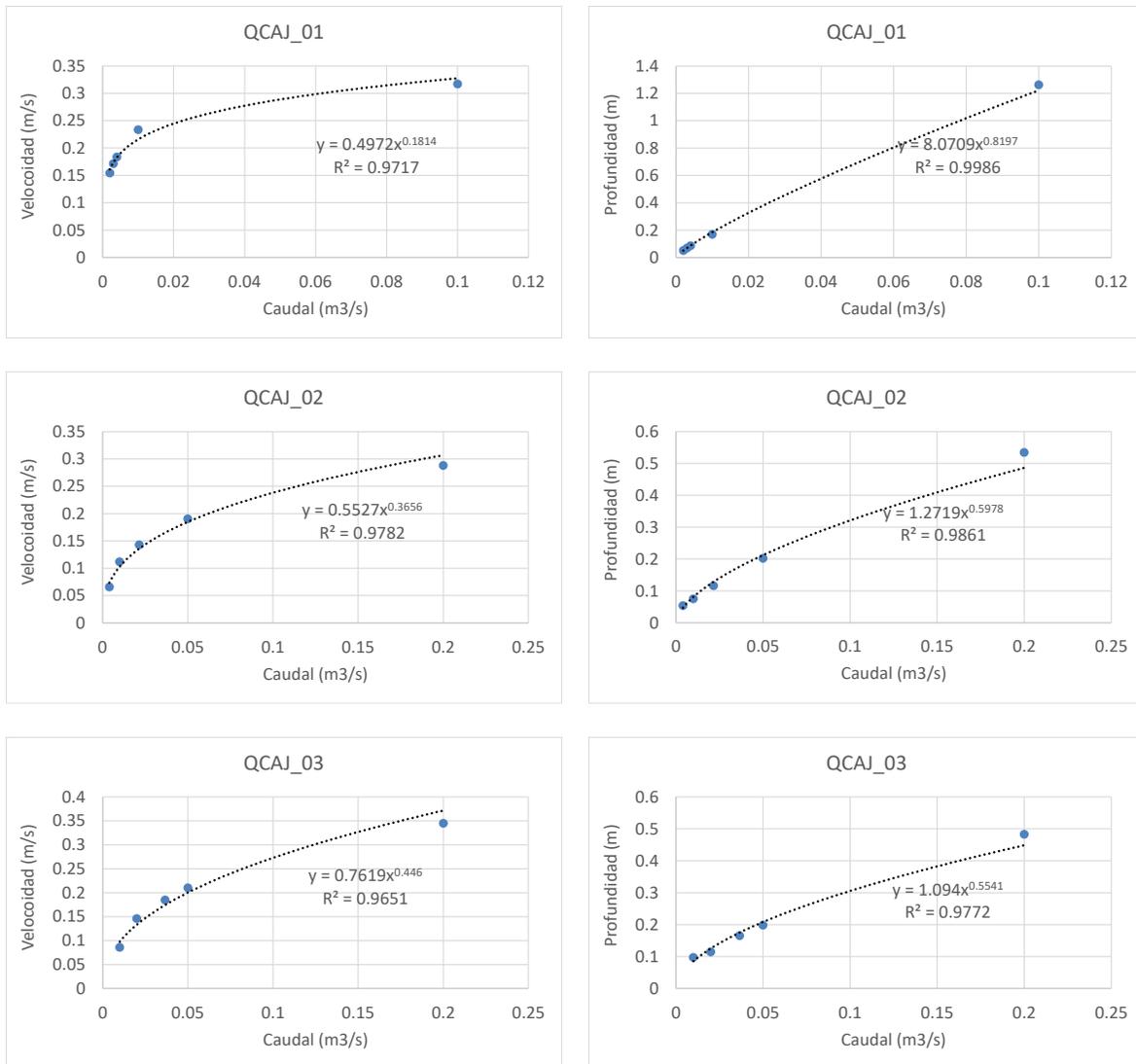


Figura 239 Curvas de calibración Velocidad vs Caudal y Profundidad Vs Caudal Quebrada Cajones. Época Seca

2.2.2.3. Componente Hidráulico en la quebrada Portachuelo

2.2.2.3.1. Abscisado de la quebrada Cajones

Para la implementación del modelo hidráulico fue necesario definir el abscisado de la quebrada Portachuelo, tomando como punto de referencia la desembocadura de la quebrada Portachuelo en el río Roble, correspondiendo al kilómetro 0,000 (Figura 240). Las distancias se incrementan hacia aguas arriba, llegando hasta los 8,200 km en la estación denominada QPORT_01, ubicada aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Chorro de Madres, afluente que recibe una parte de las aguas residuales municipales de Filandia.

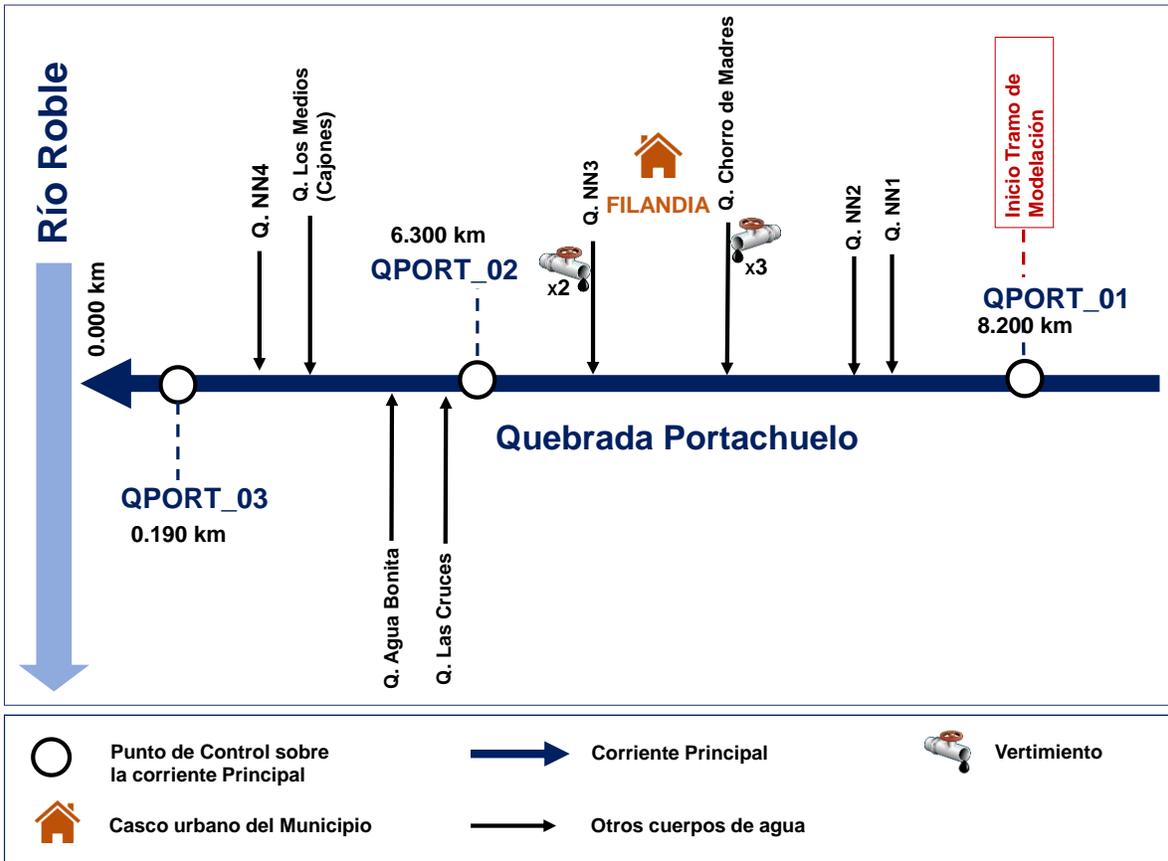


Figura 240 Esquema conceptual sobre la ubicación de los sitios de aforo de caudales en la quebrada Portachuelo

En la **Tabla 150** se relaciona el abscisado para los puntos de mayor interés en la quebrada Portachuelo, incluyendo la ubicación de tres (3) puntos sobre la corriente principal. De forma adicional, en el modelo de calidad del agua se ingresó la ubicación de los principales afluentes, incluyendo los receptores de una parte de las aguas residuales Municipales de Filandia, siendo estos la Quebrada Chorro de Madres y un Afluente Innominado.

| Sitio | Abscisa (km) | Altura (m.s.n.m) | Caudales (m3/s) |
|--|--------------|------------------|-----------------|
| Desembocadura en río Roble | 0 | 1497.9 | - |
| QPORT_03 Quebrada Portachuelo Aguas Arriba de la Desembocadura en el río Roble | 0.19 | 1503 | 0.305 |
| QPORT_02 Quebrada Portachuelo Aguas Arriba de la quebrada Las Cruces | 6.300 | 1667 | 0.112 |
| QPORT_01 Quebrada Portachuelo Aguas Arriba de la quebrada Chorro de Madres | 8.200 | 1778 | 0.055 |
| Inicio HECRAS | 8.300 | 1783.8 | - |

Tabla 153 Abscisado de la quebrada Portachuelo

2.2.2.3.2. Calibración del modelo hidráulico de la quebrada Portachuelo

La información de entrada utilizada correspondió a tres (3) secciones de aforo obtenidas durante la jornada de toma de muestras de calidad del agua en la quebrada Portachuelo los días 27 de septiembre de 2019 (época seca) y 23 de noviembre de 2019 (época de lluvias), las cuales se distribuyeron en el tramo de estudio desde la parte alta PORT_01) hasta cerca de su desembocadura en el río Roble (QPORT_03).

Definición del tramo: Se definió un tramo de 8,300 km, iniciando en la desembocadura de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km 0,000), seguido por la estación de medición de calidad del agua denominada QPORT_03, luego la estación ubicada aguas abajo de las descargas del municipio de Finlandia (QPORT_02), posteriormente se ubica la estación en la cual inicia el modelo de calidad del agua denominada QPORT_01.

Geometría de las secciones: Las secciones medidas (QPORT_03, QPORT_02 y QPORT_01) fueron ingresadas al modelo en la sección denominada *Geometry Data*.

Calibración del modelo hidráulico: A partir de un proceso iterativo, se modificó el valor del coeficiente de rugosidad (n de Manning) de forma que se obtuviera una representación aproximada de la profundidad medida en campo para la época seca (**Figura 241**). Los valores encontrados para el n de Manning, son considerablemente altos en comparación con los valores típicos encontrados en la literatura, por ejemplo, Ven te Chow (1994), situación que es prevista por el autor del manual del modelo Qual2k.

| CALIBRACIÓN | | | | SIMULACIÓN | | | | | |
|-------------|---------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-----|-----|
| ESTACIÓN | PROFILE | Q | n | PROFILE | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 |
| QPORT_01 | 8200 | 0.055 | 0.53 | 8200 | 0.025 | 0.055 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| QPORT_02 | 6300 | 0.112 | 0.075 | 6300 | 0.1 | 0.112 | 0.25 | 0.5 | 0.7 |
| QPORT_03 | 190 | 0.305 | 0.42 | 190 | 0.1 | 0.2 | 0.305 | 0.5 | 0.7 |

Tabla 154 Quebrada Portachuelo época SECA. Caudales usados para la Calibración y para la Simulación del modelo Hidráulico

En la **Figura 242** se presentan las curvas exponenciales que relacionan el caudal con la velocidad y con la profundidad en las diferentes secciones de la quebrada Portachuelo en la época seca. En la **Tabla 155** se muestran los valores obtenidos de los parámetros del modelo hidráulico para su ingreso en el modelo de calidad del agua.

| ESTACIÓN | VELOCIDAD | | PROFUNDIDAD | |
|----------|-----------|--------|-------------|--------|
| | a | b | c | d |
| QPORT_01 | 0.3327 | 0.3602 | 0.7749 | 0.5973 |
| QPORT_02 | 1.1586 | 0.3168 | 0.6269 | 0.5851 |
| QPORT_03 | 0.257 | 0.3792 | 0.6277 | 0.621 |

Tabla 155 Quebrada Portachuelo Temporada SECA. Coeficientes de las curvas de calibración tipo Leopold-Maddock para el sector estudiado.

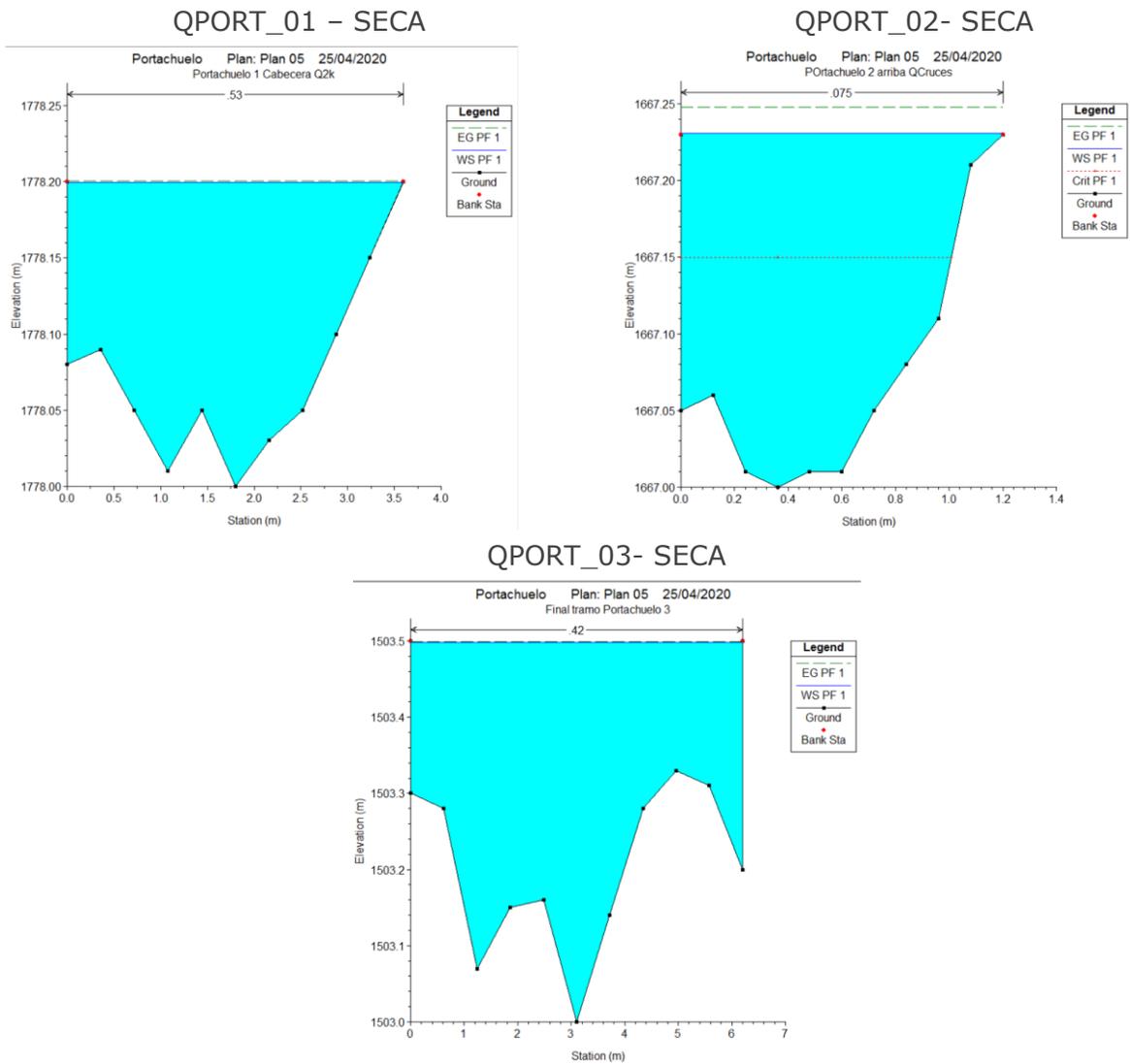


Figura 241 Ajuste del nivel observado en la quebrada Portachuelo. Época Seca

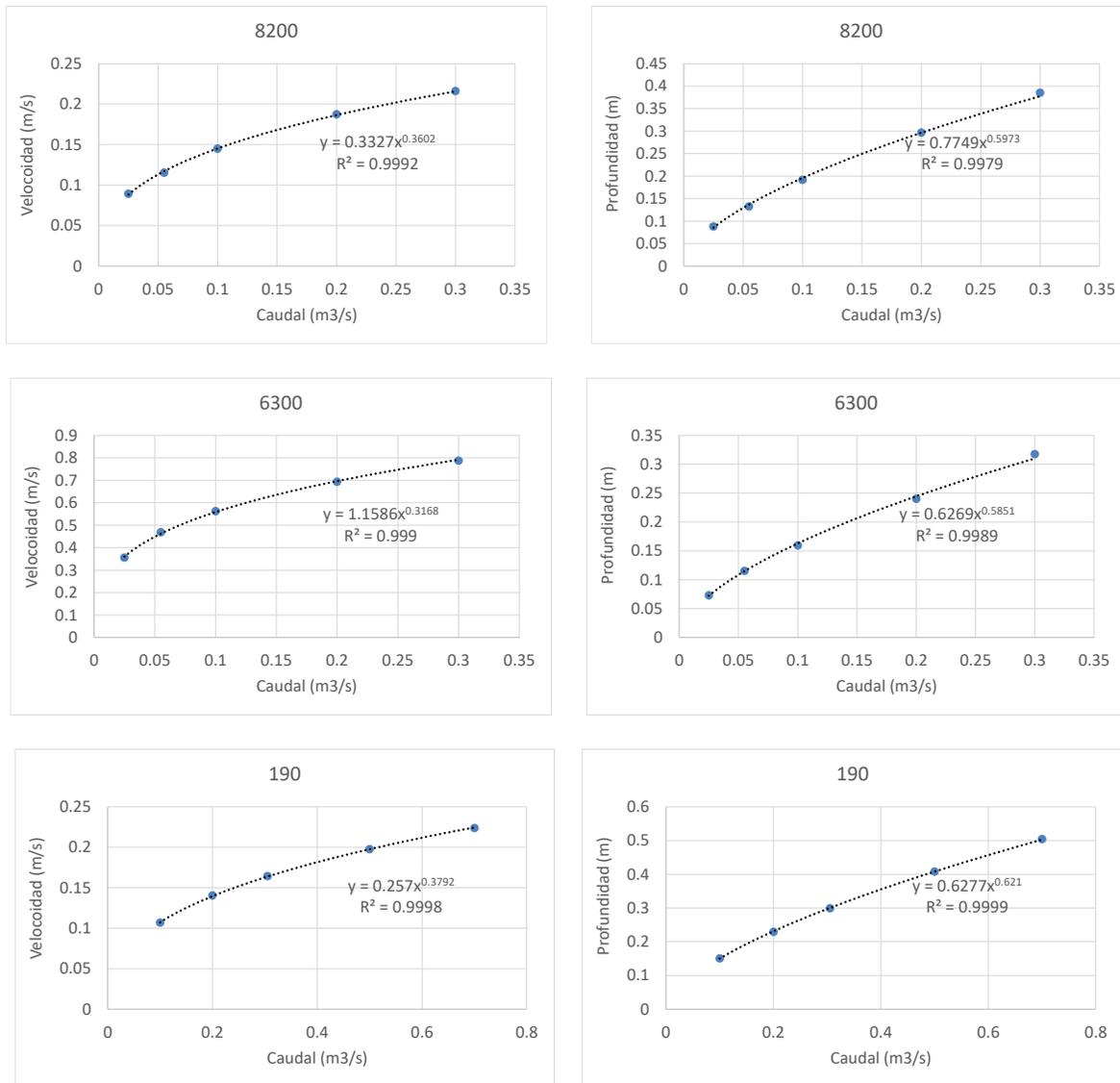


Figura 242 Curvas de calibración Velocidad vs Caudal y Profundidad Vs Caudal Quebrada Portachuelo. Época SECA

2.3. FORMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Se realizó la formulación de escenarios de simulación con el objetivo de conocer los usos potenciales del agua para la condición base, así como para el mediano (año 2025) y largo plazo (año 2029).

El escenario base permite identificar los usos potenciales para las condiciones actuales de calidad del río Roble, la quebrada Cajones y la quebrada Portachuelo, así como de las cargas máximas esperadas.

Posteriormente se desarrollan los escenarios 2 y 3, a partir de los cuales se busca identificar los usos potenciales considerando el aumento en carga relacionado con el incremento en la población. En estos escenarios se tienen en cuenta las proyecciones presentadas en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV, en cuanto a la construcción de los colectores, y a la construcción y operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR (Tabla 156).

| CUERPO DE AGUA | ESCENARIOS | | |
|-----------------------------|---|--|---|
| | BASE (2019) | MEDIANO PLAZO (2025) | LARGO PLAZO (2029) |
| Río Roble | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD sin tratamiento. • Se realiza la descarga de aguas residuales del casco urbano del municipio de Montenegro en 10 puntos directamente sobre el río Roble. | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD sin tratamiento • Tratamiento de las ARD del punto RRD1 • Se eliminan vertimientos RRD3 al RRD9 • Se optimiza la PTAR LA Isabel. Se vierte en punto RRD2. | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD con tratamiento. • Construcción y operación de la PTAR Roble (Cercana al punto actual de descarga RRD9). |
| Quebrada Cajones | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD sin tratamiento. • Se realiza la descarga de aguas residuales del casco urbano del municipio de Circasia en 9 puntos directamente sobre la quebrada Cajones | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD sin tratamiento. • Se eliminan los vertimientos QCD1 a QCD8. • Las aguas residuales son llevadas a un solo punto, cercano a QCD9 | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD con tratamiento. • Construcción y operación de la PTAR Cajones, la cual recolecta los vertimientos actuales QCD1 a QCD9. • El vertimiento se realiza en la parte final de la quebrada Cajones. Cerca al actual punto de descarga QCD9 |
| Quebrada Portachuelo | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD sin tratamiento. • Se realiza la descarga de aguas residuales del casco urbano del municipio de Filandia en cinco (5) puntos, ubicados sobre dos (2) afluentes directos de la quebrada Portachuelo. Estos corresponden a la quebrada Chorro de Madres con dos (2) vertimientos y La quebrada Innominada con tres (3) vertimientos. | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD sin tratamiento. • Se eliminan los puntos de Vertimientos para unificar la descarga en la quebrada Innominada. | <ul style="list-style-type: none"> • Vertimientos de ARD con tratamiento. • Construcción y operación de la PTAR Portachuelo la cual recolecta los cinco (5) vertimientos actuales QPD1 a QPD5. • El vertimiento se realiza en la quebrada Innominada, afluente directo de la quebrada Portachuelo. |

Tabla 156 Comportamiento de la ubicación y concentración de las descargas de ARD para la condición base, mediano y largo plazo

Para algunos determinantes se implementó un Escenario Ideal (año 2029) con el fin de garantizar en el cuerpo de agua mejores condiciones de calidad posible. Para esto se asumen condiciones de tratamiento más avanzadas, en comparación con las requeridas para alcanzar los valores máximos permisibles en la Norma Nacional de Vertimientos (Resolución MADS 0631 de 2015).

En todos los Escenarios de simulación se consideró el Q_{95} , como valor representativo de caudales bajos en los cuerpos de agua receptores. De esta forma se garantiza que se realiza el análisis para las condiciones más críticas en cuanto a la capacidad de dilución.

| Corriente | ID | Q_{95} (m ³ /s) |
|----------------------|----------|------------------------------|
| Río Roble Modelo 1 | RROB_01 | 0.290 |
| Río Roble Modelo 2 | RROB_02 | 0.645 |
| Quebrada Cajones | QCAJ_01 | 0.013 |
| Quebrada Portachuelo | QPORT_01 | 0.067 |

Tabla 157 Caudales mínimos utilizados en los escenarios de simulación

Se tuvieron en cuenta los aportes de los principales cuerpos de agua identificados, con los valores de caudal presentados en el numeral 2.2.2 Componente Hidráulico para la modelación de la calidad del agua. Así mismo se consideraron como abstracciones de caudal los caudales captados directamente en el río Roble y en la quebrada Cajones.

Dentro de los caudales captados (Tabla 158) solo se encuentra dentro de los tramos de modelación de la calidad del agua, la captación que realiza el Municipio de Montenegro en el río Roble, a la altura del casco urbano.

| MUNICIPIO | TIPO_CENTR | y | x | ABS | CAUDAL ACTUAL (LPS) | CAUDAL 2025 (LPS) | CAUDAL 2029 (LPS) |
|-------------------|---------------------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| CIRCASIA | CABECERA MUNICIPAL | 4.631944 | -75.63444 | ROB+505*100 | 30 | 33 | 34 |
| CIRCASIA | CABECERA MUNICIPAL | 4.62615 | -75.62398 | CAJ+32*100 | 5 | 5 | 6 |
| MONTENEGRO | CABECERA MUNICIPAL | 4.59667 | -75.713333 | ROB+325*100 | 100 | 103 | 105 |
| CIRCASIA | VEREDA | 4.626111 | -75.6247 | CAJ+31*100 | 0.04 | 0 | 0 |
| CIRCASIA | VEREDA | 4.655278 | -75.611 | ROB+558*100 | 11 | 11 | 11 |
| CIRCASIA | VEREDA | 4.655278 | -75.611 | ROB+558*100 | 2.49 | 3 | 3 |

Tabla 158. Captaciones directas sobre el Río Roble y quebrada Cajones.

2.3.1. Proyección de cargas contaminantes

Se realizó la medición de caudal y concentración de las descargas más representativas del río Roble y la quebrada Cajones, durante las campañas realizadas en septiembre (época seca) y noviembre (época húmeda o de lluvias) del año 2019. Para la quebrada Portachuelo, se realizó el monitoreo de las dos (2) fuentes receptoras de una parte de las descargas municipales de Filandia.

Para la totalidad de las descargas identificadas que descargan directamente sobre el río Roble y en la quebrada Cajones, así como en dos tributarios de la quebrada Portachuelo, se realizó una estimación de los caudales máximos esperados en las descargas, para las fechas en las cuales se realizó el monitoreo (año 2019). Estos caudales son similares a los reportados por el laboratorio para los vertimientos más representativos. Adicionalmente se realizó la proyección de caudales para el año 2025 y año 2019, los cuales fueron usados en la implementación de los escenarios de simulación.

| ÉPOCA | SECA | HÚMEDA | SECA | SECA |
|----------|----------------|----------------|------------------------|----------------|
| AÑO | 2019 | 2019 | 2025 | 2029 |
| | Campaña 1 | Campaña 2 | Con Población Flotante | |
| Estación | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) |
| RRD0 | 0,66 | 1,24 | 0,70 | 0,72 |
| RRD1 | 4,67 | 8,09 | 6,32 | 6,40 |
| RRD2 | 4,39 | 7,59 | 5,95 | 6,03 |
| RRD3 | 2,84 | 4,87 | 3,88 | 3,92 |
| RRD4 | 0,83 | 1,39 | 1,15 | 1,17 |
| RRD5 | 1,02 | 1,71 | 1,42 | 1,43 |
| RRD6 | 0,47 | 0,78 | 0,67 | 0,67 |
| RRD7 | 0,73 | 1,21 | 1,01 | 1,03 |
| RRD8 | 3,77 | 6,50 | 5,12 | 5,18 |
| RRD9 | 0,97 | 1,62 | 1,34 | 1,36 |

Tabla 159 Caudales estimados para las descargas de aguas residuales en el río Roble

| ÉPOCA | SECA | HÚMEDA | SECA | SECA |
|----------|----------------|----------------|------------------------|----------------|
| AÑO | 2019 | 2019 | 2025 | 2029 |
| | Campaña 1 | Campaña 2 | Con Población Flotante | |
| Estación | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) |
| QCD1 | 4,47 | 8,84 | 4,74 | 4,88 |
| QCD2 | 4,34 | 8,58 | 4,60 | 4,74 |
| QCD3 | 1,16 | 2,23 | 1,24 | 1,28 |
| QCD4 | 2,57 | 5,02 | 2,73 | 2,82 |
| QCD5 | 0,84 | 1,60 | 0,90 | 0,93 |
| QCD6 | 1,10 | 2,10 | 1,17 | 1,21 |
| QCD7 | 1,20 | 2,29 | 1,27 | 1,31 |
| QCD8 | 6,37 | 12,69 | 6,74 | 6,94 |
| QCD9 | 3,80 | 7,49 | 4,03 | 4,15 |

Tabla 160 Caudales estimados para las descargas de aguas residuales en la quebrada Cajones

| ÉPOCA | SECA | HÚMEDA | SECA | SECA |
|--|----------------|----------------|------------------------|----------------|
| AÑO | 2019 | 2019 | 2025 | 2029 |
| | Campaña1 | Campaña2 | Con Población Flotante | |
| Estación | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) | Q Diseño (L/s) |
| QPD1 | 0,41 | 0,78 | 0,48 | 0,49 |
| QPD2 | 3,70 | 7,43 | 4,23 | 4,31 |
| QPD3 | 1,83 | 3,62 | 2,11 | 2,15 |
| Total descargas en Quebrada Chorro Madres | 5,94 | 11,83 | 6,81 | 6,95 |
| QPD5 | 7,68 | 15,66 | 8,72 | 8,89 |
| QPD4 | 1,47 | 2,89 | 1,69 | 1,73 |
| Total descargas en Quebrada Innominada 3 | 9,15 | 18,55 | 10,42 | 10,62 |

Tabla 161 Caudales estimados para las descargas de aguas residuales en la quebrada Portachuelo

Para las características del agua residual sin tratamiento requerida en los Escenarios 1 (Base) y 2 (Año 2025), se tomaron valores promedio o que estuviesen dentro de los rangos (Tabla 162) presentados por Metcalf and Eddy (1991 y 2003).

| Determinante | Unidades | Inferior | Medio | Superior |
|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| SDT | mg/L | 270 | 500 | 860 |
| Conductividad | uS/cm | 450 | 833 | 1433 |
| Coliformes Totales | No/100 mL | 10 ⁶ a 10 ⁸ | 10 ⁷ a 10 ⁹ | 10 ⁸ a 10 ¹⁰ |
| Nitrógeno amoniacal | mg N/L | 12 | 25 | 45 |
| Nitrógeno orgánico | mg N/L | 8 | 15 | 25 |
| Nitritos | mg N/L | 0 | 0 | 0 |
| Nitratos | mg N/L | 0 | 0 | 0 |
| P Total | mg P/L | 4 | 7 | 14 |
| P orgánico | mg P/L | 1 | 2 | 4 |
| P Inorgánico | mg P/L | 3 | 5 | 10 |
| DBO₅ | mg O ₂ /L | 110 | 220 | 400 |
| DQO | mg O ₂ /L | 250 | 500 | 1000 |
| SST | mg/L | 100 | 220 | 350 |

Tabla 162 Rangos típicos de concentración para diferentes determinantes representativos de aguas residuales domésticas

Para las aguas residuales tratadas implementadas en el Escenario 3 (año 2029), se tomó como referencia los valores máximos definidos en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (Tabla 163), correspondiente a la mezcla de Aguas Residuales Domésticas - ARD y Aguas Residuales no Domésticas - ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado.

Los compuestos de nitrógeno y fósforo no tienen un límite definido, por lo tanto, se asumió una remoción baja del 10% del nitrógeno y fósforo totales. Además, se consideró la conversión de una fracción del nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal del agua sin tratamiento, en nitritos y nitratos debido a la acción de las bacterias nitrobacter y nitrosomonas.

| Parámetro | Unidades | Resolución MADS 0631 de 2015 Artículo 8. ARD Carga menor a 625,00 kg/día |
|---|---------------------|--|
| Generales | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 180,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 90,00 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/L | 90,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 5,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 20,00 |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | mg/L | Análisis y Reporte |
| Hidrocarburos | | |
| Hidrocarburos Totales (HTP) | mg/L | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Fósforo | | |
| Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻) | mg/L | Análisis y Reporte |
| Fósforo Total (P) | mg/L | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | |
| Nitritos (N-NO ₂ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte |
| Nitratos (N-NO ₃ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃) | mg/L | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | Análisis y Reporte |

**Tabla 163 Valores Máximos permisibles para los vertimientos. Norma Nacional
Resolución MADS 0631 de 2015**

Los valores definidos para el ingreso de los determinantes de calidad en el modelo Qual2k, para el río Roble, quebrada Cajones y quebrada Portachuelo, se presentan en la Tabla 164.

| Determinante | Unidades | Sin Tratamiento | Con Tratamiento |
|---------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Alcalinidad | mg CaCO ₃ /L | 352 | 352 |
| Coliformes Totales | NMP/100 mL | 100.000.000 | 1.000.000 |
| Conductividad | uS/cm | 833 | 833 |
| DBO ₅ | mg O ₂ /L | 190 | 90 |
| DBO ₅ Disuelta | mg O ₂ /L | 75 | 45 |
| DQO | mg O ₂ /L | 430 | 180 |
| Fósforo Total | mg/L | 7,00 | 6,30 |
| Nitratos | mg NO ₃ /L | 1 | 1 |
| Nitritos | mg NO ₂ /L | 0,02 | 0,02 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg N-NH ₃ /L | 25,0 | 12,0 |
| Nitrógeno Total Kjeldah | mg NH ₃ /L | 40,0 | 24,0 |
| Ortofosfatos | mg PO ₄ /L | 5,00 | 3,15 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 0,62 | 2,00 |
| pH | Unidades | 7,70 | 7,70 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 250,0 | 90,0 |
| Temperatura | °C | 24,8 | 24,8 |

Tabla 164 Valores de ingreso de concentraciones de ARD en Qual2k.

2.3.2. Resultados de la simulación de Escenarios

La clasificación de los usos potenciales se realizó agrupando aquellos que requieran condiciones similares de calidad en una (1) de las cuatro (4) categorías (A, B, C y D) presentadas en la **Tabla 165**. Los niveles permisibles para cada categoría se definieron como el valor más restrictivo de cada uno de los usos contemplados. Los niveles de referencia fueron tomados del Decreto 1076 de 2015 y de la recopilación de criterios de calidad realizada por Sierra (2011), presentada en la Tabla 166.

| Categoría | Usos potenciales | Convención |
|-----------|--|------------|
| A | Preservación de fauna y flora. Recreativo con contacto secundario. Agrícola sin restricciones. Pesca. | |
| B | Consumo humano y doméstico con solo desinfección. Consumo humano y doméstico con tratamiento convencional. Agrícola con restricciones. | |
| C | Pecuario. Industrial**. Estético. | |
| D | Asimilación y transporte. | |

Tabla 165 Categorías de usos potenciales del agua para el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

Nota: ** Uso Industrial: Con restricción especial por parte de la Autoridad Ambiental para la actividad de explotación manual de material de construcción y material de arrastre por tratarse de una actividad con contacto secundario.

| CATEGORÍA | USOS DEL AGUA | DBO ₅ | SST | Oxígeno Disuelto | pH | Coliformes Totales | Nitrógeno Amoniacal | Nitritos + Nitratos | Fósforo Total |
|-----------|---|------------------------|--------|------------------------|------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|
| | | [mg/L O ₂] | [mg/L] | [mg/L O ₂] | [Unidades] | [NMP/100 mL] | [mg/L N - NH ₃] | [mg/L N] | [mg/L P] |
| A | Preservación de flora y fauna | | - | 5 | 6,5 - 9,0 | - | - | - | - |
| | Agrícola sin restricciones | 10 | - | - | 6,0 - 9,0 | 5000 | 5 | - | - |
| | Recreativo contacto primario (Sin Restricciones) | 20 | - | 5 | 5,0 - 9,0 | 1000 | 2.5 | - | 0.5 |
| | Pesca, Maricultura y Acuicultura | 5 | - | 2 | 5,0 - 9,0 | - | 3 | - | 1 |
| | Valor más restrictivo | 5 | 30 | 5 | 6.5 - 8.5 | 1000 | 1 | 10 | 0.5 |
| B | Consumo humano y doméstico (Solo Desinfección) | - | - | - | 6,5 - 8,5 | 20000 | 1 | 10 | - |
| | Consumo humano y doméstico (Tratamiento convencional) | - | - | - | 5,0 - 9,0 | 20000 | 1 | 10 | - |
| | Agrícola con restricciones | 30 | 30 | 2 | 6,0 - 9,0 | - | 5 | - | 10 |
| | Recreativo contacto secundario (con restricciones) | 30 | 30 | 2 | 5,0 - 9,0 | 5000 | 3 | - | 1 |
| | Valor más restrictivo | 30 | 30 | 2 | 6.5 - 8.5 | 5000 | 1 | 10 | 0.5 |

| CATEGORÍA | USOS DEL AGUA | DBO ₅ | SST | Oxígeno Disuelto | pH | Coliformes Totales | Nitrógeno Amoniacal | Nitritos + Nitratos | Fósforo Total |
|-----------|---|------------------------|--------|------------------------|------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|
| | | [mg/L O ₂] | [mg/L] | [mg/L O ₂] | [Unidades] | [NMP/100 mL] | [mg/L N - NH ₃] | [mg/L N] | [mg/L P] |
| C | Pecuario | - | - | - | 6,5 - 9,0 | - | 1 | 10 | 0.5 |
| | Industrial | - | 1000 | 2 | 6,0 - 8,5 | - | 1 | 10 | 1 |
| | Industrial: explotación manual de material de construcción y material de arrastre | - | 1000 | 2 | 6,0 - 8,5 | 5000 | 1 | 10 | 1 |
| | Estético | 30 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| | Valor más restrictivo | 30 | 1000 | 2 | 6.5 a 8.5 | 20000 | - | 10 | 0.5 |
| D | Navegación y Transporte Acuático | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Valor más restrictivo | - | 1000 | - | - | - | - | - | - |

Tabla 166 Criterios de Calidad para diferentes usos. Fuente: Adaptado de Sierra (2011)

2.3.2.1. Resultados de la simulación para el cauce principal del río Roble

Para el análisis de calidad del agua en el río Roble establecieron las simulaciones de escenarios a partir del km 48.23 aproximadamente desde la desembocadura en el río La Vieja, y que coincide con el sitio aguas arriba de la confluencia con la quebrada Cajones. Para la determinación de usos potenciales y objetivos de calidad se consideraron tres (3) tramos:

Tramo 5:

Definido desde el nacimiento del río Roble hasta aguas arriba de la confluencia con la quebrada Cajones (abscisa km. 48.23). De este tramo se consideró representativo el estado de calidad para cada escenario en su condición de borde inferior (abscisa km 48.23) por ser la condición más desfavorable del tramo. Dicho punto corresponde con la frontera de aguas arriba del modelo de calidad del agua.

Tramo 6:

Definido desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cajones (km. 48.23) hasta aguas arriba de la bocatoma del municipio de Montenegro (km. 30.81).

- **Tramo 6A:** Definido desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cajones (km. 48.23) hasta aguas arriba de la confluencia de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km. 42.46).
- **Tramo 6B:** Definido desde la confluencia de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km 42.46) hasta la bocatoma del municipio de Montenegro (km. 30.81).

Tramo 7:

Definido desde aguas abajo de la bocatoma del municipio de Montenegro (km. 30.81) hasta la desembocadura en el río La Vieja (km 0.00).

A continuación, se presenta el análisis de resultados para los cuatro (4) escenarios y su comparación con las cuatro (4) categorías de Calidad definidas previamente (A, B, C y D).

2.3.2.1.1. SST

Escenario 1 Base:

La concentración de SST en la frontera aguas arriba del segmento de modelación es baja, una vez se llega a la confluencia con la quebrada Cajones (km. 48.19) se registran los valores más altos para este escenario, dada la alta carga de SST proveniente de que la quebrada cajones y la reducida capacidad de dilución en este sector del río. No se evidencia un incremento significativo de la concentración de SST en el río por efecto de los vertimientos domésticos del municipio de Montenegro (km. 24.55 a 22.18) ya que el río presenta una mayor capacidad de dilución en este sector por los aportes de caudales naturales aguas arriba. Se observa un ligero aumento en la concentración de SST sobre el km 12.55 de aportes de carga generados por la quebrada la Carmelita sin superar los 16 mg/l una vez registrada la mezcla completa en el río. En esta condición se permiten todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A** en los tres tramos.

Escenario 2 Año 2025:

En este escenario, se han realizado acciones de saneamiento en la quebrada Cajones que implican un aumento en la concentración de SST aportados (ver sección de resultados de escenarios en quebrada Cajones), por ellos se incrementa el pico de concentración en el km. 48.19. Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base, se ha realizado tratamiento a las ARD de los vertimientos RRob1 y RRob2, y se han eliminado los vertimientos RRob3 a RRob8 concentrándolos en RRob9, acción que genera una leve reducción de carga en el río Roble en este sector (km. 24.55 a 22.18). De esta forma, el escenario permitiría clasificar los usos en los tres tramos en la **Categoría A**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento al límite máximo permisible definido en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (90 mg/L), se mantienen las condiciones de **Categoría A** en los tres tramos.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

El escenario Ideal implica la imposición de condiciones más restrictivas a los vertimientos de las consideradas en la Resolución MADS 0631 de 2015 en los casos que se requiera para alcanzar usos más restrictivos. En este caso, la corriente principal no tiene problemáticas por SST y para los tres tramos sobre el cauce principal del río Roble no se consideran restricciones adicionales. Sin embargo, como se presenta en la siguiente sección, para la quebrada Cajones si proponen condiciones más restrictivas a los vertimientos en el “escenario 2029 Ideal”, y su efecto se nota en el cauce principal del río Roble al reducir la carga en el sector del km. 48.19. Se evidencia un cumplimiento en los tres tramos para los usos potenciales de la **Categoría A**.

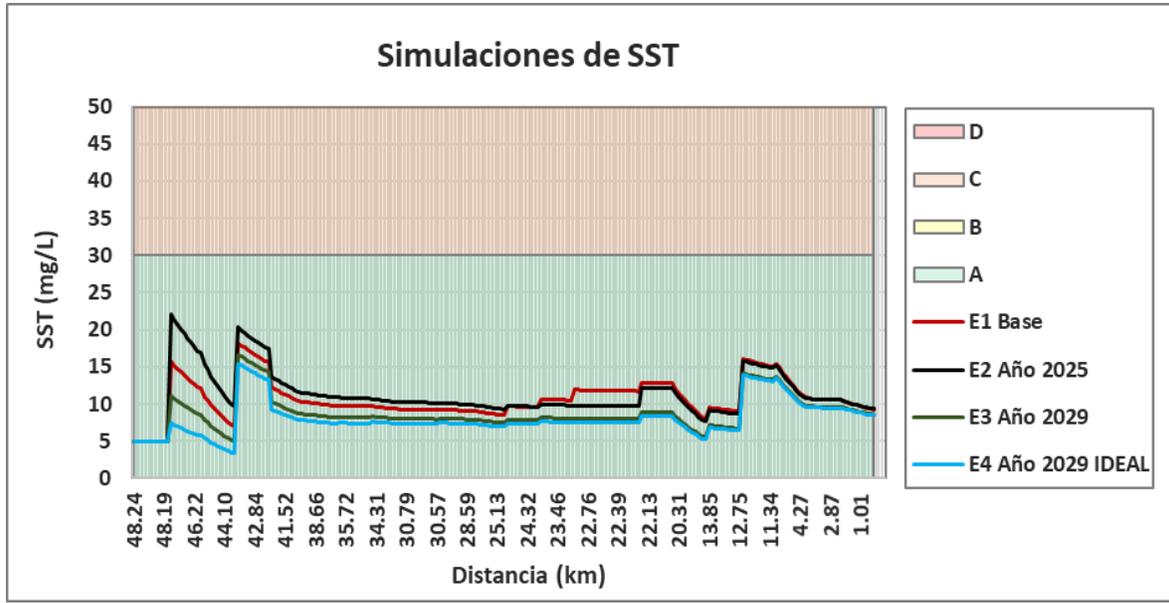


Figura 243. Resultados de simulación para los SST en el río Roble

2.3.2.1.2. DBO5

Escenario 1 Base:

La carga de DBO5 aportada por la quebrada Cajones hace incrementar su concentración en el río Roble aguas debajo de su confluencia. La quebrada Portachuelo contribuye en este escenario a mitigar el aumento en la concentración de DBO5 a través de dilución (km. 42.46) produciéndose una reducción consistente, hasta el sector de vertimientos (ARD) directos del municipio de Montenegro donde se observa un leve incremento. De acuerdo con estos resultados, el Tramo 5 corresponde la **Categoría A** de uso, y los Tramos 6 y 7 se clasifican en **Categoría B**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas de ARD tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones y las descargas RRob3 a RRob8 al sitio de descarga RRob9. Por efecto de estas acciones, se aumentaría la concentración de DBO5 en el río Roble en el sector de confluencia de la quebrada Cajones (km. 48.19) propagándose el efecto de dicho aumento hasta la parte media del Tramo 7. De forma que en el Tramo 5 se permitirían los usos de **Categoría A** y en los Tramos 6 y 7 se permitirían los usos de la **Categoría B**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR en quebrada Cajones y en el río Roble en Montenegro y proyectando que se dará cumplimiento al límite máximo permisible definido en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (90 mg/L), se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 5, sin embargo, no sería suficiente para cambiar la categoría de uso en los Tramos 6 y 7, los cuales conservan la **Categoría B**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para la DBO₅, la posibilidad de mantener en el Tramo 6 la **Categoría B**, mientras que en el Tramo 7 se alcance la **categoría A**. Para alcanzar dicha condición es necesario que las descargas de ARD presenten condiciones de calidad, más restrictivas que las definidas en la Norma Nacional, para este caso, concentraciones de DBO₅ de 45 mg/L en efluente de PTAR Cajones (proyectada) y remoción de un 90% de DBO₅ en PTAR del río Roble (proyectada).

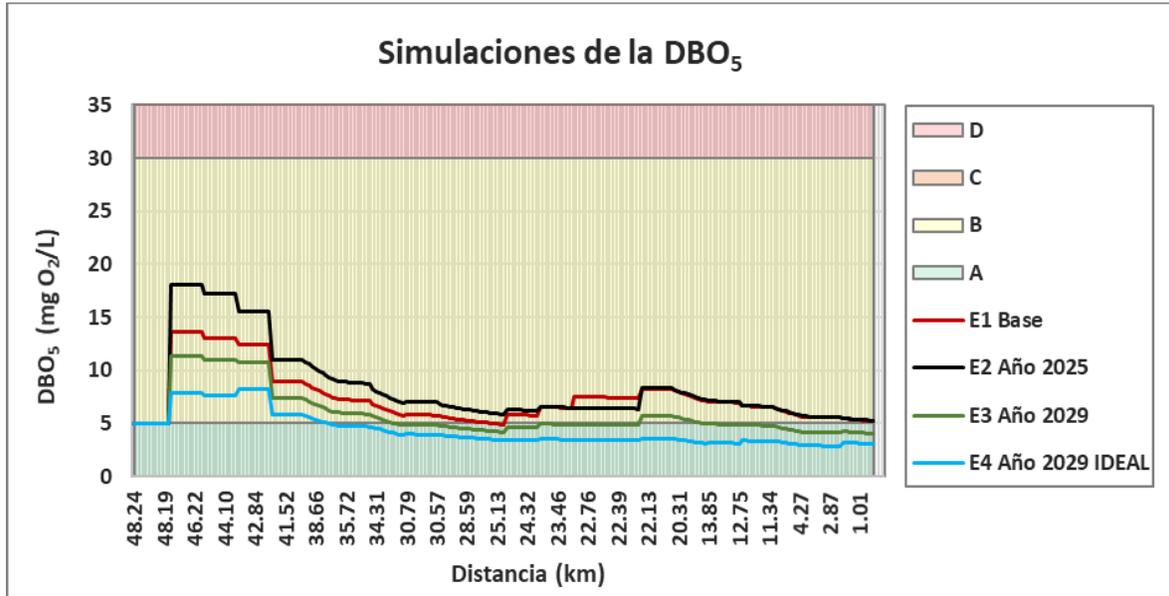


Figura 244. Resultados de simulación para DBO₅ en el río Roble

2.3.2.1.3. Oxígeno Disuelto

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran apropiados para el Tramo 5, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. El Tramo 6 permite los usos definidos para la **Categoría A** a pesar de la carga contaminante aportada por la quebrada Cajones. Sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento del casco urbano del municipio de Montenegro se reduce la concentración de OD, clasificándose en la **Categoría B**.

Escenario 2 Año 2025:

El Tramo 5 permite mantener los usos de la **Categoría A**. Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y debido a que las descargas se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, se reduce el oxígeno disuelto en el río Roble hasta niveles inferiores a 5 mg/l de forma que en el Tramo 6 se permitirían usos de la Categoría B. Como consecuencia de que este escenario contempla el tratamiento de los vertimientos RRob1 y RRob2 se produce un leve aumento en la concentración de OD en el río Roble en el sector km 20.31, pero no es suficiente para un cambio en la categoría de uso conservando en este escenario la **Categoría B**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR en quebrada Cajones (Circasia), y río Roble (Montenegro), y considerando que se dará cumplimiento a los límites máximos permisibles definidos en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015, se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 5, y en el Tramo 6. Aguas abajo de la descarga de la PTAR en Montenegro se reduciría la concentración, restringiendo los usos a los definidos en la **Categoría B**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Para evaluar la posibilidad de llegar a los usos potenciales de la Categoría A en todos los tramos se simuló un escenario de posible aumento del oxígeno disuelto en todo el río hasta un umbral de 5 mg/l. La simulación implicó una restricción en las descargas de ARD más estricta que la Norma Nacional (Resolución 0632 de 2015, MADS) en los siguientes términos: concentraciones de 45 mg/l de DBO5 en el efluente proyectado de la PTAR Cajones con una concentración de OD de 2 mg/l, remoción de un 90% de DBO5 en la PTAR proyectada en Montenegro, en la cual se debería tener una concentración de OD de 4 mg/l y una reducción de Nitrógeno total Kjeldahl a 3 mg/l.

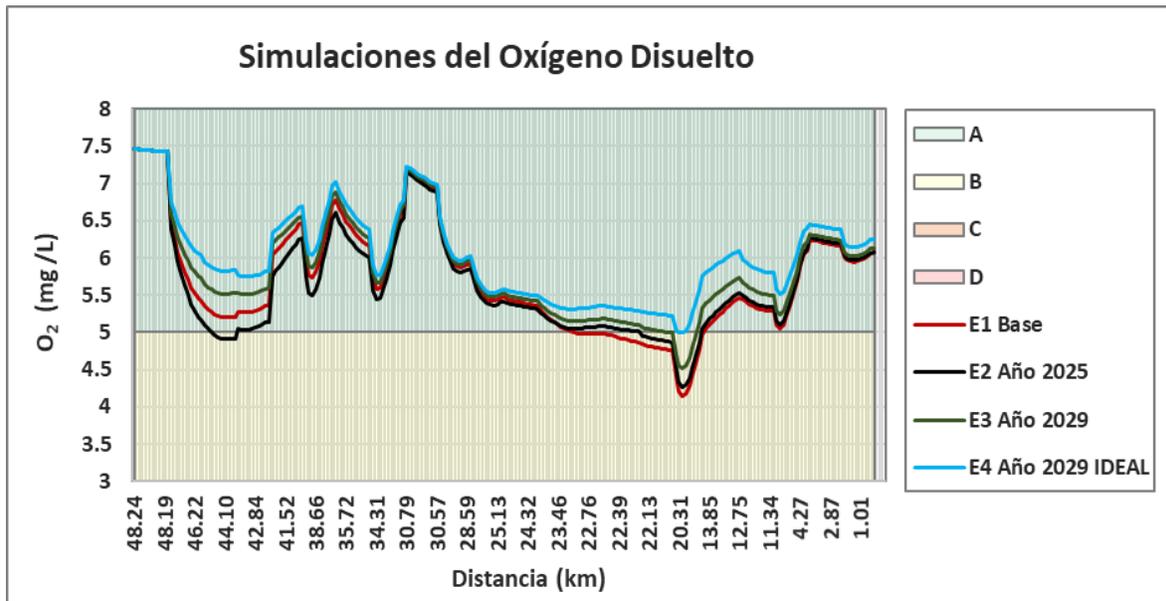


Figura 245. Resultados de las Simulaciones para el Oxígeno Disuelto en el río Roble

2.3.2.1.4. Potencial de Hidrógeno

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran apropiados para el Tramo 5, Tramo 6 y Tramo 7, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. Las condiciones esperadas en las Aguas Residuales sin tratamiento se encuentran dentro de los límites definidos para la **Categoría A**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año, las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han trasladado hacia el final de la quebrada Cajones, y en el propio río Roble, de forma que al inicio del tramo 6 se presentan unas modificaciones en el pH, las cuales resultan no significativas en términos de un cambio de Categoría. Por lo tanto, en los tramos 5, 6 y 7 se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento a los límites máximos permisibles definidos en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015, se mantienen las condiciones de **Categoría A** en los tramos 5, 6, y 7.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

No fue necesario definir una condición ideal del pH adicional a la esperada en los escenarios 2 y 3.

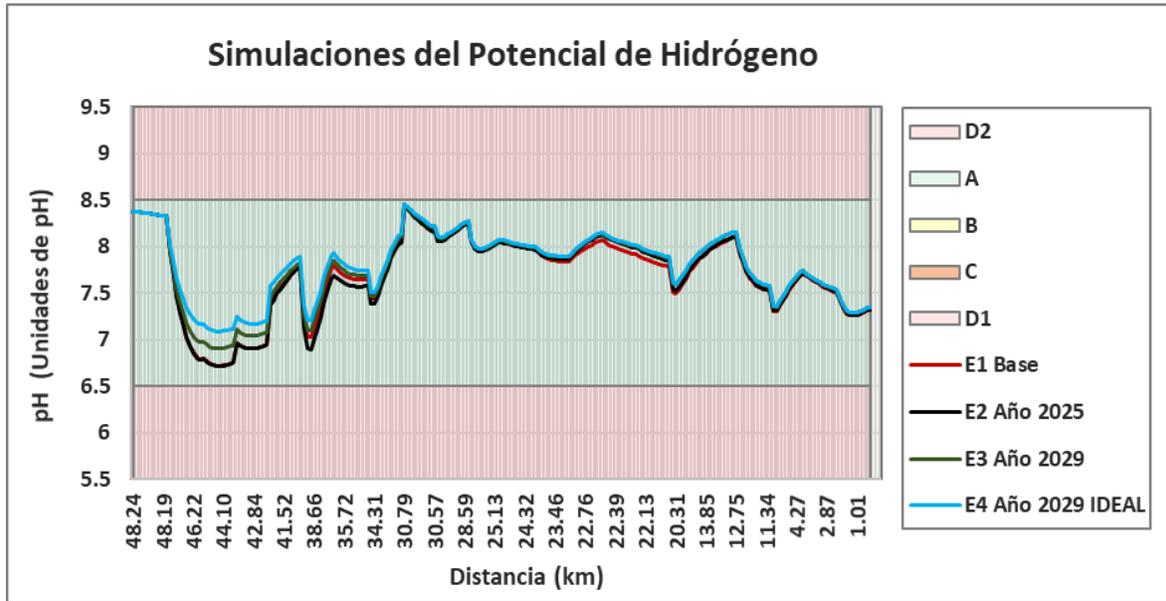


Figura 246. Resultados de las Simulaciones para el pH en el río Roble

2.3.2.1.5. Coliformes Totales

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran medios, permitiendo los usos correspondientes a la **Categoría B** en el Tramo 5, sin embargo, para el tramo 6 hasta la abscisa km 40 aproximadamente se alcanza únicamente la **Categoría D** por el efecto de la descarga de la quebrada Cajones. Entre las abscisas km 40 y km 24.55 se reducen los niveles de coliformes totales permitiendo alcanzar los usos de la **Categoría B**, sector donde se encuentra la bocatoma de Montenegro. En el sector de los vertimientos de Montenegro (km 24.55 a 22.05) se incrementa

la concentración de coliformes totales (a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento del orden de 100.000.000 NMP/100mL), clasificándose el tramo 7 en la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas de ARD de Circasia tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, tratamiento de los vertimientos RRob1 y RRob 2 sobre el río Roble en Montenegro y la eliminación de los vertimientos RRob3 a RRob8 con su posterior descarga en el sitio del vertimiento doméstico RRob9. esta concentración de los vertimientos no genera cambios significativos en el perfil longitudinal de calidad que impliquen un cambio de categorías de uso en los diferentes tramos. De esta forma el Tramo 5 se mantendría en la **Categoría B**, el Tramo 6 hasta la abscisa km 35.25 permitiría usos de la Categoría D, y desde dicha abscisa hasta la abscisa km 30.81 (bocatoma de Montenegro) permitiría usos de categoría B, destacando como alerta que estaría en su límite superior. Por su parte, el tramo 7 lograría alcanza la **Categoría D**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se presentarán remociones que permitirán alcanzar al menos una concentración de 1.000.000 NMP/100 mL, se mantendrían condiciones de la **Categoría B** para el tramo 5, para el tramo 6 hasta la abscisa km 42.46 se lograría una **Categoría D**, y a partir de allí hasta la bocatoma de Montenegro (km 30.81) se alcanzaría una **Categoría A**. Finalmente, en el tramo 7 se llegaría permitir los usos de la **Categoría C**.

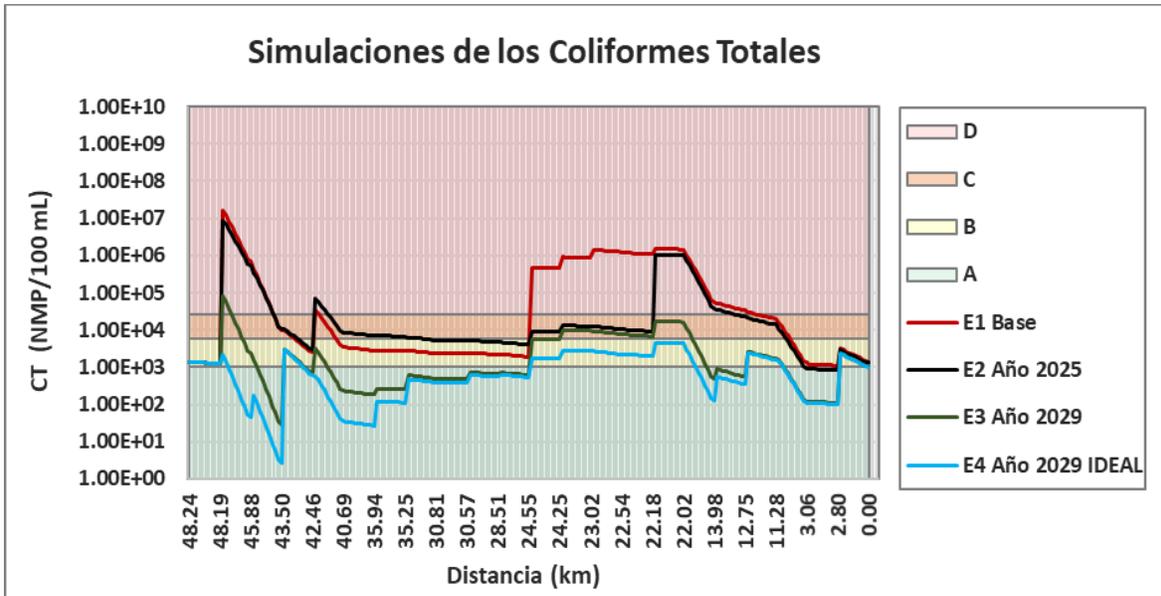


Figura 247. Resultados de las Simulaciones para Coliformes Totales en el río Roble

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para los coliformes totales, la posibilidad de reducir la concentración en el cuerpo de agua después de las descargas, permitiendo los usos definidos en la **Categoría B** para todo el tramo 6 y el tramo 7. Para esto se requiere que las concentraciones

en el vertimiento tratados en Circasia no superen 30.000 NMP/100 mL y los vertimientos tratados en Montenegro sobre río Roble no superen 250.000 NMP/100 mL.

2.3.2.1.6. Nitrógeno Amoniacal

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A** en el tramo 5, sin embargo, a medida que ingresan las cargas provenientes de la quebrada Cajones sin tratamiento del casco urbano del municipio de Circasia, se eleva la concentración en el río Roble, clasificándose el tramo 6 hasta la abscisa km 42 en la **Categoría D** y desde allí hasta la abscisa km 30.81 (bocatoma de Montenegro) en la **Categoría A**. Por su parte, todo el tramo 7 alcanza la **Categoría A**.

Escenario 2 Año 2025:

En este escenario se mantienen las categorías encontradas para el escenario 1 Base.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de las PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de nitrógeno NTK, compuesto por el nitrógeno orgánico y amoniacal, debido a la conversión de estos en nitritos y nitratos. En general se consideró solo un porcentaje de remoción del 10% en el nitrógeno total (NT). Esta conversión y porcentaje de remoción permiten obtener mejores condiciones de calidad aguas abajo de las descargas en comparación con los Escenarios 1 y 2, por lo que los usos permitidos alcanzarían la **Categoría A** en los tramos 5, 6 y 7.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Para reducir el consumo de oxígeno en el tramo 7 aguas abajo de las descargas de ARD de Montenegro, se consideró como condición ideal para el nitrógeno amoniacal, a partir de la implementación de un mejor sistema de tratamiento que permita realizar una mayor remoción del nitrógeno total, un 50% más comparado con el Escenario 3 para la PTAR en quebrada Cajones, y una descarga máxima de Nitrógeno total Kjeldahl a 3 mg/l. Con dicha restricción se logra una reducción importante en el consumo de oxígeno en el río y una reducción en la concentración de Nitrógeno Amoniacal permitiendo alcanzar la **Categoría A** de uso en todos los tramos.

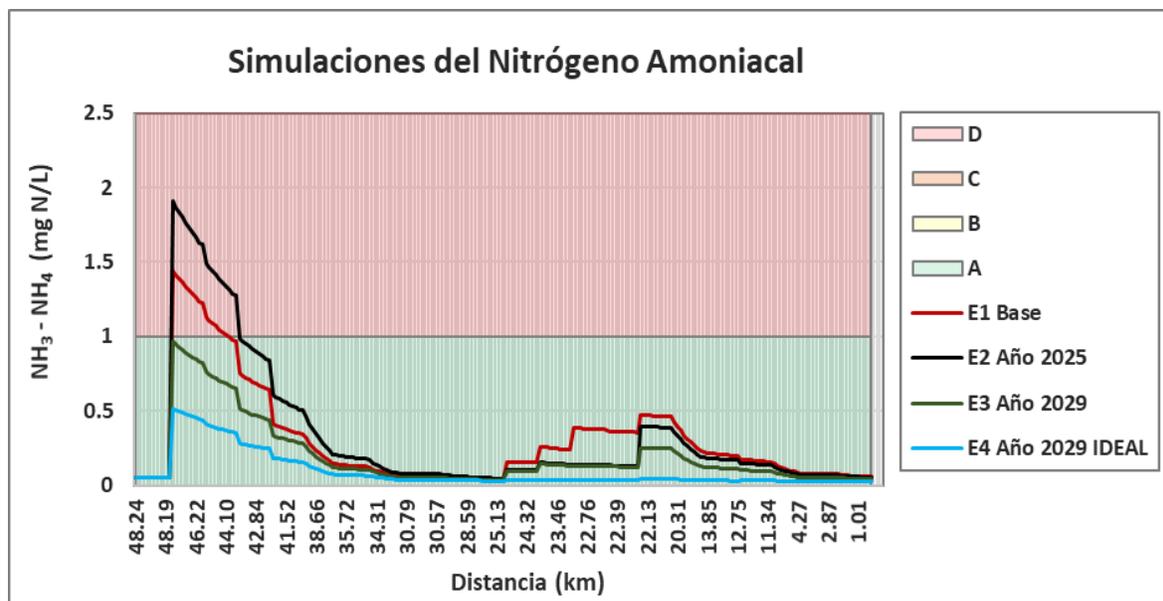


Figura 248. Resultados de las Simulaciones para el Nitrógeno Amoniacal en el río Roble

2.3.2.1.7. Nitritos y Nitratos

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales de la suma de nitritos + nitratos, y a lo largo del tramo de estudio base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. A medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento, se eleva la concentración principalmente debido a la conversión del nitrógeno amoniacal en nitritos y posteriormente en nitratos, pero se mantiene en la misma Categoría.

Escenario 2 Año 2025:

En esta condición se logran mantener los usos potenciales en la **Categoría A** en los tres tramos.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de la PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de nitrógeno NTK, compuesto por el nitrógeno orgánico y amoniacal, pero un incremento en el aporte directo de nitritos y nitratos.

En el Tramo 5, 6 y 7, se garantizarían las condiciones para todos los usos, por lo que se clasifica en la **Categoría A**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

La condición ideal que se planteó en el Escenario de Nitrógeno amoniacal implica una reducción en la concentración de Nitritos y Nitratos ya que se reduce la carga en nitrificación. Por ello, se mantiene la clasificación de usos en la **Categoría A** para los tres tramos.

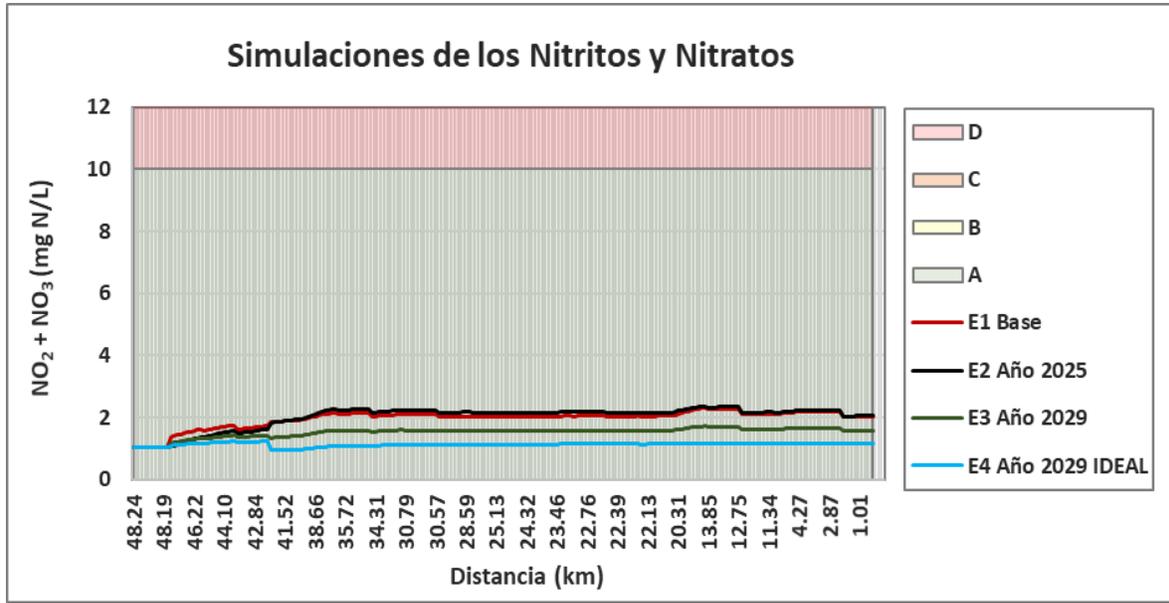


Figura 249. Resultados de las Simulaciones para el Nitrito y Nitrato en el río Roble

2.3.2.1.8. Fósforo Total

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del fósforo total son los más altos de todo el perfil de calidad en el cauce principal del río Roble, sin embargo, sus concentraciones permiten todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A** en los tres tramos.

Escenario 2 Año 2025:

En los tres tramos se presentan concentraciones de Fósforo Total inferiores a 1 mg/l, permitiendo todos los usos clasificándose como **Categoría A** en los tramos 5, 6 y 7.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de las PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de Fósforo Total. Para el presente análisis se consideró una baja remoción (10%).

Se presenta un comportamiento similar al observado en el Escenario 2. Los tramos 5, y 7 se definen en la **Categoría A**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

No fue necesario formular una reducción adicional a la establecida en la Normativa Nacional para las aguas residuales tratadas provenientes del efluente proyectado para la PTAR en Montenegro. Sin embargo, como se presenta en la siguiente sección y con el fin de garantizar que en toda la quebrada Cajones corresponda a la **Categoría A**, se requeriría que la descarga proyectada para la PTAR en la quebrada Cajones tenga una concentración de Fósforo total menor a 800 µg/L. El efecto de dicha reducción en el río Roble implica una reducción del fósforo total en el perfil de calidad del río, manteniendo una clasificación en la **Categoría A** para los usos en los tres tramos (Tramo 5, Tramo 6 y Tramo 7).

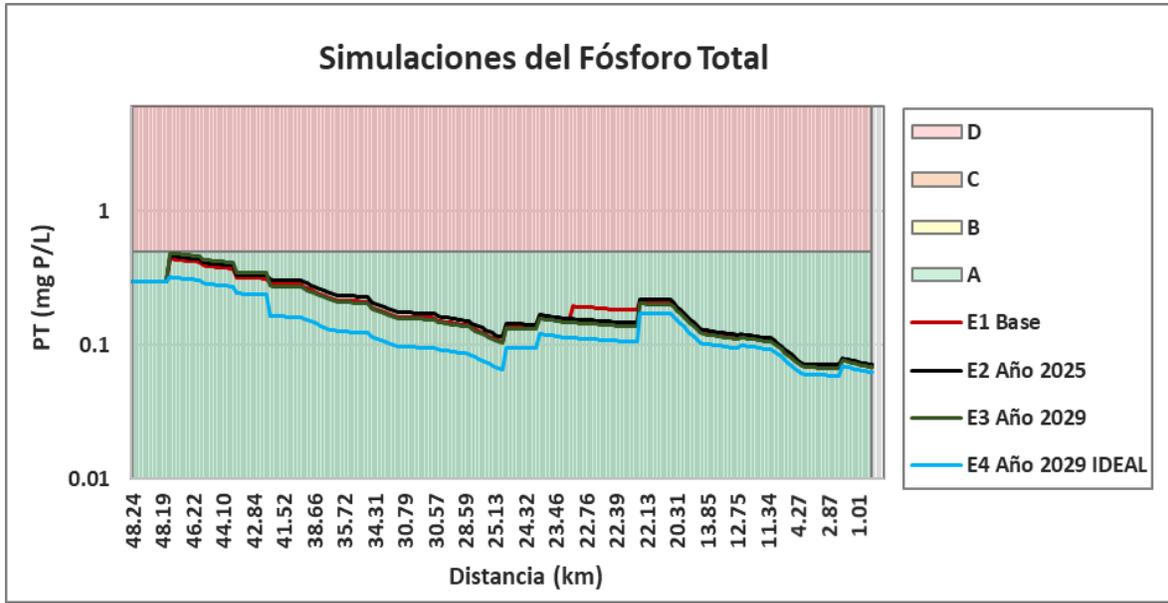


Figura 250. Resultados de las Simulaciones para el Fosforo Total en el río Roble

2.3.2.2. Resultados de la simulación para la quebrada Cajones

Para el siguiente análisis se consideraron dos (2) tramos sobre la quebrada Cajones:

Tramo 3:

Definido desde el nacimiento de la quebrada Cajones hasta aguas arriba del casco urbano del municipio de Circasia (km 2.600 aproximadamente desde la desembocadura en el río Roble).

Tramo 4:

Definido desde aguas arriba del casco urbano del municipio de Circasia (km 2.600) hasta la desembocadura en el río Roble (km 0.000).

- **Tramo 4A:** Desde aguas el inicio del casco urbano del municipio de Circasia (km 2.600) hasta aguas arriba de la descarga municipal denominada QCD_09 (km 0.190 aproximadamente), en la parte baja de la quebrada Cajones.
- **Tramo 4B:** Desde el punto de la descarga municipal denominada QCD_09, ubicada en la parte baja de la quebrada Cajones, hasta la desembocadura en el río Roble

A continuación, se presenta el análisis de los resultados para los cuatro (4) Escenarios de simulación y su comparación con las cuatro (4) categorías de Calidad definidas previamente (A, B, C y D).

2.3.2.2.1. SST

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**, sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento (250 mg/L) del casco urbano del municipio de Circasia se eleva la concentración, clasificándose en la **Categoría C**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que en el Tramo 3 y en la mayor parte del Tramo 4 se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**. En la parte Final del tramo las concentraciones sin tratamiento (250 mg/L) elevarían de forma importante la concentración, permitiendo los usos considerados en la **Categoría C**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento al límite máximo permisible definido en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (90 mg/L), se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 3, y en la mayor parte del Tramo 4, tal como se observó en el Escenario 2.

Aguas abajo de la descarga de la PTAR se incrementaría la concentración, permitiendo los usos definidos en la **Categoría C**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para los SST, la posibilidad de mantener en toda la quebrada Cajones se mantenga la **Categoría A**. Para alcanzar dicha condición es necesario que las descargas presenten condiciones de calidad, más restrictivas que las definidas en la Norma Nacional, por ejemplo, concentraciones de SST de 40 mg/L.

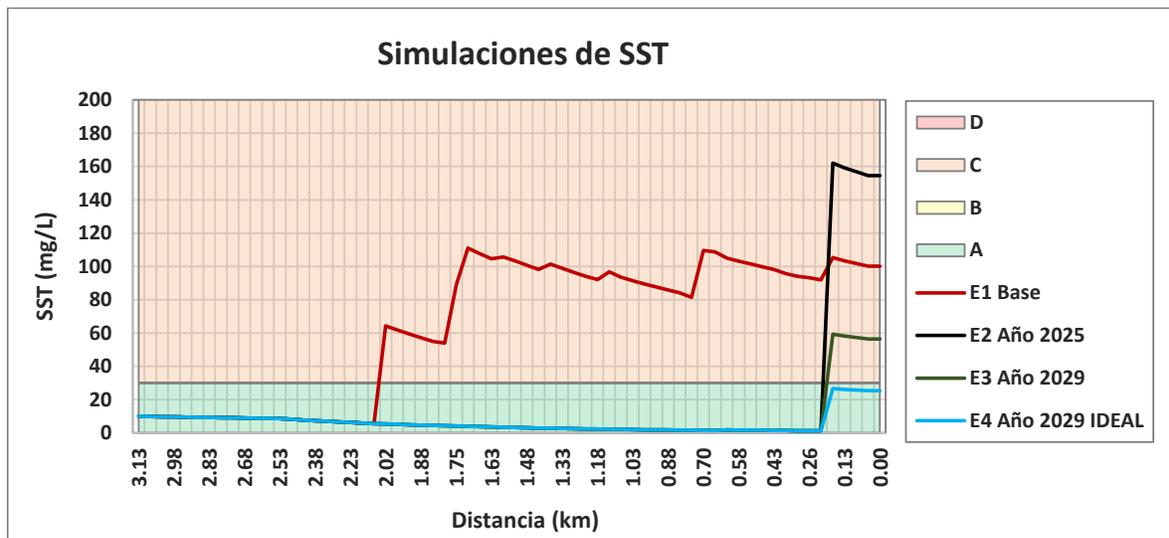


Figura 251. Resultados de las Simulaciones para los SST en la quebrada Cajones

2.3.2.2.2. DBO5

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**, sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento (250 mg/L) del casco urbano del municipio de Circasia se eleva la concentración, clasificándose en la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que en el Tramo 3 y en la mayor parte del Tramo 4 se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**. En la parte Final del tramo las concentraciones sin tratamiento (250 mg/L) elevarían de forma importante la concentración, permitiendo los usos considerados en la **Categoría D**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento al límite máximo permisible definido en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (90 mg/L), se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 3, y en la mayor parte del Tramo 4, tal como se observó en el Escenario 2. Aguas abajo de la descarga de la PTAR se incrementaría la concentración, permitiendo los usos definidos en la **Categoría D**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para la DBO₅, la posibilidad de mantener en el Tramo 3 la quebrada Cajones se mantenga la **Categoría A**, mientras que en el Tramo 4 se mantenga en la **Categoría B**. Para alcanzar dicha condición es necesario que las descargas presenten condiciones de calidad, más restrictivas que las definidas en la Norma Nacional, por ejemplo, concentraciones de DBO₅ de 45 mg/L.

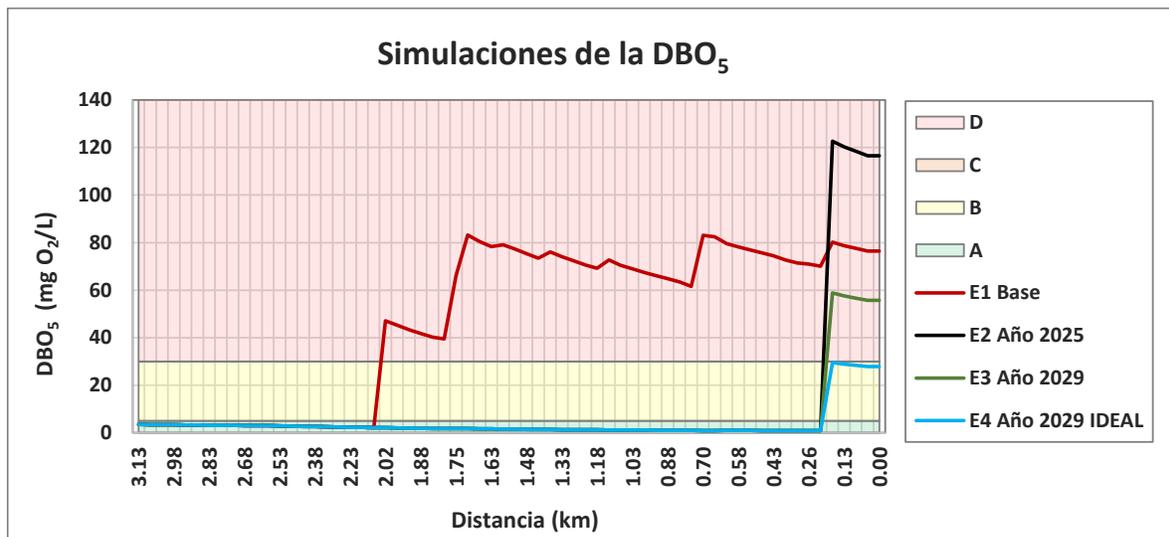


Figura 252. Resultados de las Simulaciones para la DBO₅ en la quebrada Cajones

2.3.2.2.3. Oxígeno Disuelto

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran apropiados para el Tramo 3, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**, sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento del casco urbano del municipio de Circasia se reduce la concentración, clasificándose en la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que en el Tramo 3 y en la mayor parte del Tramo 4 se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**. En la parte Final del tramo las concentraciones sin tratamiento reducirían de forma importante la concentración, permitiendo los usos considerados en la **Categoría D**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento a los límites máximos permisibles definidos en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015, se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 3, y en la mayor parte del Tramo 4, tal como se observó en el Escenario 2.

Aguas abajo de la descarga de la PTAR se incrementaría la concentración, permitiendo los usos definidos en la **Categoría D**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para el oxígeno disuelto, la posibilidad de que en el Tramo 3 de la quebrada Cajones se mantenga la **Categoría A**, mientras que en el Tramo 4 se mantenga en la **Categoría B**. Para alcanzar dicha condición es necesario que las descargas presenten condiciones de calidad más restrictivas que las definidas en la Norma Nacional, por ejemplo, concentraciones de DBO₅ de 45 mg/L. Para los escenarios 3 y 4 con tratamiento, se considera una concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/L en las descargas, mientras que en el Escenario 1 y 2 la concentración de Oxígeno es menor a 1 mg/L.

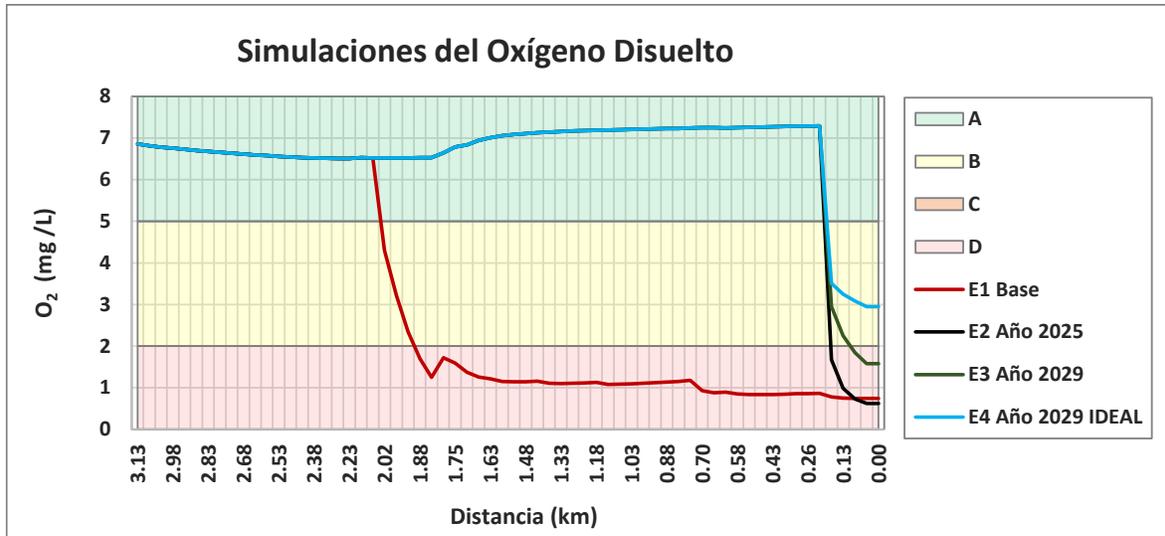


Figura 253. Resultados de las Simulaciones para el Oxígeno Disuelto en la quebrada Cajones

2.3.2.2.4. Potencial de Hidrógeno

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran apropiados para el Tramo 3 y Tramo 4, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. Las condiciones esperadas en las Aguas Residuales sin tratamiento se encuentran dentro de los límites definidos para la **Categoría A**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que al final del tramo 3 se presentan unas modificaciones en el pH, las cuales resultan irrelevantes en términos de un cambio de Categoría. Por lo tanto, en el Tramo 3 y en el Tramo 4 se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento a los límites máximos permisibles definidos en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015, se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 3 y en el Tramo 4.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

No fue necesario definir una condición ideal del pH adicional a la esperada en los escenarios 2 y 3.

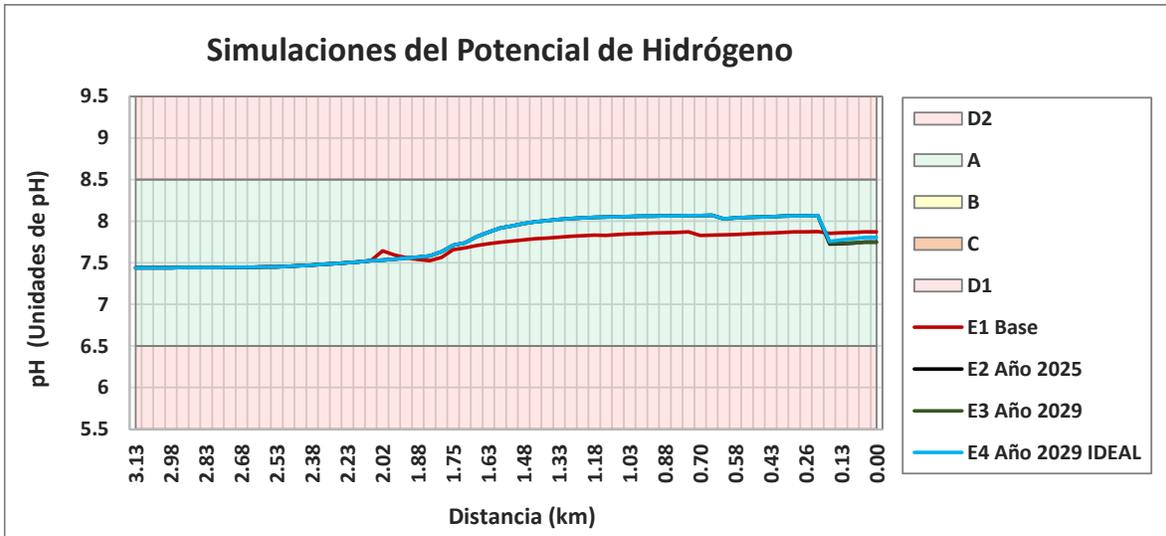


Figura 254. Resultados de las Simulaciones para el pH en la quebrada Cajones

2.3.2.2.5. *Coliforme Totales*

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran medios, permitiendo los usos correspondientes a la **Categoría B**, sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento (100.000.000 NMP/100mL) del casco urbano del municipio de Circasia se eleva la concentración, clasificándose en la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que en el Tramo 3 mejoraría la calidad, y continuaría en la clasificándose como **Categoría B**, incluso al comienzo del tramo 4. Posteriormente debido a la asimilación de los coliformes se clasificaría como **Categoría A**, permitiendo todos los usos. En la parte Final del Tramo 4 las concentraciones sin tratamiento (100.000.000 NMP/100 mL) elevarían de forma importante la concentración, de forma similar al Escenario Base, permitiendo los usos considerados en la **Categoría D**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se presentarán remociones que permitirán alcanzar al menos una concentración de 1.000.000 NMP/100 mL, se mantendrían condiciones de la **Categoría B** para el tramo 3 y **Categoría A y B** para una parte del Tramo 4.

Aguas abajo de la descarga de la PTAR se incrementaría la concentración, permitiendo los usos definidos en la **Categoría D**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para los coliformes totales, la posibilidad de incrementar la concentración en el cuerpo de agua después de las descargas, pero permitiendo los usos definidos

en la **Categoría C**. Para esto se requiere que las concentraciones en el vertimiento no superen 30.000 NMP/100 mL.

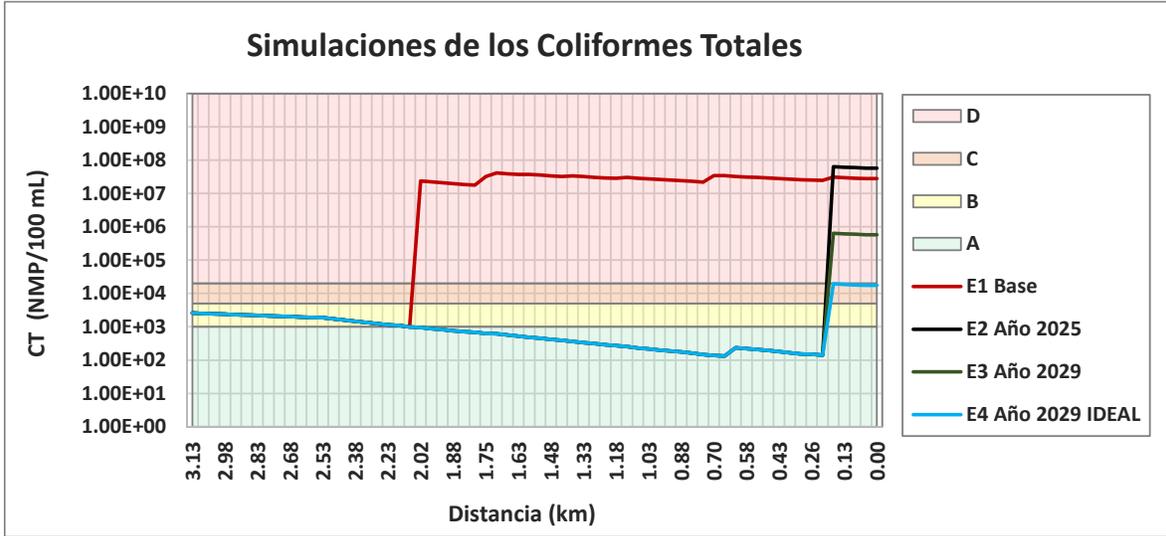


Figura 255. Resultados de las Simulaciones para los Coliformes Totales en la quebrada Cajones

2.3.2.2.6. Nitrógeno Amoniacal

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**, sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento del casco urbano del municipio de Circasia, se eleva la concentración, clasificándose en la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que en el Tramo 3 y en la mayor parte del Tramo 4 se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**. En la parte Final del Tramo 4 las concentraciones sin tratamiento de los compuestos de nitrógeno generarían un incremento importante la concentración, permitiendo los usos considerados en la **Categoría D**. La concentración para este escenario puede ser inclusive mayor que para el Escenario base dado el incremento en caudal (lo cual incrementa la carga aportada) y a la ubicación espacial de la descarga.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de la PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de nitrógeno NTK, compuesto por el nitrógeno orgánico y amoniacal, debido a la conversión de estos en nitritos y nitratos. En general se consideró solo un porcentaje de remoción del 10% en el nitrógeno total (NT). Esta conversión y porcentaje de remoción permiten obtener

mejores condiciones de calidad aguas abajo de las descargas en comparación con el Escenario 2, sin embargo, los usos permitidos serían únicamente los definidos en la **Categoría D**.

En el Tramo 3 y en la mayor parte del Tramo 4, se garantizarían las condiciones para todos los usos, por lo que se clasifica en la **Categoría A**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para el nitrógeno amoniacal, a partir de la implementación de un mejor sistema de tratamiento que permita realizar una mayor remoción del nitrógeno total, un 50% más comparado con el Escenario 3. Aun así, los usos permitidos seguirían siendo los de la **Categoría D** y no sería posible garantizar los usos de la **Categoría A**, pero podría habilitarse el uso agrícola con y sin restricciones.

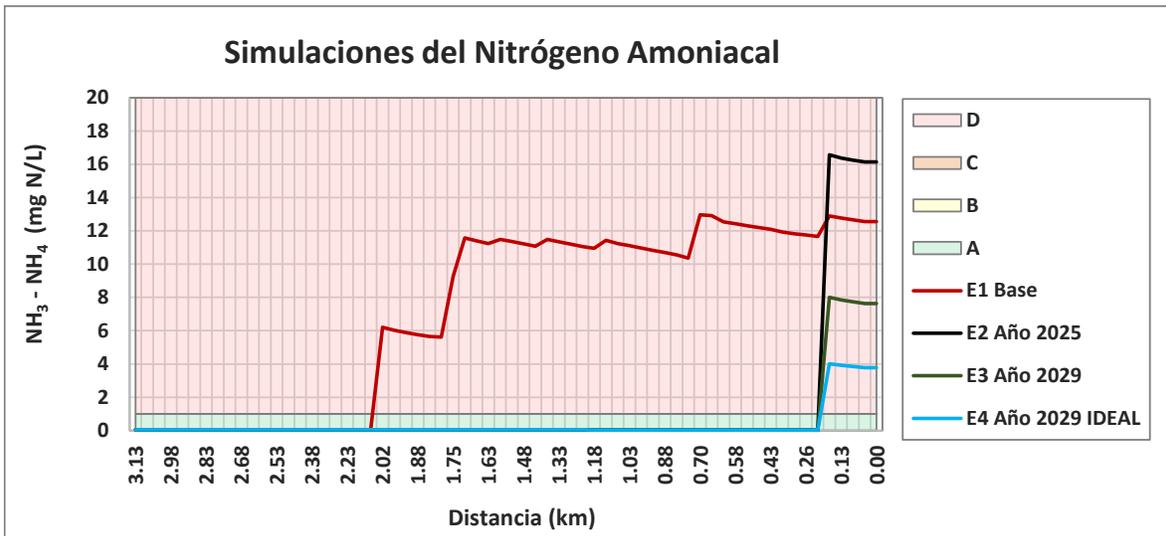


Figura 256. Resultados de las Simulaciones el Nitrógeno Amoniacal en la quebrada Cajones

2.3.2.2.7. Nitritos y Nitratos

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales de la suma de nitritos + nitratos, y a lo largo del tramo de estudio base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. A medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento del casco urbano del municipio de Circasia, se eleva la concentración principalmente debido a la conversión del nitrógeno amoniacal en nitritos y posteriormente en nitratos, pero se mantiene en la misma Categoría.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que en el Tramo 3 y en la mayor parte del Tramo 4 se presentan concentraciones muy bajas, permitiendo todos los usos clasificándose como **Categoría A**.

En la parte Final del Tramo 4 se presentaría un incremento relacionado con la conversión del nitrógeno amoniacal, sin embargo, debido al corto tramo de recorrido desde la descarga hasta la confluencia en el río Roble, el aumento es leve.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de la PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de nitrógeno NTK, compuesto por el nitrógeno orgánico y amoniacal, pero un incremento en el aporte directo de nitritos y nitratos.

En el Tramo 3 y en el Tramo 4, se garantizarían las condiciones para todos los usos, por lo que se clasifica en la **Categoría A**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

La condición ideal que se planteó en el Escenario de Nitrógeno amoniacal no sería relevante para los resultados de la suma de nitritos y nitratos. Para toda la quebrada Cajones, se garantizarían las condiciones para todos los usos, por lo que se clasifica en la **Categoría A**.

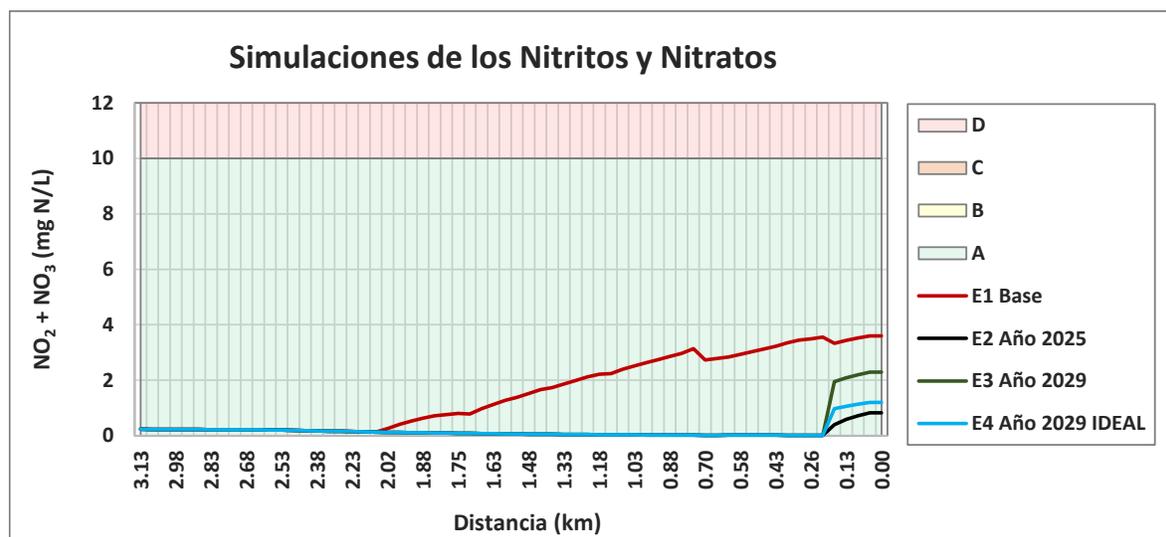


Figura 257. Resultados de las Simulaciones del nitrito y nitrato en la quebrada Cajones

2.3.2.2.8. Fósforo Total

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del fósforo total se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. A medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento (7 mg/L) del casco urbano del municipio de Circasia, se eleva la concentración, por lo que el tramo 4 se clasificaría en la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia el final de la quebrada Cajones, de forma que en el Tramo 3 y en la mayor parte del

Tramo 4 se presentan concentraciones muy bajas, permitiendo todos los usos clasificándose como **Categoría A**.

En la parte Final del Tramo 4 se presentaría un incremento aguas abajo de la descarga, definiéndose en la **Categoría D**.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de la PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de Fósforo Total. Para el presente análisis se consideró una baja remoción (10%).

Se presenta un comportamiento similar al observado en el Escenario 2. El Tramo 3 y la mayor parte del tramo 4 se definen como **Categoría A**, mientras que aguas abajo de la descarga de la PTAR, se define como **Categoría D**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Con el fin de garantizar que en toda la quebrada Cajones corresponda a la **Categoría A**, se requeriría que la descarga presentara una concentración de Fósforo total menor a 800 µg/L, es decir que se requeriría de un porcentaje de remoción promedio del 90%, considerando que el agua residual en promedio tiene una concentración de 7 mg/L en la descarga. Estas remociones superiores al 90% difícilmente pueden obtenerse con un sistema de tratamiento convencional.

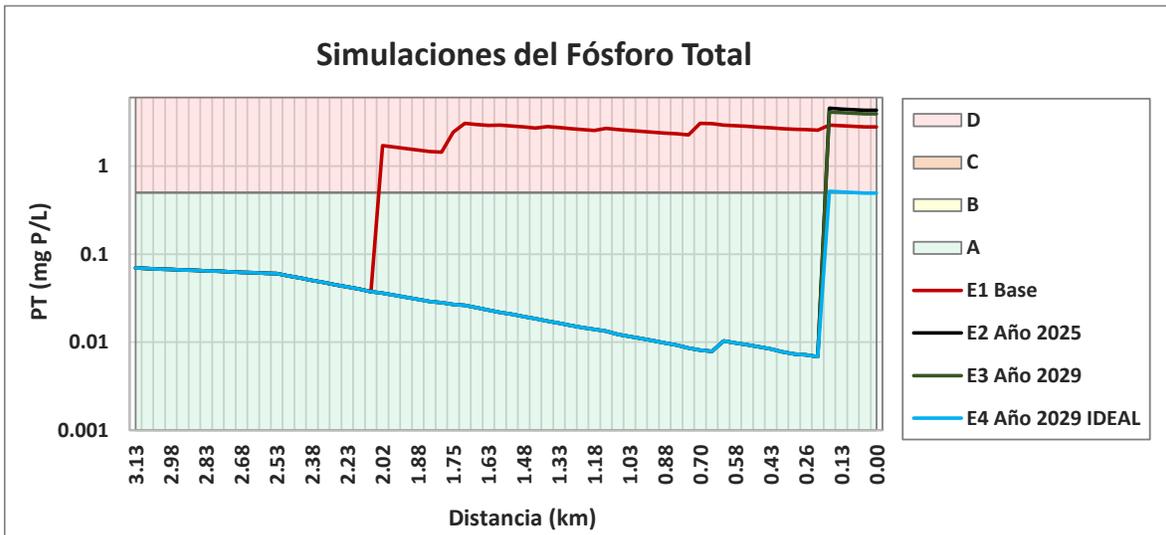


Figura 258. Resultados de las Simulaciones del Fósforo Total en la quebrada Cajones

2.3.2.3. Resultados de la simulación para la quebrada Portachuelo

Para el siguiente análisis se consideran dos (2) tramos principales sobre la quebrada Portachuelo:

Tramo 1:

Definido desde el nacimiento de la quebrada Portachuelo hasta la desembocadura de la quebrada Chorro de Madres, al inicio del Casco urbano del Municipio de Filandia.

Tramo 2:

Definido desde la desembocadura de la quebrada Chorro de Madres receptora actual de una parte de las aguas residuales del Municipio de Filandia hasta la desembocadura de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km 0.000).

- **Tramo 2A:** Desde la desembocadura de la quebrada Chorro de Madres hasta la desembocadura de la quebrada Innominada (fuente receptora actual de una parte de las aguas residuales del Municipio de Filandia).
- **Tramo 2B:** Desde la quebrada Innominada (fuente receptora actual de una parte de las aguas residuales del Municipio de Filandia) hasta la desembocadura de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km 0.000).

A continuación, se presenta el análisis de los resultados para los cuatro (4) Escenarios de simulación y su comparación con las cuatro (4) categorías de Calidad definidas previamente (A, B, C y D).

2.3.2.3.1. SST***Escenario 1 Base:***

Los niveles iniciales del escenario base se consideran bajos (incluso por debajo del límite de detección), permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. Con el ingreso de la quebrada Chorro de Madres, la cual recibe actualmente un aparte de las descargas municipales de Filandia, se incrementa la concentración manteniéndose en la **Categoría A**, y con el ingreso de la quebrada Innominada que recibe una parte de las descargas municipales de Filandia, se supera por una corta distancia la concentración límite (30 mg/L).

Por lo anterior, todos los tramos podrían considerarse como **Categoría A** para el Escenario 1.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base, debido al incremento poblacional, además, debido a que todas las descargas se llevarían hacia un único punto en la quebrada Innominada, se presentaría un pico más alto de concentración, clasificándose dentro de la zona de influencia del vertimiento como **Categoría C**.

Para este escenario se espera una recuperación de la calidad para el Tramo 2A en comparación con el escenario Base. Los Tramos 1 y 2A corresponderían a la **Categoría A**. El Tramo 2B correspondería a la **Categoría C**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento al límite máximo permisible definido en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (90 mg/L), se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 1. Todos los tramos podrían considerarse como **Categoría A** para el Escenario 3.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

No se consideró la necesidad de implementar este escenario, ya que para el Escenario 3, el sistema tendría una recuperación satisfactoria y podría retornar a concentraciones similares a las presentadas antes de las descargas.

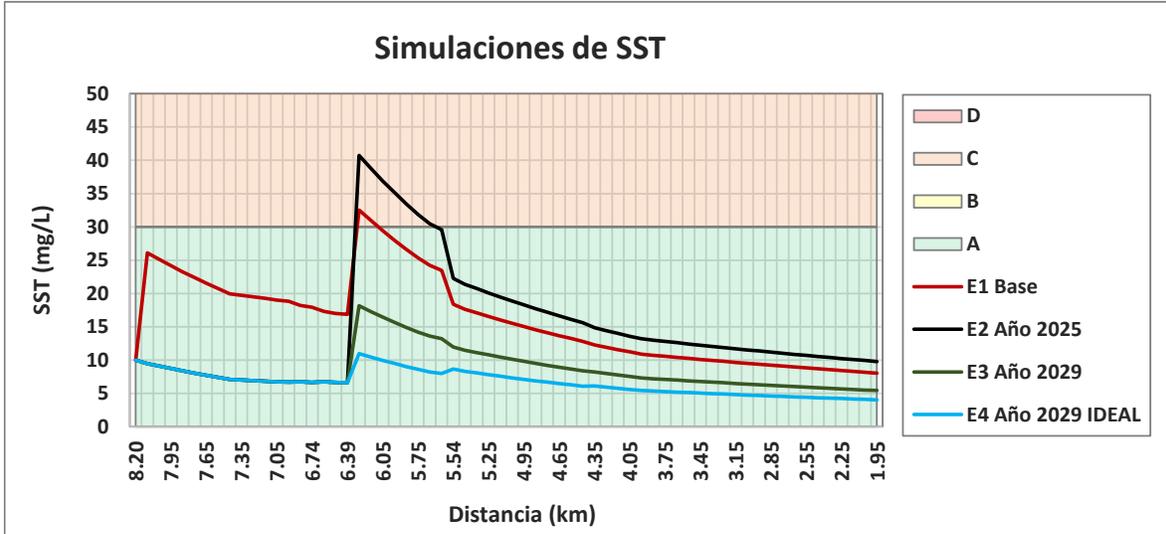


Figura 259. Resultados de las Simulaciones para los SST en la Quebrada Portachuelo

2.3.2.3.2. DBO5

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran bajos (incluso por debajo del límite de detección), permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. Con el ingreso de la quebrada Chorro de Madres, la cual recibe actualmente un aparte de las descargas municipales de Filandia, se incrementa la concentración alcanzando la **Categoría B**, y con el ingreso de la quebrada Innominada que recibe una parte de las descargas municipales de Filandia, se incrementa aún más la concentración manteniéndose en la **Categoría B**. Al final del Tramo 2 se espera una recuperación de las condiciones iniciales, en donde se podría alcanzar la **Categoría A**.

El Tramo 1, corresponde a la **Categoría A**, y los Tramos 2A y 2B a la **Categoría B**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base, debido al incremento poblacional, además, debido a que todas las descargas se llevarían hacia un único punto en la quebrada Innominada, se presentaría un pico más alto de concentración, pero no afectaría la categoría con respecto al Escenario Base.

El Tramo 1 corresponde a la **Categoría A** y los Tramos 2A y 2B a la **Categoría B**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento al límite máximo permisible definido en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (90 mg/L), se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 1. El tramo 2 presentaría concentraciones más altas cerca de la descarga, definiéndose como **Categoría B**, mientras que en la parte baja de este tramo, cerca de la desembocadura en el río Roble puede definirse como **Categoría A** nuevamente.

Los tramos 1 y 2B corresponden a la **Categoría A** y el Tramo 2A a la **Categoría B**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Bajo unas condiciones más estrictas en la descarga en comparación con la Norma Nacional, por ejemplo, con una concentración un 50% menor en las descargas, podría mantenerse en la mayor parte de la quebrada Portachuelo, condiciones correspondientes a la **Categoría A**.

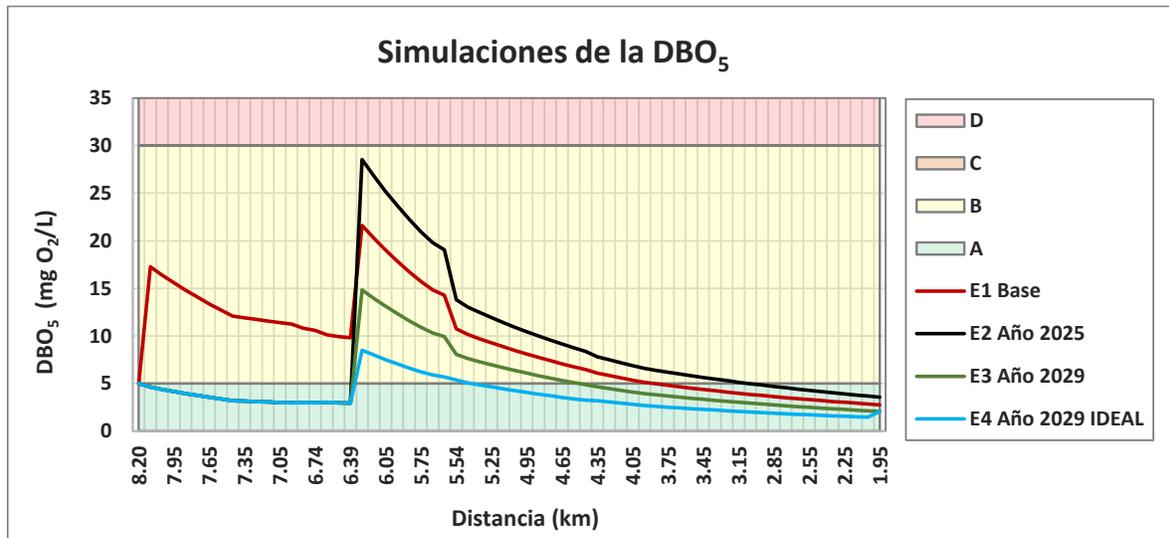


Figura 260. Resultados de las Simulaciones para la DBO₅ en la Quebrada Portachuelo

2.3.2.3.3. Oxígeno Disuelto

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran apropiados para el Tramo 1, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**, sin embargo, con el ingreso de la quebrada Chorro de madres, se presenta una reducción del oxígeno disuelto, debido a la transformación de la materia orgánica aportada por las descargas municipales, manteniéndose en la **Categoría A**. Posteriormente, debido al ingreso de la quebrada Innominada (incluyendo una parte de las descargas municipales de Filandia), se reduce aún más la concentración clasificándose en la **Categoría B**. Con una recuperación del oxígeno es probable regresar a la **Categoría A** en la parte media del Tramo 2B.

Los Tramos 1 y 2B corresponden a la **Categoría A** y el Tramo 2A a la **Categoría B**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base, debido al incremento poblacional, además, debido a que todas las descargas se llevarían hacia un único punto en la quebrada Innominada, se presentaría un pico más bajo de concentración, clasificándose como **Categoría B** al inicio del Tramo 2 y mostrando una recuperación hacia la parte media de este tramo.

Los Tramos 1 y 2B corresponden a la **Categoría A** y el Tramo 2A a la **Categoría B**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento a los límites máximos permisibles definidos en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 (en términos de DBO_5), se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 1 y 2. Es probable que aguas abajo de la descarga se presente una zona con un bajo contenido de oxígeno correspondiente a la Categoría B. Todo el Tramo 1 y 2 puede considerarse como **Categoría A**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para el oxígeno disuelto, la posibilidad de que en toda la quebrada Portachuelo se mantenga la **Categoría A** y además el descenso en los niveles de oxígeno no sea tan relevante como en el Escenario 3.

Para alcanzar dicha condición es necesario que las descargas presenten condiciones de calidad más restrictivas que las definidas en la Norma Nacional, por ejemplo, concentraciones de DBO_5 de 45 mg/L. Para los escenarios 3 y 4 con tratamiento, se considera una concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/L en las descargas, mientras que en el Escenario 1 y 2 la concentración de Oxígeno es menor a 1 mg/L. Todo el Tramo 1 y 2 puede considerarse como **Categoría A**.

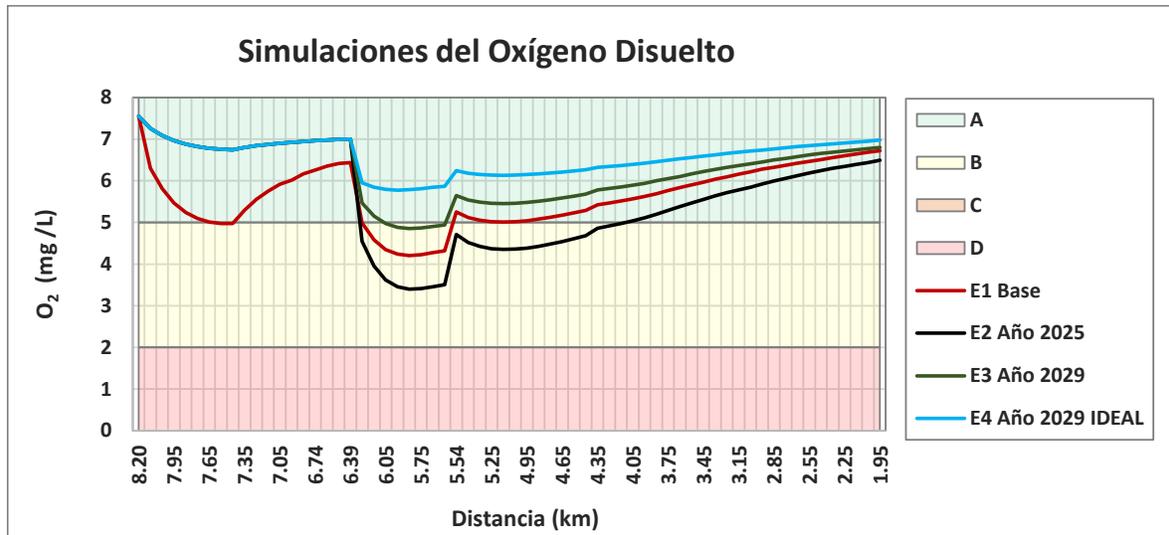


Figura 261. Resultados de las Simulaciones para el Oxígeno Disuelto en la Quebrada Portachuelo

2.3.2.3.4. Potencial de Hidrógeno

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran apropiados para el Tramo 1 y Tramo 2, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. Las condiciones esperadas en las Aguas Residuales sin tratamiento se encuentran dentro de los límites definidos para la **Categoría A**. Por lo anterior el Tramo 1 y 2 se define en la **Categoría A**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia la quebrada Innominada, de forma que se presentan unas modificaciones en el pH aguas abajo de esta quebrada, las cuales resultan irrelevantes en términos de un cambio de Categoría.

En el Tramo 1 y en el Tramo 2 se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se dará cumplimiento a los límites máximos permisibles definidos en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015, se mantienen las condiciones de **Categoría A** en el Tramo 1 y en el Tramo 2.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

No fue necesario definir una condición ideal del pH adicional a la esperada en los escenarios 2 y 3.

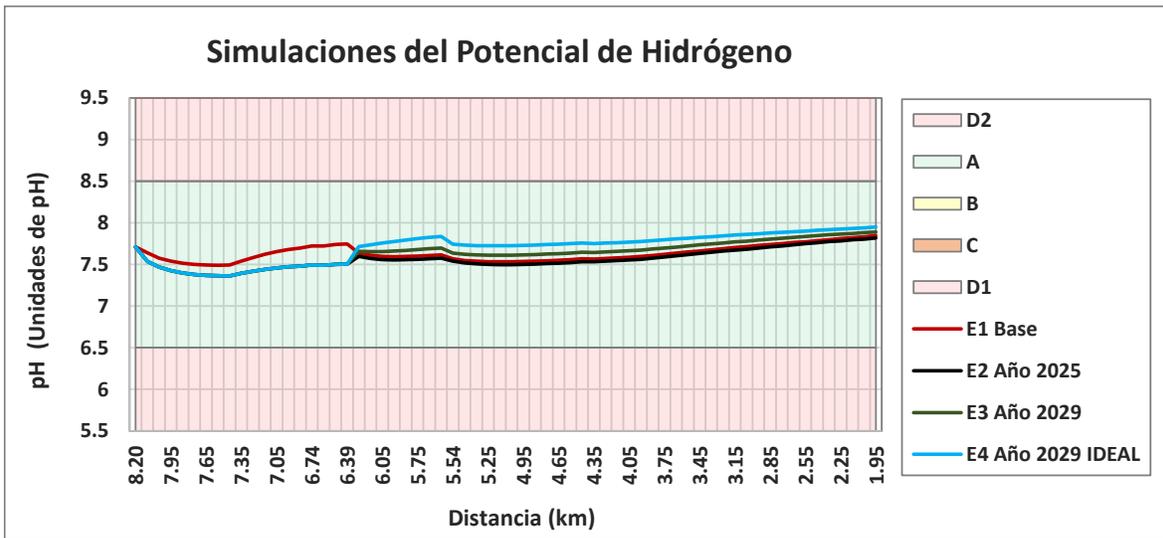


Figura 262. Resultados de las Simulaciones para el pH en la Quebrada Portachuelo

2.3.2.3.5. Coliformes Totales

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del escenario base se consideran medios, permitiendo los usos correspondientes a la **Categoría B**, sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento (100.000.000 NMP/100mL) del casco urbano del municipio de Filandia se modifica la concentración, clasificándose en la **Categoría D**.

El Tramo 1 corresponde a la **Categoría B**, mientras que los Tramos 2A y 2B corresponde a la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año los vertimientos tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia la quebrada Innominada, para ser descargadas en un solo punto, de forma que en el Tramo 2A mejoraría la calidad, y presentaría la clasificación como **Categoría B**.

Debido a la descarga sin tratamiento (100.000.000 NMP/100 mL) se incrementaría la concentración en la quebrada Portachuelo, ubicándose el Tramo 2B en la **Categoría D**. Los Tramos 1 y 2A corresponden a la **Categoría B**, mientras que el Tramo 2B a la **Categoría D**.

Escenario 3 Año 2029:

A partir de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, y considerando que se presentarán remociones que permitirán alcanzar al menos una concentración de 1.000.000 NMP/100 mL, se mantendrían condiciones de la **Categoría B** para el Tramo 1 y 2A, mientras que en el Tramo 2B presentaría una zona de **Categoría D** cerca de la descarga y de **Categoría C**, cerca de la mitad del Tramo 2B. Los Tramos 1 y 2A corresponden a la **Categoría B** y el Tramo 2B a la **Categoría C**.

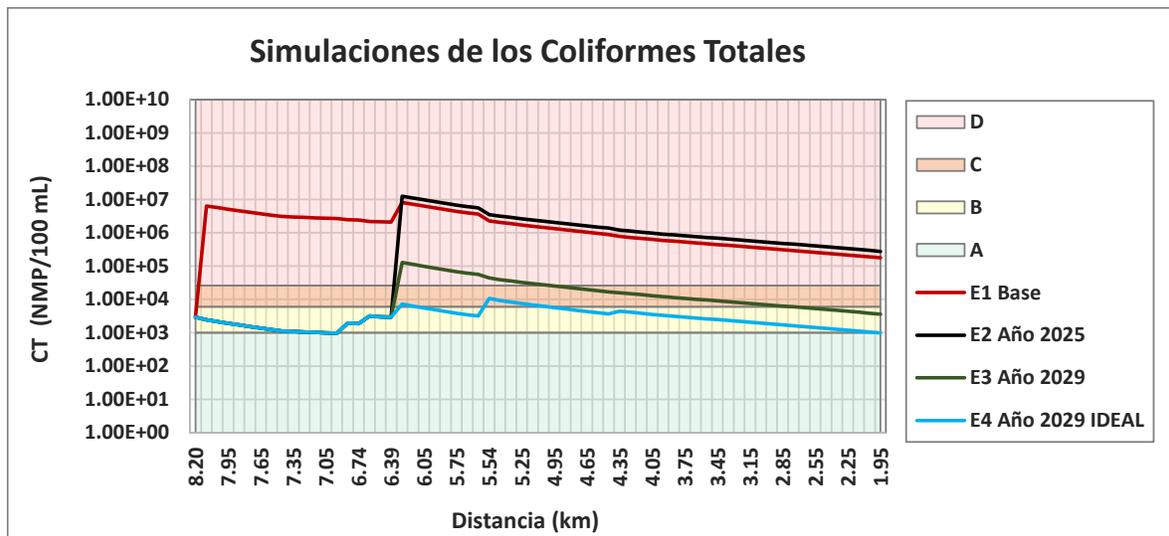


Figura 263. Resultados de las Simulaciones para los Coliformes Totales en la Quebrada Portachuelo

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para los coliformes totales, la posibilidad de incrementar la concentración en el cuerpo de agua después de las descargas, pero permitiendo los usos definidos en la **Categoría B**. Para esto se requiere que las concentraciones en el vertimiento no superen 30.000 NMP/100 mL.

2.3.2.3.6. Nitrógeno Amoniacal***Escenario 1 Base:***

Los niveles iniciales del escenario base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**, sin embargo, a medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento del casco urbano del municipio de Filandia, se eleva la concentración, clasificándose en la **Categoría D**.

El Tramo 1 corresponde a la **Categoría A** y los Tramos 2A y 2B a la **Categoría D**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia la quebrada Innominada, de forma que en todo el Tramo 1 y en el Tramo 2A se permitirían todos los usos clasificándose como **Categoría A**. Cerca de las descargas, en el tramo 2B, las concentraciones sin tratamiento de los compuestos de nitrógeno generarían un incremento importante la concentración, permitiendo los usos considerados en la **Categoría D**. La concentración para este escenario puede ser inclusive mayor que para el Escenario base dado el incremento en caudal (lo cual incrementa la carga aportada) y a la ubicación espacial de la descarga.

El Tramo 1 y 2A corresponde a la **Categoría A** y el Tramo 2B a la **Categoría D**.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de la PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de nitrógeno NTK, compuesto por el nitrógeno orgánico y amoniacal, debido a la conversión de estos en nitritos y nitratos. En general se consideró solo un porcentaje de remoción del 10% en el nitrógeno total (NT). Esta conversión y porcentaje de remoción permiten obtener mejores condiciones de calidad aguas abajo de las descargas en comparación con el Escenario 2, sin embargo, los usos permitidos cerca de la descarga en el Tramo 2B, serían únicamente los definidos en la **Categoría D**.

En el Tramo 1, en el Tramo 2A y en la mayor parte del tramo 2B se garantizarían las condiciones para todos los usos, por lo que se clasifica en la **Categoría A**. Por lo anterior se considerará que toda la quebrada Portachuelo se clasificaría en la **Categoría A**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Se consideró como condición ideal para el nitrógeno amoniacal, a partir de la implementación de un mejor sistema de tratamiento que permita realizar una mayor remoción del nitrógeno total, un 50% adicional comparado con el Escenario 3. De esta forma se mantiene en la quebrada Portachuelo concentraciones menores a 1 mg/L.

Por lo anterior se considerará que toda la quebrada Portachuelo se clasificaría en la **Categoría A**.

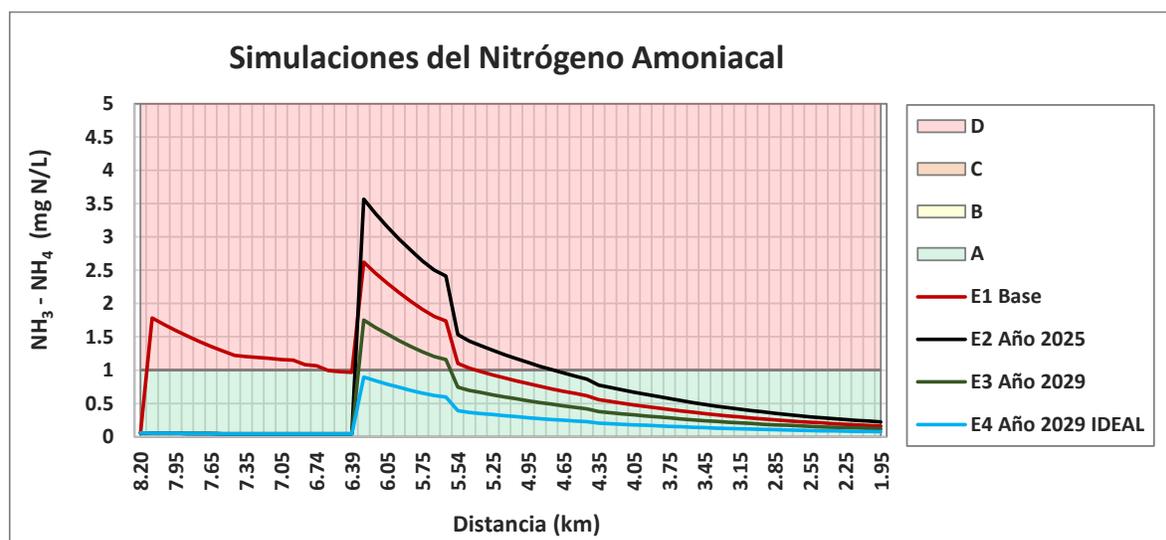


Figura 264. Resultados de las Simulaciones el Nitrógeno Amoniacal en la Quebrada Portachuelo

2.3.2.3.7. Nitratos y Nitritos

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales de la suma de nitritos + nitratos, y a lo largo del tramo de estudio base se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. A medida que ingresan los vertimientos sin tratamiento del casco urbano del municipio de Filandia, se eleva la concentración principalmente debido a la conversión del nitrógeno amoniacal en nitritos y posteriormente en nitratos, pero se mantiene en la misma Categoría.

En toda la quebrada Portachuelo se clasificaría como **Categoría A**.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia la quebrada Innominada, de forma que en el Tramo 2A se reduce la concentración.

En toda la quebrada Portachuelo se clasificaría como **Categoría A**.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de la PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de nitrógeno NTK, compuesto por el nitrógeno orgánico y amoniacal, pero un incremento en el aporte directo de nitritos y nitratos.

En el Tramo 1 y Tramo 2, se garantizarían las condiciones para todos los usos, por lo que se clasifica en la **Categoría A**.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

La condición ideal que se planteó en el Escenario de Nitrógeno amoniacal no sería relevante para los resultados de la suma de nitritos y nitratos. Para toda la quebrada Portachuelo, se garantizarían las condiciones para todos los usos, por lo que se clasifica en la **Categoría A**.

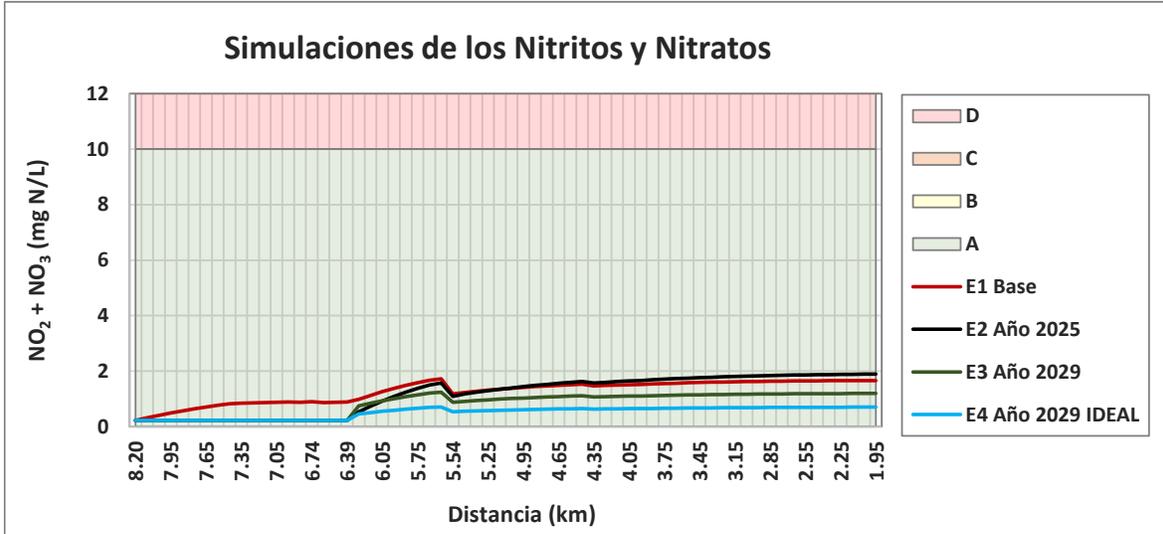


Figura 265. Resultados de las Simulaciones del nitrito y nitrato en la Quebrada Portachuelo

2.3.2.3.8. Fósforo Total

Escenario 1 Base:

Los niveles iniciales del fósforo total se consideran bajos, permitiendo todos los usos, correspondiendo a la **Categoría A**. Con el ingreso de la quebrada Chorro de madres, se presenta incremento en el contenido de fósforo, debido al aporte de las descargas municipales, manteniéndose en la **Categoría A**. Posteriormente, debido al ingreso de la quebrada Innominada (incluyendo una parte de las descargas municipales de Filandia), se incrementa aún más la concentración clasificándose en la **Categoría D**. Aguas abajo de las descargas es posible que se presente una recuperación de los niveles de fósforo (relacionado en parte con la sedimentación de este), permitiendo los usos en la **Categoría A**.

Se considera que toda la quebrada Portachuelo puede clasificarse como **Categoría A**, sin embargo, se debe tener precaución en usos del agua cuyas captaciones se encuentran aguas abajo y cerca de las descargas del municipio de Filandia.

Escenario 2 Año 2025:

Para este año las descargas tienen un mayor caudal con respecto al Escenario Base y se han movido hacia la quebrada Innominada, de forma que en el Tramo 2A se reduce la concentración.

En toda la quebrada Portachuelo se clasificaría como **Categoría A**, sin embargo, se debe tener precaución en usos del agua cuyas captaciones se encuentran aguas abajo y cerca de las descargas del municipio de Filandia.

Escenario 3 Año 2029:

Para este determinante no existe un valor máximo permisible en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015. Con la construcción y operación de la PTAR, se espera en la descarga un menor contenido de Fósforo Total. Para el presente análisis se consideró una baja remoción (10%).

Se presenta un comportamiento similar al observado en el Escenario 2. El Tramo 1 y la mayor parte del Tramo 2 se definen como **Categoría A**, mientras que aguas abajo de la descarga de la PTAR, se define como **Categoría D**.

Por lo anterior se considera que toda la quebrada Portachuelo se encuentra en la **Categoría A**, sin embargo, se debe tener precaución en usos del agua cuyas captaciones se encuentran aguas abajo y cerca de las descargas del municipio de Filandia.

Escenario 4 Año 2029 Ideal:

Con el fin de garantizar que toda la quebrada Portachuelo corresponda a la **Categoría A**, se requeriría que la descarga presentara una concentración de Fósforo total menor a 0,8 mg/L, es decir que se requeriría de un porcentaje de remoción promedio del 90%, considerando que el agua residual en promedio tiene una concentración de 7 mg/L en la descarga. Estas remociones superiores al 90% difícilmente pueden obtenerse con un sistema de tratamiento convencional.

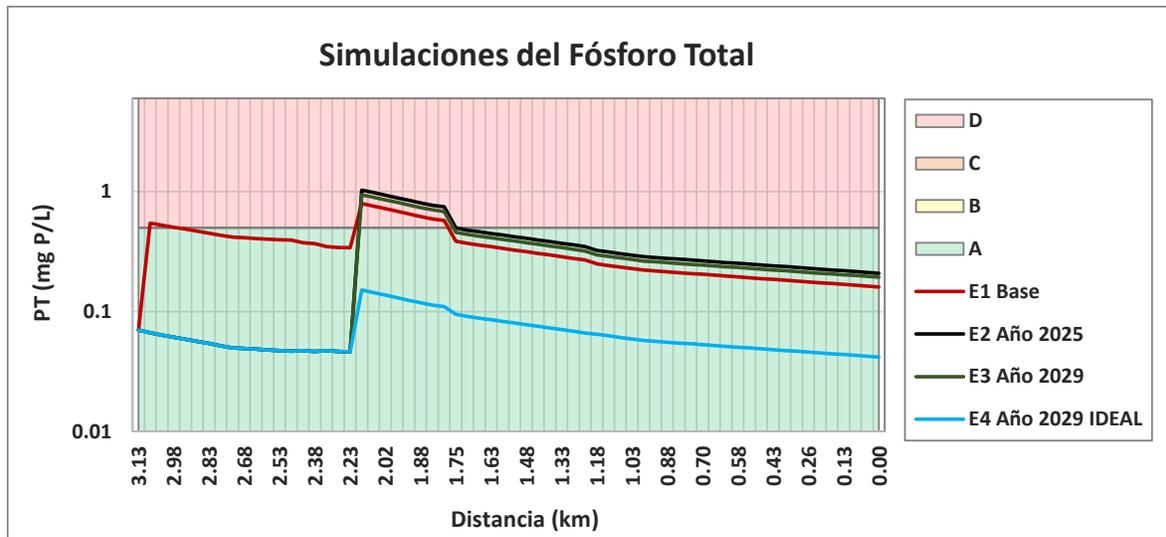


Figura 266. Resultados de las Simulaciones del Fósforo Total en la Quebrada Portachuelo

2.4. CLASIFICACIÓN DEL CUERPO DE AGUA Y USOS POTENCIALES

2.4.1. Clasificación en función de los vertimientos

Con el propósito de conocer las características de la mezcla completa de las zonas de muestreo en la corriente principal del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, se obtuvo la

distancia existente entre el punto de medición y el lugar aguas abajo donde se consideran condiciones de mezcla completa (*i.e.* variación de concentración máxima del 5% en el ancho y profundidad de la sección transversal), lo cual se conoce como longitud de mezcla.

De acuerdo con el artículo 2.2.3.3.1.3., del Decreto 1076 de 2015, la zona de mezcla es un área técnicamente determinada a partir del sitio de vertimiento, indispensable para que se produzca mezcla homogénea de este con el cuerpo receptor. Para determinar la zona o longitud de mezcla L_m se pueden utilizar ensayos de trazadores, aproximaciones empíricas o implementar modelos bi o tridimensionales de transporte de solutos (*i.e.* ecuación de advección-dispersión integrada en la profundidad o en tres dimensiones).

Sin embargo, para este ejercicio, se estableció el uso de ecuaciones empíricas, teniendo en cuenta que la extensión de la zona de mezcla depende de la hidráulica y geometría del cuerpo de agua, así como de la forma y localización de una descarga, es decir se analizaron para las condiciones de los muestreos de calidad del agua (épocas húmeda y seca). En particular, se recurrió a las ecuaciones ampliamente utilizadas: las reportadas por Fischer et al. 1979 y por Yotsukura (1968), ambas para descarga lateral:

$$L_m = 0.4 \frac{UB^2}{D_{lat}}$$

$$D_{lat} = 0.6HU_*$$

$$U_* \cong \sqrt{gS_oH}$$

Siendo D_{lat} el coeficiente de dispersión lateral o transversal, U_* la velocidad de fricción y g la aceleración de la gravedad.

$$L_m = 8.52 \frac{UB^2}{H}$$

En la Tabla 167 se presentan los resultados de la longitud de mezcla obtenida para las mediciones realizadas sobre cada cuerpo de agua, aplicando las ecuaciones anteriores, diferenciando los caudales obtenidos en época húmeda y en época climática seca. Es necesario destacar que se consideró el valor máximo obtenido por estas ecuaciones, para el analizar la longitud de mezcla crítica.

De igual forma, mediante la Figura 267 y Figura 268, se realiza la representación espacial de la longitud de mezcla para cada periodo climático en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, incluyendo los puntos de aprovechamiento y vertimiento existentes.

| Ubicación | NOMBRE DEL | LATITUD | LONGITUD | FECHA | Q | Lm1a | Lm1b | Lm2a | Lm2b | Lg_Max | Temporada |
|----------------------------|---|----------|------------|------------|------------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| Captación Circasia | BOCATOMA CAJONES #2 | 4,625889 | -75,624306 | 25/09/2019 | 0,003956 | 0,72 | 2,87 | 0,57 | 1,14 | 2,87 | Seca |
| Captación Circasia | Q CAJ 1 | 4,625889 | -75,623194 | 21/11/2019 | 0,26196 | 17,69 | 70,76 | 25,38 | 50,76 | 70,76 | Humeda |
| Descarga Cajones Circasia | AGUAS ABAJO CAJONES MATADERO | 4,623167 | -75,634611 | 25/09/2019 | 0,02158 | 9,81 | 39,24 | 9,04 | 18,07 | 39,24 | Seca |
| Descarga Cajones Circasia | Q CAJ 2 | 4,623167 | -75,634611 | 21/11/2019 | 0,3984375 | 16,82 | 67,29 | 28,41 | 56,81 | 67,29 | Humeda |
| Cajones Arriba Roble | CAJONES AGUAS ARRIBA DESEMB OCADURA RIO ROBLE | 4,623556 | -75,645917 | 25/09/2019 | 0,03663 | 6,19 | 24,77 | 6,84 | 13,67 | 24,77 | Seca |
| Cajones Arriba Roble | Q CAJ 3 | 4,623897 | -75,645944 | 21/11/2019 | 1,3352852 | 38,55 | 154,20 | 73,73 | 147,46 | 154,20 | Humeda |
| Roble antes de Cajones | R ROBLE AGUAS ARRIBA DESEMBOCADURA CAJONES | 4,624778 | -75,646222 | 25/09/2019 | 0,29002 | 2,72 | 10,87 | 6,51 | 13,03 | 13,03 | Seca |
| Roble antes de Cajones | R. ROB 1 | 4,624778 | -75,646222 | 21/11/2019 | 2,1581415 | 230,0 | 920,1 | 407,3 | 814,7 | 920,08 | Humeda |
| Roble con Portachuelo | R ROBLE AGUAS ABAJO CONFLUENCIA PORTACHUELO | 4,626722 | -75,675778 | 25/09/2019 | 0,46682 | 46,9 | 187,6 | 65,8 | 131,5 | 187,63 | Seca |
| Roble con Portachuelo | R ROBLE AGUADEÑO 2 | 4,62675 | -75,675667 | 26/09/2019 | 0,58801 | 151,7 | 607,0 | 158,4 | 316,8 | 606,99 | Seca |
| Roble con Portachuelo | R ROB 2 | 4,626722 | -75,675778 | 21/11/2019 | 5,6231175 | 1898,8 | 7595,2 | 2611,8 | 5223,6 | 7595,17 | Humeda |
| Roble con Portachuelo | R. ROB 2 | 4,62675 | -75,675667 | 22/11/2019 | 7,563675 | 2068,6 | 8274,4 | 2973,9 | 5947,8 | 8274,41 | Humeda |
| Bocatoma Montenegro | R ROBLE BOCATOMA MONTENEGRO | 4,596694 | -75,713556 | 26/09/2019 | 0,9180075 | 856,5 | 3426,1 | 854,3 | 1708,6 | 3426,15 | Seca |
| Bocatoma Montenegro | R. ROB 3 | 4,594861 | -75,713733 | 22/11/2019 | 15,0347626 | 1658,3 | 6633,1 | 2997,1 | 5994,3 | 6633,11 | Humeda |
| Montenegro | R ROBLE AGUAS ABAJO VERTIMIENTO MONTENEGRO | 4,596639 | -75,757611 | 26/09/2019 | 0,880825 | 470,4 | 1881,5 | 566,2 | 1132,4 | 1881,54 | Seca |
| Q. Española | R ROBLE LA ESPAÑOLA | 4,576694 | -75,850361 | 26/09/2019 | 0,830305 | 292,0 | 1168,2 | 328,1 | 656,2 | 1168,15 | Seca |
| Q. Española | Q PAL 1 | 4,577128 | -75,850325 | 23/11/2019 | 0,1562427 | 65,0 | 260,0 | 53,8 | 107,6 | 260,02 | Humeda |
| Q. Española | R. ROB 5 | 4,576583 | -75,850167 | 22/11/2019 | 10,1023065 | 1104,7 | 4418,6 | 1648,5 | 3297,0 | 4418,61 | Humeda |
| Portachuelo Arriba Madres | Q PORTACHUELO AGUAS ARRIBA CONFLUENCIA QUEBRADA CHORRO MADRES | 4,667028 | -75,645583 | 27/09/2019 | 0,05472 | 48,4 | 193,6 | 47,4 | 94,9 | 193,65 | Seca |
| Portachuelo Arriba Madre | Q PORT 1 | 4,667028 | -75,51225 | 23/11/2019 | 0,8602525 | 171,6 | 686,5 | 251,7 | 503,5 | 686,45 | Humeda |
| Portachuelo Cruces | PORTACHUELO CEMENTERIO FINLANDIA | 4,576667 | -75,850361 | 27/09/2019 | 0,111732 | 20,1 | 80,4 | 21,8 | 43,5 | 80,42 | Seca |
| Portachuelo Cruces | Q PORT 2 | 4,652786 | -75,657394 | 23/11/2019 | 0,31400765 | 14,9 | 59,6 | 28,2 | 56,5 | 59,57 | Humeda |
| Portachuelo antes de Roble | PORTACHUELO AGUAS ARRIBA CONFLUENCIA RIO ROBLE N°2 | 4,627944 | -75,675639 | 27/09/2019 | 0,305195 | 58,7 | 234,8 | 87,8 | 175,6 | 234,75 | Seca |
| Portachuelo antes de Roble | Q PORT 3 | 4,627944 | -75,675639 | 23/11/2019 | 3,0657 | 490,6 | 1962,4 | 863,1 | 1726,1 | 1962,43 | Humeda |
| Portachuelo antes de Roble | PORTACHUELO AGUAS ARRIBA CONFLUENCIA RIO ROBLE N°2 | 4,627944 | -75,675639 | 25/09/2019 | 0,31589 | 56,0 | 224,0 | 85,2 | 170,3 | 224,04 | Seca |
| Portachuelo antes de Roble | Q PORT 3 | 4,627944 | -75,675639 | 21/11/2019 | 3,59765 | 748,0 | 2992,1 | 1261,4 | 2522,9 | 2992,12 | Humeda |
| Lm1a [m] | Longitud de mezcla descarga central Fischer (1a) | | | | | | | | | | |
| Lm1b [m] | Longitud de mezcla descarga lateral Fischer (1b) | | | | | | | | | | |
| Lm2a [m] | Longitud de mezcla Yotsukura (2a) | | | | | | | | | | |
| Lm2b [m] | Longitud de mezcla Yotsukura (2b) | | | | | | | | | | |

Tabla 167 Longitud de mezcla en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

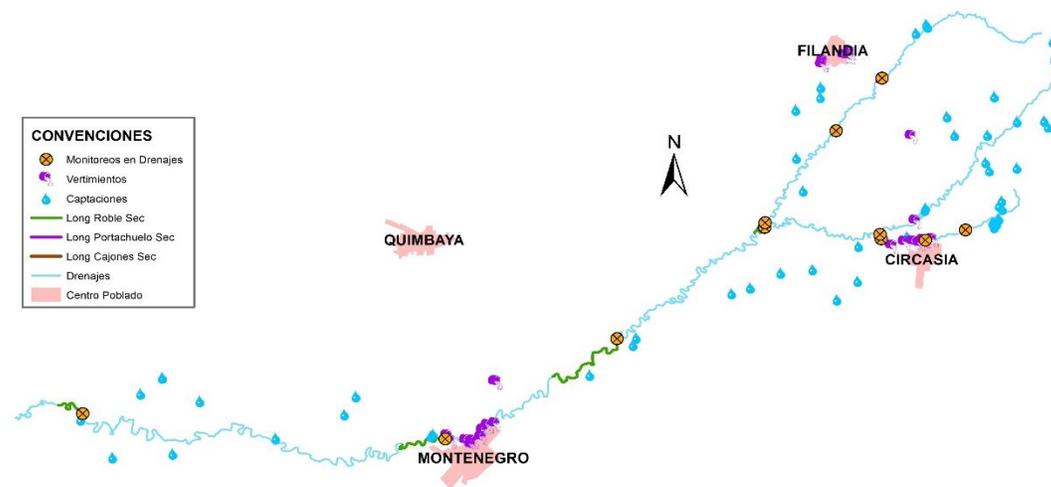


Figura 267. Longitud de Mezcla en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones en temporada Climática Seca.

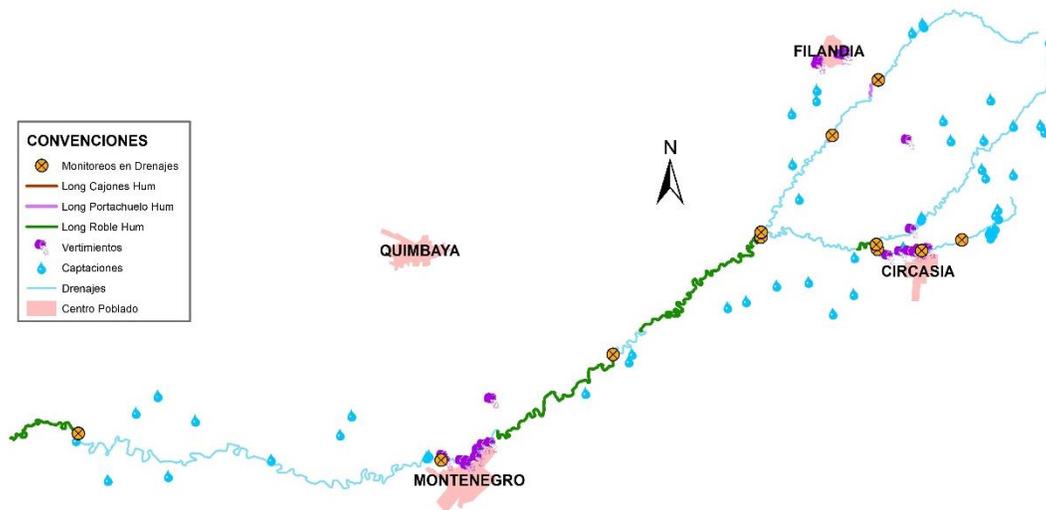


Figura 268. Longitud de Mezcla en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones en temporada Climática Húmeda.

Como se indica en las Figuras, el aporte de la quebrada Cajones sobre el río Roble, genera una longitud de mezcla de corta distancia, la cual no se aproxima a la zona de confluencia entre el río Roble y la quebrada Portachuelo. Sin embargo, es necesario disminuir los vertimientos que pueden generar afectación a la quebrada Cajones, que a su vez puede influir en la calidad de una porción del río Roble (como se demostró en los resultados de las simulaciones de escenarios en la sección anterior).

Mientras, para la cuenca alta y media de las quebradas Cajones y Portachuelo se aprecias longitudes de mezcla de baja longitud, lo que destaca que las características hidráulicas de estas corrientes favorecen la rápida depuración de la carga contaminante.

Sin embargo, en la cuenca media y baja del río Roble se destaca que las características hidráulicas aumentan la condición de mezcla de cualquier aportante. De manera que, se considera adecuado realizar la restricción de vertimientos en la cuenca baja de la quebrada Portachuelo y en el río Roble, antes y después de esta confluencia hasta la zona previa al casco urbano de municipio de Montenegro. Ya que las simulaciones realizadas demuestran la sensibilidad de este tramo frente a un aumento o cambio en el aporte de carga contaminante desde la parte alta (especialmente los aportes desde la quebrada Portachuelo y quebrada Cajones).

Lo anterior, con la necesidad de reducir afectaciones a la zona de aprovechamiento del municipio de Montenegro. De igual forma, previo al aporte de la quebrada La Española, se establece necesario restringir los vertimientos con la oportunidad de aportar mejores características de calidad del río La Vieja.

De manera que, según el artículo 205° del Decreto 1541 de 1978, incluido en el Decreto 1076 de 2015, se establece la siguiente clasificación de las aguas con respecto a los vertimientos:

Clase I. Cuerpos de agua que no admiten vertimientos.

Clase II. Cuerpos de agua que admiten vertimientos con algún tratamiento.

Pertenece a la **Clase I**:

- Las cabeceras de las fuentes de agua;
- Las aguas subterráneas;
- Los cuerpos de agua o zonas costeras, utilizadas actualmente para recreación;
- Un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable,
- Aquellos que declare el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como especialmente protegidos de acuerdo con lo dispuesto por los artículos 70 y 137 del Decreto-ley 2811 de 1974.

Pertenecen a la **Clase II**, los demás cuerpos de agua no incluidos en Clase I.

De acuerdo con lo anterior, el tramo comprendido entre el nacimiento del río Roble y Aguas arriba de la quebrada Cajones (**Tramo 5**); la quebrada Cajones desde su nacimiento hasta el inicio de la Zona Urbana de Circasia (**Tramo 3**); la quebrada Portachuelo desde su nacimiento hasta antes del aporte de la quebrada Chorro de Madres (**Tramo 1**) y el subtramo entre la confluencia de la quebrada Portachuelo en el río Roble hasta la bocatoma del municipio de Montenegro sobre el río Roble (**Tramo 6B**), se clasifica como Clase I.

Sin embargo, se requiere hacer un control estricto a los vertimientos de los centros poblados y los que puedan llegar a las corrientes principales por escorrentía o drenajes de menor nivel.

2.4.2. Identificación De Los Usos Potenciales Del Recurso

Para la identificación de los usos potenciales en época seca, la cual corresponde a la condición más crítica en términos de capacidad de dilución, se siguió el siguiente procedimiento:

1. En cada uno de los tramos para la definición de los objetivos de calidad en el río Roble, quebrada Cajones y quebrada Portachuelo, se implementaron escenarios de simulación, y para cada una de las condiciones analizadas (base, año 2025, año 2029 y año 2029 Ideal).
2. Dentro de los resultados de la simulación, se identificó en cada tramo los valores máximos, definiendo con esto la Categoría en la que se clasificaría cada tramo para cada uno de los Escenarios de Simulación.
3. Se identificaron los usos potenciales permitidos utilizando como referentes los criterios de calidad del agua en Colombia dados por el Decreto 1076 de 2015 y por otros países. Para este propósito se utilizó como referencia el consolidado elaborado por Sierra (2011). Debido a que se cuentan con diferentes valores de referencia por cada categoría, se definió entre estos el más restrictivo. En algunos casos fue necesario escoger convenientemente los valores para cada categoría, de forma que una categoría de más alta calidad no tuviese concentraciones menos restrictivas que una categoría de menor calidad.
4. Una vez identificados los usos potenciales, se hizo la categorización de estos de acuerdo con la Tabla 165.

5. Para la definición de los usos potenciales en época de invierno se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo en el año 2019, en el mes de noviembre y el respectivo análisis de conflictos uso-calidad de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, el cual se puede consultar en el documento de diagnóstico de este PORH.

| DETERMINANTE | TRAMO 5 | | | | TRAMO 6A | | | |
|----------------------|---------|------|------|-------|----------|------|------|-------|
| | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL |
| SST | A | A | A | A | A | A | A | A |
| DBO5 | A | A | A | A | B | B | B | B |
| OD | A | A | A | A | A | B | A | A |
| pH | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Coliformes Totales | B | B | B | B | D | D | D | B |
| Nitrógeno Amoniacal | A | A | A | A | D | D | A | A |
| Nitritos+ Nitratos | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Fósforo Total | A | A | A | A | A | A | A | A |
| | | | | | | | | |
| Condición recurrente | más A | A | A | A | A | A | A | A |
| Condición Crítica | más B | B | B | B | D | D | D | B |

Tabla 168. Clasificación de los tramos 5, y 6A en función de los usos potenciales en la época Seca en el río Roble

| DETERMINANTE | TRAMO 6B | | | | TRAMO 7 | | | |
|----------------------|----------|------|------|-------|---------|------|------|-------|
| | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL |
| SST | A | A | A | A | A | A | A | A |
| DBO5 | B | B | B | B | B | B | B | A |
| OD | A | A | A | A | B | B | B | A |
| pH | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Coliformes Totales | C | D | B | A | D | D | C | B |
| Nitrógeno Amoniacal | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Nitritos+ Nitratos | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Fósforo Total | A | A | A | A | A | A | A | A |
| | | | | | | | | |
| Condición recurrente | más A | A | A | A | A | A | A | A |
| Condición Crítica | más C | D | B | B | D | D | C | B |

Tabla 169. Clasificación de los tramos 6B, y 7 en función de los usos potenciales en la época Seca en el río Roble

| DETERMINANTE | TRAMO 3 | | | | TRAMO 4A | | | | TRAMO 4B | | | | |
|----------------------|---------|------|------|-------|----------|------|------|-------|----------|------|------|-------|---|
| | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | |
| SST | A | A | A | A | C | A | A | A | C | C | C | A | |
| DBO5 | A | A | A | A | C | A | A | A | D | D | D | B | |
| OD | A | A | A | A | D | A | A | A | D | D | D | B | |
| pH | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | |
| Coliformes Totales | B | B | B | B | B | B | B | B | D | D | D | C | |
| Nitrógeno Amoniacal | A | A | A | A | D | A | A | A | D | D | D | D | |
| Nitritos+ Nitratos | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | |
| Fósforo Total | A | A | A | A | D | A | A | A | D | D | D | A | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Condición recurrente | más | A | A | A | A | D | A | A | A | D | D | D | A |
| Condición Crítica | más | B | B | B | B | D | B | B | B | D | D | D | D |

Tabla 170 Clasificación de los tramos 3, 4A y 4B en función de los usos potenciales en la época Seca en la quebrada Cajones

| DETERMINANTE | TRAMO 1 | | | | TRAMO 2A | | | | TRAMO 2B | | | | |
|----------------------|---------|------|------|-------|----------|------|------|-------|----------|------|------|-------|---|
| | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | BASE | 2025 | 2029 | IDEAL | |
| SST | A | A | A | A | A | A | A | A | A | C | A | A | |
| DBO5 | A | A | A | A | B | B | A | A | B | B | B | A | |
| OD | A | A | A | A | A | A | A | A | B | B | A | A | |
| pH | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | |
| Coliformes Totales | B | B | B | B | D | B | B | B | D | D | C | B | |
| Nitrógeno Amoniacal | A | A | A | A | D | A | A | A | D | D | A | A | |
| Nitritos+ Nitratos | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | |
| Fósforo Total | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Condición recurrente | más | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | |
| Condición Crítica | más | B | B | B | B | D | B | B | B | D | D | C | B |

Tabla 171 Clasificación de los tramos 1, 2A y 2B en función de los usos potenciales en la época seca en la Quebrada Portachuelo

2.5. Revisión Y Ajuste De Los Objetivos De Calidad Del Río Roble, Quebrada Portachuelo Y Quebrada Cajones

En primer lugar, se evaluaron los objetivos de calidad definidos en la Resolución 1035 de 2008 de la CRQ, los cuales aplican únicamente para la corriente principal de la unidad hidrográfica del río Roble.

Se realizó la implementación de escenarios de simulación, considerando determinantes como oxígeno disuelto, DBO₅, sólidos suspendidos totales, coliformes totales, pH, compuestos de nitrógeno y de fósforo. A partir de los resultados de la clasificación de los usos potenciales se definieron los valores máximos permisibles, de acuerdo con los establecidos en el Decreto 1076 de 2015 y los presentados por Sierra (2001), los cuales a su vez se basan en referencias internacionales.

Las otras sustancias contenidas en dicha resolución, que corresponden principalmente a iones, metales y metaloides, no fueron simuladas dado que se encontraron por debajo del límite de detección en los puntos medidos sobre el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, en ambas campañas de monitoreo, y para aquellas si detectadas, no se presentaron niveles de concentración prohibitivos en el cuerpo de agua (como el caso específico de los cloruros).

Los objetivos de calidad se definieron únicamente para la época seca, que es cuando se presentan las condiciones más críticas en términos de capacidad de dilución. En época de transición e invierno se deberá verificar por parte de la Autoridad Ambiental que los objetivos de calidad del agua asignados en época seca no sean superados, con excepción de los SST, los cuales aumentan naturalmente (y no necesariamente por el aumento de aportes puntuales de origen antrópico) debido al lavado de la cuenca y al aumento de la fuerza tractiva y de la capacidad de transporte de los cuerpos de agua naturales.

Para la definición de los objetivos de calidad, se siguió el siguiente procedimiento:

1. A cada tramo del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones, se le asignó una de las categorías que se usaron para la definición de los usos potenciales. Se debe resaltar que un tramo categorizado en A permite los usos contenidos en una categoría inferior (B, C o D), dado que los criterios de calidad del agua correspondientes son más restrictivos; no obstante, una categoría inferior no permite usos contenidos en una categoría superior.
2. De acuerdo con los resultados del análisis realizado sobre los usos potenciales, se identificaron en cada tramo las condiciones más críticas encontradas para los diferentes determinantes de calidad del agua. Así mismo se evaluaron las condiciones más recurrentes con motivo de definir el valor apropiado para el objetivo de calidad.
3. En algunos casos, con el fin de permitir una categoría superior, se realiza la limitación con respecto a ciertas actividades específicas para un determinante específico, por el ejemplo para el uso recreativo debido a altos niveles de coliformes.

2.5.1. Objetivos De Calidad Del Agua Para El Cauce Principal Del Río Roble

Los tramos objeto de ordenamiento sobre el cauce principal del río Roble en los que se realizó la determinación de objetivos de calidad son los siguientes:

Tramo 5:

Definido desde el nacimiento del río Roble hasta aguas arriba de la confluencia con la quebrada Cajones (abscisa km. 48.23). De este tramo se consideró representativo el estado de calidad para cada escenario en su condición de borde inferior (abscisa km 48.23) por ser la condición más desfavorable del tramo. Dicho punto corresponde con la frontera de aguas arriba del modelo de calidad del agua.

Tramo 6:

Definido desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cajones (km. 48.23) hasta aguas arriba de la bocatoma del municipio de Montenegro (km. 30.81).

- **Tramo 6A:** Definido desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cajones (km. 48.23) hasta aguas arriba de la confluencia de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km. 42.46).
- **Tramo 6B:** Definido desde la confluencia de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km. 42.46) hasta la bocatoma del municipio de Montenegro (km. 30.81).

Tramo 7:

Definido desde aguas abajo de la bocatoma del municipio de Montenegro (km. 30.81) hasta la desembocadura en el río La Vieja (km 0.00).

La identificación de los usos potenciales del agua en estos tramos se basó en los resultados de simulación de cuatro escenarios de la calidad del agua superficial en el cauce principal del río Roble mediante diez (10) determinantes de calidad. Con base en estos usos potenciales por cada determinante de calidad, se estableció para el río Roble una categoría única por cada tramo en los escenarios 2025 y 2029 a partir de las categorías más críticas y las más recurrentes encontradas por determinante (Tabla 174). Los objetivos de calidad para los tramos en el año 2025 o 2029 se consultan en la Tabla 175 leyendo los valores correspondientes a la categoría de uso definida para el respectivo tramo.

| DETERMINANTE | TRAMO 5 | | TRAMO 6A | | TRAMO 6B | | TRAMO 7 | |
|--------------|---------|------|----------|------|----------|------|---------|------|
| | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 |
| CATEGORÍA | A | A | D | D | B | B | D | C |

Tabla 172 Clasificación de los usos potenciales en el río Roble

| Determinante de calidad del agua | Unidades | A | B | C | D |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| DBO ₅ | [mg/L O ₂] | 5,0 | 30,0 | 30,0 | 60,0 |
| DQO | [mg/L O ₂] | 30,0 | 90,0 | 90,0 | 180,0 |
| SST | [mg/L] | 20,0 | 30,0 | 1.000,0 | 1.000,0 |
| Oxígeno Disuelto | [mg/L O ₂] | 5,0 | 4,0 | 2,0 | - |
| pH | [Unidades] | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 9,0* | 5,0 - 9,0 |
| Coliformes Totales | [NMP/100 mL] | 5.000* | 5.000** | 20.000 | 1.000.000 |
| Coliformes Fecales | [NMP/100mL] | 1.000 | 1.000 | 5.000 | 200.000 |
| Nitrógeno Amoniacal | [mg/L N - NH ₃] | 1,0 | 1,0 | 3,0 | 10,0 |
| Nitritos + Nitratos | [mg/L N] | 10,0 | 10 | 10 | 10 |
| Fósforo Total | [mg/L P] | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 10,0 |

Tabla 173 Objetivos de calidad para el cauce principal del río Roble

***Coliformes totales:** Es el único de los determinantes analizados que no da cumplimiento al valor más restrictivo para la categoría A para el Tramo 5, correspondiendo a un límite de 1.000 NMP/100 mL para el uso recreativo con contacto primario (Sin restricciones). Por lo anterior, se consideró mantener un valor de 5.000 NMP/100 mL correspondiente al uso agrícola sin restricciones y restringir el uso recreativo por contacto primario en el Tramo 5.

****Coliformes totales:** Este es el único determinante analizado que no da cumplimiento al valor más restrictivo para la categoría B en el Tramo 6B en el escenario 2025, correspondiente a un límite de 5.000 NMP/100 mL para un uso recreativo con contacto secundario. Por lo que el objetivo de calidad para coliformes totales será 20000 NMP/100 mL en el escenario 2025 en el tramo 6B, e implementando una restricción al uso recreativo por contacto secundario en dicho tramo para el escenario a 2025.

***DQO:** El valor fue definido a partir de los límites establecidos para la DBO₅, en una relación constante de DBO₅/DQO aproximada de 0,33. Para el caso de la Categoría A, tal como se observó en los resultados de laboratorio, los niveles de la DBO₅ estuvieron por debajo del límite de detección (5 mg/L) mientras que la DQO osciló entre 5 y 11 mg/L, para este se definió una concentración máxima de DQO de 30 mg/L.

***pH:** El valor más restrictivo para el límite superior del pH en la categoría C, es de 8.5 unidades, correspondiente a su uso industrial y explotación manual de material de construcción y arrastre. Dado que actualmente no se desarrolla esta actividad de manera formal, se considera apropiado definir el límite superior de 9.0 unidades, correspondiente al uso pecuario. En caso de que a futuro se desarrolle de manera formal actividades industriales o de las extracciones anteriormente referidas, se debe restringir el rango de pH de 6,5 a 8,5 unidades.

*Los determinantes no incluidos en la **Tabla 175** deberán cumplir con lo establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015, considerando las correcciones realizadas en el Decreto 703 de 2018.

2.5.2. Objetivos de Calidad para LOS TRAMOS EN la quebrada cajones

Los tramos para los cuales se definirán los objetivos de calidad son los siguientes:

Tramo 3:

Definido desde el nacimiento de la quebrada Cajones hasta aguas arriba del casco urbano del municipio de Circasia (km 2.600 aproximadamente desde la desembocadura en el río Roble).

Tramo 4:

Definido desde aguas arriba del casco urbano del municipio de Circasia hasta la desembocadura en el río Roble (km 0.000).

- **Tramo 4A:** Desde aguas el inicio del casco urbano del municipio de Circasia hasta aguas arriba de la descarga municipal denominada QCD_09, en la parte baja de la quebrada Cajones.

- **Tramo 4B:** Desde el punto de la descarga municipal denominada QCD_09, ubicada en la parte baja de la quebrada Cajones, hasta la desembocadura en el río Roble

A partir de la determinación de los usos potenciales en función de los niveles de concentración obtenidos con el modelo de simulación para 10 determinantes de calidad del agua, y a partir de las categorías más críticas y de las más recurrentes encontradas por determinante, se estableció para la quebrada Cajones una categoría única por cada tramo, para diferentes plazos (Tabla 174). En la **Tabla 175** se presentan los determinantes y los valores máximos para cada categoría.

| DETERMINANTE | TRAMO 3 | | TRAMO 4A | | TRAMO 4B | |
|--------------|---------|------|----------|------|----------|------|
| | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 |
| CATEGORÍA | A | A | A | A | D | D |

Tabla 174 Clasificación de los usos potenciales en la quebrada Cajones

| Determinante de calidad del agua | Unidades | A | B | C | D |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| DBO ₅ | [mg/L O ₂] | 5,0 | 30,0 | 30,0 | 60,0 |
| DQO | [mg/L O ₂] | 30,0 | 90,0 | 90,0 | 180,0 |
| SST | [mg/L] | 20,0 | 30,0 | 1.000,0 | 1.000,0 |
| Oxígeno Disuelto | [mg/L O ₂] | 5,0 | 4,0 | 2,0 | - |
| pH | [Unidades] | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 9,0* | 5,0 - 9,0 |
| Coliformes Totales | [NMP/100 mL] | 5.000* | 5.000 | 20.000 | 1.000.000 |
| Coliformes Fecales | [NMP/100mL] | 1.000 | 1.000 | 5.000 | 200.000 |
| Nitrógeno Amoniacal | [mg/L N - NH ₃] | 1,0 | 1,0 | 3,0 | 10,0 |
| Nitritos + Nitratos | [mg/L N] | 10,0 | 10 | 10 | 10 |
| Fósforo Total | [mg/L P] | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 10,0 |

Tabla 175 Objetivos de calidad para la quebrada Cajones

***Coliformes totales:** Es el único de los determinantes analizados que no da cumplimiento al valor más restrictivo para la categoría A para los Tramos 3 y 4, correspondiendo a un límite de 1.000 NMP/100 mL para el uso recreativo con contacto primario (Sin restricciones). Por lo anterior, se consideró mantener un valor de 5.000 NMP/100 mL correspondiente al uso agrícola sin restricciones y restringir el uso recreativo por contacto primario en toda la quebrada Cajones.

***DQO:** El valor fue definido a partir de los límites establecidos para la DBO₅, en una relación constante de DBO₅/DQO aproximada de 0,33. Para el caso de la Categoría A, tal como se observó en los resultados de laboratorio, los niveles de la DBO₅ estuvieron por debajo del límite de detección (5 mg/L) mientras que la DQO osciló entre 5 y 11 mg/L, para este se definió una concentración máxima de DQO de 30 mg/L.

***pH:** El valor más restrictivo para el límite superior del pH en la categoría C, es de 8.5 unidades, correspondiente a su uso industrial y explotación manual de material de construcción y arrastre. Dado que actualmente no se desarrolla esta actividad de manera formal, se considera apropiado definir el límite superior de 9.0 unidades, correspondiente al uso pecuario. En caso de que a futuro

se desarrolle de manera formal actividades industriales o de las extracciones anteriormente referidas, se debe restringir el rango de pH de 6,5 a 8,5 unidades.

*Los determinantes no incluidos en la **Tabla 175** deberán cumplir con lo establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015, considerando las correcciones realizadas en el Decreto 703 de 2018.

2.5.3. Objetivos de Calidad para la quebrada PORTACHUELO

Los tramos para los cuales se definirán los objetivos de calidad son los siguientes:

Tramo 1:

Definido desde el nacimiento de la quebrada Portachuelo hasta la desembocadura de la quebrada Chorro de Madres, al inicio del Casco urbano del Municipio de Filandia.

Tramo 2:

Definido desde la desembocadura de la quebrada Chorro de Madres (km 8,150 aproximadamente), fuente receptora actual de una parte de las aguas residuales del Municipio de Filandia hasta la desembocadura de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km 0,000).

- **Tramo 2A:** Desde la desembocadura de la quebrada Chorro de Madres (km 8,150) hasta la desembocadura de la quebrada Innominada (fuente receptora actual de una parte de las aguas residuales del Municipio de Filandia).
- **Tramo 2B:** Desde la quebrada Innominada, fuente receptora actual de una parte de las aguas residuales del Municipio de Filandia (km 6,280 aproximadamente) hasta la desembocadura de la quebrada Portachuelo en el río Roble (km 0,000).

A partir de la determinación de los usos potenciales en función de los niveles de concentración obtenidos con el modelo de simulación para 10 determinantes de calidad del agua, y a partir de las categorías más críticas y de las más recurrentes encontradas por determinante, se determinó para la quebrada Portachuelo una categoría única por cada tramo, para diferentes plazos (Tabla 176). En la **Tabla 177** se presentan los determinantes y los valores máximos para cada categoría.

| DETERMINANTE | TRAMO 1 | | TRAMO 2A | | TRAMO 2B | |
|--------------|---------|------|----------|------|----------|------|
| | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 |
| CATEGORÍA | A | A | B | A | D | C |

Tabla 176 Clasificación de los usos potenciales en la quebrada Portachuelo

| Determinante de calidad del agua | Unidades | A | B | C | D |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| DBO ₅ | [mg/L O ₂] | 5,0 | 30,0 | 30,0 | 60,0 |
| DQO | [mg/L O ₂] | 30,0 | 90,0 | 90,0 | 180,0 |
| SST | [mg/L] | 20,0 | 30,0 | 1.000,0 | 1.000,0 |
| Oxígeno Disuelto | [mg/L O ₂] | 5,0 | 4,0 | 2,0 | - |
| pH | [Unidades] | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 9,0* | 5,0 - 9,0 |
| Coliformes Totales | [NMP/100 mL] | 5.000* | 5.000 | 20.000 | 1.000.000 |
| Coliformes Fecales | [NMP/100mL] | 1.000 | 1.000 | 5.000 | 200.000 |
| Nitrógeno Amoniacal | [mg/L N - NH ₃] | 1,0 | 1,0 | 3,0 | 10,0 |
| Nitritos + Nitratos | [mg/L N] | 10,0 | 10 | 10 | 10 |
| Fósforo Total | [mg/L P] | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 10,0 |

Tabla 177 Objetivos de calidad para la quebrada Portachuelo

***Coliformes totales:** Es el único de los determinantes analizados que no da cumplimiento al valor más restrictivo para la categoría A para el Tramo 1, correspondiendo a un límite de 1.000 NMP/100 mL para el uso recreativo con contacto primario (Sin restricciones). Por lo anterior, se consideró mantener un valor de 5.000 NMP/100 mL correspondiente al uso agrícola sin restricciones y restringir el uso recreativo por contacto primario en toda la quebrada Portachuelo.

***DQO:** El valor fue definido a partir de los límites establecidos para la DBO₅, en una relación constante de DBO₅/DQO de 0,33. Para el caso de la Categoría A, tal como se observó en los resultados de laboratorio, los niveles de la DBO₅ estuvieron por debajo del límite de detección (5 mg/L) mientras que la DQO llegó hasta los 30 mg/L, por lo tanto, para esta Categoría no se mantiene la misma relación.

***pH:** El valor más restrictivo para el límite superior del pH en la categoría C, es de 8.5 unidades, correspondiente a su uso industrial y explotación manual de material de construcción y arrastre. Dado que actualmente no se desarrolla esta actividad de manera formal, se considera apropiado definir el límite superior de 9.0 unidades, correspondiente al uso pecuario. En caso de que a futuro se desarrolle de manera formal actividades industriales o de las extracciones anteriormente referidas, se debe restringir el rango de pH de 6,5 a 8,5 unidades.

*Los determinantes no incluidos en la **Tabla 177** deberán cumplir con lo establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015, considerando las correcciones realizadas en el Decreto 703 de 2018.

2.6. Zonas De Prohibición De Usos Específicos

2.6.1. Uso Recreativo por contacto primario:

De acuerdo con los resultados de Coliformes Totales obtenidos en la campaña de monitoreo en época seca del año 2019, y a los resultados de simulación para los 4 escenarios bajo las mismas condiciones, los tramos definidos para el río Roble, quebrada Cajones y Portachuelo presentan niveles de coliformes totales por encima 1.000 NMP/100mL. Lo anterior, implica que según el

Decreto 1594 de 1984, Subsumido en el Decreto 1076 de 2015, en ningún tramo del río Roble, y las quebradas Cajones y Portachuelo se podrá llevar a cabo el uso recreativo con contacto primario (como natación) en época seca. Dado que en la época de transición e invierno estas actividades representan un peligro para la integridad física de las personas que las practican, no se podrá efectuar este uso en dicha época.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda a la Autoridad Ambiental competente que prohíba en toda la quebrada Cajones y Portachuelo el uso recreativo con contacto primario en cualquier época del año y por el período de vigencia del presente PORH.

2.6.2. Uso Recreativo por contacto secundario:

Según las simulaciones realizadas el río Roble, para el escenario 2025 no se podrá garantizar una concentración de coliformes totales inferior a 5000 NMP/100mL en el **tramo 6B**. Por lo que el objetivo de calidad para dicho escenario en el referido tramo se asocia a la Categoría B, pero restringiendo el Uso Recreativo por contacto secundario en dicho tramo para dicho escenario. En la medida que se implementen las obras de saneamiento propuestas para el escenario 2029 dicha restricción se podría revocar con base resultados de comprobaciones por monitoreos de calidad del agua.

2.7. ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE RIESGOS ASOCIADOS A REDUCCIÓN DE LA OFERTA Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.

Se implementó un análisis del riesgo asociado a la disponibilidad del recurso hídrico, en términos de calidad, a partir de los resultados obtenidos en los modelos de simulación para el mediano y largo plazo. El análisis se realizó para cada uno de los siete (7) Tramos definidos en el documento Diagnóstico, comprendiendo tres (3) Tramos sobre la corriente principal (Tramos 5, 6 y 7) y cuatro (4) Tramos sobre dos (2) afluentes importantes, la quebrada Cajones (Tramos 3 y 4) y la quebrada Portachuelo (Tramos 1 y 2).

2.7.1. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se determinó identificando los usos del agua, de forma que las captaciones para abastecimiento doméstico corresponden a una **Vulnerabilidad Alta**, las captaciones para usos agrícola y pecuario corresponden a una **Vulnerabilidad media**. Los demás usos corresponderán a **Vulnerabilidad Baja**. Para los tramos en los cuales no se encontraron captaciones se consideran como no Vulnerables.

A partir del análisis realizado en el capítulo de Diagnóstico del PORH, se definieron las categorías de Vulnerabilidad para los diferentes tramos del río Roble, así como de la quebrada Cajones y la quebrada Portachuelo.

Se consideró que se incrementaría el volumen de descarga de aguas residuales y de captación de agua para los usos concesionados para cada uno de los siete (7) tramos objeto de ordenamiento.

2.7.1.1. Vulnerabilidad en los tramos del río Roble

Para el río Roble en su parte alta (Tramo 5) y en la zona Media (Tramo 6) se presenta una **Vulnerabilidad Alta**, debido a la presencia de captaciones para Consumo humano y uso doméstico (Figura 152).

La zona Baja (Tramo 7) no se considera Vulnerable debido a la ausencia de captaciones identificadas en las bases de datos de la CRQ y los recorridos de campo. En este tramo se recibe un número importante de descargas del municipio de Montenegro. Por otra parte, en campo se observó la presencia de actividades de extracción manual de materiales del lecho del río, la cual no se encuentra concesionada. Actualmente se considera que el uso de este tramo es principalmente Estético.

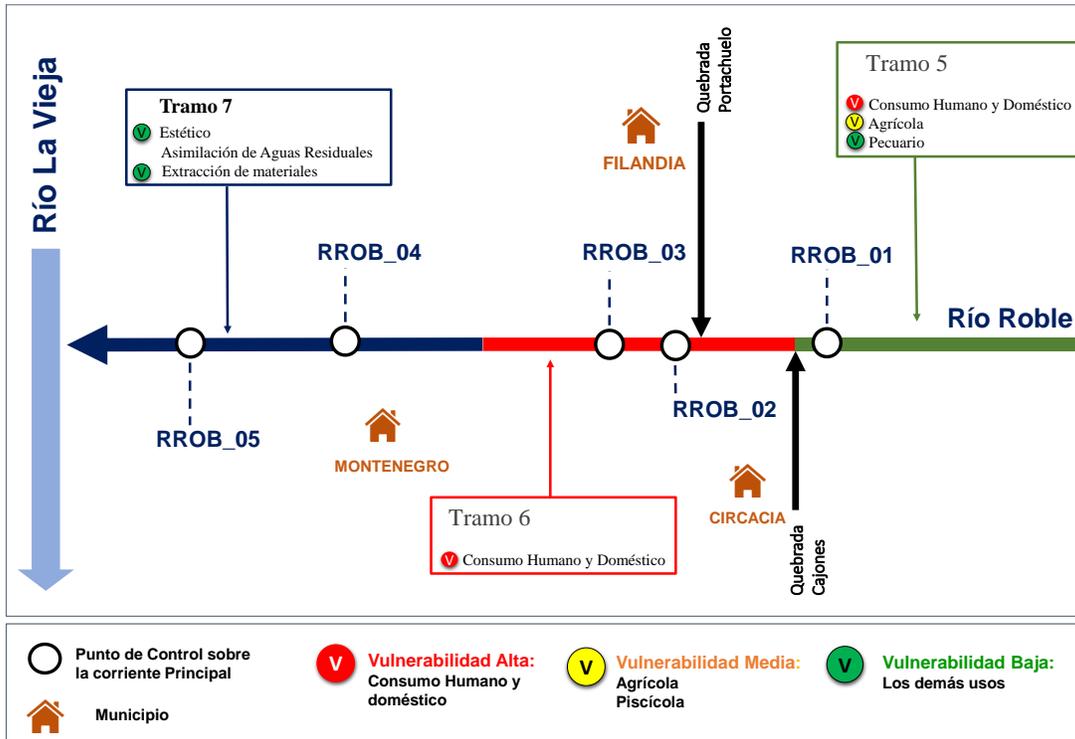


Figura 269. Esquema con las categorías de Vulnerabilidad en los Tramos definidos para el río Roble

2.7.1.2. Vulnerabilidad en los tramos de la quebrada Cajones

Para la quebrada Cajones en su parte alta (Tramo 3) se presenta una **Vulnerabilidad Alta**, debido a la presencia de captaciones para Consumo Humano y Uso Doméstico (Figura 153).

En la zona Media y Baja (Tramo 4) no se identificaron captaciones en las Bases de datos de la CRQ. Se define únicamente como uso actual el estético, por lo que el Tramo 4 se clasifica como de **Vulnerabilidad Baja**. En este tramo se recibe un número importante de descargas del municipio de Circasia.

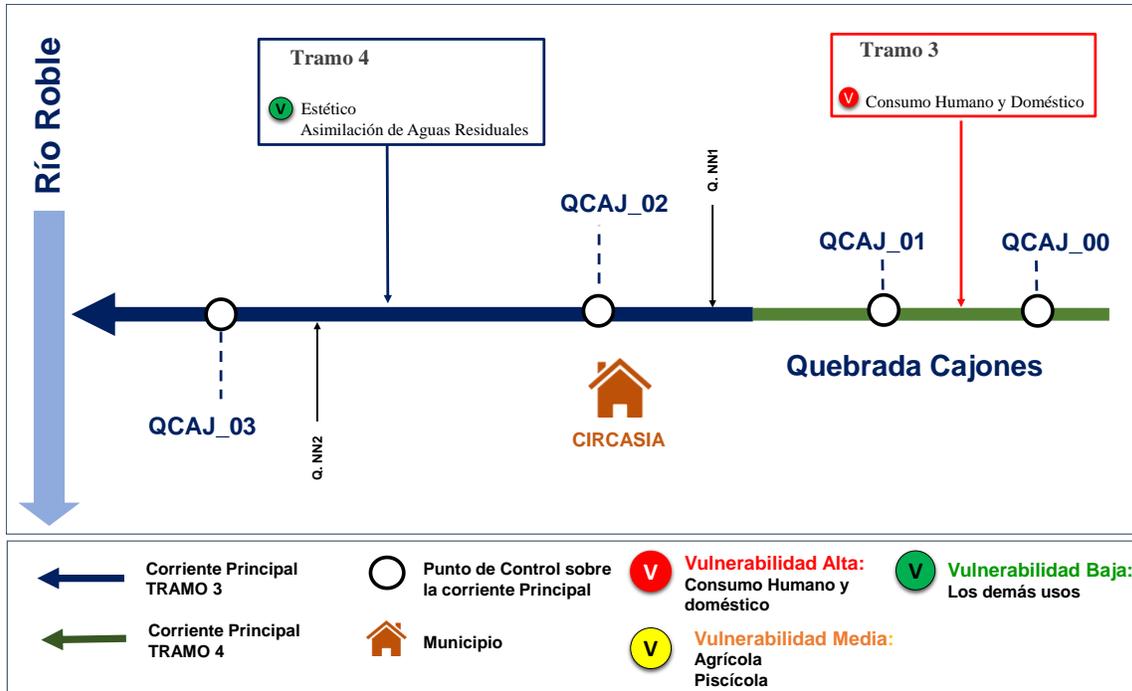


Figura 270. Esquema con las categorías de Vulnerabilidad en los Tramos definidos para la quebrada Cajones

2.7.1.3. Vulnerabilidad en los tramos de la quebrada Portachuelo.

Para la quebrada Portachuelo se considera que en su parte alta (Tramo 1) se presenta una **Vulnerabilidad Media**, debido a la presencia de captaciones para Riego y uso Pecuario humano y uso doméstico (Figura 154). Dentro de los talleres realizados con la comunidad, está informado sobre captaciones para Consumo Humano en la parte alta de la quebrada Portachuelo, sin embargo, no se identificó este uso en las bases de datos de la CRQ.

En la zona Media y Baja (Tramo 6) no se identificaron captaciones en las bases de datos de la CRQ. Se define únicamente como uso actual el estético, por lo que el Tramo 2 se clasifica como de **Vulnerabilidad Baja**. En este tramo se recibe un número importante de descargas del municipio de Filandia, a través de la quebrada Chorro de Madres y la quebrada Innominada.



Figura 271. Esquema con las categorías de Vulnerabilidad en los Tramos definidos para la quebrada Portachuelo

2.7.2. Amenaza

La guía (MADS, 2018) recomienda la cuantificación de la amenaza a partir de la comparación entre los objetivos de calidad definidos para cada tramo y las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos respectivos, obtenidas de la simulación de escenarios de mediano y largo plazo.

Para cada escenario se calculó el indicador de amenaza asociado a la disponibilidad mediante la siguiente ecuación:

$$I_A = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{C_i}{OC_i}}{N}$$

Donde:

- **I_A**= Indicador de amenaza asociado a la disponibilidad hídrica.
- **N**= Número total de parámetros asociados a los objetivos de calidad para un determinado uso.
- **C_i**=concentración del parámetro i, obtenida de los resultados de la simulación de escenarios
- **OC_i**= Objetivo de calidad asociado al parámetro i.

De acuerdo con la formulación del índice I_A , valores cercanos a 1 indican que las concentraciones esperadas en los respectivos parámetros estarán muy cerca del objetivo de calidad, por lo que

esta condición se puede asociar a una **Amenaza Alta**. Por el contrario, valores de I_A cercanos a cero, indicarían que las concentraciones estarán muy por debajo de los objetivos de calidad, por lo que corresponderían a un nivel de **Amenaza bajo**. La guía no define los límites para la determinación de cada categoría, por lo tanto, se han propuesto los rangos presentados en la Tabla 178. De esta forma, valores del I_A entre 0,75 y 1,00 se considera como una **Amenaza Alta**, valores entre 0,25 y 0,74 corresponde a una **Amenaza Media** y valores entre 0,00 y 0,24 corresponden a una **Amenaza Baja**.

| I_A - Amenaza | Rango numérico | |
|-----------------|----------------|------|
| ALTA | 1,00 | 0,75 |
| MEDIA | 0,74 | 0,25 |
| BAJA | 0,24 | 0,00 |

Tabla 178 Determinación de la categoría de la Amenaza a partir del I_A

2.7.2.1. Determinación de la amenaza en el río Roble

Se presentan valores de **Amenaza Media** en los dos escenarios en el tramo 5 y tramo 6 B, con la condición de mayor amenaza para el cumplimiento de los objetivos de calidad el relacionado con Coliformes Totales para ambos tramos, y Oxígeno Disuelto para el tramo 6B. El tramo 6A cuenta con una **Amenaza Media** en el escenario 2025 y **Amenaza Baja** para el escenario 2029. El tramo 7 tiene la mayor probabilidad de contar con dificultad para cumplir el objetivo de calidad con relación a Coliformes Totales en los dos escenarios (Tabla 179).

| DETERMINANTE | TRAMO 5 | | | | TRAMO 6A | | | | TRAMO 6B | | | | TRAMO 7 | | | |
|---------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | 2025 | | 2029 | | 2025 | | 2029 | | 2025 | | 2029 | | 2025 | | 2029 | |
| | [A] | I_A | [A] | I_A | [D] | I_A | [D] | I_A | [B] | I_A | [B] | I_A | [D] | I_A | [C] | I_A |
| DBO ₅ | 5.00 | 1.00 | 5.00 | 1.00 | 18.04 | 0.30 | 11.40 | 0.19 | 15.58 | 0.52 | 10.76 | 0.36 | 8.29 | 0.14 | 5.71 | 0.19 |
| SST | 5 | 0.25 | 5 | 0.25 | 22.04 | 0.02 | 10.78 | 0.01 | 20.28 | 0.68 | 16.38 | 0.55 | 15.67 | 0.02 | 13.94 | 0.01 |
| Oxígeno Disuelto | 7.46 | 0.00 | 7.46 | 0.00 | 4.91 | 0.00 | 5.51 | 0.00 | 5.44 | 1.00 | 5.66 | 0.71 | 4.26 | 0.00 | 4.55 | 0.44 |
| Coliformes Totales | 1.37E+04 | 1.00 | 1.37E+04 | 1.00 | 8.85E+06 | 1.00 | 8.14E+03 | 0.01 | 5.48E+04 | 1.00 | 2.39E+03 | 0.48 | 1.01E+06 | 1.00 | 1.63E+04 | 0.81 |
| Nitrógeno Amoniacal | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 1.86 | 0.19 | 0.94 | 0.09 | 0.59 | 0.32 | 0.32 | 0.38 | 0.04 | 0.25 | 0.08 | 0.08 |
| Nitritos + Nitros | 1.02 | 0.10 | 1.02 | 0.10 | 1.57 | 0.16 | 1.42 | 0.14 | 2.24 | 0.22 | 1.57 | 0.16 | 2.36 | 0.24 | 1.71 | 0.17 |
| Fósforo Total | 0.30 | 0.60 | 0.30 | 0.60 | 0.49 | 0.05 | 0.48 | 0.05 | 0.28 | 0.55 | 0.28 | 0.55 | 0.22 | 0.02 | 0.20 | 0.40 |
| IA | | 0.43 | | 0.43 | | 0.25 | | 0.07 | | 0.65 | | 0.45 | | 0.21 | | 0.30 |

Tabla 179 Río Roble. Determinación del índice de amenaza I_A

2.7.2.2. Determinación de la amenaza en la quebrada Cajones

A partir de los resultados del IA, se define que se presentan valores de **Amenaza Media** en el Tramo 3, antes del casco urbano de Circasia, en especial debido a los niveles de DBO, SST y coliformes totales. En el Tramo 4A se presenta un I_A de **Amenaza Baja** y en el Tramo 4B se considera una **Amenaza Media**, relacionada con elevados niveles de DBO₅, coliformes totales y nitrógeno Amoniacal.

La afectación en el Tramo 4B está relacionado con el efecto de los vertimientos del municipio de Circasia. Este tramo es en donde se presentan las mayores amenazas. Esta amenaza está en función del objetivo de calidad, el cual a su vez depende del tramo y el plazo (medio o largo), por

lo tanto, no debe entenderse la amenaza como un mayor nivel de contaminación sino como la posibilidad de que se supere el objetivo definido en cada caso particular.

| DETERMINANTE | TRAMO 3 | | | | TRAMO 4A | | | | TRAMO 4B | | | |
|---------------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|
| | 2025 | | 2029 | | 2025 | | 2029 | | 2025 | | 2029 | |
| | [A] | I _A | [D] | I _A | [D] | I _A |
| DBO ₅ | 3.50 | 0.70 | 3.50 | 0.70 | 2.98 | 0.60 | 2.98 | 0.60 | 122.68 | 1.00 | 58.82 | 0.98 |
| SST | 10 | 0.50 | 10.00 | 0.50 | 8.75 | 0.44 | 8.75 | 0.44 | 161.98 | 0.16 | 59.18 | 0.06 |
| Oxígeno Disuelto | 6.59 | 0.00 | 6.59 | 0.00 | 6.5 | 0.00 | 6.51 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 1.57 | 0.00 |
| Coliformes Totales | 2.61E+03 | 0.52 | 2.61E+03 | 0.52 | 1.91E+03 | 0.38 | 1.91E+03 | 0.38 | 6.36E+07 | 1.00 | 6.42E+05 | 0.64 |
| Nitrógeno Amoniacal | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 16.60 | 1.00 | 8.01 | 0.80 |
| Nitritos + Nitratos | 0.23 | 0.02 | 0.23 | 0.02 | 0.20 | 0.02 | 0.21 | 0.02 | 0.83 | 0.08 | 2.29 | 0.23 |
| Fósforo Total | 0.07 | 0.14 | 0.07 | 0.14 | 0.06 | 0.12 | 0.06 | 0.12 | 4.53 | 0.45 | 4.12 | 0.41 |
| I _A | | 0.28 | | 0.28 | | 0.23 | | 0.23 | | 0.53 | | 0.45 |

Tabla 180 Quebrada Cajones. Determinación del índice de amenaza I_A

2.7.2.3. Determinación de la amenaza en la quebrada Portachuelo

A partir de los resultados obtenidos para el I_A, se observa que de forma general se presentan índices de **Amenaza Media** en los Tramos 1 y 2. Solo para el Tramo 2A se presenta un nivel de **Amenaza Bajo** para el año 2025. Esta amenaza está en función del objetivo de calidad, el cual a su vez depende del tramo y el plazo (medio o largo), por lo tanto, no debe entenderse la amenaza como un mayor nivel de contaminación sino como la posibilidad de que se supere el objetivo definido en cada caso particular.

| DETERMINANTE | TRAMO 1 | | | | TRAMO 2A | | | | TRAMO 2B | | | |
|---------------------------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|
| | 2025 | | 2029 | | 2025 | | 2029 | | 2025 | | 2029 | |
| | [A] | I _A | [A] | I _A | [B] | I _A | [A] | I _A | [D] | I _A | [C] | I _A |
| DBO ₅ (mg/L) | 5.00 | 1.00 | 5.00 | 1.00 | 4.63 | 0.15 | 4.63 | 0.93 | 28.55 | 0.48 | 14.83 | 0.49 |
| SST (mg/L) | 10 | 0.50 | 10 | 0.50 | 9.486 | 0.32 | 9.486 | 0.47 | 18.16 | 0.02 | 18.16 | 0.02 |
| Oxígeno Disuelto (mg/L) | 7.55 | 0.00 | 7.55 | 0.00 | 6.745 | 0.00 | 6.745 | 0.00 | 3.40 | 0.00 | 4.85 | 0.41 |
| Coliformes Totales (NMP/100 mL) | 2.91E+03 | 0.58 | 2.91E+03 | 0.58 | 3.16E+03 | 0.63 | 3.16E+03 | 0.63 | 1.26E+07 | 1.00 | 1.29E+05 | 1.00 |
| Nitrógeno Amoniacal (mg N/L) | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 3.57 | 0.36 | 1.75 | 0.58 |
| Nitritos + Nitratos (mg N/L) | 0.23 | 0.02 | 0.23 | 0.02 | 0.23 | 0.02 | 0.23 | 0.02 | 1.90 | 0.19 | 1.24 | 0.12 |
| Fósforo Total (mg P/L) | 0.07 | 0.14 | 0.07 | 0.14 | 0.07 | 0.13 | 0.07 | 0.13 | 1.03 | 0.10 | 0.94 | 1.00 |
| I _A | | 0.33 | | 0.33 | | 0.19 | | 0.32 | | 0.31 | | 0.52 |

Tabla 181 Quebrada Portachuelo. Determinación del índice de amenaza I_A

2.7.3. Riesgo

De acuerdo con la Guía (MADS, 2018), la categoría del Riesgo corresponderá a la condición más crítica entre la Amenaza y la Vulnerabilidad, tal como se presenta en la Tabla 120.

| AMENAZA | VULNERABILIDAD | RIESGO |
|---------|----------------|--------|
| Alta | Alta | ALTO |
| Alta | Media | ALTO |
| Alta | Baja | ALTO |
| Media | Alta | ALTO |
| Baja | Alta | ALTO |
| Media | Media | MEDIO |
| Media | Baja | MEDIO |
| Baja | Media | MEDIO |
| Baja | Baja | BAJO |

Tabla 182 Categorías para la definición del Riesgo

2.7.3.1. Análisis del Riesgo en el río Roble

Para el cauce principal del río Roble se presenta un Riesgo Medio en el Tramo 5 propiciado por una amenaza alta de incumplimiento por coliformes totales y un valor medio de amenaza por posible incumplimiento del objetivo de calidad. El Tramo 6 presenta un Riesgo Alto por disponibilidad debido a que fue clasificado con vulnerabilidad alta por presentar usos para consumo humano. Finalmente, el Tramo 7 presenta un riesgo Bajo y Medio para los escenarios 2025 y 2029 respectivamente (Tabla 121).

| Variable | TRAMO 5 | | TRAMO 6A | | TRAMO 6B | | TRAMO 7 | |
|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 |
| Clase | A | A | D | D | B | B | D | C |
| Vulnerabilidad | Baja | Baja | Alta | Alta | Alta | Alta | Baja | Baja |
| Amenaza | Media | Media | Media | Baja | Media | Media | Baja | Media |
| Riesgo | Medio | Medio | Alto | Alto | Alto | Alto | Bajo | Medio |

Tabla 183 Estimación del riesgo por disponibilidad en el Río Roble

2.7.3.2. Análisis del Riesgo en la quebrada Cajones

De acuerdo con el nivel de Vulnerabilidad y de Amenaza en la disponibilidad del recurso hídrico de la quebrada Cajones, se encontró que:

- Para el **Tramo 3**, comprendido desde el nacimiento de la quebrada Cajones, hasta el inicio del casco urbano de Circasia, le corresponde un nivel de **Riesgo Alto**, relacionado especialmente con la presencia de captaciones para consumo humano (Vulnerabilidad Alta).

- Para el **Tramo 4A**, comprendido desde el inicio del casco urbano de Circasia hasta la ubicación del vertimiento QCD9, le corresponde un nivel de **Riesgo Bajo**, relacionado especialmente con la ausencia de captaciones.
- En el **Tramo 4B**, comprendido desde la ubicación del vertimiento QCD9 hasta su desembocadura en el río Roble, le corresponde un nivel de **Riesgo Medio**, relacionada con posibles picos en la concentración de algunos determinantes como DBO₅, coliformes y nitrógeno debido a la descarga de las aguas residuales del municipio de Circasia.

| Variable | TRAMO 3 | | TRAMO 4A | | TRAMO 4B | |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 |
| Clase | A | A | A | A | D | D |
| Vulnerabilidad | Alta | Alta | Baja | Baja | Baja | Baja |
| Amenaza | Media | Media | Baja | Baja | Media | Media |
| Riesgo | Alto | Alto | Bajo | Bajo | Medio | Medio |

Tabla 184 Estimación del riesgo por disponibilidad en la quebrada Cajones

1.1.1.1 Análisis del Riesgo en la quebrada Portachuelo

De acuerdo con el nivel de Vulnerabilidad y de Amenaza en la disponibilidad del recurso hídrico de la quebrada Portachuelo, se encontró que:

- Para el **Tramo 1**, comprendido desde el nacimiento de la quebrada Portachuelo, hasta el inicio del casco urbano de Filandia (desembocadura de la quebrada Chorro de Madres), le corresponde un nivel de **Riesgo Medio**, relacionado especialmente con la presencia de captaciones para uso agrícola (Vulnerabilidad Media).
- Para el **Tramo 2A**, comprendido desde el inicio del casco urbano de Filandia (desembocadura de la quebrada Chorro de Madres) hasta la quebrada Innominada, le corresponde un nivel de **Riesgo Bajo para el año 2025 y un Riesgo Medio para el año 2029**. Aunque el nivel de riesgo aumenta en el año 2029, las condiciones de calidad son mejores en comparación con el año 2025.
- En el **Tramo 2B**, comprendido desde la desembocadura de la quebrada Innominada hasta su desembocadura en el río Roble, le corresponde un nivel de **Riesgo Medio**, relacionada con posibles picos en la concentración de algunos determinantes como DBO₅ y coliformes debido a la descarga de las aguas residuales del municipio de Filandia.

| Variable | TRAMO 1 | | TRAMO 2A | | TRAMO 2B | |
|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 | 2025 | 2029 |
| Clase | A | A | B | A | D | C |
| Vulnerabilidad | Media | Media | Baja | Baja | Baja | Baja |
| Amenaza | Media | Media | Baja | Media | Media | Media |
| Riesgo | Medio | Medio | Bajo | Medio | Medio | Medio |

Tabla 185 Estimación del riesgo por disponibilidad en la quebrada Portachuelo

3. FASE: ELABORACIÓN DEL PLAN

3.1. Articulación Con El POMCA Del Río La Vieja

Las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones se encuentran dentro del área hidrográfica drenante de la Subzona hidrográfica del río La Vieja, la cual cuenta con un Plan de Ordenación y Manejo (POMCA) actualizado en el año 2018. El objetivo general del POMCA es “lograr un equilibrio entre el uso económico y social de los recursos naturales renovables y elementos ambientales de la cuenca, que permita la conservación de su capacidad de producción, se reduzca el riesgo ante las amenazas naturales de origen hídrico y se mejore la calidad de vida de los habitantes” (CRQ, et al, 2018).

El PORH del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones se circunscribe especialmente en el **objetivo específico 4** del POMCA, el cual implica “Realizar la gestión integral del recurso hídrico y mejoramiento del saneamiento básico de la Cuenca”. Con el fin de abordar sus objetivos, el POMCA identificó siete (7) estrategias, EL presente PORH se encuentra subsumido principalmente en tres (3) de ellas y se vincula directamente a ocho (8) proyectos del POMCA.

| Estrategia POMCA (2018) | Proyectos POMCA (2018) | Programas y Proyectos PORH - Roble (2019) |
|---|---|--|
| Uso y manejo integral del suelo de la cuenca, atendiendo a su vocación y a las necesidades de conservación y recuperación de recursos naturales conexos | <p>Proyecto 3: Formulación y puesta en marcha de insumos para un programa de conservación de suelos y promoción de sistemas sostenibles de producción.</p> <p>Proyecto 6: Ordenamiento y planificación del turismo presente en el suelo rural de la Cuenca.</p> | <p>Programa: Cultura Ambiental Regional (Proyecto: Programa de ahorro y uso eficiente del agua - PUEA en el sector turístico)</p> <p>Programa: Sistemas Productivos Sostenibles (Proyecto: Implementación de buenas prácticas agropecuarias (BPA) en los sistemas productivos de la unidad hidrográfica del río Roble)</p> |
| Manejo participativo de áreas y ecosistemas estratégicos de la Cuenca | <p>Proyecto 8: Ordenamiento y planificación de las áreas naturales protegidas y ecosistemas estratégicos.</p> <p>Proyecto 9: Gestión de áreas protegidas y suelos de protección.</p> | <p>Programa: Gestión de la Oferta en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones (Proyecto: Pago por servicios ambientales para la conservación del agua en la unidad hidrográfica del río Roble.)</p> <p>Programa: Gestión de la Oferta en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones (Proyecto: Recuperación, protección y conservación de nacimientos de agua y zonas de ribera)</p> |
| Gestión integral de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico | <p>Proyecto 11: Conocimiento y manejo del recurso hídrico superficial.</p> <p>Proyecto 12: Planificación y manejo de acuíferos de la cuenca.</p> <p>Proyecto 13: Uso eficiente y ahorro del agua.</p> <p>Proyecto 14: Saneamiento básico integral para la cuenca.</p> | <p>Programa: Seguimiento y monitoreo al recurso hídrico. (Proyectos: Red de monitoreo hidrometeorológico, red de monitoreo de calidad del agua, red de monitoreo hidrobiológico, red de monitoreo de aguas subterráneas, sistema de parcelas permanentes de vegetación)</p> |

| Estrategia POMCA (2018) | Proyectos POMCA (2018) | Programas y Proyectos PORH - Roble (2019) |
|-------------------------|------------------------|---|
| | | <p>Programa: Gestión de la Demanda en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones (Proyecto: <i>Mejoramiento de acueductos veredales en la unidad hidrográfica del río Roble</i>)</p> <p>Programa: Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea. (Proyecto <i>Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro.</i>)</p> <p><i>Proyecto Reglamentación de Usos del agua y Vertimientos</i></p> <p><i>Proyecto Evaluación del impacto de vertimientos pecuarios al suelo sobre las condiciones de calidad del agua subsuperficial</i></p> <p><i>Proyecto Construcción, recuperación y/o mantenimiento de pozos sépticos en áreas rurales</i></p> <p><i>Proyecto de Manejo Integrado de Residuos Sólidos</i>)</p> |

Tabla 186. Articulación programática entre el PORH y el POMCA del río La Vieja

3.2. ARTICULACIÓN CON OTROS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN

En la sección de identificación de usos potenciales del PORH se establecieron restricciones y prohibiciones de uso que deberán ser tenidas en cuenta por los entes territoriales a través de su incorporación en los Esquemas de Ordenamiento Territorial en virtud del estatus de Determinante Ambiental que tienen los resultados y zonificación de usos del agua del presente instrumento. Los objetivos de calidad del agua establecidos en el PORH se consideran alcanzables con la implementación de las acciones de saneamiento proyectadas en los PSMV de los municipios de Circasia, Filandia y Montenegro, y generando restricciones adicionales de tratamiento. En todo caso, la Autoridad Ambiental deberá continuar implementando las correspondientes acciones de seguimiento a su ejecución.

Considerando las restricciones planteadas en el escenario 3 (2029), se deberá realizar una actualización de la reglamentación de usos del agua y de vertimientos, ya para alcanzar los objetivos de calidad del agua proyectados no se pueden permitir vertimientos no legalizados, ni otorgar permisos nuevos sin realizar una evaluación del efecto sinérgico de todos los vertimientos del sistema sobre los siete tramos de forma integrada.

3.3. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL RECURSO HÍDRICO

3.3.1. Seguimiento y monitoreo hidrometeorológico

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018), recomienda revisar la densidad y representatividad de las redes de monitoreo hidrometeorológico con base en la relevancia socioeconómica y condiciones fisio-climáticas de la unidad hidrográfica. Como se ha destacado en la síntesis diagnóstica del Plan de Ordenamiento del río Roble, su sistema hídrico cumple un papel determinante en el abastecimiento de recurso hídrico a diferentes comunidades urbanas y rurales en cuatro (4) municipios del departamento del Quindío, y presenta evidentes diferencias en el patrón histórico de variabilidad intranual de la lluvia entre las partes alta y baja de la cuenca, lo que conlleva a cambios en el régimen de los caudales. En el estudio de oferta hídrica de la unidad hidrográfica del río Roble se encontró una deficiencia de registros históricos continuos de caudales para calibrar y validar modelos hidrológicos en una escala temporal sub-diaria y sub-horaria.

Con el fin de tener más elementos de validación de los aportes hidrológicos de los afluentes y cauce principal del río Roble y establecer su variabilidad espaciotemporal, se hace necesario incrementar el número de estaciones meteorológicas en operación y realizar la instalación y puesta en funcionamiento de estaciones hidrométricas para la estimación de caudales. El número mínimo recomendado es dos (2) estaciones meteorológicas y tres (3) estaciones hidrométricas, las cuales se justifican en la existencia de una baja densidad de estaciones meteorológicas en la unidad hidrográfica, en que la diferencia en el caudal entre los sitios propuestos para las estaciones hidrométricas es mayor a 350% y 180% con relación al error medio de medición en el sitio de aforo denominado "La Española", y debido a que las condiciones fisiográficas y de variabilidad climática intranual entre estaciones son diferentes. A continuación, se presentan la ubicación aproximada de las estaciones propuestas (Tabla 187):

| Id | Tipo de estación | Ubicación | N (m) | E (m) |
|----|------------------|--|--------------------|-------------|
| | | | Magna-Sirgas Oeste | |
| 1 | Hidrométrica | Río Roble aguas arriba de la confluencia con Quebrada Portachuelo (sector paso de los aguadeños) | 1003670.237 | 1155778.727 |
| 2 | Hidrométrica | Río Roble aguas arriba de la bocatoma de Montenegro | 1000256.003 | 1151412.626 |
| 3 | Hidrométrica | Río Roble sector La Española | 997923.3495 | 1136192.149 |
| 4 | Meteorológica | Río Roble sector La Española | 997923.3495 | 1136192.149 |
| 5 | Meteorológica | En la zona de las Veredas el Placer o el Vigilante (Filandia), o Vereda El Naranjal (Quimbaya) | 1003035.90 | 1151762.89 |

Tabla 187. Estaciones propuestas para fortalecer el monitoreo hidrometeorológico en las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

Las 2 primeras estaciones permitirán una mejor verificación y diferenciación de los aportes relativos de las subcuencas de Q. Portachuelo, Río Roble parte alta (Incluyendo Q. Membrillar y Q. Cajones), y Q. San José. Además, la estación 2 permitirá tener mediciones directas del caudal disponible para la bocatoma de Montenegro. La estación 3 (La Española) permitirá evaluar el aporte de la cuenca media del río Roble (incluyendo el aporte de la Q. La Carmelita). Por su parte, las estaciones meteorológicas 4 y 5 permitirán disponer de mediciones continuas con representatividad de la parte media y baja de la unidad hidrográfica, ya que con base en los datos

históricos disponibles se ha identificado un cambio en el patrón de variabilidad intranual de la lluvia con la variación altitudinal en la unidad hidrográfica. Por lo que esta distribución es la más recomendada para monitorear la hidrología de la UH del río Roble (Figura 272).

Factores limitantes y criterios para la selección del sitio. Los principales aspectos que se deben evaluar para la selección del sitio específico en las ubicaciones identificadas son las condiciones de acceso al lugar, seguridad de los equipos a ser instalados, estabilidad de la sección de cauce, líneas de corriente paralelas, presencia de flujo no-turbulento, accidentes orográficos, y corrientes de aire. Para el caso de la estación 1 (Sobre el Río Roble aguas arriba de la confluencia con la quebrada Portachuelo), se deberá establecer la estación al menos 100 m aguas arriba del sitio de confluencia para minimizar el posible efecto de remanso y contraflujo que podría transmitir la quebrada Portachuelo a la corriente principal del río Roble. Se recomienda a la autoridad ambiental, consultar los criterios propuestos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008), y los criterios adicionales propuestos por Peña et. al. (2019) aplicados en un caso de estudio en Quindío y Tolima.

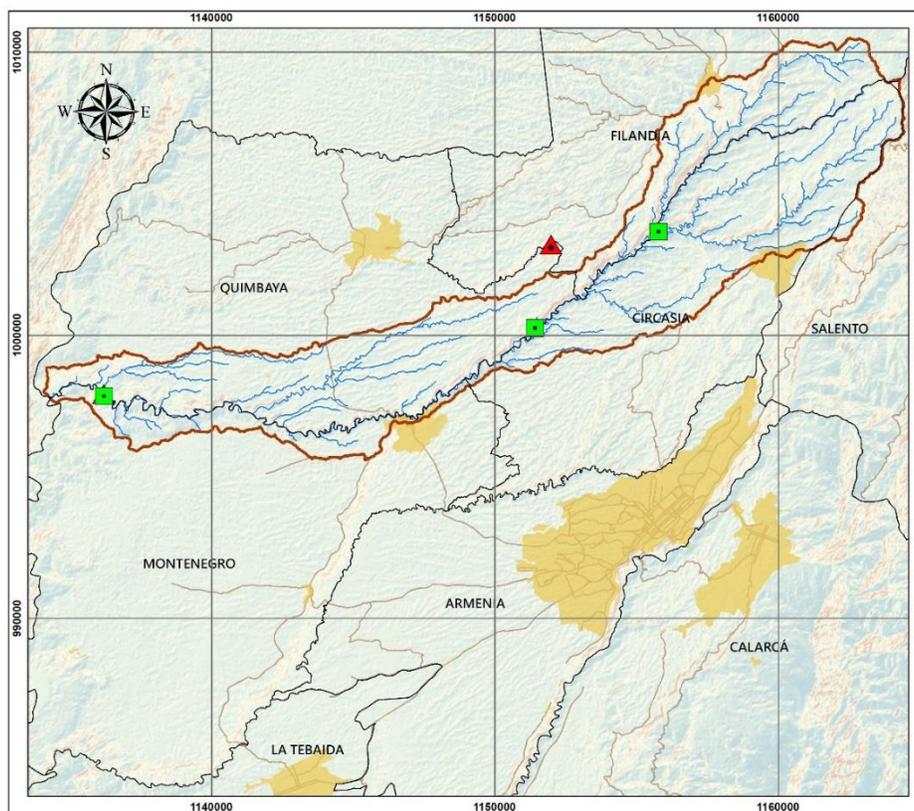


Figura 272. Ubicación de las estaciones proyectadas para ser instaladas y puestas en operación en la Unidad Hidrográfica del río Roble. Estaciones hidrométricas (verde), y estaciones meteorológicas (rojo).

Objetivo de la red. De acuerdo con el PORH del río Roble, el propósito de la red de monitoreo hidrometeorológico es evaluar la oferta hídrica de los tramos en ordenamiento, determinar la variación espaciotemporal de las características hidrológicas (estado y tendencia de los recursos hídricos), el potencial de aprovechamiento de este recurso, la capacidad de satisfacer la demanda

actual y futura, conocer las condiciones de disponibilidad de agua para los diferentes usos para los tramos en ordenamiento y evaluar el impacto que tienen los diferentes usos sobre el recurso y mejorar las herramientas de predicción y análisis hidrológico de eventos extremos.

Escala temporal y variables objeto de monitoreo. Se debe implementar un monitoreo continuo con una resolución cinco-minutal o diez-minutal, como mínimo para las variables: Nivel medio del flujo en la sección transversal, precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, horas de brillo solar, dirección y velocidad del viento.

Si no es posible seleccionar las ubicaciones 1 y 2 por incumplimiento de los estándares para la definición del sitio específico, se deberían considerar las siguientes ubicaciones ya que cumplen las condiciones de sitio (Tabla 188, Figura 273):

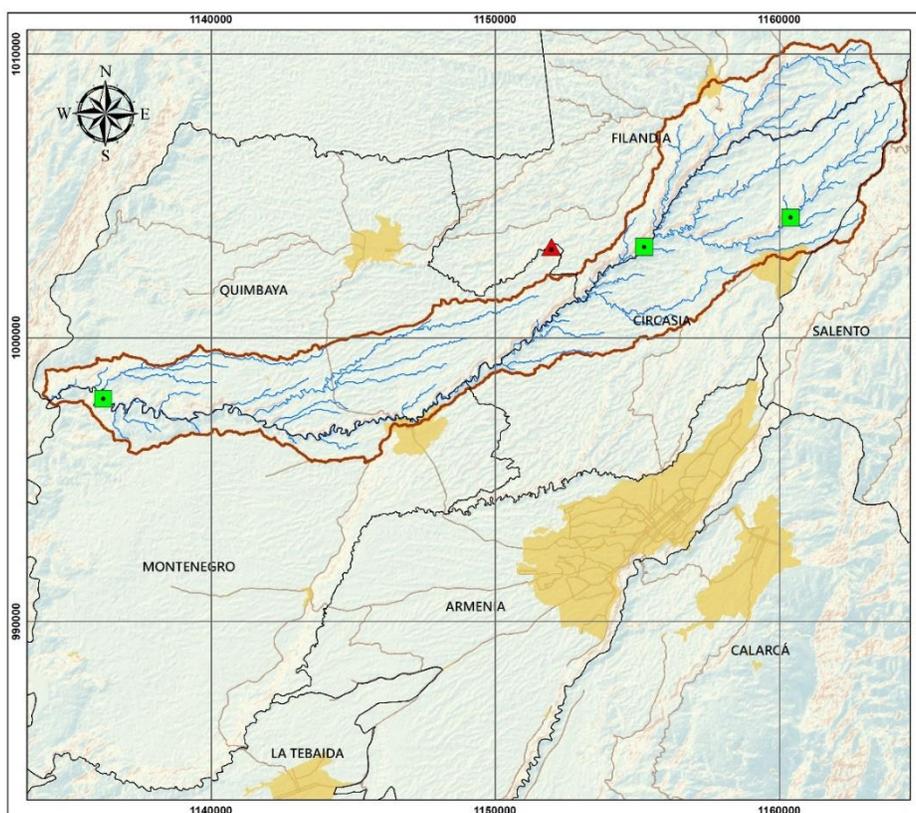


Figura 273 Ubicación de las estaciones hidrométrica proyectadas (Opción 2) para ser instaladas y puestas en operación en la Unidad Hidrográfica del río Roble. Estaciones hidrométricas (verde), y estaciones meteorológicas (rojo).

| Id | Tipo de estación | Ubicación | N (m) | E (m) |
|----|------------------|--|--------------------|------------|
| | | | Magna-Sirgas Oeste | |
| 1 | Hidrométrica | Río Roble aguas arriba de la bocatoma de circasia (sector aguas arriba de la estación de bombeo) | 1004244.27 | 1160338.43 |
| 2 | Hidrométrica | Río Roble aguas debajo de la confluencia de la quebrada Portachuelo (sector paso de los Aguadeños) | 1003243.35 | 1155275.85 |

Tabla 188. Localización alternativa de dos estaciones hidrométricas proyectadas para fortalecer el monitoreo hidrometeorológico en las unidades hidrográficas del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

A continuación, se presenta la ficha del proyecto.

3.3.1.1. Proyecto P101: Red hidrometeorológica del río Roble

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|--|---|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Red hidrometeorológica del río Roble | P101 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| <p>Durante la elaboración del diagnóstico se evidenció que es necesario adelantar un fortalecimiento de la red hidrometeorológica, lo cual implica la instalación de nuevas estaciones en la unidad hidrográfica del río Roble, con el propósito de mejorar la calidad de información usada en la modelación hidrológica e hidráulica y conocer mejor la distribución y dinámica del ciclo hidrológico.</p> | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Unidad hidrográfica del río Roble. | Diseñar y poner en marcha la red hidrométrica (nivel-caudal) y climatológica (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc) de en la unidad hidrográfica del río Roble. | Red de monitoreo hidrometeorológica operativa |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | # Puntos monitoreados / # puntos definidos en la Red Informes de caracterización de los puntos de la red de monitoreo e interpretación de resultados | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| <p>Actividades que se deben realizar para el cumplimiento del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modernización de las mediciones limnimétricas a través de la instalación de nuevas estaciones. Par lo cual deberá realizar: <ul style="list-style-type: none"> ○ Análisis geoespacial para la ubicación de las estaciones. ○ Identificación en campo de los puntos donde se ubicará la estación limnimétrica • La selección de los sitios para la ubicación de las estaciones deberá estar justificada mediante la evaluación de criterios planteados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011) y el IDEAM y considerar referentes adicionales como los propuestos por Peña et al. (2019). • La escala temporal de recolección de datos de niveles deberá ser diez-minutal como máximo, esto con el fin de que sea posible utilizar la base de datos no solo en estudios de Recursos Hídricos sino también en estudios de Crecidas. • Revisar y rediseñar la red de monitoreo meteorológico, considerando los errores sistemáticos, aleatorios y de procesamiento. • Establecer y ejecutar un protocolo para la calibración de las curvas Nivel-Caudal (Curvas de Gasto) de cada estación limnimétrica, el protocolo deberá contener la justificación de la frecuencia de ajuste de estas. • Negociación, alquiler o utilización de predios para la instalación de sensores • Instalación de sensores de registro de variables hidrométricas y climatológicas. • Puesta en marcha de la red y captura de datos en forma remota en el río Roble. | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ en alianza con otras Entidades. | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.3.2. Seguimiento y monitoreo fisicoquímico y microbiológico en aguas superficiales

El diagnóstico de la calidad del agua en los siete tramos objeto de ordenamiento y los subsecuentes resultados de simulación de escenarios de calidad del agua revelaron que el principal factor que deteriora el estado de la calidad del agua superficial en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones es de origen antrópico, principalmente por vertimientos permanentes identificados de origen doméstico. Además, en los recorridos de campo se logró evidenciar la probable existencia de vertimientos temporales no identificados que de forma eventual elevan la concentración de carga orgánica en al menos una fuente hídrica afluyente del sistema en la parte alta (quebrada Las Cruces). Por lo que los impactos más notables en este sistema hídrico están representados en un aumento en el consumo de oxígeno y la concentración de patógenos en el agua en los tramos objeto de ordenamiento (especialmente Tramos 2,4, 6 y 7).

Las concentraciones de nutrientes, pesticidas, metales pesados e hidrocarburos determinadas a partir de los monitoreos históricos no han representado un nivel de alerta en el sistema, sin embargo, se requiere continuar con su monitoreo y vigilancia. Con el propósito de ejercer control y verificar el avance en el cumplimiento de los objetivos de calidad del agua propuestos para los siete tramos objeto de ordenamiento el programa de monitoreo de calidad del agua superficial en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones tendrá como objetivo ***aportar información base para la determinación del estado y tendencia de la calidad del agua en los tramos objeto de ordenamiento, evaluar el efecto de las descargas contaminantes y ejercer acciones de seguimiento y control ambiental.***

Selección de sitios de monitoreo. La localización de las estaciones de monitoreo se definió tomando en consideración los usos actuales y potenciales del agua en cada tramo, los vertimientos actuales y potenciales áreas con descargas no identificadas, facilidad de acceso al sitio, afluentes relevantes en cada tramo y condiciones hidráulicas locales. la red de monitoreo está diseñada para realizar la toma de muestras de agua durante 3 días consecutivos, respetando el día de toma de muestra y la secuencia indicada. En tal sentido, la red recomendada para el monitoreo es la diseñada y definida para la formulación del PORH (presentada en la sección 1.8.3.2), constituida por 23 estaciones de medición Tabla 189. Si por razones logísticas o presupuestales hay limitaciones institucionales para operar la red recomendada, se deberá cumplir con la medición en la red mínima de monitoreo, constituida por 19 estaciones cuyos detalles se presentan en la Tabla 190.

Duración y frecuencia de las mediciones. El programa de monitoreo de la calidad del agua en los siete tramos será ejecutado al menos durante el periodo de vigencia de los objetivos de calidad del agua y el horizonte del PORH (10 años). Es necesario garantizar al menos una campaña de medición por año en temporada seca, sin embargo, sería recomendable realizar de dos a cuatro mediciones por año.

Tipo de monitoreo y determinantes de calidad a ser medidos. las estaciones que conforman la red de monitoreo tendrán mediciones de diferentes tipos de determinantes de calidad del agua y se realizarán a través de muestreos puntuales y compuestos de 8 horas de acuerdo con las especificaciones por estación de medición que se presentan en la Tabla 191.

| No. | Puntos Monitoreo PORH | Código Punto | Tipo Monitoreo | TIPO - VARIABLES | DÍA DE MONITOREO | LONGITUD | LATITUD |
|-----|---|--------------|----------------|-------------------------------------|------------------|----------------|---------------|
| 1 | Río Roble Arriba de Quebrada Arenosa | ROB1 | C | SUPERFICIAL CAUDAL +IN SITU | 1 | 75°38'2.39"O | 4°37'55.97"N |
| 2 | Quebrada Cajones Arriba de Captación de Circasia (Es un punto opcional dependiendo de si cerca de la captación, aguas arriba se encuentra flujo de agua.) | CAJ1 | C | SUPERFICIAL CAUDAL +IN SITU | 1 | 75°37'25.63"O | 4°37'34.44"N |
| 3 | Quebrada Cajones Abajo de Captación de Circasia | CAJ2 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°37'26.53"O | 4°37'34.35"N |
| 4 | Quebrada Cajones en Puente Calle 7 Carrera 18 (Aguas Arriba de las descargas) | CAJ3 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 1 | 75°38'4.64"O | 4°37'23.02"N |
| 5 | De los 8 vertimientos de este tramo se tomarán muestras puntuales de caudal y determinantes in situ en un vertimiento (Puente de la calle 7) | VCAJ | E | VERTIMIENTO PUNTUAL-CAUDAL + INSITU | 1 | 75°38'5.54"O | 4°37'22.87"N |
| 6 | Río Roble Aguas Arriba de Quebrada Cajones | ROB2 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°38'46.72"O | 4°37'29.47"N |
| 7 | Quebrada Cajones Arriba de la desembocadura en río Roble (arriba de vertimiento) | QCAJ3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°38'46.12"O | 4°37'23.31"N |
| 8 | Vertimiento Municipio de Circasia | VCAJ1 | D | VERTIMIENTO COMPUESTO | 1 | 75°38'45.35"O | 4°37'25.60"N |
| 9 | Quebrada Portachuelo aguas arriba desembocadura en río Roble | PORT3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°40'30.32"O | 4°37'39.36"N |
| 10 | Río Robles abajo desembocadura Q. Portachuelo | ROB3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°40'35.10"O | 4°37'33.07"N |
| 11 | Río Robles abajo de quebrada Portachuelo | ROB3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 2 | 75°40'35.10"O | 4°37'33.07"N |
| 12 | Río Roble Arriba de quebrada La Soledad | ROB4 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 2 | 75°42'48.76"O | 4°35'48.42"N |
| 13 | Quebrada La Soledad desembocadura en Río Roble | SOL1 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 2 | 75°42'48.31"O | 4°35'40.56"N |
| 14 | 1 vertimiento principal (Montenegro) | VROB1 | D | VERTIMIENTO COMPUESTO | 2 | 75° 45' 8.6"O | 4° 34' 8.9"N |
| 15 | Río Roble abajo Descargas casco urbano Montenegro | ROB5 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 2 | 75°46'56.87"O | 4°33'45.24"N |
| 16 | Quebrada La Carmelita arriba confluencia Río Roble | AF-CAR1 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 2 | 75° 48' 7.65"O | 4° 34' 14.1"N |
| 17 | Río Roble Estación LM La Española | ROB6 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 2 | 75°51'0.53"O | 4°34'35.51"N |
| 18 | Quebrada Portachuelo Arriba de Quebrada Chorro de Madres | PORT1 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 3 | 75°38'33.23"O | 4°40'10.51"N |
| 19 | Quebrada Chorro de Madres Desembocadura en Quebrada Portachuelo | MAD1 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°38'46.18"O | 4°40'4.01"N |
| 20 | Quebrada innominada Afluente de Portachuelo | AF-PORT | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°39'18.40"O | 4°39'28.56"N |
| 21 | Quebrada Portachuelos Aguas Arriba Quebrada las Cruces | PORT2 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°39'27.71"O | 4°39'10.86"N |
| 22 | Quebrada Cruces desembocadura en Quebrada Portachuelo | CRU1 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°39'27.92"O | 4°39'8.77"N |
| 23 | Quebrada Portachuelo aguas arriba desembocadura en Río Roble | PORT3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 3 | 75°40'30.32"O | 4°37'39.36"N |

Tabla 189. Red recomendada de estaciones de medición de la calidad del agua en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

| No. | Puntos Monitoreo PORH | Código Punto | Tipo Monitoreo | TIPO - VARIABLES | DÍA DE MONITOREO | LONGITUD | LATITUD |
|-----|--|--------------|----------------|------------------------------|------------------|---------------|--------------|
| 1 | Río Roble Arriba de Quebrada Arenosa | ROB1 | C | SUPERFICIAL CAUDAL +IN SITU | 1 | 75°38'2.39"O | 4°37'55.97"N |
| 2 | Quebrada Cajones Abajo de Captación de Circasia | CAJ2 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°37'26.53"O | 4°37'34.35"N |
| 3 | Río Roble Aguas Arriba de Quebrada Cajones | ROB2 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°38'46.72"O | 4°37'29.47"N |
| 4 | Quebrada Cajones Arriba de la desembocadura en río Roble (arriba de vertimiento) | QCAJ3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°38'46.12"O | 4°37'23.31"N |
| 5 | Vertimiento Municipio de Circasia | VCAJ1 | D | VERTIMIENTO COMPUESTO | 1 | 75°38'45.35"O | 4°37'25.60"N |
| 6 | Quebrada Portachuelo aguas arriba desembocadura en río Roble | PORT3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°40'30.32"O | 4°37'39.36"N |
| 7 | Río Roble abajo desembocadura Q. Portachuelo | ROB3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 1 | 75°40'35.10"O | 4°37'33.07"N |
| 8 | Río Roble abajo de quebrada Portachuelo | ROB3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 2 | 75°40'35.10"O | 4°37'33.07"N |
| 9 | Río Roble Arriba de quebrada La Soledad | ROB4 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 2 | 75°42'48.76"O | 4°35'48.42"N |
| 10 | Quebrada La Soledad arriba de confluencia con Río Roble | SOL1 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 2 | 75°42'48.31"O | 4°35'40.56"N |
| 11 | 1 vertimiento principal (Montenegro) | VROB1 | D | VERTIMIENTO COMPUESTO | 2 | 75° 45' 8.6"O | 4° 34' 8.9"N |
| 12 | Río Roble abajo Descargas casco urbano Montenegro | ROB5 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 2 | 75°46'56.87"O | 4°33'45.24"N |
| 13 | Río Roble Estación LM La Española | ROB6 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 2 | 75°51'0.53"O | 4°34'35.51"N |
| 14 | Quebrada Portachuelo Arriba de Quebrada Chorro de Madres | PORT1 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 3 | 75°38'33.23"O | 4°40'10.51"N |
| 15 | Quebrada Chorro de Madres Desembocadura en Quebrada Portachuelo | MAD1 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°38'46.18"O | 4°40'4.01"N |
| 16 | Quebrada innominada Afluente de Portachuelo | AF-PORT | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°39'18.40"O | 4°39'28.56"N |
| 17 | Quebrada Portachuelos Aguas Arriba Quebrada las Cruces | PORT2 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°39'27.71"O | 4°39'10.86"N |
| 18 | Quebrada Cruces desembocadura en Quebrada Portachuelo | CRU1 | B | SUPERFICIAL PUNTUAL BÁSICO | 3 | 75°39'27.92"O | 4°39'8.77"N |
| 19 | Quebrada Portachuelo aguas arriba desembocadura en Río Roble | PORT3 | A | SUPERFICIAL PUNTUAL COMPLETO | 3 | 75°40'30.32"O | 4°37'39.36"N |

Tabla 190. Red mínima de estaciones de medición de la calidad del agua en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones.

| No. | Parámetros | Unidades | GUÍA PORH | | Tipo de Muestreo | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | | | | PUNTUAL A | PUNTUAL B | PUNTUAL C | COMPUESTO D | PUNTUAL E |
| | | | Vertimientos | Cuerpos Lóticos | Superficial Completo | Superficial Básico | Superficial Q + In situ | Vertimientos Completo | Vertimientos Q+ In situ |
| In Situ | | | | | | | | | |
| 0 | Caudal | L/s | | | | | | | |
| 1 | pH | Unidad | | | | | | | |
| 2 | Conductividad eléctrica | uS/cm | | | | | | | |
| 3 | Oxígeno disuelto | mg/L O ₂ | | | | | | | |
| 4 | Temperatura del agua | °C | | | | | | | |
| Fisicoquímicos Básicos | | | | | | | | | |
| 5 | Alcalinidad | mg/L CaCO ₃ | | | | | | | |
| 6 | Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | | | | | | | |
| 7 | DBO ₅ Total | mg/L O ₂ | | | | | | | |
| 8 | DBO ₅ Filtrada | mg/L O ₂ | | | | | | | |
| 9 | DBO ₅ Soluble | mg/L O ₂ | | | | | | | |
| 10 | DQO Total | mg/L O ₂ | | | | | | | |
| | DQO Soluble | | | | | | | | |
| 11 | DBO última | mg/L O ₂ | | | | | | | |
| 12 | Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | | | | | | | |
| 13 | Sólidos suspendidos Volátiles | mg/L | | | | | | | |
| 14 | Sólidos sedimentables | mL/L | | | | | | | |
| 15 | Sólidos disueltos totales | mg/L | | | | | | | |
| 16 | Turbiedad | UNT | | | | | | | |
| 17 | Nitrógeno Total | mg/L N | | | | | | | |
| | NTK | mg/L N | | | | | | | |
| 18 | Nitrógeno amoniacal | mg/L N-NH ₃ | | | | | | | |
| 19 | Nitritos | mg/L N-NO ₂ | | | | | | | |
| 20 | Nitratos | mg/L N-NO ₃ | | | | | | | |
| 21 | Fósforo total | mg/L P | | | | | | | |
| 22 | Ortofosfatos | mg/L P-PO ₄ | | | | | | | |
| 23 | Fosfatos | mg/L | | | | | | | |
| 24 | Grasas y aceites | mg/L | | | | | | | |
| 25 | Tensoactivos aniónicos (SAAM) | mg/L | | | | | | | |
| 26 | Fenoles | mg/L | | | | | | | |
| 27 | Hidrocarburos totales del petróleo | mg/L | | | | | | | |
| 28 | Compuestos organoclorados | mg/L | | | | | | | |
| 29 | Compuestos organofosforados | mg/L | | | | | | | |
| 30 | Sílice | mg/L SiO ₂ | | | | | | | |
| Metales y metaloides | | | | | | | | | |
| 31 | Arsénico (As) | mg/L | | | | | | | |
| 32 | Bario (Ba) | mg/L | | | | | | | |
| 33 | Cadmio (Cd) | mg/L | | | | | | | |
| 34 | Cinc (Zn) | mg/L | | | | | | | |
| 35 | Cobre (Cu) | mg/L | | | | | | | |
| 36 | Cromo Total (Cr) | mg/L | | | | | | | |
| 37 | Hierro (Fe) | mg/L | | | | | | | |
| 38 | Manganeso (Mn) | mg/L | | | | | | | |
| 39 | Mercurio (Hg) | mg/L | | | | | | | |
| 40 | Níquel (Ni) | mg/L | | | | | | | |
| 41 | Plomo (Pb) | mg/L | | | | | | | |
| 42 | Selenio (Se) | mg/L | | | | | | | |
| 43 | Vanadio (Va) | mg/L | | | | | | | |
| Iones | | | | | | | | | |
| 44 | Cianuros | mg/L CN ⁻ | | | | | | | |
| 45 | Cloruros | mg/L Cl ⁻ | | | | | | | |
| 46 | Sulfatos | mg/L SO ₄ ²⁻ | | | | | | | |
| 47 | Calcio | mg/L | | | | | | | |

| No. | Parámetros | Unidades | Tipo de Muestreo | | | | | | | |
|------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--|
| | | | GUÍA PORH | | A | B | C | D | E | |
| | | | Vertimientos | Cuerpos Lóticos | Superficial Completo | Superficial Básico | Superficial Q + In situ | Vertimientos Completo | Vertimientos Q+ Insitu | |
| 48 | Magnesio | mg/L | | | | | | | | |
| 49 | Sodio | mg/L | | | | | | | | |
| Microbiológicos | | | | | | | | | | |
| 50 | Coliformes termotolerantes | NMP/100 mL | | | | | | | | |
| 51 | Coliformes totales | NMP/100 mL | | | | | | | | |
| 52 | Coliformes fecales | NMP/100 mL | | | | | | | | |
| 53 | <i>E. Coli</i> | NMP/100 mL | | | | | | | | |
| Hidrobiológicos | | | | | | | | | | |
| 54 | Perifiton | Peso Seco/unidad de área | | | | | | | | |
| 56 | Clorofila-a* | mg/L Chl-a o mg/unidad de área | | | | | | | | |

Tabla 191. Determinantes a medir por estación y tipo de muestreo

A continuación, se presenta la ficha del proyecto de seguimiento y monitoreo a la calidad del recurso hídrico

3.3.2.1. Proyecto P102: Red de monitoreo de calidad del recurso hídrico superficial

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|--|--|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Monitoreo y Seguimiento a la calidad del Recurso Hídrico | P102 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| Es necesario contar con una Red de Monitoreo que permita realizar el monitoreo del estado de las fuentes hídricas, así como el seguimiento al cumplimiento de los programas de calidad del agua establecidos en el PORH, así como poder determinar el cumplimiento de los objetivos de calidad en cada uno de los tramos del río Roble Ordenados. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Todos los tramos | Implementar una red de monitoreo del recurso hídrico superficial en los tramos priorizados del río Roble, mediante la revisión y ajuste los puntos de muestreo, y la toma periódica de muestras. | Red de monitoreo de Variables hidrometeorológicas, Calidad Físico-Química y Calidad Hidrobiológica del agua. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | # Puntos monitoreados / # puntos definidos en la Red Informes de caracterización de los puntos de la red de monitoreo e interpretación de resultados | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| Actividades que se deben realizar para el cumplimiento del proyecto: | | |

- El avance en el cumplimiento de los objetivos de calidad deberá evaluarse mediante el monitoreo de parámetros fisicoquímicos en los puntos ubicados en la frontera de salida de cada subtramo en ordenamiento, y como medida complementaria en los principales vertimientos industriales y aportes de las unidades hidrográficas drenantes.
- Realizar como mínimo una campaña de monitoreo en época seca por año, considerando los siguientes parámetros de calidad: Temperatura del agua, pH, OD, Conductividad, DBO5, DQO, SST, Amonio, Nitratos, Alcalinidad total, Dureza total, Dureza Cálcica, Grasas y Aceites, Fenoles, Cloruros, Sulfuros, Cromo, Cianuros, Mercurio, Plomo, Cobre, Cadmio, Bario, Selenio, Hierro total, Manganeseo, Zinc.
- En cada punto de monitoreo se deberá realizarse el respectivo aforo de caudal por métodos de trazadores o el método área-velocidad considerando un suficiente número de verticales para minimizar el error de muestreo.
- El monitoreo Hidrobiológico se deberá realizar mensualmente en los puntos de monitoreo hidrobiológico definidos en el PORH, incluyendo la caracterización ecológica de peces, macroinvertebrados y perifiton.
- En el muestreo hidrobiológico es necesario que en cada muestreo se realice la medición del caudal que transporta el transecto de muestreo, y la toma como mínimo de los siguientes parámetros fisicoquímicos de calidad del agua: OD, Conductividad, SST, pH, Temperatura del agua.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos de las mediciones.
- Ingresar la información obtenida a las bases de datos de calidad del agua.

RECURSOS

Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ.

RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN

CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío

3.3.3. Seguimiento y monitoreo de aguas subterráneas

Los tramos 1, 3, 5, 6 y 7 presentan índices de uso del agua altos debido a varias captaciones para abastecimiento humano en Circasia y Montenegro, así como demandas agrícolas y pecuarias. Esto ha configurado una alta presión por el uso del agua en las condiciones hidrológicas actuales, y se proyecta que persistan hacia los horizontes 2025 y 2029. Por lo que es necesario propender en un futuro cercano por una utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas, lo cual implica mejorar el conocimiento y monitoreo de los recursos hídricos subterráneos mediante el proyecto "Monitoreo piezométrico y de calidad del agua subterránea", en la zona de influencia del abanico del Quindío en la unidad hidrográfica del río Roble.

3.3.3.1. Proyecto P103: Red de monitoreo piezométrica y calidad del agua subterránea

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|--|-----------|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Proyecto Monitoreo piezométrico y calidad del agua subterránea | P103 |

JUSTIFICACIÓN

Durante la elaboración del diagnóstico del PORH se evidenció la necesidad establecer mecanismos para la gestión conjunta de las aguas superficiales y las subterráneas. Por esta razón, se requiere continuar con el programa de monitoreo de acuíferos que viene adelantando la entidad, en la que se debe incluir la medición de niveles piezométricos y medición de variables de calidad del agua en los pozos existentes, lo que permitirá conocer las condiciones actuales del agua subterránea y así poder establecer su relación con las aguas superficiales y el uso y manejo para el cual puede ser destinado en un futuro.

| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
|--|---|---|
| Acuíferos asociados al sistema hidrológico de la unidad hidrográfica del río Roble. | Desarrollar acciones de monitoreo en red piezométrica en la unidad hidrográfica del río Roble. | Diseño y puesta en marcha de la Red de monitoreo piezométrica |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | # Puntos monitoreados / # puntos definidos en la Red Informes de caracterización de los puntos de la red de monitoreo e interpretación de resultados | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| Actividades que se deben realizar para el cumplimiento del proyecto: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Análisis geoespacial para la ubicación preliminar de los pozos existentes en la unidad hidrográfica del río Roble. • Priorización de acuíferos y estudios para el diseño de una red de monitoreo piezométrica. El diseño de la red de piezómetros deberá incluir como criterios de priorización: <ul style="list-style-type: none"> ○ Capacidad para caracterizar el flujo en áreas de marcada interacción entre agua superficial y subterránea ○ Identificación de medios hidrogeológicos con alta capacidad de aprovechamiento del agua subterránea ○ Identificación de zonas de recarga • Comprobación en campo y ubicación definitiva de los pozos existentes a ser monitoreados en la Red piezométrica. • Instalación de sensores piezométricos o mediciones puntuales. • Puesta en marcha de la red y captura de datos en forma remota o analógica. • Monitoreo de la calidad fisicoquímica del agua subterránea en los puntos de muestreo piezométrico: El monitoreo de las fluctuaciones naturales y artificiales (inducidas por acción antrópica) de las alturas piezométricas de los acuíferos asociados al sistema hidrológico de la unidad hidrográfica del río Roble deberá realizarse de manera continua en sitios que se identifiquen como representativos de cada unidad hidrogeológica. Es recomendable utilizar sensores de presión con capacidad de almacenamiento de datos, para un monitoreo continuo de los niveles piezométricos a escala temporal diaria. La calidad del agua en cada pozo de observación deberá ser muestreada anualmente o con una frecuencia justificada con base en el tiempo de residencia del agua en el medio poroso en cuestión. Además de los parámetros fisicoquímicos básicos, deben analizarse concentraciones de metales, benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos (BTEX), hidrocarburos poliaromáticos (PAH), y pesticidas. | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ y entidades cooperantes | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.3.4. Seguimiento y monitoreo hidrobiológico

Los resultados del monitoreo hidrobiológico del año 2019 revelaron que la composición taxonómica de géneros de las especies es parcialmente diferente entre las estaciones del río y los tributarios, lo cual implica que se trata de ecosistemas diferentes, los organismos que allí habitan están condicionados por los recursos que oferta cada uno de ellos y las tensiones ocasionadas por

factores antrópicos o naturales. La ecología trófica de las especies los peces podrían ser empleados como especies indicadoras de la calidad del ecosistema en los tramos evaluados, ya que las especies con hábitos alimenticios especialistas podrían relacionarse a un ecosistema conservado, caso contrario con las especies de hábitos generalistas.

La evaluación del Perifiton logró indicar que la alta densidad de géneros resistentes a la contaminación y de amplia amplitud ecológica encontrada en todas las estaciones evaluadas, clasificaron las estaciones evaluadas con niveles de contaminación orgánica altos y muy altos para las comunidades perifíticas. Por lo que se recomienda continuar con los monitoreos sobre este cuerpo de agua y adicionalmente efectuar el análisis químico, que permita establecer con mayor precisión límites tolerables de condiciones del hábitat físico de las especies.

Es recomendable continuar el monitoreo en las estaciones definidas en el monitoreo hidrobiológico del PORH para evaluar y contrastar el efecto que tendrán las acciones de saneamiento y el mejoramiento de las condiciones fisicoquímicas de la calidad del agua en los indicadores ecológicos de las comunidades acuáticas. Lo anterior en consideración de que los índices ecológicos son herramientas que permiten determinar el estado de los ecosistemas, aquellos lugares con valores altos de los índices de diversidad se pueden considerar como conservados o en buen estado (Magurran,1998), ya que estos albergan un gran número de especies y esto solo es posible si el cuerpo de agua presenta una adecuada cantidad de nutrientes, hábitats heterogéneos y buenas condiciones físicas y químicas.

3.3.5. Diseño e implementación de un sistema de parcelas permanentes de monitoreo de vegetación

Varias investigaciones han demostrado la importancia de la cobertura vegetal en la regulación y alteración del régimen hidrológico, a su vez el clima interactúa de forma dinámica con el estado y funcionamiento de los ecosistemas forestales naturales, por una parte, el clima condiciona la distribución y composición del bosque, y por otro las masas boscosas inciden en el balance regional de humedad atmosférica. Como se presentó en la fase de Diagnóstico, existe una tendencia al incremento de la temperatura mínima en las estaciones meteorológicas con influencia en el área de estudio durante la mayoría de los meses del año, por lo que es muy probable que se esté convirtiendo en un factor de estrés para los ecosistemas forestales naturales que aún se conservan en la unidad hidrográfica del río Roble. Como factor adicional, se identificaron tendencias positivas en la precipitación durante algunos meses, y dada la regular capacidad de la cuenca para retener y regular los caudales según los IRH obtenidos, podrían generarse alteraciones en el régimen hidrológico en el mediano y largo plazo.

Con base en lo anterior, se hace necesario conocer con un mayor nivel de detalle las relaciones entre las variaciones del clima con el bosque natural y su incidencia en los servicios hidrológicos de la unidad hidrográfica del río Roble. Por ello se requiere establecer un sistema de monitoreo de la fenología de las especies forestales nativas, los cambios en la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas boscosos naturales y sus servicios hidrológicos.

3.4. PROGRAMAS, PROYECTOS Y ACTIVIDADES PARA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO

El componente programático responde a la definición de los programas y proyectos planteados para el PORH en perspectiva de propender por un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico y brindar soluciones a las problemáticas identificadas en las fases de diagnóstico y formulación de usos potenciales del agua en los tramos objeto de ordenamiento. En consecuencia, se definieron los siguientes programas y proyectos para ser ejecutados en un horizonte de diez años.

A continuación, se presenta un resumen de los proyectos propuestos dentro del PORH del río Roble. Posteriormente se presenta una descripción detallada de cada uno de los proyectos propuestos.

3.4.1. Programas y proyectos propuestos para el PORH del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones

| Programa | Proyecto | Objetivo |
|---|--|---|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Proyecto Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios de Filandia, Circasia, y Montenegro. | Reducir las cargas contaminantes que son vertidas a los cuerpos de agua superficial en el río Roble por los municipios de Filandia, Circasia, y Montenegro. |
| | Reglamentación de Usos del agua y Vertimientos | Formalizar los vertimientos generados en el río Roble, mediante la reglamentación de vertimientos. |
| | Evaluación del impacto de vertimientos pecuarios al suelo sobre las condiciones de calidad del agua subsuperficial | Cuantificar la capacidad de transporte y asimilación de cargas contaminantes aportadas por vertimientos al suelo |
| | Construcción, recuperación y/o mantenimiento de pozos sépticos en áreas rurales | Mejorar la calidad del agua del río Roble, mediante la construcción, recuperación y/o mantenimiento de sistemas de pozos sépticos en las viviendas rurales que descargan sus aguas residuales directamente al río. |
| | Proyecto de Manejo Integrado de Residuos Sólidos | Promover hábitos adecuados y actitudes positivas respecto a los residuos sólidos que se generan en la finca, permitiendo la correcta separación de los residuos sólidos y la reutilización de los residuos inorgánicos. |
| | Evaluación del impacto de vertimientos pecuarios al suelo sobre las condiciones de calidad del agua subsuperficial | Determinar la dinámica de degradación y transporte de cargas contaminantes pecuarias vertidas al suelo y las condiciones hidráulicas y de calidad fisicoquímica y microbiológica de los flujos subsuperficial y de percolación. |

| Programa | Proyecto | Objetivo |
|--|--|---|
| Gestión de la demanda en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones | Mejoramiento de acueductos veredales en la unidad hidrográfica del río Roble | Mejoramiento de acueductos veredales en la unidad hidrográfica del río Roble |
| Gestión de la oferta en el río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones | Recuperación, protección y conservación de nacimientos de agua y zonas de ribera | Implementar estrategias para recuperación, protección y conservación de nacimientos de agua y zonas de ribera en la unidad hidrográfica del río Roble. |
| | Pago por servicios ambientales para la conservación del agua en la unidad hidrográfica del río Roble. | Implementar un pago por servicios ambientales en las zonas estratégicas para la conservación del recurso hídrico en la unidad hidrográfica del río Roble. |
| Sistemas Productivos Sostenibles | Implementación de buenas prácticas agropecuarias (BPA) en los sistemas productivos de la unidad hidrográfica del río Roble | Implementar buenas prácticas agropecuarias para la disminución de la contaminación, en la ganadería de leche y el cultivo del café. |
| Cultura ambiental regional | Seguimiento a programa de ahorro y uso eficiente del agua - PUEA en el sector turístico | Diseñar y puesta en marcha de un programa de ahorro y uso eficiente del agua para el sector turístico orientado a la sostenibilidad del recurso hídrico. |

3.4.1.1. Proyecto P104: Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios de Filandia, Circasia, Montenegro y Quimbaya

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|--|---|---|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Proyecto Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro | P104 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| <p>En términos generales, las condiciones de calidad del recurso hídrico superficial en algunos de los tramos priorizados del río Roble son inapropiadas, por lo que es necesario la construcción y puesta en marcha de plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que permitirá poder dar cumplimiento a los objetivos de calidad del agua, de igual manera, garantizar la disponibilidad del recurso en las condiciones de calidad y cantidad que permitan los usos potenciales del mismo en la unidad hidrográfica.</p> | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Municipios Filandia, Circasia y Montenegro | Reducir las cargas contaminantes que son vertidas a los cuerpos de agua superficial en el río Roble por los municipios de Filandia, Circasia y Montenegro | Tratar el 100% de la carga contaminante generada en Filandia, Circasia y Montenegro |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | | Número de plantas de tratamiento de aguas residuales construidas /número de plantas a construir |

| |
|--|
| Caudal tratado / caudal generado |
| ACTIVIDADES A REALIZAR |
| <ul style="list-style-type: none"> Diseño, construcción y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de los municipios presentes en la unidad hidrográfica que descargan sus aguas residuales a los tramos priorizados por el PORH. |
| RECURSOS |
| El costo depende del sistema de tratamiento a implementar. Recursos propios de los municipios que descargan sus aguas residuales a los tramos priorizados en el PORH. Recursos aportados por la Corporación Autónoma Regional del Quindío, recursos del Plan Departamental para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento del Quindío, recursos del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN |
| Municipios Filandia, Circasia, Montenegro, Empresas Prestadoras de Servicios Públicos |

3.4.1.2. *Proyecto P105: Reglamentación de Usos y Vertimientos*

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|---|---|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Reglamentación de vertimientos | P105 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| La ilegalidad de vertimientos de aguas residuales sobre el río Roble, obstaculiza el seguimiento efectivo de las cargas vertidas, afectando los programas encaminados a su recuperación y el poder garantizar los usos actuales y potenciales del mismo y el cumplimiento de los objetivos de calidad. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Unidad hidrográfica del río Roble | Formalizar los vertimientos generados en el río Roble, mediante la reglamentación de vertimientos | Reglamentar de oficio el 100% de los vertimientos identificados en los tramos de uso identificados en el río Roble. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | # Tramos de uso del río Roble reglamentados / # total de tramos de uso por reglamentar | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Expedición y publicación de la respectiva Resolución que ordena la reglamentación de vertimientos en tramos de uso del río Roble. Visitas técnicas para revisión y actualización de la información del PORH, revisión y actualización de la georreferenciación de los vertimientos, inventario y descripción de las obras hidráulicas. Caracterización de vertimientos de ARD y ARnD Elaboración del proyecto de reglamentación de vertimientos Expedición de la Resolución de reglamentación y publicación | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.4.1.3. *Proyecto P106 Evaluación del impacto de vertimientos pecuarios al suelo sobre las condiciones de calidad del agua subsuperficial*

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|---|---|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Evaluación del impacto de vertimientos pecuarios al suelo sobre las condiciones de calidad del agua subsuperficial. | P106 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| <p>La Unidad Hidrográfica del río Roble cuenta con un elevado número de permisos de vertimiento al suelo, dadas las condiciones de capacidad de infiltración de sus suelos, y la perspectiva estratégica que tienen los recursos hídricos subterráneos para posibles abastecimientos futuros de destinación del agua al uso para consumo humano, es necesario evaluar el nivel de degradación real que tendrán estas sustancias vertidas sobre los flujos subsuperficiales. Además, las condiciones de la información de línea base del agua subterránea se ha ido fortaleciendo para contar con una comprensión más acertada de la conectividad hidráulica entre aguas superficiales y subterráneas en la unidad hidrográfica.</p> | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| En predios y/o sitios con suelos con condiciones hidro-químicas representativas de lugares con vertimientos orgánicos al suelo en la unidad hidrográfica del río Roble. | Determinar la dinámica de degradación y transporte de cargas contaminantes pecuarias vertidas al suelo y las condiciones hidráulicas y de calidad fisicoquímica y microbiológica de los flujos subsuperficial y de percolación. | Desarrollar un modelo conceptual y matemático del flujo y transporte de sustancias contaminantes en la zona no saturada del suelo incluyendo el cálculo del flujo subsuperficial y percolación. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN* | <ul style="list-style-type: none"> Modelo conceptual y matemático implementado y en funcionamiento | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| <p>Las actividades para desarrollar son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Elaboración de un diseño experimental en campo y laboratorio de flujo y transporte en la zona no saturada del suelo adaptado a las condiciones de los suelos de la unidad hidrográfica del río Roble. Campañas de medición de flujo y calidad fisicoquímica y microbiológica del flujo y almacenamiento subsuperficial del agua Parametrización e implementación del modelo conceptual y matemático Verificación del funcionamiento del modelo Elaboración de memoria técnica y simulación de escenarios críticos | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la Corporación Autónoma Regional del Quindío y entidades cooperantes. | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.4.1.4. Proyecto P107: Construcción, recuperación y/o mantenimiento de pozos sépticos en áreas rurales

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|---|---|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Construcción, recuperación y/o mantenimiento de pozos sépticos en áreas rurales con el propósito de cumplir con los objetivos de calidad de agua establecidos en los tramos priorizados. | P107 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| De acuerdo con los resultados del monitoreo y evaluación de la calidad del agua en el PORH del río Roble, se evidencia la necesidad de construcción, recuperación y/o mantenimiento de pozos sépticos en áreas rurales para las viviendas que descargan sus aguas residuales directamente al río Roble. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| En los tramos priorizados en el PORH | Mejorar la calidad del agua del río Roble, mediante la construcción, recuperación y/o mantenimiento de sistemas de pozos sépticos en las viviendas rurales que descargan sus aguas residuales directamente al río. | Evitar la descarga directa de las aguas residuales de las viviendas de las zonas rurales en el río Roble. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN* | <ul style="list-style-type: none"> Mejoramiento paulatino de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en los tramos priorizados del río Roble <p>*Este proyecto se encuentra articulado con el proyecto de monitoreo para identificar el impacto en el mejoramiento de la calidad del agua</p> | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| Las actividades para desarrollar son las siguientes: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Diagnóstico del estado del sistema rural de pozos sépticos, lo que permitirá identificar los pozos sépticos existentes que necesitan mantenimiento técnico o realizar ajustes para su correcto funcionamiento. Diseño e instalación de los pozos sépticos nuevos en las viviendas rurales que lo requieran Capacitación a las familias sobre el mantenimiento de los pozos sépticos Seguimiento a los sistemas de pozos sépticos | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la Corporación Autónoma Regional del Quindío. | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.4.1.5. Proyecto P108: Manejo Integrado de Residuos Sólidos

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|--|-----------|
| Caracterización del medio físico y calidad del agua superficial y subterránea | Proyecto de Manejo Integrado de Residuos Sólidos | P108 |
| JUSTIFICACIÓN | | |

En la realización del PORH del río Roble fue evidente la contaminación por la presencia de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos que afectan la calidad del agua del río. Razón por la que es necesario promover en la población rural hábitos para la correcta separación y aprovechamiento de los residuos sólidos. Así como de la creación o fortalecimiento de centros de aprovechamiento de abonos orgánicos y centros de acopio de residuos sólidos inorgánicos.

| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
|---|---|---|
| Todos los tramos | Promover hábitos adecuados y actitudes positivas respecto a los residuos sólidos que se generan en la finca, permitiendo la correcta separación de los residuos sólidos y la reutilización de los residuos inorgánicos. | Implementar procesos biológicos para obtener abonos orgánicos como compostaje y humus. Reutilizar y/o comercialización de productos inorgánicos como PET (envase de gaseosa), plástico vidrio y papel. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN* | <ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de aprovechamiento de residuos orgánicos producidos. • Porcentaje de residuos sólidos inorgánicos reutilizados <p>*Estos indicadores se articulan con el proyecto de monitoreo de calidad del agua, para determinar el impacto en el mejoramiento de la calidad del agua.</p> | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| Las actividades para desarrollar son las siguientes: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico situacional del estado de disposición de los residuos sólidos en la zona rural de los tramos priorizados en el río Roble. • Creación de un centro de aprovechamiento de abonos orgánicos con la respectiva Tecnología para producción de abonos orgánicos, en donde se capacite a la comunidad, líderes, educadores y grupos ecológicos en temas relacionados con la separación, almacenamiento y procesamiento de los residuos sólidos, materiales aprovechables para elaboración de abonos orgánicos, técnicas para realizar compostaje, uso de microorganismos benéficos para la producción de abonos orgánicos, dosis y métodos de aplicación, entre otros. • Creación y/o mejoramiento de los centros de acopio de residuos sólidos inorgánicos existentes. • Visitas domiciliarias para promover el centro de aprovechamiento de abonos orgánicos y centros de acopio de residuos sólidos inorgánicos. • Estrategia comunicacional que contemple: programas y cuñas radiales para promover los centros centro de aprovechamiento de abonos orgánicos y centros de acopio de residuos sólidos inorgánicos. | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.4.1.6. Proyecto P201: Mejoramiento de acueductos veredales en la unidad hidrográfica del río Roble

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|-----------------------|--|-----------|
| Gestión de la Demanda | Mejoramiento de acueductos veredales en la unidad hidrográfica del río Roble | P201 |

| JUSTIFICACIÓN | | |
|---|--|--|
| De acuerdo con el diagnóstico se comprobó la necesidad de hacer un proyecto de mejoramiento de los acueductos veredales, ya que algunos de los acueductos no cumplen con la calidad y la cantidad del suministro de agua, otros no cuentan con una estructura apropiada para su captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución. Situación que genera conflictos en el control y la distribución del recurso hídrico en la unidad hidrográfica del río Roble. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Unidad hidrográfica del río Roble | Mejoramiento de acueductos veredales en la unidad hidrográfica del río Roble | Mejorar la gestión de los acueductos veredales, mediante la legalización y el apoyo financiero para soluciones de mejoramiento y protección de los acueductos. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | # Acueductos mejorados / # Acueductos definidos para mejoramiento | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| Las actividades para realizar en el proyecto son: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico técnico de captaciones y sistema de abastecimiento • Fortalecimiento de las capacidades técnicas y administrativas del personal a cargo de los acueductos veredales. • Diseño de soluciones para el mejoramiento y protección de los acueductos • Talleres con los usuarios de los acueductos veredales en torno a la protección y conservación del recurso hídrico. • Ejecución de las soluciones de mejoramiento y protección de los acueductos | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ y los municipios | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.4.1.7. *Proyecto 301: Recuperación, protección y conservación de nacimientos de agua y zonas de ribera*

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|--|--|------------------|
| Gestión de la oferta | Recuperación, protección y conservación de nacimientos de agua y zonas de ribera | P301 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| En el diagnóstico del PORH se evidenció el deterioro de las zonas de ribera y de nacimientos de agua por el avance de la ganadería y la agricultura. Dicha situación ha venido afectando de manera directa las fuentes hídricas, dado que se han establecido sistemas productivos en zonas de recarga hídrica, afloramientos de agua y zona ribereña. Razón por la cual, es necesario adelantar un proyecto encaminado a la recuperación de estas zonas claves para garantizar el suministro de agua a la población. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |

| | | |
|---|--|---|
| Unidad hidrográfica del río Roble | Implementar estrategias para recuperación, protección y conservación de nacimientos de agua y zonas de ribera en la unidad hidrográfica del río Roble. | Recuperación, protección y conservación de nacimientos de agua y zonas de ribera. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | Número de hectáreas con mosaicos de conservación Número de predios cercados para protección de nacimientos y bosque de ribera | |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | | |
| Las actividades para realizar en el proyecto son las siguientes: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Acercamiento con la comunidad para socializar y retroalimentar la estrategia de mosaicos de conservación para la recuperación de los bosques de ribera y los nacimientos de agua. • Diseño de Estrategia para la apropiación social de la alternativa de conservación. • Definición técnica de las franjas de protección ambiental y mapeo. • Establecimiento de criterios para la selección de los predios a intervenir. • Concertación y estructuración de un plan de trabajo conjunto con los propietarios de los predios. • Levantamiento de los predios y georreferenciación. • Diseño y Establecimiento de mosaicos de conservación • Realizar cerramientos de protección a lo largo del corredor ribereño y alrededor de los nacimientos de agua y bosque ribereño. | | |
| RECURSOS | | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ | | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | | |

3.4.1.8. *Proyecto P302: Pago por servicios ambientales para la conservación del agua en la unidad hidrográfica del río Roble*

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|--|---|---|
| Gestión de la oferta en el río Roble | Pago por servicios ambientales para la conservación del agua en la unidad hidrográfica del río Roble | P302 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| En el diagnóstico realizado se evidenció que para garantizar la calidad y cantidad del recurso hídrico para las generaciones presentes y futuras es prioridad la conservación y restauración de los ecosistemas relacionados con el agua en la unidad hidrográfica del río Roble, los cuales constituyen un factor clave para generar servicios ecosistémicos y de igual manera para el desarrollo económico de la cuenca. En así que los Pagos por Servicios Ambientales son una alternativa viable para hacer frente a la problemática identificada. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Unidad hidrográfica del río Roble | Implementar un pago por servicios ambientales en las zonas estratégicas para la conservación del recurso hídrico en la unidad hidrográfica del río Roble. | Promover la conservación y restauración de los ecosistemas estratégicos para el recurso hídrico a través de mecanismos de estímulo económico. |

| | |
|---|---|
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | Número de hectáreas conservadas Número de familias beneficiadas % de aumento de la oferta hídrica |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | |
| Las actividades para realizar en el proyecto son: <ul style="list-style-type: none"> Definir el servicio ambiental a proteger y el enfoque metodológico de cuantificación o calificación. Identificación de los predios a conservar, a través de encuestas a actores claves y realizar un censo a las familias de los predios. Selección y definición de la metodología de valoración ambiental a ser utilizada, así como la cuantificación de los servicios y beneficios que presta el recurso. Realizar la identificación de los posibles compradores del servicio ambiental, lo cual involucra precisar el rol de cada actor participante, bajo los principios de legitimidad y las alianzas que son fundamentales para llevar a cabo el esquema. Estimación del valor incentivo-pago, es decir, establecer el marco jurídico para el cobro. Firma de acuerdos para el cumplimiento del esquema por parte de compradores y vendedores. Puesta en marcha el esquema de pago por servicios ambientales para la conservación del agua en la unidad hidrográfica del río Roble. | |
| RECURSOS | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | |

3.4.1.9. *Proyecto P401: Implementación de buenas prácticas agropecuarias en los sistemas productivos de la unidad hidrográfica del río Roble*

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|--|---|--|
| Sistemas Productivos Sostenibles | Implementación de buenas prácticas agropecuarias en los sistemas productivos de la unidad hidrográfica del río Roble | P401 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| La producción agropecuaria genera presión sobre el recurso hídrico en la unidad hidrográfica del río Roble, dada las prácticas agrícolas utilizadas. Por lo anterior, es necesario adelantar un proyecto encaminado a la implementación de buenas prácticas agropecuarias en los sistemas productivos presentes en el río Roble, lo que permitirá mejorar su productividad, darle valor agregado y disminuir la contaminación de las fuentes hídricas. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Unidad hidrográfica del río Roble | Implementar buenas prácticas agropecuarias para la disminución de la contaminación, en la ganadería de leche y el cultivo del café. | Disminución de la contaminación en la unidad hidrográfica del río Roble a través de la implementación de sistemas de producción agropecuaria en armonía con el ambiente. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | Número de productores formados en buenas prácticas agropecuarias | |

| | |
|--|--|
| | Número de predios productivos con Implementación de buenas prácticas agropecuarias |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | |
| Las actividades para realizar en el proyecto son: | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación del esquema de capacitaciones sobre buenas prácticas agropecuarias para evitar o reducir daños ambientales, así como procurar la adecuada productividad de las actividades agropecuarias y obtener productos inocuos para las personas que los consumen. • Realización de capacitaciones en caracterización agroecológica, tomas de muestras de suelo, manejo de cultivos, uso y manejo adecuado de agroquímicos sintéticos y abonos orgánicos. • Capacitación en sistemas de producción orgánica (ganadería y café), uso, manejo y conservación del suelo y del agua, manejo integrado y control de plagas, cosecha, transporte, acopio, procesamiento y empaque. • Capacitación en elaboración e implementación de abonos orgánicos, sistemas silvopastoriles, buenas prácticas para el manejo de granjas pecuarias, uso y manejo adecuado de productos veterinarios y alimentos para animales. • Implementación de modelos de BPA en predios seleccionados. | |
| RECURSOS | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | |

3.4.1.10. *Proyecto P501: Seguimiento a Programas de ahorro y uso eficiente del agua - PUEA en el sector turístico*

| PROGRAMA | NOMBRE DEL PROYECTO | No. FICHA |
|---|--|---|
| Cultura ambiental regional | Programa de ahorro y uso eficiente del agua - PUEA en el sector turístico | P501 |
| JUSTIFICACIÓN | | |
| En la unidad hidrográfica del río Roble, por las condiciones ambientales y sociales que se presentan al interior de la cuenca, el turismo ha sido una fuente de ingresos económicos para las poblaciones asentadas. Sin embargo, de acuerdo con el diagnóstico del PORH es necesario el diseño e implementación de un programa de ahorro y uso eficiente del agua en el sector turístico. | | |
| LOCALIZACIÓN | OBJETIVO | META |
| Municipio de Filandia | Diseñar y puesta en marcha de un programa de ahorro y uso eficiente del agua para el sector turístico orientado a la sostenibilidad del recurso hídrico. | Programas de ahorro y uso eficiente del agua en implementación. |
| MEDIO DE VERIFICACIÓN | Número de hoteles, centros turísticos y parcelaciones que se vinculan al programa. | |

| | |
|--|--|
| | Número de dispositivos ahorradores de agua en los lavamanos, lavaplatos, sanitarios, y llaves independientes, instalados en hoteles, centros y parques recreativos y parcelaciones |
| ACTIVIDADES A REALIZAR | |
| <p>Las actividades para realizar en el proyecto son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico del uso del agua en los hoteles, centros y parques recreativos y parcelaciones. • Programa educativo sobre el uso racional y eficiente del agua en hoteles, centros y parques recreativos y parcelaciones. • Realizar capacitación en los siguientes temas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales individuales o comunitarios. ○ Sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, para limpieza de patios sanitarios y regada de jardín. ○ Instalación de dispositivos ahorradores de agua en los lavamanos, lavaplatos, sanitarios, y llaves independientes. • Promover campañas en los hoteles con los turistas el uso racional del agua. • Realizar acompañamiento en la instalación de dispositivos de tratamiento de aguas residuales, sistema de aprovechamiento de aguas lluvias y dispositivos ahorradores de agua. | |
| RECURSOS | |
| Los recursos técnicos y físicos los proporcionará la CRQ | |
| RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN | |
| CRQ - Corporación Autónoma Regional del Quindío | |

4. Referencias

Adler, P. H., Currie, D. C., & Wood, D. M. (2004). *The blackflies (Simuliidae) of North America*. Cornell University Press

Ajiaco-Martínez, R.E., Ramírez-Gil, H., Sánchez-Duarte, P., Lasso, C. A., & Trujillo, F. (2012). IV. Diagnóstico de la pesca ornamental en Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia, 152 pp.

Albornoz-Garzón, J. G., Conde-Saldaña, C., García-Melo, J. E., Taphorn, D. C., & Villa-Navarro, F. A. (2018). A new species of *Creagrutus* (Characidae: Stevardiinae) from the upper Río Magdalena, Colombia. *Zootaxa* 4482 (2): 341–354

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.

Angermeier, P. L., & Karr, J. R. (1983). Fish communities along environmental gradients in a System of Tropical streams. *Environmental Biology of Fishes*, 9(2), 117-135.

Aragón, A., & Ayarith, Y. Actividad metabólica diaria del biofilm en el sector medio de un río de alta montaña (Río Tota, Boyacá-Colombia) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Association, 18th Ed. Academic Press, Washington D.C.

Ayala Plata, D. F., & Camargo Olave, H. A. (2018). Guía Metodológica Para La Resolución De Conflictos Por El Uso De Aguas Subterráneas Y Superficiales A Traves De Herramientas De Caracterización Geológica, En El Caso De Estudio De La Microcuenca La Angula, Municipio Del Lebrija Departamento De Santan. Universidad Industrial de Santander, Escuela De Geología.

Bagenal, T. B. F. T. (1978). Methods for assessment of fish production in fresh waters- Age and growth. 101-136 p.

Belhouari, B. Evaluation of the organic pollution impact on freshwater diatoms in the northern Algerian river "Allala". *Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal*, 1(2), 07-12.

Braak, C. J., Ter, F., & Smilauer, P. (2009). *Canoco*. Wage ningen, The Netherlands: Biometris Plant Research International.

Brower, J; Zar, J; Von, E. (1997). *Field and laboratory methods for general ecology*. WCB/McGraw-Hill. Boston, E.E.U.U. 273 p.

Buckup, P.A. (2005). *Introdução a sistemática de peixes neotropicales*. Universidad e Federal do Rio de Janeiro. P 189.

Bussing, W. A., & López, M. I. (1977). Distribución y aspectos ecológicos de los peces de las cuencas hidrográficas de Arenal, Bebedero y Tempisque, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 25(1), 13-37.

Bustamante, C. A., Davila, C. A., Torres, S. L. & Ortiz, J. F. (2008). Composición y abundancia de la comunidad de fitoperifiton en el río Quindío. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 18, 15-21.

Bustamante, C. A., Torres, S. L. & Zapata, L. M. (2009). Composición y estructura numérica de la comunidad de microalgas perifíticas del río Quindío departamento del Quindío, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 21: 45-62.

Bicudo C. De M. & M. Menezes. (2006). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 2da Edição. RiMa (ed). São Carlos, Brasil.

Casatti, L., Teresa, F. B., Gonçalves-Souza, T., Bessa, E., Manzotti, A. R., Gonçalves, C. D. S., & Zeni, J. D. O. (2012). From forests to cattail: how does the riparian zone influence stream fish?. *Neotropical Ichthyology*, 10(1), 205-214.

Castro-Roa, D. (2006). Composición y estructura de la comunidad de Characiformes en la cuenca del río Prado (Tolima-Colombia). Trabajo de grado Programa de Biología. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad del Tolima. Ibagué.

CARDER, C., CVC, UAESPNN, MAVDET, IDEAM, GTZ. (2008). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja. Retrieved from <https://www.crq.gov.co/images/POMCA/PLAN-ORDENACION-Y-MANEJO-RIO-LA-VIEJA.pdf>.

CRQ. (2011). Plan De Manejo Subcuenca Río Roble. Retrieved from <https://www.crq.gov.co/images/POMCA/PLAN-DE-MANEJO-RIO-ROBLE-2011-DIC-FINAL.pdf>.

CRQ. (2015). Modelación de la calidad del agua río Roble Municipios de Circasia y Montenegro, Departamento del Quindío. Retrieved from <https://www.crq.gov.co/images/Info-Ciudadano/Descarga%20documentos/modelaciondelacalidaddelaguarioroblemunicipioscircasiamontenegroquindio.pdf>.

CRQ. (2017). Evaluación Regional del Agua del departamento del Quindío. Convenio Interadministrativo 038-2016 entre la Corporación Autónoma Regional Del Quindío y la Universidad Del Tolima, proyecto 550116, Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío y Análisis de Relaciones Ecohidrológicas y Distribución Espaciotemporal de Especies Acuáticas en el Río Quindío'. Retrieved from <https://www.crq.gov.co/images/Info-Ciudadano/Descarga%20documentos/2018/Octubre%202018/EVALUACION%20REGIONAL%20DEL%20AGUA.pdf>.

CRQ, CARDER, CVC. (2018) Consultoría para ajustar (actualizar) el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río la vieja, (código 2612), en el marco del proyecto incorporación del componente de gestión del riesgo como determinante ambiental del ordenamiento territorial en los procesos de formulación y/o actualización de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas afectadas por el fenómeno de la niña 2010-2011.

Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45-67.

Chao, A., Colwell, R., Chiu, C., y Townsend, D. (2017). Seen once or more than once: Applying GOOD- Turing Theory to estimate species richness using only unique observations and a species list. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(10), 1221- 2132.

Chapman, M. G., & Underwood, A. J. (1999). Ecological patterns in multivariate assemblages: information and interpretation of negative values in ANOSIM tests. *Marine Ecology Progress Series*, 199(180), 257-265.

Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User's Guide and application.

Corporación Autónoma Regional del Quindío. (2011). Plan de Manejo Subcuenca Río Roble.

Corporación Autónoma Regional del Quindío, Fundación Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe & Universidad del Tolima. (2015). Plan de ordenamiento del recurso hídrico del río Quindío. Recuperado de: <https://www.crg.gov.co/Documentos%20Generales/04052016/Plan%20de%20Ordenamiento%20del%20recurso%20h%C3%ADrico%20rio%20Quindio.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Quindío (2018). Evaluación regional del agua. Convenio Interadministrativo entre la Corporación Autónoma Regional Del Quindío y la Universidad Del Tolima, proyecto "Evaluación Regional del Agua del Departamento del Quindío y Análisis de Relaciones Eco-hidrológicas y Distribución Espacio-Temporal de Especies Acuáticas en el Río Quindío". Informe Técnico.

Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M. L., Hubbard, D. M., y Nieto, C. (2006). Ephemeroptera of South America (en) Adis, J.; J. R. Arias G.; Rueda-Delgado, K. M. Wantzen (ed.) Aquatic Biodiversity of Latin America, Vol.2, Pensoft. Moscow and Sofia, p. 1-646.

Domínguez, E. & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. (1a ed.) Tucumán, Argentina. Fundación Miguel Lillo. ISBN 978-950-668-015-2.

DoNascimento, C., Herrera-Collazos, E. E., Herrera, G. A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F. A., Usma-Oviedo, J. S., & Maldonado-Ocampo, J. A. (2017). Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin Core alternative to the updating problem. Zookeys (708): 25-138.

Elosegi, A. (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA.

Flecker, A.S. & Feifarek, B. (1994). Disturbance and temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology* 31: 131-142.

Gamboa, M., Reyes, R & Arrivillaga, Y. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de malariología y salud ambiental* Vol XLVIII (2): 109-120.

Giacometti, J., & Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico 6, Serie Zoológica* Vol 2: 17-32.

Growns, I. O., Pollard, D. A., & Harris, J. H. (1996). A comparison of electric fishing and gillnetting to examine fish communities. *Fisheries Management and Ecology*, 3. 13-34

Guisande, C., Pelayo-Villamil, P., Vera, M., Manjarrés-Hernández, A., Carvalho, M. R., Vari, R.P., Jiménez, L. F., et al. (2012). Ecological Factors and Diversification among Neotropical Characiforms. *International Journal of Ecology*, 2012, 1-20.

Gualtero D. y J. Trilleras. 2001. Estudio de la Comunidad Perifítica del Embalse de Prado Departamento del Tolima. Trabajo de Grado (Biólogo). Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias, Programa de Biología. 193 pp.

Gutiérrez, J. D., Riss, W., & Ospina, R. (2006). Bioindicación de la calidad del agua en la Sabana de Bogotá-Colombia, mediante la utilización de la lógica difusa neuroadaptativa como herramienta. *Caldasia*, 28(1), 45.

Hamada, N., Nessimian, J. L., & Querino, R. B. (2014). Insetos aquáticos na Amazônia Brasileira: Taxonomía, Biología e ecología. Manaus: Editora do INPA, 2014.

Hammer, Ø. Harper, D. & Ryan P. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1): 1-9

Hanson, P., Springer, M., & Ramírez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58, 3-37.

Helming, S., & Gobel, M. (1998). Planificación de proyectos orientada a objetivos (ZOPP): orientaciones para la planificación de proyectos y programas nuevos y en curso: GTZ, Eschborn (Alemania). Unidad 04. Estrategia de Desarrollo de la Empresa.

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54(2), 427-432.

Hyslop, E.J. (1980). Stomach contents a review of methods and their application. *Journal fish biology*, 17: 411-429 p.

Hammed, 2008. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*.

Jaramillo, 2006. Evapotranspiración De Referencia En La Región Andina De Colombia. *Cenicafé*, 57(4):288-298.2006

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375.

Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, 106(1), 110-127.

Kong YF, Tong WW (2008) Spatial exploration and interpolation of the surface precipitation data. *Geograph Res* 27(5):1097-1108

Kudo, R. 1980. Protozoología. Compañía Editorial Continental, S.A., México.

Kullock, D. (1993). Ciudad-Planificación participativa y hábitat popular: Buenos Aires: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.

Laevastu, T. (1977). Manual de métodos de biología pesquera (Segunda ed., 243 p.). Acribia, Editorial.

Lasso, C. L., Mojica, J. I., Usma, J. S., Maldonado-O., J. A., DoNacimiento, C., Taphorn, D. C., Provenzano, F., Lasso-Alcalá, M., Galvis, G., Vásquez, L., Lugo, M., Machado-Allison, A., Royero, R., Suarez, C. & Ortega-Lara, A. (2004). Peces de la cuenca del río Orinoco. Parte I: Lista de especies y distribución por subcuencas. *Biota Colombiana*. 5 (2): 95-158.

Lasso, C., Rial, A. Matallana, C., Ramírez, W., Señaris, J., Díaz Pulido, A., Corzo, G. & Machado-Allison, A. (2011). Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. II Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D.C., Colombia.

Li B, Huang JF, Jin ZF, Liu ZY (2010) Methods for calculation precipitation spatial distribution of Zhejiang Province based on GIS. *J Zhejiang Univ (Sci Ed)* 27(2):239-244

Lobón-Cerviá, J. (1996). Response of a stream fish assemblage to a severe spate in northern Spain. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 125: 913-919.

Lomolino, M. V. (2001). Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology & Biogeography* 10, 3-13. doi: 10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x

Lopretto E., C. y TELL, G. 1995. Ecosistemas de agua continentales: Metodología para su estudio. La Plata (Argentina): Ediciones Sur. T. III. p. 1243-1266. ISBN 950-9715-31-X

Lozano-Zarate, Y. (2008). Diversidad, distribución, abundancia y ecología de la familia Characidae (Ostariophysi: Characiformes) en la cuenca del río Totare (Tolima-Colombia). Tesis de Pregrado. Programa de Biología., Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Tolima. Ibagué. P. 216.

Machado, T. (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.

MADS. Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible. 2018. Guía Para el Ordenamiento del Recurso Hídrico Continental superficial. Colombia.

MADS. (2018). Guía Nacional De Modelación Del Recurso Hídrico Para Aguas Superficiales Continentales Bogotá, 2018 Ministro De Ambiente Y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible (MADS) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). 2018. Guía Para la Determinación del Régimen de Caudal Ambiental en Colombia. Colombia.

Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater engineering. 3d ed- MacGraw Hill. New York. EEUU.

Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater engineering. 4th ed- MacGraw Hill. New York. EEUU.

Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. Princeton university press.

Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma, J. S., Galvis, G., Villa-Navarro, F., Vásquez, L., Prada-Pederos, S., et al., (2005). Peces de los Andes de Colombia (1st ed. p. 346). Bogotá D.C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Maldonado-Ocampo, J.A., Urbano-Bonilla, A., Preciado, J.V. & Bogotá-Gregory, J.D. (2013). Peces de la Cuenca del río Pauto, Orinoquia Colombiana. Biota Colombiana.4 (2): 114-137

Marín, N. C., Corredor, N. V. & Bustamante, C. A. (2011). Aspectos ecológicos de comunidades bénticas de un sistema fluvial andino, Armenia – Quindío, Colombia. Revista de Investigaciones Universidad del Quindío. 22, 58- 69.

Martínez, F. & Donato, J. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). Caldasia. 25(2), 337-354.

Merritt, R., Cummins, K., & Berg, M. (2008). An introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall: Kendall/Hunt Publishing Company.

Mojica, J.I., Usma, J. S., Álvarez-León, R., & Lasso, C. A. (Eds). (2012). Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, D. C., Colombia, XX pp.

Morales-duarte, s. J., donato-rondón, j. C., & castro-rebolledo, m. I. (2010). Respuesta de Navicula Rhynchocephala (Bacillariophyceae) Al Incremento De Nutrientes En Un Arroyo Andino (Colombia). Acta Biológica Colombiana, 15(2), 73-78.

Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavon, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. Revista Mexicana de Biodiversidad, 82, 1249-1261.

Mueller, R. J., & Pyron, M. (2010). Fish assemblages and substrates in the middle Wabash River, USA. Copeia, 2010(1), 47-53.

Novelo, E. (2012). Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Bacillariophyta. Fascículo, 102.

Needham, J.G., Needham, N. (1991). Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces (131 p.). Barcelona: Reverté.

Obando, N. L. & Bustamante, C. A. (2014). Macroinvertebrados y algas perifíticas de la quebrada Cajones, Unidad de Manejo de Cuenca UMC río Espejo municipio de Montenegro, Quindío, Colombia.

Pelletier G., Chapra, S. 2008. QUAL2k, User Manual. Versión 5.1. Environmental Assessment Program Olympia, Washington

Peña, L.E., Zapata, M. y Barrios, M. (2019). Analytic hierarchy process approach for the selection of stream-gauging sites. *Hydrological Sciences Journal*. v.64 no.14. pp. 1783-1792.

Pinilla, A. G. (1998). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos de Colombia. Compilación Bibliográfica. Centro de Investigaciones Científicas. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

Posada-García, J., y Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. *Caldasia*, 25, 169-192.

Prescott, G. W. 1970. *The freshwater Algae*. Brow Company Publisher. Duboque, Iowa. 348 p.

Ramírez G., A. & Viña, V. G. (1998). *Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadística de análisis*. Bogotá – Colombia, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
Ramírez, J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias*. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.

Ramírez, J. J. 2000. *Fitoplancton de aguas dulces: Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Universidad de Antioquia: Colombia. 207 p.

R Development Core Team. (2016). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Reinoso, G., Guevara, G., Arias, D y Villa, F. (2007). Aspectos bioecológicos de la fauna entomológica de la cuenca mayor del río Coello-departamento del Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* (19): 65-71.

Robinson, C. T., Uehlinger, U., & Monaghan, M. T. (2003). Effects of a multi-year experimental flood regime on macroinvertebrates downstream of a reservoir. *Aquatic Sciences*, 65(3), 210-222.

Roldán G. & Ramírez J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical*. (2.a ed.) Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. ISBN: 978-958-714-144-3.

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y Tecnología. Medellín.

Roldán-Pérez, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá: Fondo FEN Colombia.

Román-Valencia, C. R., García-Alzate, R. I., & Taphorn, D. C. (2010). A new species of Hemibrycon (Teleostei: Characiformes: Characidae) from the Roble River, Alto Cauca, Colombia, with a key to species known from the Magdalena-Cauca River Basin. *Vertebrate Zoology*, 60 (2), 99-105.

Román-Valencia, C., Ruiz, R. I., Taphorn, D. C., & Duque, O. (2018). *Los peces del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia*. Laboratorio de ictiología de la Universidad del Quindío.

Rumeau, A., & Coste, M. (1988). Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, (309), 1-69.

Sierra C. 2011. Calidad del Agua. Evaluación y Diagnóstico. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.

SIB Colombia. (2019). Sistema de información sobre biodiversidad de Colombia. [Http://sibcolombia.net](http://sibcolombia.net).

Streble, H., & Krauter, D. (1987). Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce: la vida en una gota de agua (Ediciones, 372 p.). Barcelona.

Taphorn, D.C. (2003). Manual de Identificación de los peces Characiformes de la cuenca del río Apure en Venezuela. UNELLEZ.

Tamaris-Turizo, C., Rodríguez-Barrios, J., & Ospina-Torres, R. (2013). Deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira, vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Caldasia*, 35(1), 149-163.

Thorp, J.H. & D.C. Rogers (eds.). 2015. Ecology and General Biology. Volume I in: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Academic Press, Elsevier, Boston, MA. 1118 p.

Townsend, C. & Hildrew, A. 1994. Species traits in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwat. Biol.* 31:265-275.

Touraine, A. (1984). *Le retour de l'acteur, essai de sociologie*, éd. Fayard, Paris, France 1995 ¿Qué es la democracia? Fondo de Cultura Económica, México.

Urbano-Bonilla, A., Zamudio, J., Maldonado Ocampo, J., Bogotá-Grégory, J., Cortés-Millán G. & López, Y. (2009). Peces del pie de monte del departamento de Casanare, Colombia. *Biota Colombiana* 10:149-162.

Usma J. S., B. E. Arias, L. Vásquez, L. M. Mesa, W. F. Arias, M. C Araque y H. M. Gutiérrez. (2002). Gestión intercorporativa para la formulación de lineamientos para el manejo del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja. Capítulo 2: Implementación de un plan de monitoreo del recurso hídrico e hidrobiológico. Análisis biológico. Informe presentado al Ministerio del Medio Ambiente, Corporación Autónoma Regional del Quindío, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Armenia, Colombia. 171 p.

Vásquez, J., & Reinoso, G. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*, 351-358.

Vazzoler, A.E.A. (1996). *Biología da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringa: EDUEM São Paulo, 169 p.

Vent te Chow. 1994. *Hidráulica de Canales Abiertos*. Mc Graw Hill. Santa Fé de Bogotá. Colombia.

Villa-Navarro, F., Urbano-Bonilla, A., Ortega-Lara, A., Taphorn, D. C., & Usma Oviedo, J. S. (2011). Peces del Casanare. P: 120-137. En: Usma J.S. & F. Trujillo (Eds.). *Biodiversidad del departamento del Casanare, identificación de ecosistemas estratégicos*. Gobernación del Casanare, WWF, Bogotá D. C.

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., et al., (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Programa de inventarios de biodiversidad (2nd ed., p. 236). Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

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.

Wehr, J., Sheath, R. (2002). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Clasification* (917 p.). California: AcademicPress.

Welcomme, R. L., Winemiller, K. O., & Cowx, I. G. (2006). Fish environmental guilds as a tool for assessment of ecological condition of rivers. *River Research and Applications*, 22(3), 377-396.

Yacobson, S. (1969). *Algas de ambientes continentales nuevos para Venezuela (cyanophytas y chlorophytas)* (180 p.). Venezuela.

Yáñez-Arancibia, A. A. L., Lara Dominguez, A., Aguirre León, S., Díaz Ruiz, F., Amezcua -Linares, D., Hernandez, F., Chavance, P. (1985). *Ecología de las poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales: factores ambientales que regulan las estrategias biológicas y la producción.*

Yañez-Arancibia, A. *Fish community ecology in estuarios and coastal lagoons. Toward an ecosystem integration.* México: UNAM, 511-566 p.

Lista de Anexos

(Archivo Digital)

Anexo 1. Archivos digitales del proceso de participación

Anexo 2. Archivos digitales consolidados de usuarios del recurso hídrico

Anexo 3. Reportes de monitoreos de calidad del agua

Anexo 4. Base de datos consolidada de indicadores del recurso hídrico en los tramos objeto de ordenamiento

Anexo 5. Cartografía del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Roble, quebrada Portachuelo y quebrada Cajones