



ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDÍO

Convenio de Cooperación No. 070 de noviembre 8 de 2013, celebrado entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío, Fundación Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe y la Universidad del Tolima

PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO QUINDÍO

Armenia
Abril de 2015



Equipo Técnico

Dirección Técnica

Miguel Ignacio Barrios Peña

Supervisión Técnica

Patricia Rojas Sánchez, Ingeniera Sanitaria, M.Sc en Recursos Hídricos
Nohemy Medina Guzman, Ingeniera Forestal, Profesional Especializada

Área de Hidrología

Miguel Ignacio Barrios Peña, Doctor en Ingeniería del Agua y Medioambiente

Área de Caudal Ambiental

Esther Julia Olaya Marín, Doctora en Ingeniería del Agua y Medioambiente

Área de Hidrobiología

Luis José García Melo, M.Sc. en Ciencias Biológicas
Maria Isabel Pareja, Bióloga

Área de Calidad de Aguas

Camilo Andrés Bernal, M.Sc (c) en Recursos Hidráulicos

Área de Demandas del Recurso Hídrico

Rubén Darío Mendoza, M.Sc (c) en Cuencas Hidrográficas

Objetivos de Calidad y Prospectiva

Miguel Ignacio Barrios – Camilo Andrés Bernal

Análisis Espacial

Henry Rubiano, Ingeniero Forestal

Área de Trabajo Social

Carina Villegas Calle, Trabajadora Social

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	23
1 LOCALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA	25
1.1 DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS	26
1.1.1 Antecedentes de la delimitación de las unidades hidrográficas.....	26
1.1.2 Delimitación automática.....	26
1.2 RED HIDROGRÁFICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ...	31
2 RED DE MONITOREO	33
2.1 RED HIDROMETEOROLÓGICA	33
2.2 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS	33
3 ANTECEDENTES DE PLANIFICACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.....	36
3.1 INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	36
3.2 OFERTA HÍDRICA.....	38
3.3 INFORMACIÓN DE DEMANDA	41
3.4 CALIDAD DE AGUAS	43
3.5 INDICES DE USO DEL AGUA	45
4 DESCRIPCIÓN DE USOS Y USUARIOS DEL RECURSO HÍDRICO CONCESIONADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	48
4.1 GENERALIDADES Y DEFINICIONES DE LOS USOS	48
4.1.1 <i>Uso Agrícola</i>	48
4.1.2 <i>Uso Doméstico</i>	48
4.1.3 <i>Uso Energético</i>	49
4.1.4 <i>Uso Pecuario</i>	49
4.1.5 <i>Uso Piscícola</i>	49
4.1.6 <i>Uso Industrial</i>	49
4.2 USUARIOS ACTUALES EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO POR MUNICIPIO.....	49
4.2.1 <i>Concesiones del Municipio de Salento en la unidad hidrográfica del río Quindío</i>	50
4.2.2 <i>Concesiones del Municipio de Calarcá en la unidad hidrográfica del río Quindío</i>	56
4.2.3 <i>Concesiones del Municipio de Armenia en la unidad hidrográfica del río Quindío</i>	65
4.2.4 <i>Concesiones del Municipio de Córdoba en la unidad hidrográfica del río Quindío</i>	66
4.2.5 <i>Concesiones del Municipio de Buenavista en la unidad hidrográfica del río Quindío</i>	70
4.2.6 <i>Concesiones de aguas subterráneas otorgadas en la unidad hidrográfica del río Quindío</i>	71
4.3 DEMANDA ACTUAL DE AGUAS SUPERFICIALES	73
4.3.1 <i>Usos</i>	73
4.3.2 <i>Demanda actual</i>	74
4.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA DEL RÍO QUINDÍO	77

4.4.1	<i>Proyección de la población urbana y rural de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y La Tebaida.</i>	77
4.4.2	<i>Resultados de la proyección de población al año 2025 de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y el municipio de La Tebaida.</i>	79
4.4.3	<i>Proyección de la demanda bruta de agua urbana y rural de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y el municipio de La Tebaida.</i>	81
4.4.4	<i>Proyección de la demanda hídrica total de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y el municipio de La Tebaida.</i>	86
5	PROCESO DE PARTICIPACIÓN PARA LA CONSOLIDACIÓN DE LA LÍNEA BASE	89
5.1	DEFINICION DE ACTORES	89
5.2	CLASIFICACIÓN DE ACTORES	90
5.3	DISEÑO DEL MECANISMO DE PARTICIPACIÓN	93
5.4	RESULTADOS DE LOS TALLERES	96
5.4.1	<i>Taller de diagnóstico: Municipio de Salento</i>	96
5.4.2	<i>Taller de diagnóstico Municipio de Armenia</i>	99
5.4.3	<i>Taller de diagnóstico Municipio Calarcá</i>	100
6	CALIDAD DE AGUAS	102
6.1	INFORMACIÓN EXISTENTE DE CALIDAD DEL AGUA SOBRE EL RÍO QUINDÍO	102
6.1.1	<i>Generalidades</i>	102
6.1.2	<i>Históricos de Cargas Contaminantes (DBO, SST) entre los años del 2008 al 2013.</i>	103
6.1.3	<i>Identificación de Vertimientos sobre el río Quindío</i>	105
6.1.4	<i>Históricos de calidad de agua de vertimientos de aguas residuales.</i>	107
6.1.5	<i>Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.</i>	108
6.1.6	<i>Información Propuesta de Ordenación del Recurso Hídrico en la cuenca del río La Vieja</i>	109
6.1.7	<i>Información de calidad del agua sobre cuerpos de agua superficial</i>	109
6.1.8	<i>Información de calidad del agua sobre vertimientos de aguas residuales.</i>	114
6.1.9	<i>Conclusiones de los estudios previos de modelación.</i>	115
6.2	VISITA TÉCNICA PRELIMINAR AL RÍO QUINDÍO	118
6.3	RED DE MONITOREO DEL RÍO QUINDÍO	123
6.3.1	<i>Criterios para la selección de los sitios de monitoreo</i>	123
6.3.2	<i>Metodología para la definición de los puntos de medición</i>	124
6.3.3	<i>Red de monitoreo propuesta</i>	125
6.4	DESCRIPCIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO	129
6.4.1	<i>Primera campaña de monitoreo (tiempo seco)</i>	133
6.4.2	<i>Segunda campaña de monitoreo (tiempo húmedo)</i>	136
6.5	RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL RÍO QUINDÍO	140
6.5.1	<i>Campaña 1 – Condiciones de tiempo seco.</i>	141
6.5.2	<i>Campaña 2 – Condiciones de tiempo húmedo</i>	157
6.5.3	<i>Caracterización de vertimientos directos al río Quindío.</i>	171
6.6	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA	

DEL RÍO QUINDÍO	179
6.6.1 Índices de calidad fisicoquímica del agua del río Quindío.....	179
6.6.2 Análisis de conflictos uso – calidad	186
6.6.3 Resumen	195
6.6.4 Análisis de acumulación y remoción de carga contaminante en el río Quindío.....	196
6.7 ESQUEMA CONCEPTUAL DEL RÍO QUINDÍO	201
6.8 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA HERRAMIENTA DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	203
6.8.1 Selección del código del modelo	203
6.8.2 Descripción general de QUAL2Kw v.5.1.....	203
7 ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA TOTAL	209
7.1 SELECCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO	209
7.1.1 Descripción del Modelo Hidrológico Distribuido TETIS	210
7.1.2 Información Hidrometeorológica para la Modelación.....	216
7.1.3 Geología.....	218
7.1.4 Suelos	219
7.1.5 Cobertura y Uso de la Tierra	223
7.2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO	225
7.2.1 Parámetros hidráulicos del suelo y sustrato.....	225
7.2.2 Parámetros de propagación del flujo en cauces	234
7.2.3 Parámetros de Evapotranspiración	236
7.2.4 Capacidad de intercepción.....	237
7.2.5 Parámetros derivados de la topografía.....	238
7.3 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	241
7.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	245
7.5 OFERTA HÍDRICA TOTAL.....	246
8 ÍNDICES ASOCIADOS A LA OFERTA	250
8.1 ÍNDICES DE ARIDEZ	250
8.2 ÍNDICES DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA.....	253
9 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL.....	258
9.1 ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE CAUDAL AMBIENTAL.....	259
9.2 METODOLOGÍA	264
9.2.1 Información base para estimación del régimen de caudal ambiental.....	264
9.2.2 Identificación de tramos.....	265
9.2.3 Criterios Hidrológicos	266
9.2.4 Criterios Ecohidrológicos.....	268
9.3 ESTIMACIÓN HIDROLÓGICA INICIAL DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL	269
9.3.1 Definición de condiciones hidrológicas húmeda, neutra y seca	269
9.3.2 Estimación de caudal ambiental semilla por condición hidrológica	276

9.4	VALIDACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL CON CRITERIOS ECOHIDROLÓGICOS.....	278
9.4.1	<i>Monitoreos Hidrobiológicos</i>	278
9.4.2	<i>Diversidad, composición y estructura del perifiton</i>	291
9.4.3	<i>Diversidad, composición y estructura de Macroinvertebrados</i>	305
9.4.4	<i>Diversidad, composición y estructura de Peces</i>	320
9.5	RELACIONES DE ÍNDICES HIDROLÓGICOS VS RESPUESTA ECOLÓGICA DE ÍNDICES BIÓTICOS DE CALIDAD DEL AGUA.....	335
9.6	RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES.....	345
9.7	CONSIDERACIONES SOBRE LA ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL.....	347
10	INDICADORES DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL... 350	
10.1	OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE.....	350
10.2	ÍNDICE DE USODEL AGUA.....	350
10.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA.....	362
11	RIESGOS ASOCIADOS A LA REDUCCIÓN DE OFERTA DEL RECURSO HÍDRICO 371	
11.1	RIESGO ASOCIADO A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA.....	371
12	FASE DE PROSPECTIVA 375	
12.1	TALLERES DE PROSPECTIVA.....	375
12.1.1	<i>Metodología</i>	375
12.1.2	<i>Resultados de los talleres</i>	377
12.2	FORMULACIÓN DE ESCENARIOS.....	386
12.2.1	<i>Proyección de cargas contaminantes</i>	389
12.2.2	<i>Construcción de escenarios</i>	392
12.3	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS.....	404
12.3.1	<i>Caudal</i>	404
12.3.2	<i>DBO₅</i>	405
12.3.3	<i>SST</i>	405
12.3.4	<i>Oxígeno Disuelto</i>	406
12.3.5	<i>DQO</i>	406
12.3.6	<i>Nitrógeno Total</i>	407
12.3.7	<i>Fósforo Total</i>	407
12.3.8	<i>Nitrógeno amoniacal</i>	408
12.3.9	<i>Nitratos</i>	408
12.3.10	<i>Coliformes Totales</i>	409
12.3.11	<i>pH</i>	409
12.4	CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS.....	410
12.5	IDENTIFICACIÓN DE USOS POTENCIALES DEL RECURSO HÍDRICO EN EL RÍO QUINDÍO.....	412
12.6	REVISIÓN Y AJUSTE DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL RÍO QUINDÍO....	416
12.7	ZONAS DE PROHIBICIÓN DE USOS ESPECÍFICOS.....	418

13 FASE DE FORMULACIÓN	420
13.1 ARTICULACIÓN CON EL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA	420
13.1.1 <i>Análisis de correspondencia de indicadores del componente Recurso Hídrico entre POMCH y PORH</i>	420
13.1.2 <i>Coherencia de la Zonificación Ambiental del POMCH del río La Vieja en la unidad hidrográfica del río Quindío con los elementos de ordenamiento del PORH del río Quindío</i>	421
13.1.3 <i>Necesidades de Ajustes del POMCH en su componente programático</i>	421
13.2 COMPONENTE PROGRAMÁTICO DEL PORH.....	423
13.2.1 <i>Programa 1. Monitoreo y Seguimiento al Recurso Hídrico</i>	423
13.2.2 <i>Programa 2. Conocimiento y Manejo de factores de riesgo para la oferta y disponibilidad del recurso hídrico en la unidad hidrográfica</i>	427
13.2.3 <i>Programa 3. Saneamiento y Uso eficiente y ahorro del agua</i>	429
13.2.4 <i>Programa 4. Administración del aprovechamiento del recurso hídrico</i>	431
13.2.5 <i>Programa 5. Gestión de la Información para la Sostenibilidad del Recurso Hídrico</i> 431	
13.3 FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	432
REFERENCIAS	433
ANEXOS	446

LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</i>	<i>25</i>
<i>FIGURA 2. INCONSISTENCIAS ENCONTRADAS EN LA DELIMITACIÓN ACTUAL. (A) MAPA TOPOGRÁFICO BASE INCOMPLETO. (B, C, D, E, F) SUPERPOSICIÓN DE LA DIVISORIA DE AGUAS CON LA RED DE DRENAJE.....</i>	<i>28</i>
<i>FIGURA 3. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL SRTM DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO QUINDÍO</i>	<i>30</i>
<i>FIGURA 4. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL CORREGIDO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO QUINDÍO.....</i>	<i>30</i>
<i>FIGURA 5. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO MEDIANTE EL MED CORREGIDO.....</i>	<i>31</i>
<i>FIGURA 6. RED HIDROGRÁFICA Y ÁREAS DE IMPORTANCIA ESTRATÉGICA PARA LA CONSERVACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS QUE SURTEN ACUEDUCTOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....</i>	<i>32</i>
<i>FIGURA 7. OFERTA HÍDRICA BRUTA (IZQUIERDA) Y NETA (DERECHA) EN EL RÍO QUINDÍO. TRAMO DESDE EL NACIMIENTO DEL RÍO QUINDÍO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA BOCATOMA EPA. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>39</i>
<i>FIGURA 8. OFERTA HÍDRICA BRUTA (IZQUIERDA) Y NETA (DERECHA) EN EL RÍO QUINDÍO. TRAMO DESDE LA CONFLUENCIA DEL RÍO QUINDÍO CON EL RÍO NAVARCO HASTA LA CAPTACIÓN DE LA PCH EL BOSQUE. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>40</i>
<i>FIGURA 9. OFERTA HÍDRICA BRUTA (IZQ.) Y NETA (DER.) EN EL RÍO QUINDÍO. TRAMO DESDE AGUAS ABAJO DE LA CAPTACIÓN DE LA PCH EL BOSQUE HASTA AGUAS ARRIBA DE LA CONFL. CON EL RÍO VERDE. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>40</i>
<i>FIGURA 10. OFERTA HÍDRICA BRUTA (IZQUIERDA) Y NETA (DERECHA) EN EL RÍO NAVARCO. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>40</i>
<i>FIGURA 11. OFERTA HÍDRICA BRUTA (IZQ.) Y NETA (DER.) EN EL RÍO SANTO DOMINGO. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>40</i>
<i>FIGURA 12. OFERTA HÍDRICA BRUTA (IZQUIERDA) Y NETA (DERECHA) EN EL RÍO VERDE. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>41</i>
<i>FIGURA 13. DEMANDA HÍDRICA CONSUNTIVA EN EL RÍO QUINDÍO. TRAMO DESDE EL NACIMIENTO DEL RÍO QUINDÍO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA BOCATOMA EPA. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>41</i>
<i>FIGURA 14. DEMANDA HÍDRICA CONSUNTIVA EN EL RÍO QUINDÍO. TRAMO DESDE LA CONFLUENCIA DEL RÍO QUINDÍO CON EL RÍO NAVARCO HASTA LA CAPTACIÓN DE LA PCH EL BOSQUE. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014)</i>	<i>42</i>
<i>FIGURA 15. DEMANDA HÍDRICA CONSUNTIVA EN EL RÍO NAVARCO. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>42</i>
<i>FIGURA 16. DEMANDA HÍDRICA CONSUNTIVA EN EL RÍO SANTO DOMINGO. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014)</i>	<i>42</i>
<i>FIGURA 17. DEMANDA HÍDRICA CONSUNTIVA EN EL RÍO VERDE. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014)</i>	<i>43</i>
<i>FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LICENCIAS AMBIENTALES MINERAS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO QUINDÍO (CRQ, 2012B).....</i>	<i>44</i>
<i>FIGURA 19. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN EL RÍO QUINDÍO. TRAMO DESDE EL NACIMIENTO DEL RÍO QUINDÍO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA BOCATOMA EPA. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014)</i>	<i>46</i>
<i>FIGURA 20. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN EL RÍO QUINDÍO. TRAMO DESDE LA CONFLUENCIA DEL RÍO QUINDÍO CON EL RÍO NAVARCO HASTA LA CAPTACIÓN DE LA PCH EL BOSQUE. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014)</i>	<i>46</i>
<i>FIGURA 21. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN EL RÍO NAVARCO. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014).....</i>	<i>46</i>
<i>FIGURA 22. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN EL RÍO SANTO DOMINGO. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014)</i>	<i>46</i>
<i>FIGURA 23. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN EL RÍO VERDE. (FUENTE: CRQ, 2012A, 2014)</i>	<i>47</i>
<i>FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES CONCESIONADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA 25: CAUDAL OTORGADO PARA LOS DIFERENTES USOS, MUNICIPIO DE SALENTO</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA 26. CAUDAL OTORGADO PARA LOS DIFERENTES USOS, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....</i>	<i>57</i>
<i>FIGURA 27. CAUDAL OTORGADO PARA LOS DIFERENTES USOS, MUNICIPIO DE ARMENIA</i>	<i>65</i>
<i>FIGURA 28 CAUDAL OTORGADO PARA LOS DIFERENTES USOS, MUNICIPIO DE CÓRDOBA.....</i>	<i>67</i>

FIGURA 29. PORCENTAJE DE CAUDAL CONCESIONADO POR TIPO DE USO CON RESPECTO AL TOTAL DE CAUDAL CONCESIONADO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	73
FIGURA 30. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL MUNICIPIO DE ARMENIA AL AÑO 2025	80
FIGURA 31. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL MUNICIPIO DE CALARCÁ AL AÑO 2025.....	80
FIGURA 32. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL MUNICIPIO DE SALENTO AL AÑO 2025	81
FIGURA 33. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA AL AÑO 2025	81
FIGURA 34. PROYECCIÓN DEMANDA BRUTA DE AGUA MUNICIPIO DE ARMENIA AL AÑO 2025. ARRIBA: URBANA, ABAJO: RURAL	82
FIGURA 35. PROYECCIÓN DEMANDA BRUTA DE AGUA MUNICIPIO DE CALARCÁ AL AÑO 2025. ARRIBA: URBANA, ABAJO: RURAL	83
FIGURA 36. PROYECCIÓN DEMANDA BUTA DE AGUA MUNICIPIO DE SALENTO AL AÑO 2025. ARRIBA: URBANA, ABAJO: RURAL	84
FIGURA 37 PROYECCIÓN DEMANDA BUTA DE AGUA MUNICIPIO DE LA TEBAIDA AL AÑO 2025. ARRIBA: URBANA, ABAJO: RURAL	85
FIGURA 38. CLASIFICACIÓN DE ACTORES	91
FIGURA 39 PUNTOS DE VERTIMIENTOS SUJETOS A COBRO POR TASA RETRIBUTIVA IDENTIFICADOS POR LA CRQ EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	106
FIGURA 40 MAPA CON LA RED DE MONITOREO PROPUESTA	123
FIGURA 41 MAPA CON LA RED DE MONITOREO PROPUESTA PARA EL RÍO QUINDÍO.....	128
FIGURA 42 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: CAUDAL, TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD. CAMPAÑA 1. LA LÍNEA AZUL DISCONTINUA REPRESENTA LOS VALORES MEDIDOS SOBRE EL RÍO QUINDÍO LOS CUALES SE LEEN EN EL EJE VERTICAL IZQUIERDO. LAS BARRAS ROJAS REPRESENTAN LOS VALORES MEDIDOS SOBRE LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS PRINCIPALES LOS CUALES SE LEEN EN EL EJE VERTICAL (INVERTIDO) DERECHO.....	142
FIGURA 43 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: PH Y ALCALINIDAD. CAMPAÑA 1	145
FIGURA 44 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: OXÍGENO DISUELTO Y DBO ₅ . CAMPAÑA 1	146
FIGURA 45 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: NITRÓGENO TOTAL Y FÓSFORO TOTAL. CAMPAÑA 1	148
FIGURA 46 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: SST Y COLIFORMES TOTALES. CAMPAÑA 1	151
FIGURA 47 SECCIONES DE AFORO SOBRE EL RÍO QUINDÍO OBTENIDAS DURANTE LA CAMPAÑA 1. LOS VALORES SOBRE LOS EJES ESTÁN EN METROS LINEALES.....	155
FIGURA 48 COMPARACIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES PARA LOS PRINCIPALES DETERMINANTES MEDIDOS EN LOS AFLUENTES Y VERTIMIENTOS DIRECTOS DEL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 1. EL ASTERISCO JUNTO AL CÓDIGO DEL TRIBUTARIO (AF) INDICA QUE LA CONCENTRACIÓN ESTÁ POR DEBAJO DEL LÍMITE DE DETECCIÓN.....	156
FIGURA 49 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: CAUDAL, TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD. CAMPAÑA 2. LA LÍNEA AZUL DISCONTINUA REPRESENTA LOS VALORES MEDIDOS SOBRE EL RÍO QUINDÍO LOS CUALES SE LEEN EN EL EJE VERTICAL IZQUIERDO. LAS BARRAS ROJAS REPRESENTAN LOS VALORES MEDIDOS SOBRE LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS PRINCIPALES LOS CUALES SE LEEN EN EL EJE VERTICAL (INVERTIDO) DERECHO.....	159
FIGURA 50 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: PH Y ALCALINIDAD. CAMPAÑA 2	161
FIGURA 51 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: OXÍGENO DISUELTO Y DBO ₅ . CAMPAÑA 2	162
FIGURA 52 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: NITRÓGENO TOTAL Y FÓSFORO TOTAL. CAMPAÑA 2	164
FIGURA 53 PERFILES LONGITUDINALES EN EL RÍO QUINDÍO DE: SST Y COLIFORMES TOTALES. CAMPAÑA 2	166
FIGURA 54 SECCIONES DE AFORO SOBRE EL RÍO QUINDÍO OBTENIDAS DURANTE LA CAMPAÑA 2. LOS VALORES SOBRE LOS EJES ESTÁN EN METROS LINEALES.....	170
FIGURA 55 COMPARACIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES PARA LOS PRINCIPALES DETERMINANTES MEDIDOS EN LOS AFLUENTES Y VERTIMIENTOS DIRECTOS DEL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 2. EL ASTERISCO JUNTO AL CÓDIGO DEL	

TRIBUTARIO (AF) INDICA QUE LA CONCENTRACIÓN ESTÁ POR DEBAJO DEL LÍMITE DE DETECCIÓN. EL SIGNO + HACE REFERENCIA AL QUE EL VALOR DE FÓSFORO TOTAL NO FUE MEDIDO Y SE TOMA COMO EL CONTENIDO DE ORTOFOSFATOS.....	171
FIGURA 56 COMPORTAMIENTO DE LOS DETERMINANTES MEDIDOS IN SITU EN LOS VERTIMIENTOS.....	173
FIGURA 57 PERFILES LONGITUDINALES DEL ICA CON 6 DETERMINANTES EN EL RÍO QUINDÍO.....	184
FIGURA 58 ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ICA EN EL RÍO QUINDÍO (CON 6 DETERMINANTES).....	186
FIGURA 59 PERFILES DE SDT MEDIDOS EN EL RÍO QUINDÍO DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014. COMPARACIÓN CON CRITERIO SUGERIDO POR LA FAO PARA NINGÚN GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO AGRÍCOLA.....	190
FIGURA 60 PERFILES DE OXÍGENO DISUELTOS MEDIDOS EN EL RÍO QUINDÍO DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014. COMPARACIÓN CON EL CRITERIO CONTENIDO EN EL ARTÍCULO 45 DEL D. 1594/84.....	191
FIGURA 61 PERFILES DE PORCENTAJE DE SATURACIÓN EN EL RÍO QUINDÍO OBTENIDOS A PARTIR DE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014. COMPARACIÓN CON EL CRITERIO CONTENIDO EN LOS ARTÍCULOS 42 Y 43 DEL D. 1594/84.....	191
FIGURA 62 PERFILES DE NITRÓGENO TOTAL EN EL RÍO QUINDÍO OBTENIDOS A PARTIR DE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014.....	192
FIGURA 63 PERFILES DE NITRITOS+NITRATOS EN EL RÍO QUINDÍO OBTENIDOS A PARTIR DE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014. COMPARACIÓN CON EL CRITERIO CONTENIDO EN LOS ARTÍCULOS 38 Y 39 DEL D. 1594/84.....	193
FIGURA 64 PERFILES DE PH EN EL RÍO QUINDÍO OBTENIDOS A PARTIR DE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014. COMPARACIÓN CON LOS CRITERIOS CONTENIDOS EN LOS ARTÍCULOS 38 AL 45 DEL D. 1594/84.....	193
FIGURA 65 PERFILES DE COLIFORMES TOTALES EN EL RÍO QUINDÍO OBTENIDOS A PARTIR DE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014. COMPARACIÓN CON LOS CRITERIOS CONTENIDOS EN LOS ARTÍCULOS 38 AL 43 DEL D. 1594/84.....	195
FIGURA 66 PERFILES DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL RÍO QUINDÍO OBTENIDOS A PARTIR DE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL AÑO 2014. COMPARACIÓN CON EL CRITERIO CONTENIDO EN EL ARTÍCULO 43 DEL D. 1594/84 PARA COLIFORMES FECALIS, EL CUAL TAMBIÉN ES VÁLIDO PARA UFC/100ML (VER EPA, 2012).....	195
FIGURA 67 COMPARACIÓN DE CAUDALES Y CARGAS DE SDT ACUMULADOS POR LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS, Y LOS VALORES MEDIDOS DIRECTAMENTE SOBRE EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 1 – TIEMPO SECO.....	197
FIGURA 68 COMPARACIÓN DE CARGAS DE NUTRIENTES ACUMULADOS POR LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS, Y LOS VALORES MEDIDOS DIRECTAMENTE SOBRE EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 1 – TIEMPO SECO.....	198
FIGURA 69 COMPARACIÓN DE CARGAS DE DBO ₅ , SST Y COLIFORMES TOTALES ACUMULADOS POR LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS, Y LOS VALORES MEDIDOS DIRECTAMENTE SOBRE EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 1 – TIEMPO SECO.....	198
FIGURA 70 COMPARACIÓN DE CAUDALES Y CARGAS DE SDT ACUMULADOS POR LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS, Y LOS VALORES MEDIDOS DIRECTAMENTE SOBRE EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 2 – TIEMPO HÚMEDO.....	199
FIGURA 71 COMPARACIÓN DE CARGAS DE NUTRIENTES ACUMULADOS POR LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS, Y LOS VALORES MEDIDOS DIRECTAMENTE SOBRE EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 2 – TIEMPO HÚMEDO.....	200
FIGURA 72 COMPARACIÓN DE CARGAS DE DBO ₅ , SST Y COLIFORMES TOTALES ACUMULADOS POR LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS, Y LOS VALORES MEDIDOS DIRECTAMENTE SOBRE EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 2 – TIEMPO HÚMEDO.....	200
FIGURA 73 RESULTADOS DE CALIBRACIÓN. LAS DOS LÍNEAS CONTINUAS REPRESENTAN LOS VALORES SIMULADOS PARA LOS TRAMOS 1 Y 2 DE IZQUIERDA A DERECHA, RESPECTIVAMENTE. LOS CÍRCULOS ROJOS SON LOS VALORES OBSERVADOS.....	208
FIGURA 74 ESQUEMA CONCEPTUAL DE CELDA DEL MODELO TETIS (FRANCÉS ET AL, 2007).....	212
FIGURA 75. MOVIMIENTO HORIZONTAL PROPUESTO POR EL MODELO TETIS (VÉLEZ, 2001).....	212

FIGURA 76. ELEMENTOS DEL SISTEMA, ÁREAS UMBRALES Y COMPONENTES DE LA ESCORRENTÍA (MONTROYA, 2008)	212
FIGURA 77. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS COMPONENTES DE LA ESCORRENTÍA EN TETIS. (VÉLEZ, 2001)	214
FIGURA 78. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA. TRIÁNGULOS: ESTACIONES METEOROLÓGICAS. CÍRCULO: ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	218
FIGURA 79. MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO (FUENTE SIG-QUINDÍO, 2014)	218
FIGURA 80. MAPA DE UNIDADES DE SUELOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO (FUENTE SIG-QUINDÍO, 2014)	222
FIGURA 81. MAPA DE UNIDADES DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO (FUENTE SIG-QUINDÍO, 2014)	223
FIGURA 82. MAPA DE FALLAS GEOLÓGICAS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO (FUENTE SIG-QUINDÍO, 2014)	226
FIGURA 83. MAPA DE K_p VERTICAL DE REFERENCIA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	228
FIGURA 84. MAPA DE K_p HORIZONTAL DE REFERENCIA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	228
FIGURA 85. MAPA DE VALORES MODALES DE K_s VERTICAL ESTIMADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	229
FIGURA 86. MAPA DE VALORES MODALES DE K_s HORIZONTAL ESTIMADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	230
FIGURA 87. MAPA DE PROFUNDIDAD EFECTIVA DE RAÍCES (M)	232
FIGURA 88. MAPA DE PROFUNDIDAD DEL SUELO (M)	232
FIGURA 89. MAPA DE ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL POR EFECTO DE LA PENDIENTE (MM)	233
FIGURA 90. MAPA DE ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL POR EFECTO DE LA COBERTURA (MM)	233
FIGURA 91. MAPA DE ALMACENAMIENTO ESTÁTICO (H_v) EN MM	234
FIGURA 92. MAPA DE PENDIENTES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	238
FIGURA 93. MAPA DE VELOCIDAD DE FLUJO EN LADERA	239
FIGURA 94. MAPA DE CELDAS ACUMULADAS	239
FIGURA 95. MAPA DE DIRECCIONES DE FLUJO SEGÚN EL ALGORITMO D8	240
FIGURA 96. CAUDAL MEDIO DIARIO OBSERVADO Y SIMULADO EN EL PERIODO DE CALIBRACIÓN	242
FIGURA 97. DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL SIMULADO EN FLUJO BASE, FLUJO SUBSUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA DIRECTA EN EL PERIODO DE CALIBRACIÓN	243
FIGURA 98. CAUDAL MEDIO DIARIO OBSERVADO Y SIMULADO EN EL PERIODO DE VALIDACIÓN	244
FIGURA 99. DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL SIMULADO EN FLUJO BASE, FLUJO SUBSUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA DIRECTA EN EL PERIODO DE VALIDACIÓN	244
FIGURA 100. OFERTA HÍDRICA TOTAL DE LAS PRINCIPALES UNIDADES HIDROGRÁFICAS (AFLUENTES) DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	246
FIGURA 101. OFERTA HÍDRICA TOTAL DE LOS PRINCIPALES APORTES AL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO QUINDÍO	247
FIGURA 102. OFERTA HÍDRICA TOTAL EN LOS PUNTOS QUE DEFINIEN SUBTRAMOS SOBRE EL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO QUINDÍO	248
FIGURA 103. OFERTA HÍDRICA TOTAL AGUAS ARRIBA DE LAS CAPTACIONES DE LAS PCHS EN EL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO QUINDÍO	249
FIGURA 104. TRAMOS DEFINIDOS PARA EL CÁLCULO DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	266
FIGURA 105. CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE 12 ÍNDICES MACROCLIMÁTICOS Y EL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE ESCORRENTÍA EN EL PUNTO DE CÁLCULO CA1	270

<i>FIGURA 106. CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE 12 ÍNDICES MACROCLIMÁTICOS Y EL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE ESCORRENTÍA EN EL PUNTO DE CÁLCULO CA2</i>	<i>271</i>
<i>FIGURA 107. CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE 12 ÍNDICES MACROCLIMÁTICOS Y EL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE ESCORRENTÍA EN EL PUNTO DE CÁLCULO CA3</i>	<i>272</i>
<i>FIGURA 108. CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE 12 ÍNDICES MACROCLIMÁTICOS Y EL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE ESCORRENTÍA EN EL PUNTO DE CÁLCULO CA4</i>	<i>273</i>
<i>FIGURA 109. DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (VERDE) Y EL CAUDAL AMBIENTAL SEMILLA (M³/S) CALCULADO POR DOS MÉTODOS (M1[ROJO], M2[AZUL]) POR CONDICIÓN HIDROLÓGICA. PARA LOS CUATRO TRAMOS (CA1, CA2, CA3, CA4, DE ARRIBA ABAJO).....</i>	<i>277</i>
<i>FIGURA 110. MAPA CON LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO PARA EL MONITOREO HIDROBIOLÓGICO.</i>	<i>280</i>
<i>FIGURA 111. QUEBRADA CÁRDENAS.....</i>	<i>281</i>
<i>FIGURA 112. RÍO QUINDÍO. FINCA EL ESCOBAL.....</i>	<i>281</i>
<i>FIGURA 113. RÍO QUINDÍO BOCATOMA ACUEDUCTO ARMENIA.....</i>	<i>282</i>
<i>FIGURA 114. RÍO NAVARCO</i>	<i>283</i>
<i>FIGURA 115. RÍO QUINDÍO VEREDA CHAGUALÁ</i>	<i>283</i>
<i>FIGURA 116. RÍO QUINDÍO. SECTOR BALBOA</i>	<i>284</i>
<i>FIGURA 117. RÍO QUINDÍO, AGUAS ABAJO DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO VERDE.....</i>	<i>285</i>
<i>FIGURA 118. TOMA DE MUESTRAS DE PERIFITON, MACROINVERTEBRADOS Y PECES EN LAS DIFERENTES ESTACIONES DE MUESTREO.....</i>	<i>287</i>
<i>FIGURA 119. DENSIDAD RELATIVA DE LAS CLASES DEL PERIFITON EVALUADAS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>293</i>
<i>FIGURA 120. DENSIDADES RELATIVAS DE LOS GÉNEROS DEL PERIFITON EVALUADAS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>297</i>
<i>FIGURA 121. DENSIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LOS GÉNEROS DEL PERIFITON PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>298</i>
<i>FIGURA 122. ESTIMADORES DE RIQUEZA DE GÉNEROS DEL PERIFITON EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>299</i>
<i>FIGURA 123. VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD DE LOS GÉNEROS DEL PERIFITON EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.....</i>	<i>301</i>
<i>FIGURA 124. VALORES DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER PARA LOS GÉNEROS DEL PERIFITON EN LAS ESTACIONES EVALUADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>301</i>
<i>FIGURA 125. ÍNDICE DE SIMILITUD DE JACCARD DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>303</i>
<i>FIGURA 126. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS ÓRDENES DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>308</i>
<i>FIGURA 127. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>309</i>
<i>FIGURA 128. ABUNDANCIA ESPACIO-TEMPORAL DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.</i>	<i>312</i>
<i>FIGURA 129. ESTIMADORES DE RIQUEZA PARA LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014</i>	<i>313</i>
<i>FIGURA 130. VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.....</i>	<i>315</i>

FIGURA 131. VALORES DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER PARA LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS EN LAS ESTACIONES EVALUADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	315
FIGURA 132. ÍNDICE DE SIMILITUD DE JACCARD DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	317
FIGURA 133. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS ÓRDENES DE PECES EVALUADOS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	321
FIGURA 134. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS FAMILIAS DE PECES EVALUADOS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	322
FIGURA 135. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES DE PECES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	324
FIGURA 136. ABUNDANCIA ESPACIO-TEMPORAL DE LAS ESPECIES DE PECES PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	325
FIGURA 137. ESTIMADORES DE RIQUEZA DE LAS ESPECIES DE PECES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	326
FIGURA 138. VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD DE LAS ESPECIES DE PECES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	328
FIGURA 139. VALORES DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER PARA LAS ESPECIES DE PECES EN LAS ESTACIONES EVALUADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	328
FIGURA 140. ÍNDICE DE SIMILITUD DE JACCARD DE LAS ESPECIES DE PECES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.....	330
FIGURA 141. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL (ALTITUDINAL) DE LAS ESPECIES DE PECES COLECTADOS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	332
FIGURA 142. UBICACIÓN ESPACIAL DE LAS ZONAS HOMOGÉNEAS CON RESPECTO A LAS RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA Y RESPUESTA ECOLÓGICA EN EL RÍO QUINDÍO.....	336
FIGURA 143. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, MACROINVERTEBRADOS VS. CAUDAL MEDIO MENSUAL (M ³ /S). LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	337
FIGURA 144. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, MACROINVERTEBRADOS VS Q5%. LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	338
FIGURA 145. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, MACROINVERTEBRADOS VS Q85%. LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	339
FIGURA 146. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, MACROINVERTEBRADOS VS Q95%. LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	340
FIGURA 147. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, PARA PERIFITON (IDG) VS CAUDAL MEDIO MENSUAL (M ³ /S). LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	341

FIGURA 148. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, PARA PERIFITON (IDG) VS Q5%. LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	342
FIGURA 149. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, PARA PERIFITON (IDG) VS Q85%. LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	343
FIGURA 150. RELACIONES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA VS RESPUESTA ECOLÓGICA, PARA PERIFITON (IDG) VS Q95%. LOS CUADROS Y PUNTOS DE COLOR AZUL REPRESENTAN LOS MUESTREOS HIDROBIOLÓGICOS EN CONDICIÓN DE REFERENCIA Y LOS DE COLOR ROJO LA CONDICIÓN ALTERADA. LOS CUADROS INDICAN LA ZONA ALTA-MEDIA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA Y LOS PUNTOS LA PARTE BAJA	344
FIGURA 151. RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S) PARA EL TRAMO CA1	345
FIGURA 152. RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S) PARA EL TRAMO CA2	346
FIGURA 153. RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S) PARA EL TRAMO CA3	346
FIGURA 154. RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S) PARA EL TRAMO CA4	347
FIGURA 155 TRAMOS DEFINIDOS PARA LOS TALLERES	376
FIGURA 156 PERFIL SIMULADO DE CAUDAL PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	404
FIGURA 157 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE DBO ₅ PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	405
FIGURA 158 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE SST PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	405
FIGURA 159 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE OXÍGENO DISUELTO PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	406
FIGURA 160 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE DQO PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	406
FIGURA 161 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE NITRÓGENO TOTAL PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	407
FIGURA 162 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE FÓSFORO TOTAL PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	407
FIGURA 163 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE NITRÓGENO AMONICAL PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	408
FIGURA 164 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE NITRATOS PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	408
FIGURA 165 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES SIMULADOS DE COLIFORMES TOTALES PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	409
FIGURA 166 PERFILES SIMULADOS DE PH PARA LOS 5 ESCENARIOS. CONDICIONES CARACTERÍSTICAS DE BAJA DILUCIÓN EN EL RÍO QUINDÍO	409

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CODIFICACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO QUINDÍO CON RESPECTO A LA ZONIFICACIÓN HIDROGRÁFICA NACIONAL	25
TABLA 2. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS UBICADAS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO QUINDÍO	34
TABLA 3. PUNTOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SOBRE EL RÍO QUINDÍO.....	35
TABLA 4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y ACCIONES ESTRATÉGICAS DE LA POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO (MAVDT, 2010)	37
TABLA 5. DEMANDA HÍDRICA ESTIMADA EN EL RÍO QUINDÍO POR CRQ (2011A) CON BASE EN CAUDALES CONCESIONADOS	41
TABLA 6. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) EN 6 PUNTOS SOBRE EL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO QUINDÍO PARA TRES CONDICIONES HIDROLÓGICAS. (FUENTE: UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA Y UNIVERSIDAD DEL VALLE, 2011).....	43
TABLA 7. CONCESIONES DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE SALENTO	51
TABLA 8. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO, MUNICIPIO DE SALENTO	52
TABLA 9. CAUDAL PROMEDIO ANUAL EPA.....	53
TABLA 10. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO - AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE SALENTO.....	53
TABLA 11. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO - PECUARIO, MUNICIPIO DE SALENTO.....	54
TABLA 12. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO - ENERGÉTICO, MUNICIPIO DE SALENTO.....	55
TABLA 13. CONCESIONES DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL, MUNICIPIO DE SALENTO.....	55
TABLA 14. CONCESIONES DE AGUA PARA USO PECUARIO, MUNICIPIO DE SALENTO	55
TABLA 15. CONCESIONES DE AGUA PARA USO PISCÍCOLA, MUNICIPIO DE SALENTO	56
TABLA 16. CAUDAL PROMEDIO ANUAL TRUCHAS COCORA	56
TABLA 17. CONCESIONES DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE CALARCÁ	57
TABLA 18. CONCESIONES DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA - DOMÉSTICO, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	58
TABLA 19. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	60
TABLA 20. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO - AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	60
TABLA 21. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO - PECUARIO, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	61
TABLA 22. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO – PECUARIO - AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	62
TABLA 23. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO – PISCÍCOLA, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	62
TABLA 24. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO – RIEGO, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	62
TABLA 25. CONCESIONES DE AGUA PARA USO ENERGÉTICO, MUNICIPIO DE CALARCÁ	63
TABLA 26. CAUDAL PROMEDIO ANUAL PCH	63
TABLA 27. CONCESIONES DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	64
TABLA 28. CONCESIONES DE AGUA PARA USO PECUARIO, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	64
TABLA 29. CONCESIONES DE AGUA PARA USO EN RIEGO, MUNICIPIO DE CALARCÁ.....	65
TABLA 30. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO, MUNICIPIO DE ARMENIA	65
TABLA 31. CONCESIONES DE AGUA PARA USO ENERGÉTICO, MUNICIPIO DE ARMENIA.....	66
TABLA 32. CAUDAL PROMEDIO ANUAL PCH EL BOSQUE.....	66
TABLA 33. CONCESIONES DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL, MUNICIPIO DE ARMENIA.....	66
TABLA 34. CONCESIONES DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE CÓRDOBA	67
TABLA 35. CONCESIONES DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA-DOMÉSTICO, MUNICIPIO DE CÓRDOBA	68
TABLA 36. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO, MUNICIPIO DE CÓRDOBA.....	68
TABLA 37. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO-AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE CÓRDOBA.....	68
TABLA 38. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO-PECUARIO-PISCÍCOLA, MUNICIPIO DE CÓRDOBA.....	69
TABLA 39. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO-PISCÍCOLA, MUNICIPIO DE CÓRDOBA.....	69
TABLA 40. CONCESIONES DE AGUA PARA USO ENERGÉTICO, MUNICIPIO DE CÓRDOBA	69
TABLA 41. CONCESIONES DE AGUA PARA USO PISCÍCOLA, MUNICIPIO DE CÓRDOBA.....	70

TABLA 42. CAUDAL OTORGADO PARA LOS DIFERENTES USOS, MUNICIPIO DE BUENAVISTA.....	70
TABLA 43. CONCESIONES DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE BUENAVISTA.....	70
TABLA 44. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO, MUNICIPIO DE BUENAVISTA	71
TABLA 45. CONCESIONES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO-AGRÍCOLA, MUNICIPIO DE BUENAVISTA	71
TABLA 46. CONCESIONES DE AGUA SUBTERRÁNEAS OTORGADAS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO. 73	
TABLA 47. RELACIÓN DE USOS Y CAUDALES CONCESIONADOS POR MUNICIPIO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	76
TABLA 48. POBLACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO Y LA TEBAIDA, SEGÚN RESULTADOS CENSALES DEL DANE	77
TABLA 49. DEMANDA BRUTA PROYECTADA A 10 AÑOS PARA LOS SECTORES URBANO Y RURAL EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	88
TABLA 50. ACTORES IDENTIFICADOS COMO RELEVANTES PARA PARTICIPAR EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO	91
TABLA 51. FUNCIONES DE ACTORES DEL SECTOR PÚBLICO.....	92
TABLA 52. FUNCIONES DE ACTORES DEL SECTOR PRIVADO.....	93
TABLA 53. FUNCIONES DE ACTORES DE ORGANIZACIONES SIN ANIMO DE LUCRO.....	93
TABLA 54. FUNCIONES DE ACTORES DE ORGANIZACIONES SOCIALES	93
TABLA 55. INCIDENCIAS EN LA IDENTIFICACIÓN DE ACUEDUCTOS Y FUENTES HÍDRICAS	97
TABLA 56. CONFLICTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL USO Y/O APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN SALENTO.....	99
TABLA 57 FUENTES UTILIZADAS PARA LA CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO QUINDÍO.....	103
TABLA 58. TRAMOS RÍO QUINDÍO DE ACUERDO CON EL ANÁLISIS DE CARGA CONTAMINANTE REALIZADO POR LA CRQ	104
TABLA 59. CENSOS POBLACIONALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	104
TABLA 60. VERTIMIENTOS REPORTADOS EN VISITAS TÉCNICAS CRQ SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	105
TABLA 61. USUARIOS DE TASA RETRIBUTIVA QUE VIERTEN SOBRE EL RÍO QUINDÍO.....	107
TABLA 62 INFORMACIÓN RECOPIADA DE LOS PLANES DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS.....	112
TABLA 63 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO QUINDÍO.....	114
TABLA 64. INFORMACIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS PRINCIPALES VERTIMIENTOS IDENTIFICADOS SOBRE EL RÍO QUINDÍO.....	114
TABLA 65. PUNTO 1 DE RECONOCIMIENTO QUEBRADA SAN JOSÉ.....	118
TABLA 66. PUNTO 2 DE RECONOCIMIENTO LA PLAYA.....	118
TABLA 67. PUNTO 3 DE RECONOCIMIENTO BOQUÍA.....	119
TABLA 68. PUNTO 4 DE RECONOCIMIENTO BOCATOMA EPA.....	119
TABLA 69. PUNTO 5 DE RECONOCIMIENTO UNIÓN RÍO NAVARCO Y RÍO QUINDÍO	119
TABLA 70. PUNTO 6 DE RECONOCIMIENTO CHAGUALA.....	120
TABLA 71. PUNTO 7 DE RECONOCIMIENTO LA MARÍA	120
TABLA 72. PUNTO DE RECONOCIMIENTO BALBOA.....	121
TABLA 73. PUNTO 8 DE RECONOCIMIENTO UNIÓN RÍO QUINDÍO Y RÍO VERDE.....	121
TABLA 74. PUNTO DE RECONOCIMIENTO QUEBRADA LA PICOTA.....	121
TABLA 75. PUNTO DE RECONOCIMIENTO RÍO BARRAGÁN.....	122
TABLA 76 DETERMINANTES DE CALIDAD DEL AGUA MEDIDOS.....	132
TABLA 77 ESTACIONES DE MONITOREO DE LA RED DE CALIDAD HÍDRICA DEL RÍO QUINDÍO Y SUS TRIBUTARIOS PRINCIPALES CON OBSERVACIONES SOBRE PARÁMETROS POR MEDIR.....	133
TABLA 78. TOMA DE MUESTRAS CAMPAÑA I	134
TABLA 79 ESTACIONES DE MONITOREO DE LA RED DE CALIDAD HÍDRICA DEL RÍO QUINDÍO Y SUS TRIBUTARIOS PRINCIPALES. LOCALIZACIÓN, HORA DE TOMA DE MUESTRA Y OBSERVACIONES DE LA CAMPAÑA I	135

TABLA 80. PUNTOS PARA LEVANTAMIENTO DE LA SECCIÓN TOPO-BATIMÉTRICA	136
TABLA 81. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO 1	136
TABLA 82. TOMA DE MUESTRAS CAMPAÑA 2	138
TABLA 83. ESTACIONES DE MONITOREO DE LA RED DE CALIDAD HÍDRICA DEL RÍO QUINDÍO Y SUS TRIBUTARIOS PRINCIPALES. LOCALIZACIÓN, HORA DE TOMA DE MUESTRA Y OBSERVACIONES DE LA CAMPAÑA 2	139
TABLA 84. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO 2	139
TABLA 85 ABCISADO Y ALTITUD DE LOS SITIOS DE MEDICIÓN DE LA RED DE MONITOREO DEL RÍO QUINDÍO	141
TABLA 86 DETERMINANTES MEDIDOS IN SITU EN LA CAMPAÑA 1	142
TABLA 87 ALCALINIDAD, pH Y DUREZA MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 1	144
TABLA 88 OXÍGENO DISUELTO, DBO ₅ Y DQO MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 1	146
TABLA 89 NUTRIENTES Y BIOMASA DE ALGAS MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 1	147
TABLA 90 ORGANISMOS PATÓGENOS Y SÓLIDOS MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 1	149
TABLA 91 PESTICIDAS, IONES Y OTRAS SUSTANCIAS. CAMPAÑA 1	152
TABLA 92 METALES Y METALOIDES DETECTADOS EN LA RED DE DRENAJE DURANTE LA CAMPAÑA 1	154
TABLA 93 RESUMEN DE RESULTADOS DE AFORO EN EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 1	155
TABLA 94 DETERMINANTES MEDIDOS IN SITU EN LA CAMPAÑA 2	158
TABLA 95 ALCALINIDAD, pH Y DUREZA MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 2	160
TABLA 96 OXÍGENO DISUELTO, DBO ₅ Y DQO MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 2	162
TABLA 97 NUTRIENTES Y BIOMASA DE ALGAS MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 2	163
TABLA 98 ORGANISMOS PATÓGENOS Y SÓLIDOS MEDIDOS EN LA CAMPAÑA 2	165
TABLA 99 PESTICIDAS, IONES Y OTRAS SUSTANCIAS. CAMPAÑA 2	167
TABLA 100 METALES Y METALOIDES DETECTADOS EN LA RED DE DRENAJE DURANTE LA CAMPAÑA 2	169
TABLA 101 RESUMEN DE RESULTADOS DE AFORO EN EL RÍO QUINDÍO. CAMPAÑA 2	170
TABLA 102 VALORES MEDIDOS IN SITU SOBRE LOS VERTIMIENTOS	174
TABLA 103 ANÁLISIS DE LOS VALORES MEDIDOS EN EL VERTIMIENTO DE CURTIEMBRES LA MARÍA	176
TABLA 104 ANÁLISIS DE LOS VALORES MEDIDOS EN EL VERTIMIENTO DE FRIGOCAFÉ	177
TABLA 105 CARGAS CONTAMINANTES PROMEDIO OBTENIDAS A PARTIR DEL MUESTREO COMPUESTO DE 24 HORAS	178
TABLA 106 VARIABLES Y PONDERACIONES PARA EL CÁLCULO DEL ICA	179
TABLA 107 CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LOS VALORES DEL ICA	182
TABLA 108 VALORES DE LOS DETERMINANTES DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DEL ICA	183
TABLA 109 ICAs CALCULADOS PARA LAS ESTACIONES DEL RÍO QUINDÍO UTILIZADAS EN LAS DOS CAMPAÑAS DE 2014	183
TABLA 110 RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL ICA PARA LOS AFLUENTES PRINCIPALES Y VERTIMIENTOS DIRECTOS AL río QUINDÍO	185
TABLA 111 CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA DESTINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DEL DECRETO 1594 DE 1984	189
TABLA 112 RESUMEN DE CONFLICTOS USO-CALIDAD SEGÚN EL DECRETO 1594 DE 1984	196
TABLA 113. FLUJOS DE SALIDA DESDE EL TANQUE 2 (ESCORRENTÍA DIRECTA), SEGÚN TIPO DE CELDA DE ORIGEN Y DE DESTINO (TANQUE 5 = FLUJO EN CANAL). (BUSSI, 2010)	213
TABLA 114. FLUJOS DE SALIDA DESDE EL TANQUE 3 (INTERFLUJO), SEGÚN TIPO DE CELDA DE ORIGEN Y DE DESTINO (TANQUE 5 = FLUJO EN CANAL). (BUSSI, 2010)	213
TABLA 115. FLUJOS DE SALIDA DESDE EL TANQUE 4 (FLUJO BASE), SEGÚN TIPO DE CELDA DE ORIGEN Y DE DESTINO (TANQUE 5 = FLUJO EN CANAL). (BUSSI, 2010)	214
TABLA 116. INTERVALOS DE VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES Y EXPONENTES GEOMORFOLÓGICOS (FRANCÉS, ET. AL. 2007)	215
TABLA 117. FACTORES CORRECTORES Y LOS RESPECTIVOS PARÁMETROS AJUSTADOS	216
TABLA 118. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO	217

TABLA 119. CLASES DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA PRESENTES EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	224
TABLA 120. VALORES DE REFERENCIA DE K_p EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ROCA, ADOPTADOS DE CHAPMAN (1996).	225
TABLA 121. VALORES DE REFERENCIA DE K_p PARA CADA UNIDAD GEOLÓGICA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	226
TABLA 122. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL POR EFECTO DE LA COBERTURA.....	231
TABLA 123. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	236
TABLA 124. ÍNDICES DE VEGETACIÓN.....	236
TABLA 125. ESTACIONES METEOROLÓGICAS USADAS PARA ESTIMAR ETP.....	237
TABLA 126. CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DE LA COBERTURA.....	238
TABLA 127. FACTORES CORRECTORES CALIBRADOS A ESCALA DIARIA.....	241
TABLA 128. EFICIENCIA DEL MODELO EN LOS PERIODOS DE CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN.....	242
TABLA 129. CAUDALES CARACTERÍSTICOS DIÁRIOS (m^3/s) EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE INTERÉS SOBRE EL RÍO QUINDÍO.....	249
TABLA 130. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MENSUAL PROMEDIO EN 22 PUNTOS DE INTERÉS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	251
TABLA 131. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MENSUAL PROMEDIO EN 22 PUNTOS DE INTERÉS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	252
TABLA 132. ÍNDICE DE ÁRIDEZ MENSUAL EN 22 PUNTOS DE INTERÉS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.....	253
TABLA 133. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA (IDEAM, 2010).....	254
TABLA 134. ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA EN 22 PUNTOS DE SIMULACIÓN EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA HÚMEDA.....	255
TABLA 135. ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA EN 22 PUNTOS DE SIMULACIÓN EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA.....	256
TABLA 136. ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA EN 22 PUNTOS DE SIMULACIÓN EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA.....	257
TABLA 137. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN EL ESTUDIO DE LOS CAUDALES AMBIENTALES. (A: NIVEL ALTO; M: NIVEL MEDIO; B: NIVEL BAJO). MODIFICADO DE NORMA MEXICANA NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012)	263
TABLA 138. RESULTADOS DEL AJUSTE DE 5 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN A LAS SERIES DE ESCORRENTÍA MENSUAL EN LOS CUATRO PUNTOS DE CÁLCULO DEL CAUDAL AMBIENTAL SOBRE EL RÍO QUINDÍO.....	269
TABLA 139. CLASIFICACIÓN DEL ONI SEGÚN LA FASE DE FENÓMENO ENSO. FASE CÁLIDA (ROJO), FASE FRÍA (AZUL), FASE NEUTRA (NEGRO CON FONDO BLANCO).....	274
TABLA 140. CLASIFICACIÓN DE LOS MESES POR CONDICIÓN HIDROLÓGICA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO SEGÚN EL DESFASE DE 2 MESES ENTRE EL SRI Y EL ONI. CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA (ROJO), CONDICIÓN HIDROLÓGICA HÚMEDA (AZUL), CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA (NEGRO CON FONDO BLANCO).....	275
TABLA 141. CAUDAL AMBIENTAL SEMILLA (m^3/s) CALCULADO POR DOS MÉTODOS (M_1 , M_2) PARA LOS CUATRO TRAMOS EN LOS QUE SE DEFINE EL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL.....	276
TABLA 142. INFORMACIÓN SOBRE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS TRAMOS MONITOREADOS EN EL RÍO QUINDÍO Y QUEBRADAS TRIBUTARIAS.....	279
TABLA 143. COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y DENSIDAD DE GÉNEROS DEL PERIFITON PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.....	292
TABLA 144. DENSIDADES RELATIVAS DE LOS GÉNEROS DEL PERIFITON A NIVEL TEMPORAL EVALUADAS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.....	295

TABLA 145. DENSIDADES RELATIVAS DE LOS GÉNEROS DEL PERIFITON A NIVEL ESPACIAL EVALUADAS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	296
TABLA 146. VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LOS PARÁMETROS DE DIVERSIDAD DE LOS GÉNEROS DEL PERIFITON EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	300
TABLA 147. VALORES P DE LA PRUEBA T APLICADA AL ÍNDICE DE SHANNON, RELACIONANDO LAS ESTACIONES EVALUADAS ENTRE SÍ, SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	302
TABLA 148. VALORES ESPACIO-TEMPORALES DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO Y SU SIGNIFICADO EN LA CALIDAD DE AGUA	305
TABLA 149. COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y DENSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	306
TABLA 150. ABUNDANCIA TEMPORAL DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	310
TABLA 151. ABUNDANCIA ESPACIAL DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	311
TABLA 152. VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LOS PARÁMETROS DE DIVERSIDAD DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	314
TABLA 153. VALORES P DE LA PRUEBA T APLICADA AL ÍNDICE DE SHANNON PARA LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS, RELACIONANDO LAS ESTACIONES EVALUADAS ENTRE SÍ, SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	316
TABLA 154. VALORES DEL ÍNDICE BMWP/COL DE LAS SIETE ESTACIONES DE MUESTREO UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	319
TABLA 155. VALORES DEL ÍNDICE EPT DE LAS SIETE ESTACIONES DE MUESTREO UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	319
TABLA 156. COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y ABUNDANCIA DE LOS PECES PRESENTES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	320
TABLA 157. ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE PECES A NIVEL TEMPORAL EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	323
TABLA 158. ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DE PECES A NIVEL ESPACIAL EVALUADAS EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	324
TABLA 159. VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LOS PARÁMETROS DE DIVERSIDAD DE LAS ESPECIES DE PECES EN SIETE ESTACIONES UBICADAS SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014	327
TABLA 160. VALORES P DE LA PRUEBA T APLICADA AL ÍNDICE DE SHANNON, RELACIONANDO LAS ESTACIONES EVALUADAS ENTRE SÍ, SOBRE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ENTRE JUNIO Y OCTUBRE DE 2014.	329
TABLA 161. SECTORES EN DONDE SE REALIZÓ EL ANÁLISIS DE RELACIÓN ENTRE ÍNDICES ECOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS EN EL RÍO QUINDÍO	335
TABLA 162. SITIOS DE REFERENCIA	336
TABLA 163. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO Y SUS PRINCIPALES UNIDADES HIDROGRÁFICAS AFLUENTES EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA	354
TABLA 164. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LOS TRAMOS DESDE NACIMIENTO-RQ1 HASTA RQ4-E0 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA	355
TABLA 165. ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LOS TRAMOS DESDE E0-E2 HASTA E7-RQ6 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA	356

TABLA 166. <i>ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LOS TRAMOS RQ6-RQ7 Y RQ7-RQ8 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA</i>	357
TABLA 167. <i>ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO Y SUS PRINCIPALES UNIDADES HIDROGRÁFICAS AFLUENTES EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	358
TABLA 168. <i>ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LOS TRAMOS DESDE NACIMIENTO-RQ1 HASTA RQ4-E0 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	359
TABLA 169. <i>ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LOS TRAMOS DESDE E0-E2 HASTA E7-RQ6 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	360
TABLA 170. <i>ÍNDICE DE USO DEL AGUA EN LOS TRAMOS RQ6-RQ7 Y RQ7-RQ8 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	361
TABLA 171. <i>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO Y SUS PRINCIPALES UNIDADES HIDROGRÁFICAS EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA</i>	364
TABLA 176. <i>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LOS TRAMOS DESDE NACIMIENTO-RQ1 HASTA E0-E2 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA</i>	365
TABLA 177. <i>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LOS TRAMOS DESDE E2-E3 HASTA RQ7-RQ8 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA</i>	366
TABLA 178. <i>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO Y SUS PRINCIPALES UNIDADES HIDROGRÁFICAS APORTANTES EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	367
TABLA 179. <i>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LOS TRAMOS DESDE NACIMIENTO-RQ1 HASTA E0-E2 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	368
TABLA 180. <i>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LOS TRAMOS DESDE E2-E3 HASTA RQ7-RQ8 EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	369
TABLA 181. <i>MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA</i>	371
TABLA 182. <i>MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA</i>	371
TABLA 183. <i>NIVELES DE RIESGO DEL SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA</i>	372
TABLA 184. <i>AMENAZA Y VULNERABILIDAD DE REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA</i>	372
TABLA 185. <i>AMENAZA Y VULNERABILIDAD DE REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	373
TABLA 186. <i>RIESGO DE REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA NEUTRA</i>	373
TABLA 187. <i>RIESGO DE REDUCCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA EN CONDICIÓN HIDROLÓGICA SECA</i>	374
TABLA 188. <i>EJEMPLO DE CONSOLIDADO DE DATOS PARA ASIGNAR VALORES DE CONCENTRACIÓN EN EL RÍO NAVARCO</i>	386
TABLA 189. <i>VALORES DE CONCENTRACIÓN EN LA CABECERA DEL RÍO QUINDÍO (RQ1: EL ESCOBAL) ASIGNADOS COMO CONDICIÓN DE FRONTERA EN LOS 5 ESCENARIOS FORMULADOS</i>	387
TABLA 190. <i>ÍNDICE 7Q10 MENSUAL MÍNIMO EN CADA AFLUENTE NATURAL</i>	388
TABLA 191. <i>CAUDALES ASIGNADOS EN LAS ABSTRACCIONES EXISTENTES SOBRE EL RÍO QUINDÍO</i>	388
TABLA 192. <i>PROYECCIÓN DE POBLACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO ...</i>	391
TABLA 193. <i>PROYECCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES EN CENTROS POBLADOS</i>	392
TABLA 194. <i>VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA LA QUEBRADA BOQUÍA</i>	394
TABLA 195. <i>CARGAS CONTAMINANTES PER CÁPITA Y POBLACIÓN EFECTIVA PROYECTADAS EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA LA PTAR SALENTO</i>	395
TABLA 196. <i>PORCENTAJES DE REMOCIÓN ESTIMADOS PARA EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO EN LA PTAR SALENTO</i>	395

TABLA 197 CARGAS CONTAMINANTES PROYECTADAS EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA LA PTAR SALENTO.....	395
TABLA 198 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA EL RÍO NAVARCO.....	396
TABLA 199 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA EL VERTIMIENTO DE FRIGOCAFÉ.....	397
TABLA 200 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA EL VERTIMIENTO DE CURTIEMBRES LA MARÍA.....	397
TABLA 201 VALORES PROYECTADOS DE CARGA CONTAMINANTE AFERENTE A LA QUEBRADA LA FLORIDA.....	398
TABLA 202 VALORES PROYECTADOS DE CARGA CONTAMINANTE AFERENTE A LA QUEBRADA EL CAFETERO (SAN NICOLÁS).....	398
TABLA 203 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN Y CAUDAL DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE LLEGAN A LA QUEBRADA LA FLORIDA.....	398
TABLA 204 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN Y CAUDAL DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE LLEGAN A LA QUEBRADA EL CAFETERO (SAN NICOLÁS).....	398
TABLA 205 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN Y CAUDAL EN EL COLECTOR LA FLORIDA – EL CAFETERO (SAN NICOLÁS).....	399
TABLA 206 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN Y CAUDAL EN LA QUEBRADA LA FLORIDA.....	399
TABLA 207 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN Y CAUDAL EN LA QUEBRADA EL CAFETERO (SAN NICOLÁS).....	399
TABLA 208 CARGAS CONTAMINANTES PER CÁPITA Y POBLACIÓN EFECTIVA PROYECTADAS EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA LA PTAR CALARCÁ.....	400
TABLA 209 PORCENTAJES DE REMOCIÓN ESTIMADOS PARA EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO EN LA PTAR CALARCÁ.....	400
TABLA 210 CARGAS CONTAMINANTES PROYECTADAS EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA LA PTAR CALARCÁ.....	400
TABLA 211 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA LA QUEBRADA EL PESCADOR.....	401
TABLA 212 CARGAS CONTAMINANTES PER CÁPITA Y POBLACIÓN EFECTIVA PROYECTADAS EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA LAS DESCARGAS DE CALARCÁ Y CÓRDOBA QUE LLEGAN AL RÍO VERDE.....	401
TABLA 213 PORCENTAJES DE REMOCIÓN ESTIMADOS PARA EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO EN LAS DESCARGAS DE CALARCÁ Y CÓRDOBA QUE LLEGAN AL RÍO VERDE.....	401
TABLA 214 CARGAS CONTAMINANTES PROYECTADAS EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO EN LAS DESCARGAS DE CALARCÁ Y CÓRDOBA QUE LLEGAN AL RÍO VERDE.....	402
TABLA 215 VALORES PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO PARA EL RÍO VERDE.....	402
TABLA 216 REDUCCIÓN PROGRESIVA DE APORTES PUNTALES Y DIFUSOS DE NITRÓGENO ORGÁNICO Y COLIFORMES TOTALES A LO LARGO DEL RÍO QUINDÍO.....	403
TABLA 217 APORTES DIFUSOS PROYECTADOS DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO ORGÁNICO Y COLIFORMES TOTALES Y DE CAUDAL.....	403
TABLA 218 CÁLCULO DE LONGITUDES DE MEZCLA Y DISTANCIA AGUAS ARRIBA DE LAS CAPTACIONES DE AGUA POTABLE EN EL RÍO QUINDÍO QUE CORRESPONDEN A SECTORES CLASE I.....	411
TABLA 219 CÁLCULO DE LONGITUDES DE MEZCLA Y DISTANCIA AGUAS ARRIBA DE LAS CAPTACIONES DE AGUA POTABLE EN EL RÍO QUINDÍO QUE CORRESPONDEN A SECTORES CLASE I – ÉPOCA SECA.....	411
TABLA 220 CATEGORÍAS DE USOS POTENCIALES DEL AGUA PARA EL RÍO QUINDÍO.....	412
TABLA 221 UMBRALES DE CONCENTRACIÓN IDENTIFICADOS PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS SIMULADOS EN EL RÍO QUINDÍO EN ÉPOCA SECA (CONDICIÓN CRÍTICA DE MÍNIMA DILUCIÓN).....	414

<i>TABLA 222 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA CONSIDERADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL EN EL RÍO QUINDÍO.....</i>	<i>415</i>
<i>TABLA 223 USOS POTENCIALES IDENTIFICADOS EN EL RÍO QUINDÍO EN ÉPOCA SECA.....</i>	<i>416</i>
<i>TABLA 224 OBJETIVOS DE CALIDAD PARA EL RÍO QUINDÍO.....</i>	<i>417</i>

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Decreto 3930 de 2010, artículo 8, en la fase de diagnóstico del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH se caracteriza la situación ambiental del cuerpo de agua, involucrando variables físicas, químicas y bióticas y aspectos antrópicos que influyen en la calidad y cantidad del recurso. En este documento se presenta la revisión, organización, clasificación y análisis de información relacionada con la oferta, la demanda y la calidad del agua del río Quindío, la revisión y ajuste del régimen de caudal ambiental y finalmente se definen usos potenciales del recurso en el río Quindío. Se incluye la consolidación de información de demandas de agua en la cuenca del río Quindío con base en información suministrada por CRQ, así como la implementación de un modelo hidrológico distribuido espacialmente y formulado a escala diaria. El cual fue utilizado para caracterizar la oferta hídrica en la Unidad Hidrográfica, y se utilizó como insumo para calcular el régimen de caudal ambiental en condiciones húmedas, secas y neutras. Se realizaron 5 campañas de monitoreo hidrobiológico así como la conformación del perfil actual de la calidad del agua del cuerpo de agua en ordenamiento, a partir de los resultados de medición en dos campañas de monitoreo de calidad físico-química adelantadas en el año 2014 bajo condiciones hidrológicas contrastantes (caudales bajos y altos) y la implementación de un modelo de calidad del agua en condiciones de flujo permanente y estado estable. El desarrollo de este proyecto se ajusta a lo establecido en la Guía Técnica para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico, publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en diciembre de 2014.

El Documento está estructurado en 11 secciones. En la sección 1 se presenta la ubicación, delimitación y red hidrográfica de la unidad hidrográfica del río Quindío. En la sección 2 se describe la red de monitoreo hidrometeorológico y de calidad de aguas existente. En la sección 3 se presenta una síntesis de herramientas de planificación y administración del recurso hídrico en la cuenca. En la sección 4 se describen los usos y usuarios del recurso hídrico. En la sección 5 se presenta el resultado del proceso de participación de actores en la fase diagnóstica. En la sección 6 se presentan los análisis relacionados con la calidad de agua de los tramos sujetos a ordenamiento; incluyendo aspectos enfocados a la acumulación y remoción de cargas contaminantes a lo largo del río Quindío y el análisis de conflictos uso-calidad de acuerdo con los criterios de calidad del agua señalados en el Decreto 1594 de 1984 (aún vigente por el artículo 76 del Decreto 3930 de 2010). La sección 7 se dedica a la estimación de la oferta hídrica en la unidad hidrográfica del río Quindío. La sección 8 describe índices asociados a la oferta hídrica. En la sección 9 se presentan los resultados del cálculo del régimen de caudal ambiental en la cuenca para condiciones húmedas, neutras y secas. En las secciones 10 y 11 se describen los indicadores de presión sobre el recurso hídrico superficial y los riesgos asociados a la reducción de la oferta hídrica respectivamente. La sección 12 presenta la fase prospectiva del plan de ordenamiento, en la que se incluye la

formulación de escenarios con base en la proyección de cargas contaminantes, se define la clasificación de las aguas y aspectos relacionados con la identificación de usos potenciales y revisión de objetivos de calidad. Finalmente, la sección 13 presenta la fase de formulación del plan, en la cual se destacan aspectos de articulación con el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja, y la estructura programática.

Teniendo en cuenta que en el 16 de marzo de 2015 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la Resolución No. 631, *Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*, el documento fue ajustado conforme a lo establecido en esta norma.

1 LOCALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

El área hidrográfica del río Quindío se encuentra ubicada en la subzona hidrográfica 2612 (Tabla 1), según la clasificación del Instituto Colombiano de Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Area Hidrográfica (Código)	Magdalena-Cauca (2)
Zona Hidrográfica (Código)	Cauca (6)
SubZona Hidrográfica (Código)	La Vieja (12)
Unidad hidrográfica	Quindío Nivel I

Tabla 1. Codificación de la Unidad hidrográfica río Quindío con respecto a la Zonificación Hidrográfica Nacional

El punto de cierre del área drenante de la unidad hidrográfica del río Quindío se localiza en la coordenada 1141722.8 m E, 977967.5 m N, que representa la confluencia con el río Barragán, a partir de la cual se conforma el río La Vieja. La extensión territorial de la cuenca se enmarca entre las coordenadas 1141686.1 m E, 972745.5 m N y 1187987.2 m E, 1013447.9 m N (Figura 1). La unidad hidrográfica se encuentra en los municipios de Salento, Armenia, Calarcá, y Córdoba, y una pequeña área territorial de los municipios de Buenavista, Pijao, y La Tebaida. Para el análisis de demandas se consideran los municipios de Salento, Armenia, Calacrá, Córdoba, Buenavista y La Tebaida, ya que Pijao no cuenta con concesiones en el área de la unidad hidrográfica del río Quindío. Este estudio considera la zona que involucra la demarcación hidrográfica del río Quindío, incluyendo sus unidades hidrográficas drenantes (río Navarco, río Santo Domingo, río Verde) (Figura 1).

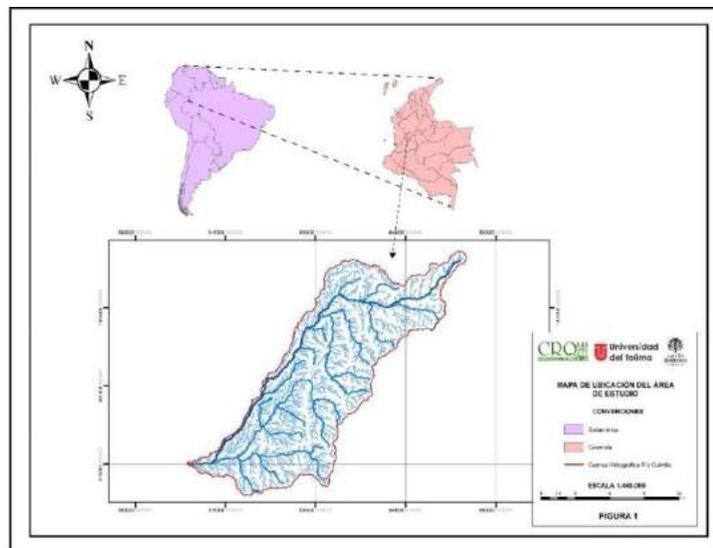


Figura 1. Ubicación del área de estudio

1.1 DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS

1.1.1 Antecedentes de la delimitación de las unidades hidrográficas

La delimitación oficial actual de la CRQ fue realizada de forma manual con base en un mapa de curvas de nivel a escala 1:10000, el cual se encuentra incompleto para el área de estudio (Figura 1A), debido a ello y a las desventajas de la subjetividad asociada a una delimitación manual, las divisorias de aguas superficiales presentan inconsistencias relevantes dentro de las cuales se destacan las siguientes:

1. La divisoria de aguas superficiales de la quebrada Santo Domingo corta un tramo importante de un drenaje en la coordenada 1159729.6 m E 992959.3 m N (Figura 1B).
2. La divisoria de aguas superficiales del río Navarco corta un drenaje importante en las coordenadas 1163391.7 m E 994775.9 m N, 1163444.0 m E 994823.4 m N, 1163501.3 m E 994879.0 m N, y 1163612.5 m E 994993.5 m N (Figura 1C).
3. La divisoria de aguas superficiales del río Quindío corta un drenaje en la coordenada 1184229.2 m E 1010705.8 m N (Figura 1D).
4. La divisoria de aguas superficiales del río Navarco corta un drenaje en las coordenadas 1169485.9 m E 995788.8 m N, y 1169768.7 m E 995430.2 m N (Figura 1E).
5. La divisoria de aguas superficiales del río Boquerón corta un drenaje en la coordenada 1174669.9 m E 998423.9 m N (Figura 1F).

Lo anterior justifica la necesidad de redefinir la demarcación hidrográfica del río Quindío y sus afluentes, siguiendo un criterio objetivo que permita elaborar una delimitación automática en SIG, aprovechando al máximo los recursos e información disponible para el presente estudio.

1.1.2 Delimitación automática

La delimitación automática de una unidad hidrográfica se realiza calculando el área drenante superficial a un punto común de la red de cauces definido como el punto de cierre de la cuenca a partir de las direcciones superficiales de flujo sobre los elementos en que se discretice el terreno. Este procedimiento se realiza comúnmente utilizando información de elevaciones del terreno sobre el nivel del mar en formato ráster, por lo que los elementos de modelación de la elevación tienen un soporte de celdas generalmente cuadradas.

La dirección del flujo superficial de una celda está condicionada a la relación espacial de dicha celda con sus celdas adyacentes, lo cual se fundamenta en que el agua fluye hacia un punto de menor potencial, es decir, hacia un punto de menor pendiente. Existen diferentes algoritmos que parten del anterior principio para calcular las direcciones del flujo superficial con base en un modelo de elevación digital (MED), entre los cuales se destacan D8, Rho8, FD8, Dinf, KRA, y DEMON. Según Olaya (2004) todos presentan ventajas y limitaciones,

pero el más extendido en su uso en el contexto de los SIG por la definición determinística de las líneas de flujo con resultados razonablemente satisfactorios es el D8.

El algoritmo D8 asume que el agua superficial puede abandonar una celda en ocho direcciones posibles que corresponden a los ocho centros de las ocho celdas adyacentes a la celda en la cual se va a calcular la dirección de flujo, por lo que la discretización angular de las direcciones tiene una magnitud de 45 grados, y la dirección que seguirá el flujo corresponde a la de mayor pendiente comparando entre las ocho opciones posibles. Dada la topografía principalmente escarpada de la unidad hidrográfica del río Quindío (característica de un río de montaña) es recomendable el uso del algoritmo D8 para calcular las direcciones de flujo.

La resolución espacial del MED es un factor importante que afecta la precisión de la delimitación de una cuenca hidrográfica y la definición de su red de drenaje. Además de la resolución espacial, hay otras propiedades de la escala que son determinantes para obtener buenos resultados en la definición de estas propiedades hidrográficas. De acuerdo con Bloeschl y Sivapalan (1995), Las tres propiedades de la escala que permiten caracterizarla de manera adecuada son: el Soporte, el Espaciamento y la Extensión. El Soporte se refiere al área del cual es representativo el valor de la variable (en este caso el área de celda del MED), el Espaciamento indica la distancia entre las unidades de discretización (en este caso coincide con la resolución espacial del MED), y la Extensión corresponde al área total que cubre la representación de la variable en cuestión (en este caso el área territorial total que tiene valores estimados de elevaciones en el MED).

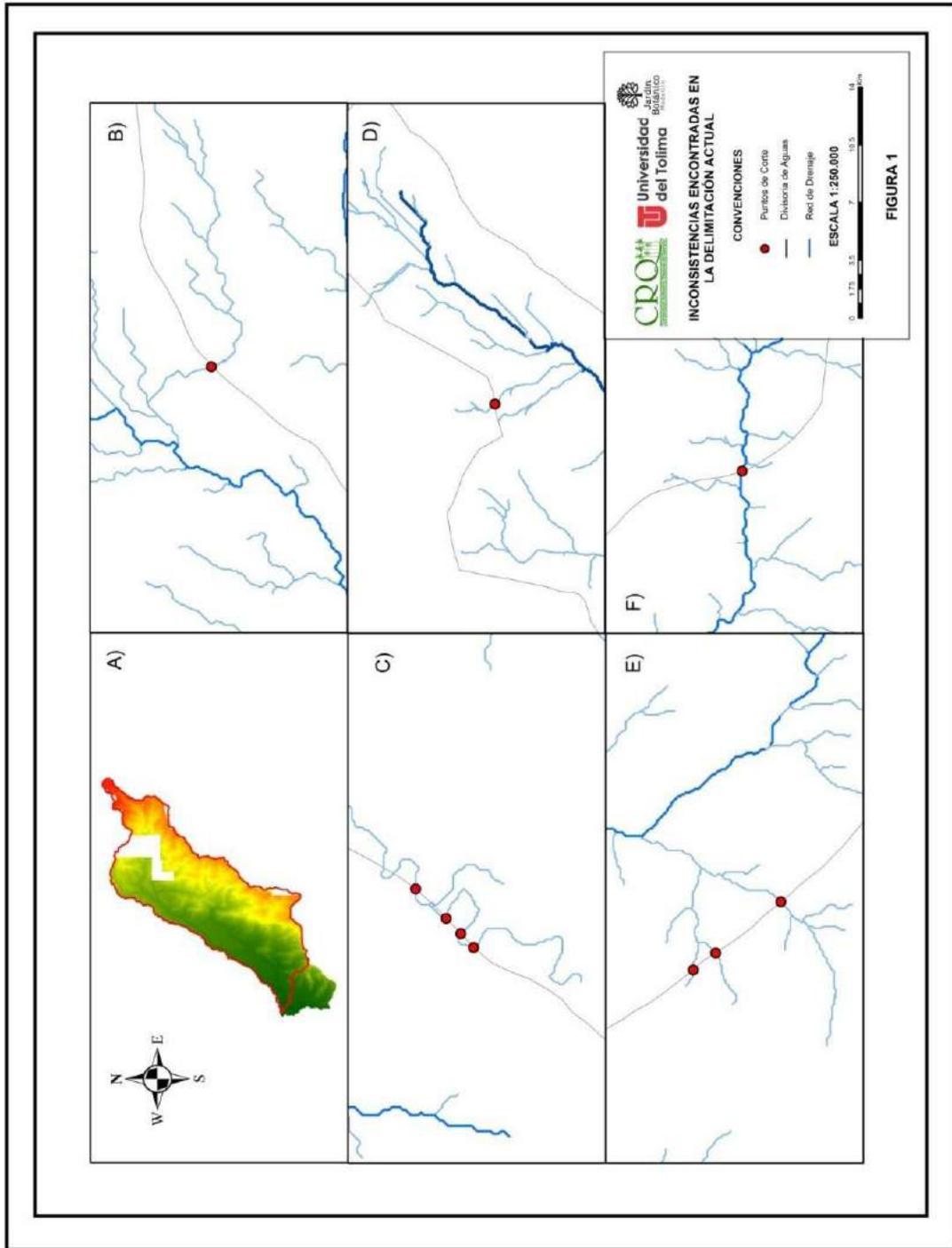


Figura 2. Inconsistencias encontradas en la delimitación actual. (A) Mapa topográfico base incompleto. (B, C, D, E, F) superposición de la divisoria de aguas con la red de drenaje

En términos hidrológicos la calidad del MED se evalúa según los tres rasgos de la escala descritos anteriormente: el error de estimación del valor representativo de cada celda (contexto del Soporte), las discontinuidades o presencia de datos faltantes en algunas celdas

(contexto del Espaciamiento) y la cobertura total del territorio a estudiar (contexto de la Extensión).

Para el caso de la unidad hidrográfica del río Quindío, existen tres productos con información de altitud: **i)** El MED de mejor resolución espacial disponible para el área de estudio tiene un tamaño de celda de 10.0327 m y una continuidad del 100% en la estimación de la elevación, sin embargo, no cubre la totalidad de la extensión de la unidad hidrográfica del río Quindío por lo que en términos hidrológicos no puede emplearse en su versión actual. **ii)** El MED generado con productos de la misión ASTER presenta una resolución de 30.8442 m con una precisión vertical mayor a 16 m y una continuidad y cobertura del 100% de la unidad hidrográfica del río Quindío. **iii)** El MED generado con productos de la misión SRTM posee una resolución espacial de 92.5327 m con una precisión vertical de aprox. 10 m y una continuidad y cobertura del 100% del área (Figura 3).

Debido a que es necesario emplear un MED que aproveche al máximo la información espacial disponible, y dadas las características anteriormente expuestas de los 3 MED, se ha optado como mejor opción completar el MED de 10.0327 m de resolución en las zonas de nubes (con falta de información) y/o información inconsistente, con información del MED de 92.5327 m de resolución (Figura 4).

Se ha descartado utilizar el MED ASTER ya que a pesar de tener una mejor resolución presenta un error de estimación vertical significativamente mayor al MED-SRTM. Además de lo anterior, fue necesario aplicar una corrección del MED con los drenajes interpretados de la ORTOFOTO de la cuenca en la zona de la quebrada La Picota, para excluirla de la cuenca del río Quindío y representar mucho mejor su confluencia con el río Barragán ya que esta zona tiende a ser arreica. Con base en el MED corregido se calcularon las direcciones de flujo superficial empleando el algoritmo D8 y se definió la delimitación hidrográfica final (Figura 5) para ser usada como base en el cálculo de las propiedades morfométricas de la cuenca y subcuencas.

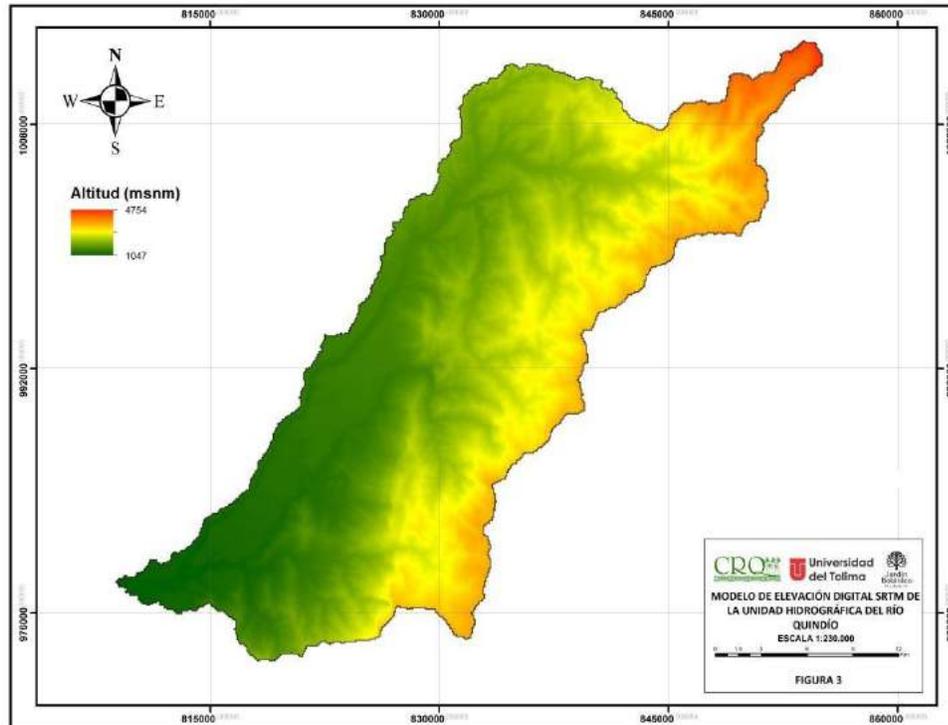


Figura 3. Modelo de elevación digital SRTM de la unidad hidrográfica río Quindío

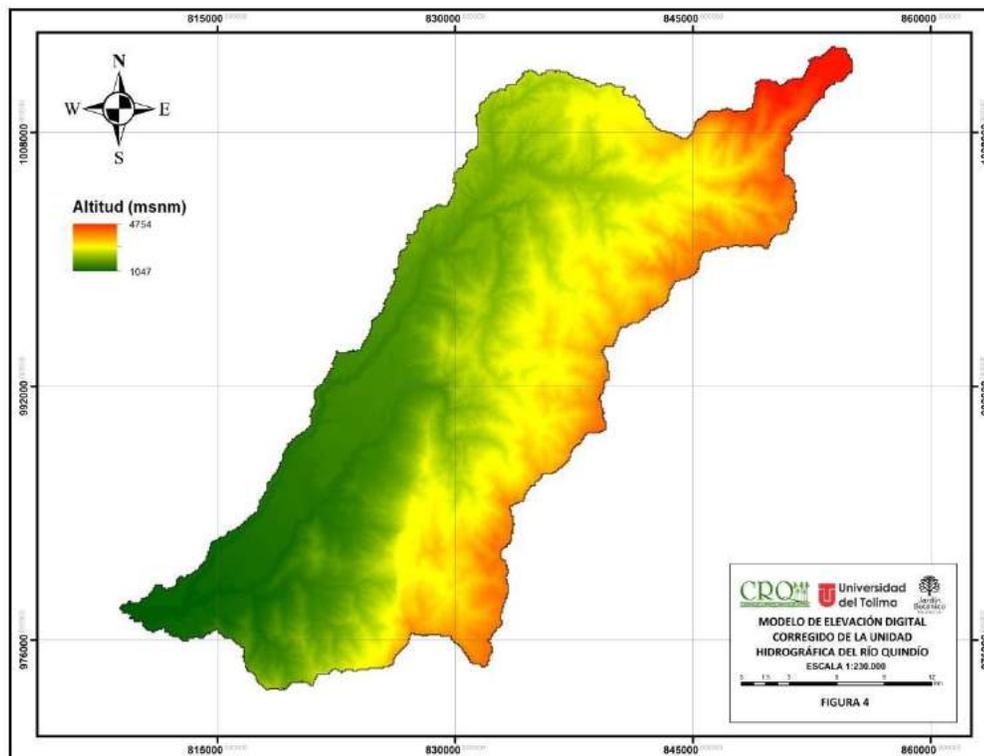


Figura 4. Modelo de elevación digital corregido de la unidad hidrográfica río Quindío

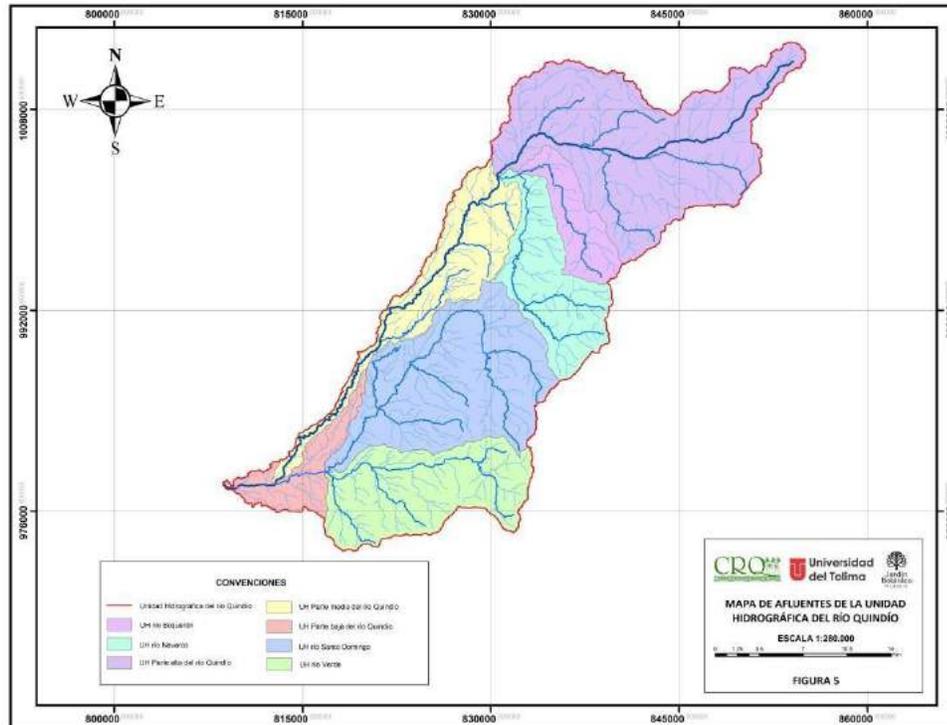


Figura 5. Demarcación hidrográfica de la unidad hidrográfica del río Quindío mediante el MED corregido

Área y Perímetro. Representa la proyección bidimensional ortogonal del área de drenaje sobre la que fluye el agua superficial hacia un punto en común definido como el punto de desagüe de la cuenca. El área de toda la cuenca del río Quindío definida mediante la delimitación presentada en la sección anterior es de 688.84 km². El perímetro de la cuenca del río Quindío es de 230.25 km. Las demás características morfométricas de la unidad hidrográfica río Quindío, se encuentran en: “*Documento técnico identificación y priorización de 12 microcuencas de importancia estratégica para el abastecimiento de recurso hídrico, incluyendo un esquema preliminar de posibles estrategias de conservación a través de cambio de propiedad de la tierra, pagos por servicios ambientales (PSA) y cartografía temática actualizada de las 12 microcuencas*”, que es producto del convenio No. 070 de 2013.

1.2 RED HIDROGRÁFICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO

La red hidrográfica oficial de la cuenca fue elaborada por el IGAC (2010), a través de la fotointerpretación de fotografías aéreas digitales. Sin embargo, la red de drenaje tiene vacíos de información debido a la presencia de nubes, por lo que fue necesario completar dicho mapa con la red de drenaje generada mediante el modelo de elevación digital presentado en la Figura 4.

En la Figura 6 se presenta la red hidrográfica creada con base en la información disponible del estudio del IGAC (2010) y del análisis espacial elaborado en la Sección 1.1.

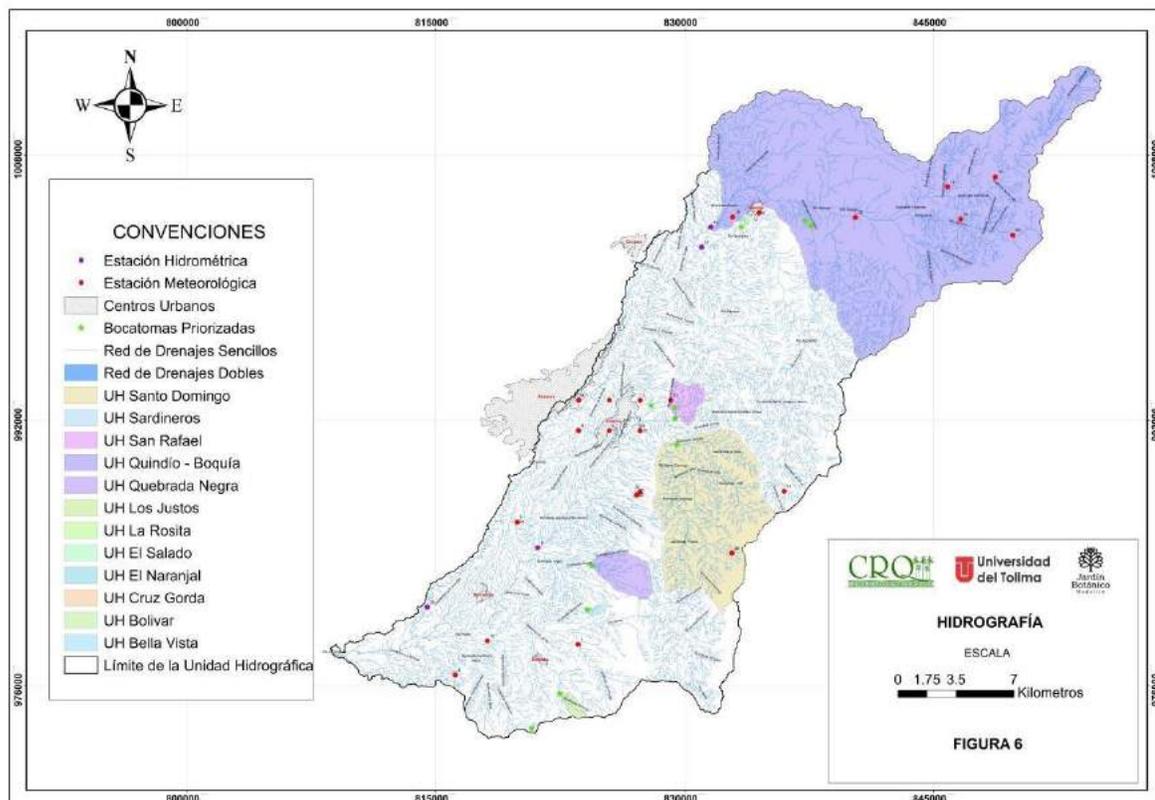


Figura 6. Red Hidrográfica y áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten acueductos en la unidad hidrográfica del río Quindío

2 RED DE MONITOREO

2.1 RED HIDROMETEOROLÓGICA

Dentro de la unidad hidrográfica del río Quindío existen registros hidrometeorológicos de 30 estaciones. 17 de ellas son pluviométricas, 1 pluviográfica, 5 limnigráficas, 3 climatológicas ordinarias, y 4 climatológicas principales (Tabla 2). 8 estaciones de las 17 pluviométricas se encuentran suspendidas. 20 de ellas son administradas por CRQ, 6 por la Federación Nacional de Cafeteros, 2 por el IDEAM, y 2 suspendidas fueron administradas por el extinto Ministerio de Obras Públicas y por el Ministerio de Agricultura.

En cuanto a la distribución por municipio, 13 se localizan en Calarcá, 11 en Salento, 2 en Armenia, 2 en Córdoba, 1 en Buenavista y 1 en Filandia. En la Figura 6 se presenta la distribución espacial de las estaciones en la unidad hidrográfica del río Quindío. En la Tabla 2 se presenta en detalle el Nombre de cada estación, la Clase y Categoría, la entidad encargada, los parámetros medidos, las fechas de instalación y suspensión en los casos que corresponda, la altitud y las coordenadas geográficas respectivas.

2.2 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS

La calidad del agua en el río Quindío se ha monitoreado fundamentalmente en el marco de acciones de control y seguimiento de captaciones y vertimientos, así como campañas de monitoreo en el contexto de estudios de modelación de calidad de aguas. Los principales referentes de monitoreo son:

- Caracterización anual de calidad para el control y seguimiento a concesiones y vertimientos en el río Quindío
- Informe de Modelación de la calidad del agua del río Quindío. 2012.
- Propuesta de ordenación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja mediante el desarrollo de una metodología con criterios de eficiencia económica e implementación de herramientas de apoyo a la decisión. 2011.
- Modelación calidad de agua río Quindío, Quebradas La Florida y El Pescador. 2009.

Según las anteriores fuentes de información, la CRQ ha realizado monitoreo periódico (con frecuencia anual o semestral incluyendo periodos de aguas bajas) sobre 17 puntos de interés sobre el río Quindío (Tabla 3). La localización de estos puntos de monitoreo está relacionada con el efecto de captaciones, vertimientos, retornos y confluencias de corrientes sobre la

calidad de agua del río Quindío. Los parámetros medidos en todas las estaciones son Temperatura, Sólidos Suspendidos Totales, OD, DBO5, y pH. En algunas estaciones de monitoreo se han medido otros parámetros como Alcalinidad Total, Dureza Total, Conductividad Eléctrica, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, DQO, DBO20 y Cromo Total (Universidad del Quindío, 2009).

Nombre	Clase	Cat	Entidad	Parametros	F_instal	F_susp	Altitud	Mpio	Long	Lat
Salento	Met	Pm	IDEAM	P	11/15/74		1910	Salento	-75.569	4.636
Calarca Automatica	Met	Cp	IDEAM	BS E HG HR P PR TV T V	10/4/04		1500	Calarcá	-75.650	4.533
Talleres Calarca	Met	Pm	MOP	P	7/15/68	7/15/68	1500	Calarcá	-75.633	4.533
Paraguaycito	Met	Cp	FNC	BS E HG HR P PR TV T V	9/15/62		1250	Buenavi	-75.733	4.383
El Sena	Met	Pm	FNC	P T	12/15/61		1550	Armenia	-75.667	4.533
Col. la Salle	Met	Pm	MA	P	12/15/36	12/15/36	1480	Armenia	-75.650	4.517
Quebradanegra	Met	Pm	FNC	P	1/15/82		1500	Calarcá	-75.633	4.517
Monaco	Met	Pm	FNC	P	1/15/82		1300	Córdoba	-75.667	4.400
El Jardin	Met	Pm	FNC	P	1/15/91		1300	Calarcá	-75.700	4.467
La Bella	Met	Co	FNC	P T	6/15/50		1450	Calarcá	-75.667	4.517
Bocatoma epa	Hid	Lg	CRQ	N	4/8/87		1530	Salento	-75.602	4.627
La Bella	Hid	Lg	CRQ	N	4/17/87		1220	Calarcá	-75.695	4.455
Centro Guadua	Met	Cp	CRQ	N BS E HG HR P PR TV T V	6/9/87		1212	Cordoba	-75.716	4.402
Palestina Baja	Hid	Lg	CRQ	N	6/27/95		1525	Salento	-75.600	4.617
Navarco	Met	Pm	CRQ	HG P T	5/1/71		2860	Salento	-75.555	4.484
La Playa	Met	Co	CRQ	BS E HG HR P PR TV T	10/30/87		1880	Salento	-75.583	4.633
La Montaña	Met	Pm	CRQ	P	7/1/71		2860	Salento	-75.459	4.633
El Bosque	Met	Cp	CRQ	BS E HG HR P PR TV T V	4/1/71		3160	Salento	-75.441	4.656
La Picota	Met	Pm	CRQ	P	5/1/71		2680	Salento	-75.467	4.650
Planadas	Met	Pm	CRQ	P	4/19/71		2350	Calarcá	-75.633	4.483
Estrella de Agua	Met	Co	CRQ	HG P T	9/10/94		3190	Salento	-75.431	4.624
La Albania	Met	Pm	CRQ	P	4/1/71	6/30/86	1340	Calarcá	-75.700	4.467
El Tunel	Met	Pm	CRQ	P	4/1/71	12/31/86	2480	Calarcá	-75.583	4.450
Buenos Aires	Met	Pm	CRQ	P	4/1/71	10/30/87	2480	Salento	-75.617	4.533
San Rafael	Met	Pm	CRQ	P	4/1/71	6/30/86	1600	Calarcá	-75.633	4.517
La India	Met	Pm	CRQ	P	4/15/71	5/30/85	1800	Filandia	-75.633	4.517
Cocora	Met	Pm	CRQ	P E	6/1/71	6/30/83	2500	Salento	-75.517	4.633
Peñas Blancas	Met	Pg	CRQ	P	3/24/06		1926	Calarcá	-75.635	4.482
Q El Cofre	Met	Pm	CRQ	P	12/14/08		1950	Calarcá	-75.635	4.482
Calle Larga	Hid	Lg	CRQ	N	4/20/87		1110	Calarcá	-75.765	4.415

MOP: Ministerio de Obras Públicas; FNC: Federación Nacional de Cafeteros; MA: Ministerio de Agricultura; CRQ: Corporación Autónoma Regional del Quindío. Met: Meteorológica; Hid: Hidrológica; P: Precipitación; BS: Brillo Solar; E: Evaporación; HG: Higrografo; HR: Humedad Relativa; N: Niveles; PR: Punto de Rocío; TV: Tensión de Vapor; T: Temperaturas; V: Velocidad del Viento.

Tabla 2. Estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la unidad hidrográfica río Quindío

Estación	Entidad	Parámetros	Lon	Lat
Finca El Escobal (Bajo el puente)	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH; *	-75.531	4.638
Bocatoma EPA	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH; *	-75.605	4.617
Río Quindío Aguas arriba Confluencia río Navarco	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.595	4.628
Río Navarco (antes de su confluencia al río Quindío)	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.604	4.617
Retorno PCH Campestre	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.647	4.549
Retorno PCH Bayona	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.661	4.533
Bocatoma La Tebaida	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH; *	-75.661	4.533
Vertimiento Central de Beneficio de Armenia	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.664	4.531
Vertimiento de Curtiembre (Sector La María)	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH; *	-75.665	4.527
Quebrada La Florida	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.676	4.525
Quebrada El Cafetero	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.680	4.524
Retorno PCH La Unión	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.681	4.522
Quebrada El Pescador	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.688	4.501
Puente Balboa	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.699	4.487
Calle Larga	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH; *	-75.749	4.420
Tarapacá	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH	-75.763	4.396
Río Quindío Aguas Arriba confluencia con río Barragán	CRQ	T; SST; OD; DBO5;pH; *	-75.801	4.396

* Puntos de monitoreo con registros de parámetros de calidad adicionales

Tabla 3. Puntos de monitoreo de calidad de agua sobre el río Quindío

3 ANTECEDENTES DE PLANIFICACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

Esta sección presenta una síntesis de la información relevante política ambiental de la CRQ, oferta hídrica, calidad de aguas y demanda de agua, extraída de los siguientes estudios y/o instrumentos de Planificación y Administración del Recurso Hídrico:

- Oferta, Demanda Hídrica e Índices de Escasez de las Unidades de Manejo de Cuenca del Departamento del Quindío para el año 2013 (CRQ, 2014)
- Oferta, Demanda Hídrica e Índices de Escasez de las Unidades de Manejo de Cuenca del Departamento del Quindío para el año 2012 (CRQ, 2012a)
- Impacto Ambiental Actual y Futuro de la Minería en el Departamento del Quindío (CRQ, 2012b)
- Plan de Gestión Ambiental Regional (CRQ, 2012c)
- Propuesta de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Cuenca del Río La Vieja (CRQ, CARDER, CVC, 2012)
- Proyecto Reglamentación de Aguas del Río Quindío y sus Tributarios (CRQ, 2011a)
- Plan de Manejo de la Subcuenca del Río Quindío (CRQ, 2011b)
- Estimación de Caudales Ecológicos mediante Métodos Hidrológicos e Hidráulicos en la UMC Río Quindío (Universidad del Quindío y CRQ, 2011)
- Propuesta de Ordenación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río la Vieja Mediante el Desarrollo de una Metodología con Criterios de Eficiencia Económica e Implementación de Herramientas de Apoyo a la Decisión (Universidad del Quindío, Universidad Tecnológica de Pereira y Universidad del Valle, 2011)
- Oferta, Demanda Hídrica e Índices de Escasez de las Unidades de Manejo de Cuenca del Departamento del Quindío para el año 2010 (CRQ, 2010)
- Plan de Ordenación y Manejo del Río la Vieja (CRQ, et al., 2008)

3.1 INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

La Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) orienta sus instrumentos de planificación y administración del recurso hídrico de acuerdo con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH). Esta política se soporta en la necesidad de gestionar y aprovechar los recursos hídricos con el propósito de maximizar el bienestar social y económico de una forma equitativa y garantizar la sustentabilidad de los ecosistemas vitales en el territorio. La PNGIRH parte de considerar que la presión insostenible sobre el recurso hídrico se debe fundamentalmente a la inadecuada gestión y gobernabilidad del recurso, que se intensifica con la creciente demanda de agua, la contaminación y el crecimiento demográfico. La PNGIRH reconoce que para mejorar dicha gestión es necesario implementar una visión multidisciplinaria, integrada y multisectorial incorporando intereses sociales y ambientales.

Para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en los términos planteados por la PNGIRH, el MAVDT (2010) planteó un horizonte de 12 años (2010 - 2022) y la necesidad de alcanzar seis objetivos específicos, enfocados a mejorar la gestión del agua desde seis pilares: Oferta, Demanda, Calidad, Riesgo, Fortalecimiento Institucional y Gobernabilidad (Tabla 4).

Pilar	Objetivo Específico	Estrategias
Oferta	Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país	-Mejorar la comprensión de los procesos (funcionamiento, estructura y dinámica) hidrológicos y ecológicos relevantes para caracterizar la oferta hídrica -Establecer lineamientos de gestión y uso sostenible del agua a nivel de cuenca hidrográfica -Restauración y preservación de ecosistemas prioritarios para la regulación de la oferta hídrica
Demanda	Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país	-Caracterización y cuantificación de la demanda de agua en cuencas priorizadas -Incorporación de la GIRH en los principales sectores productivos usuarios del agua -Uso eficiente y sostenible del agua
Calidad	Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico	-Ordenamiento y reglamentación de usos del recurso -Reducción de la contaminación del recurso hídrico -Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua
Riesgo	Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua	-Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica -Incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación. -Medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados a la oferta hídrica
Fortalecimiento Institucional	Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico	-Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico -Formación, investigación y gestión de la información -Revisión normativa y articulación con otras políticas -Sostenibilidad financiera
Gobernabilidad	Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico	-Promover mecanismos de participación de actores en la GIH -Concienciar e instruir sobre la importancia de conservar y hacer uso sostenible del recurso hídrico -Desarrollo de capacidades para gestionar conflictos

Tabla 4. Objetivos específicos y acciones estratégicas de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (MAVDT, 2010)

La Gestión Integral del Recurso Hídrico es una de las líneas estratégicas de acción del Plan de Gestión Ambiental Regional de la CRQ (PGAR 2003-2012 ajustado a 2019), y tiene por objeto “*Conservar y garantizar la oferta hídrica en cantidad y calidad suficientes para*

la satisfacción de las necesidades sociales, económicas y naturales, maximizando en forma equilibrada los beneficios de la disponibilidad del recurso” (CRQ, 2012c). Para alcanzar dicho objetivo, la CRQ ha planteado cuatro acciones estratégicas: **1)** Ordenación del recurso hídrico en las principales cuencas del departamento del Quindío **2)** Formulación y ejecución de programas de uso eficiente y ahorro del agua en el Departamento del Quindío **3)** Monitoreo de la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea en el Departamento del Quindío y **4)** Manejo de aguas residuales de asentamientos humanos en el Departamento del Quindío. Estas acciones demuestran que el PGAR está articulado en su estructura programática en un alto grado a la PNGIRH (Tabla 4).

El Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río la Vieja expresa que *“Identificar, caracterizar, reglamentar y modelar las fuentes superficiales y subterráneas de agua (con base en la definición de objetivos de calidad) son estrategias para el conocimiento, la planificación y manejo integral del recurso agua”* (CRQ, et. al., 2008). Plantea que el saneamiento básico es una línea de acción prioritaria para la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca, y que además de promover el ahorro del agua, se requiere crear cultura de uso racional del agua en la población, mediante la concienciación *“para reducir consumo, reutilizar el agua, proteger los nacimientos, afloramientos, rondas de ríos, humedales, zonas de recarga de acuífero, páramos, control de erosión y sedimentación, evitar quemas y talas indiscriminadas, manejar apropiadamente residuos líquidos y sólidos y atender a la reglamentación de las corrientes desde un punto de vista de calidad y cantidad”* (CRQ, et. al., 2008). Además, considera en el **“Programa 5: Uso Sostenible del Agua y Saneamiento Básico”** que *“...la definición de objetivos de calidad, la reglamentación y modelación de corrientes, será el punto de partida para la ordenación y gestión integral del recurso”*. Cuatro de sus cinco subprogramas se articulan con los objetivos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en cuanto a los pilares “Oferta”, “Demanda”, “Calidad” y “Riesgos asociados a la disponibilidad de agua”.

Además de liderar la formulación y ejecución de las acciones establecidas en los anteriores instrumentos, la CRQ ha contribuido en la elaboración otros elementos de planificación ambiental en el territorio, como el “Plan de Manejo del Parque Nacional Natural y la Zona Amortiguadora”, el “Plan de Manejo del Parque Regional Barbas Bremen”, el “Plan de Manejo del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales de la Cuenca Alta del río Quindío”, entre otros. Y ha ejercido control y seguimiento a planes sectoriales como los “Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos”, “Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, “Programas de Ahorro y Uso Eficiente del Agua”, entre otros.

3.2 OFERTA HÍDRICA

Con base en la información hidrometeorológica registrada en las estaciones administradas por CRQ, la entidad reporta valores históricos de oferta hídrica (Figura 7, Figura 8, Figura 9,

Figura 10, Figura 11 y Figura 12) en la UMC río Quindío con base en la realización de balances hídricos (CRQ, 2010, 2012a, 2014). Las diferencias que se observan entre las estimaciones de oferta neta media mensual entre los años 2012 y 2013 (Figura 8 y Figura 9), se debe a que CRQ utilizó estimaciones diferentes de caudal ecológico en cada cálculo. Se presenta una diferencia notable entre las estimaciones de oferta hídrica entre los años 2012 y 2013 en la cuenca del río Santo Domingo, ambas estimaciones muestran un rango amplio de variabilidad estacional en esta cuenca (Figura 11).

La distribución temporal de los caudales medios mensuales permite identificar la existencia de un periodo seco muy bien definido en todos los tramos y subcuencas. En los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre ocurren los caudales medios más bajos en los dos primeros tramos de la cuenca del río Quindío, así como en las subcuencas de los ríos Navarco y Verde (Figura 7, Figura 8, Figura 10 y Figura 12). Según CRQ (2012a, 2014), el periodo seco en el tramo bajo de la cuenca del río Quindío y en la Subcuenca del río Santo Domingo se presentan en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre Figura 9 y Figura 11, lo cual indica cierta inconsistencia con relación a la ocurrencia de dicha condición hidrológica en los otros subsistemas hidrológicos caracterizados.

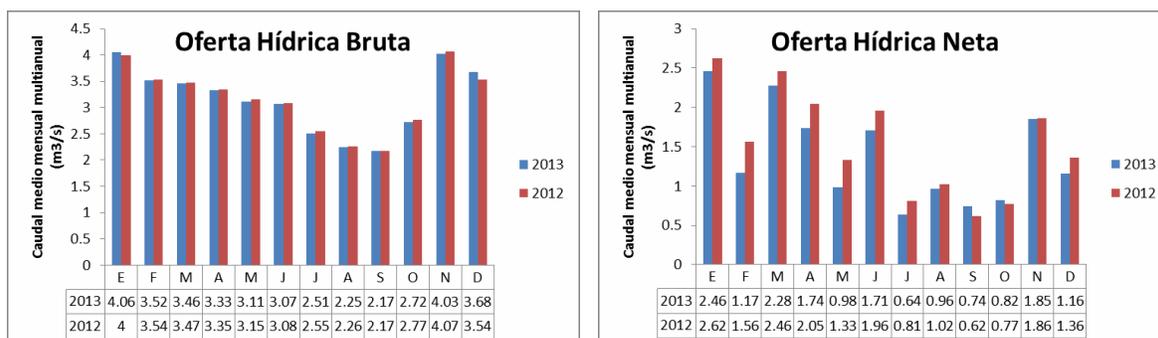


Figura 7. Oferta Hídrica Bruta (izquierda) y Neta (derecha) en el río Quindío. Tramo desde el nacimiento del río Quindío hasta la estación limnigráfica Bocatoma EPA. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

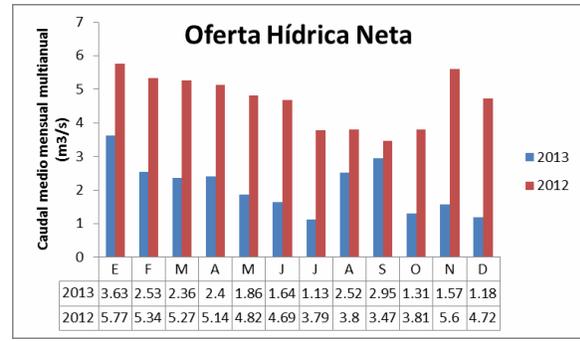
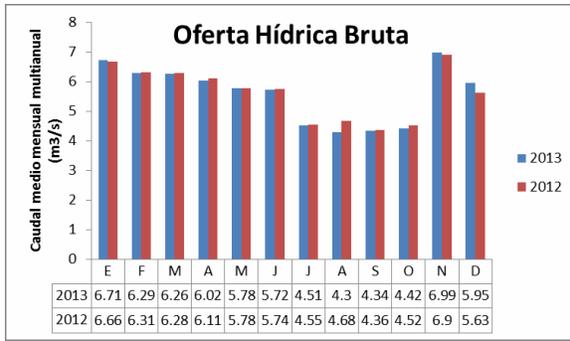


Figura 8. Oferta Hídrica Bruta (izquierda) y Neta (derecha) en el río Quindío. Tramo desde la confluencia del río Quindío con el río Navarco hasta la captación de la PCH El Bosque. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

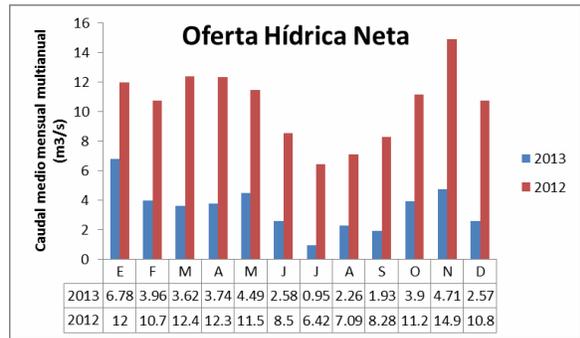
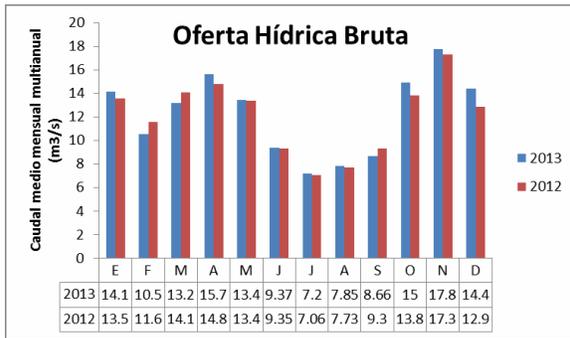


Figura 9. Oferta Hídrica Bruta (izq.) y Neta (der.) en el río Quindío. Tramo desde aguas abajo de la captación de la PCH El Bosque hasta aguas arriba de la confl. con el río Verde. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

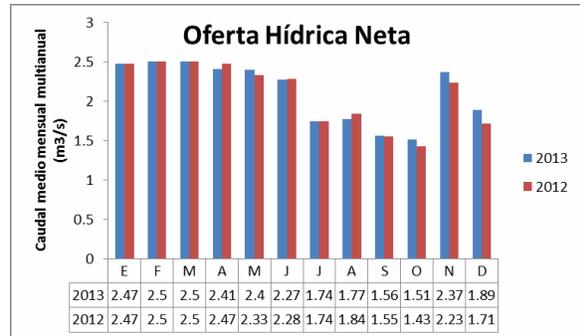
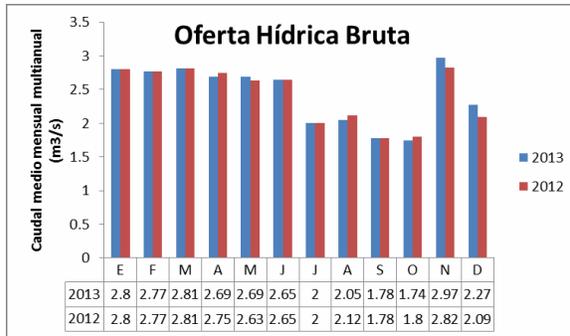


Figura 10. Oferta Hídrica Bruta (izquierda) y Neta (derecha) en el río Navarco. (fuente: CRQ, 2012a, 2014)

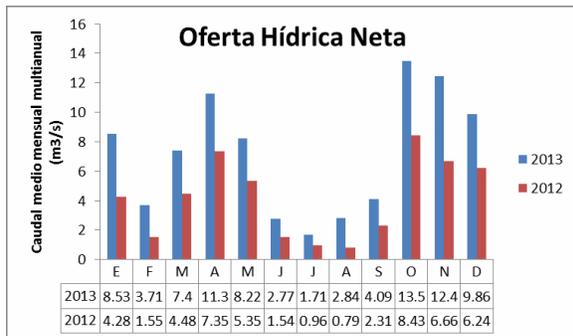
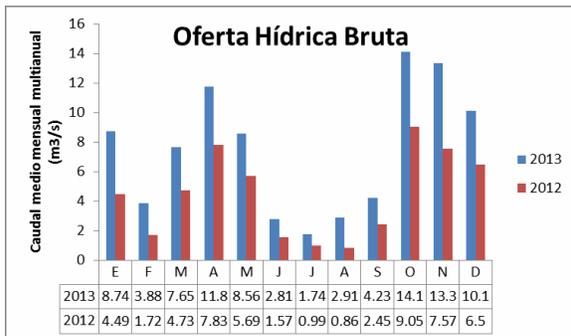


Figura 11. Oferta Hídrica Bruta (izq.) y Neta (der.) en el río Santo Domingo. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

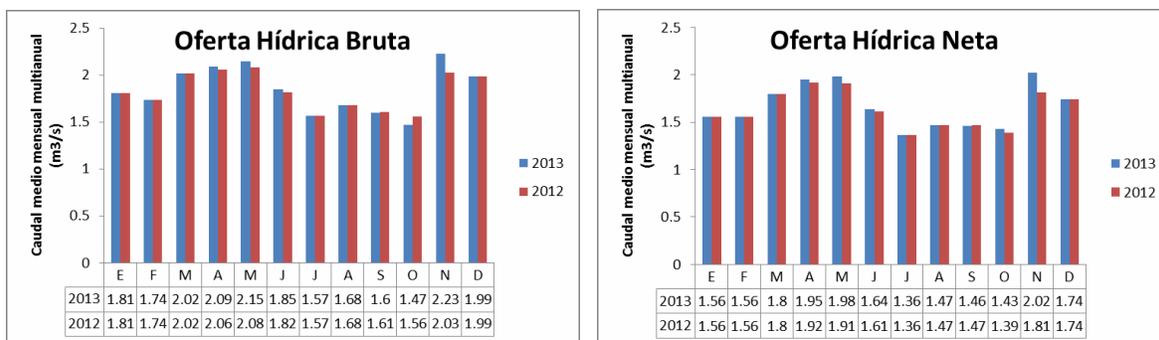


Figura 12. Oferta Hídrica Bruta (izquierda) y Neta (derecha) en el río Verde. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

3.3 INFORMACIÓN DE DEMANDA

El informe de reglamentación del Río Quindío (CRQ, 2011a) calcula que la demanda total de agua con aprovechamiento directo del río Quindío es de 1650 l/s para uso doméstico y 11600 l/s para uso energético (Tabla 5). En todos los tramos y subcuencas del río Quindío tiende a persistir una poca variabilidad temporal entre los valores promedio mensual de demanda (CRQ, 2012a, 2014), como se aprecia en las respectivas figuras (Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 17). En el tramo desde aguas abajo de la captación de la PCH El Bosque hasta aguas arriba de la confluencia con el Río Verde no se presentan demandas de tipo consuntivo.

Usuario	Municipio	Caudal (l/s)	Uso
Acueducto de Armenia (EPA)	Salento	1500	Doméstico
PCH Campestre (E. Multipropósito)	Calarcá	2700	Energético
PCH Bayona (E. Multipropósito)	Calarcá	2700	Energético
Acueducto La Tebaida (ESAQUIN)	Armenia	150	Doméstico
PCH La Unión (E. Multipropósito)	Calarcá	2700	Energético
PCH El Bosque (ENREVSA)	Armenia	3500	Energético

Tabla 5. Demanda Hídrica estimada en el río Quindío por CRQ (2011a) con base en caudales concesionados.

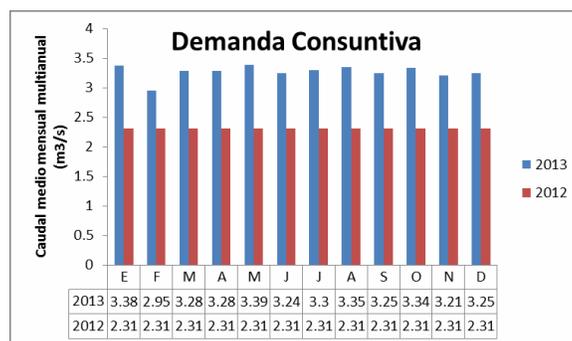


Figura 13. Demanda Hídrica consuntiva en el río Quindío. Tramo desde el nacimiento del río Quindío hasta la estación limnigráfica Bocatoma EPA. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

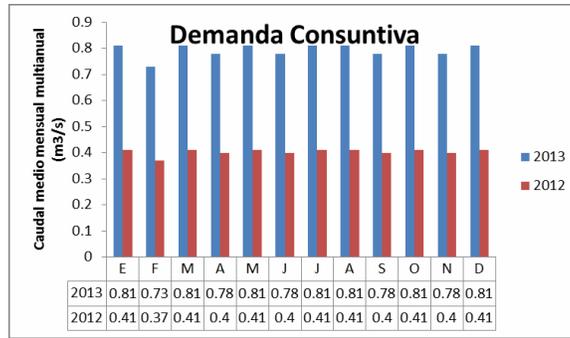


Figura 14. Demanda Hídrica consuntiva en el río Quindío. Tramo desde la confluencia del río Quindío con el río Navarco hasta la captación de la PCH El Bosque. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

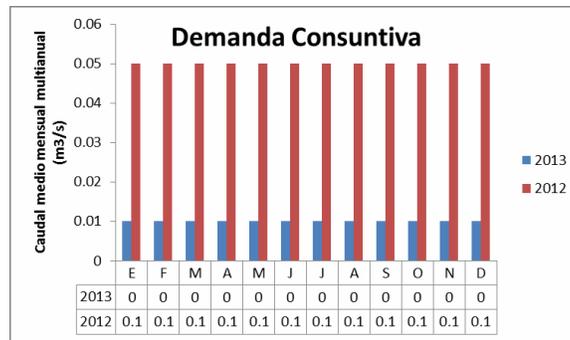


Figura 15. Demanda Hídrica consuntiva en el río Navarco. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

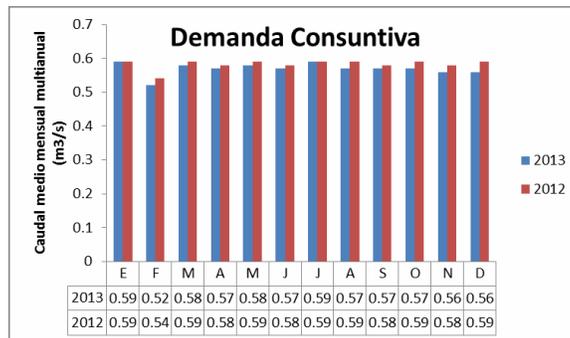


Figura 16. Demanda Hídrica consuntiva en el río Santo Domingo. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

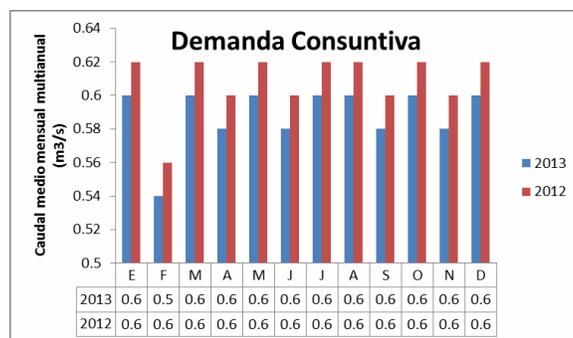


Figura 17. Demanda Hídrica consuntiva en el río Verde. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

3.4 CALIDAD DE AGUAS

La calidad del agua del río Quindío se ve afectada por sustancias contaminantes provenientes de vertimientos de agua residual doméstica, industrial y generada a partir de actividades agropecuarias (CRQ, 2011a). Según CRQ (2011a), la calidad del agua en los puntos de captación para uso doméstico en el río Quindío no supera el estándar necesario del parámetro concentración de coliformes fecales requeridos para este tipo de uso (2000NMP/ml). Además, CRQ (2011a) plantea que la actual calidad del agua del río no limita el uso para generación de energía. Sin embargo, la captación de caudales significativos con respecto al caudal medio del río en la parte media de la cuenca (Sector La María), asociado a vertimientos de tipo industrial en la misma zona (centrales de sacrificio y beneficio de carnes y curtiembres) configura este tramo como el más crítico en términos de calidad de aguas, especialmente en épocas de estiaje.

El estado de la calidad del agua en el cauce principal del río Quindío se considera regular (Tabla 6) evaluada mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA), de acuerdo con el estudio elaborado por la Universidad del Quindío, Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad del Valle (2011).

Estación	Caudales Bajos		Caudales Medios		Caudales Altos	
	ICA	Estado de Calidad.	ICA	Estado de Calidad.	ICA	Estado de Calidad.
Bocatoma EPA	69.1	Regular	68.9	Regular	65.5	Regular
Antes Curtiembres	60.7	Regular	67.2	Regular	65.1	Regular
Después Curtiembres	54.5	Regular	56.0	Regular	53.2	Regular
Club de Tiro, caza y pesca	61.8	Regular	64.6	Regular	55.1	Regular
Calle larga	66.0	Regular	62.6	Regular	58.5	Regular
Tarapacá	51.3	Regular	63.5	Regular	57.7	Regular

Tabla 6. Índice de calidad de agua (ICA) en 6 puntos sobre el cauce principal del río Quindío para tres condiciones hidrológicas. (Fuente: Universidad del Quindío, Universidad Tecnológica de Pereira y Universidad del Valle, 2011).

Además, de los vertimientos de aguas residuales e industriales y agropecuarias, en la cuenca se presenta actividad minera legal y no legalizada asociada a los cuerpos de agua. Según CRQ (2012b), en el departamento del Quindío hay 15 licencias ambientales para explotación de minerales a escala de “Pequeña minería legal”; de las cuales 2 están inactivas, 7 para explotación de arena y grava, 2 para arena, grava y oro aluvial, 4 para arcilla, 1 para recebo y 1 para oro de filón. 3 de las 15 explotaciones licenciadas se encuentran en la cuenca hidrográfica del río Quindío (Figura 18).

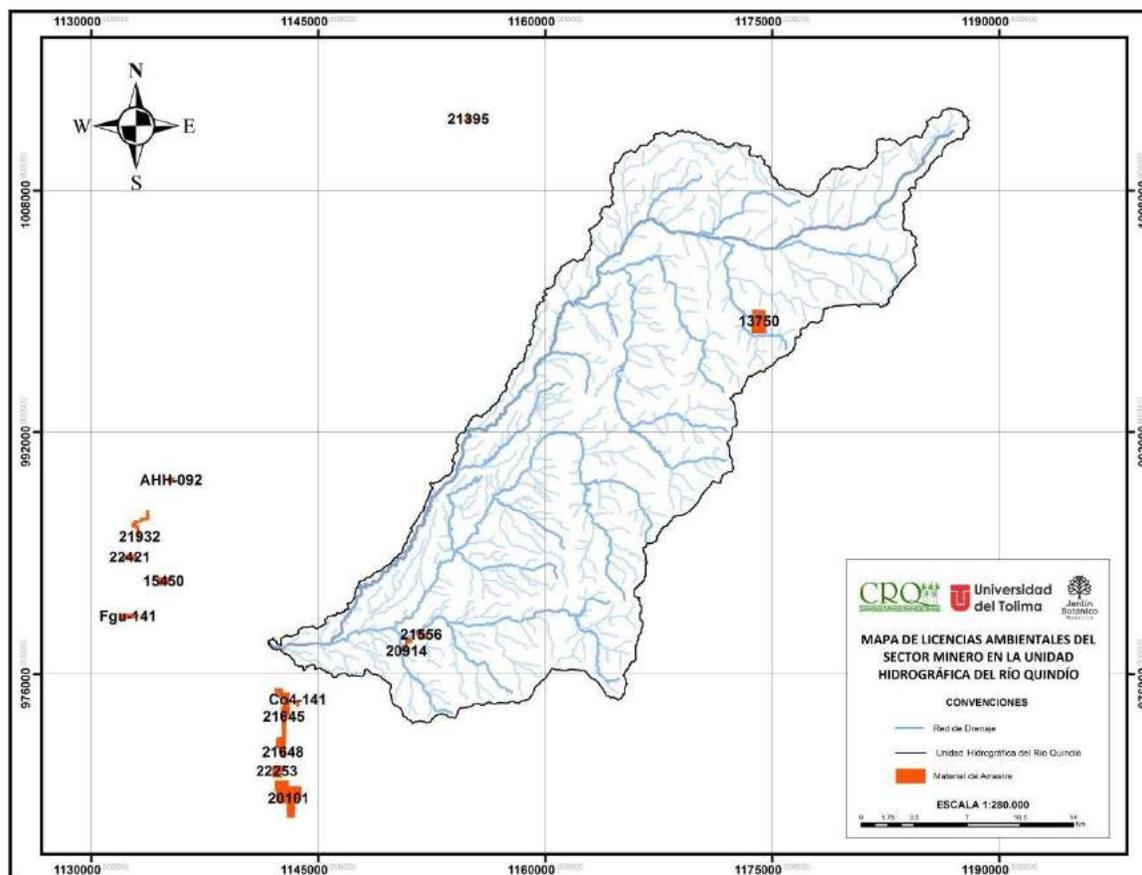


Figura 18. Distribución espacial de licencias ambientales mineras en la unidad hidrográfica río Quindío (CRQ, 2012b)

Existen 19 explotaciones minerales sin legalizar en todo el departamento, de las cuales 12 son destinadas a la extracción de arena y grava, 3 para oro aluvial y filón, 1 para arcilla, y 3 para extracción de recebo. El 68 % de la explotación no legalizada es de tipo artesanal, el 26.3 % medianamente mecanizado y el 5.3 % altamente mecanizado (CRQ, 2012b), 11 de dichas explotaciones sin legalizar se encuentran en municipios ubicados en la unidad hidrográfica del río Quindío.

Según CRQ (2012b), uno de los impactos ambientales negativos de la minería sin legalizar es la contaminación del agua y el suelo por la utilización de químicos para extraer oro (mercurio y cianuro), sin embargo, no han podido comprobar el uso de químicos ni cuantificar su uso así como el grado de contaminación generado. En cuanto a las explotaciones de minerales legales, el principal impacto ambiental negativo sobre los cuerpos de agua es la modificación de la geomorfología del cauce producto de la alteración del ciclo agradación-degradación, lo cual a su vez podría generar cambios en el comportamiento hidrodinámico del río en los sitios afectados así como en tramos aguas arriba y aguas abajo.

3.5 INDICES DE USO DEL AGUA

El proyecto de reglamentación del uso de las aguas del río Quindío (CRQ, 2011a), identificó que la demanda de agua supera la oferta disponible en casi todos los meses en tramo comprendido entre el nacimiento del río Quindío y la Bocatoma del acueducto de Armenia, lo cual es consistente con los índices de uso del agua presentados en la Figura 19. Según CRQ (2011a), el caudal captado por las PCH administradas por la empresa Multipropósito S. A. ESP, no afecta la disponibilidad de agua para las concesiones de aguas abajo. Sin embargo, CRQ (2011a) destaca que existe un tramo crítico en cuanto al estado de calidad y cantidad de agua, ubicado aguas abajo de la captación de la PCH La Unión, ya que hay una notable disminución del caudal del río asociado a la presencia de importantes vertimientos (central de beneficio “Frigocafé” y las fábricas de curtiembres, así como las confluencias de las quebradas La Florida y El Cafetero, las cuales recolectan aguas residuales de la zona norte y oriental de Armenia. A pesar de ello, y debido a que en el tramo desde aguas abajo de la captación de la PCH El Bosque en el río Quindío hasta aguas arriba de la confluencia con el Río Verde no se presentan demandas de tipo consuntivo, CRQ (2012a, 2014) no calcula índices de uso del agua para esa zona del río.

De acuerdo con CRQ (2014), el tramo de la parte alta de la cuenca del río Quindío presenta índices de uso del agua clasificados como Muy Altos en todos los meses (Figura 19), identificándose una fuerte presión y conflictos por el recurso hídrico. Por su parte, el tramo localizado entre la confluencia del río Navarco y la captación de la PCH El Bosque, presenta índices de uso Altos para los meses de Julio, Octubre y Diciembre, e índices de Uso Moderado el resto de meses del año (Figura 20). La cuenca del río Santo Domingo, tiene un Alto índice de uso los meses de Julio y Agosto (Figura 22), mientras que en la cuenca del río Verde la presión de la demanda es Moderada (Figura 23) y en el río Navarco la presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible (Figura 21).

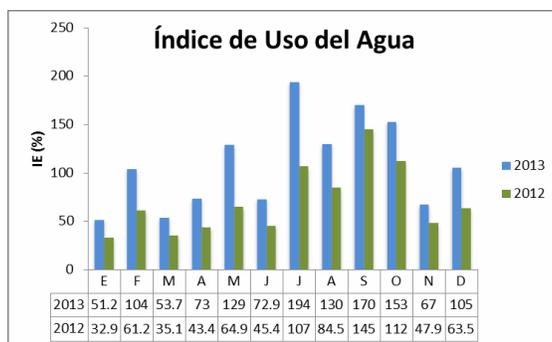


Figura 19. Índice de Uso del Agua en el río Quindío. Tramo desde el nacimiento del río Quindío hasta la estación limnigráfica Bocatoma EPA. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

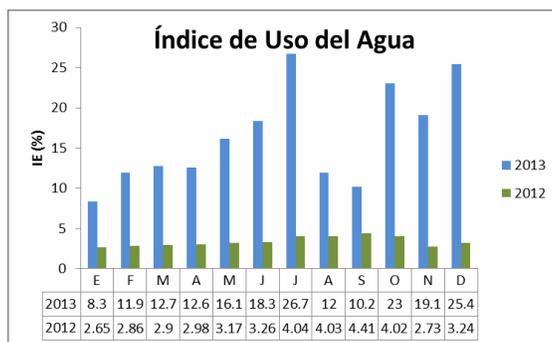


Figura 20. Índice de Uso del Agua en el río Quindío. Tramo desde la confluencia del río Quindío con el río Navarcho hasta la captación de la PCH El Bosque. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

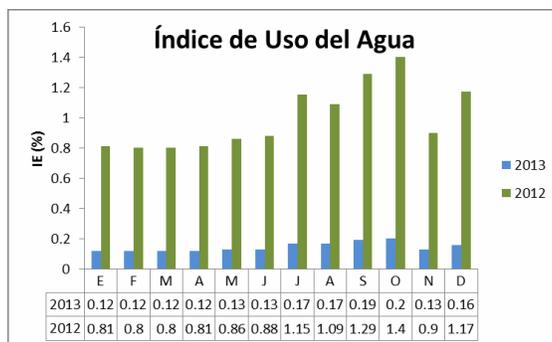


Figura 21. Índice de Uso del Agua en el río Navarcho. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

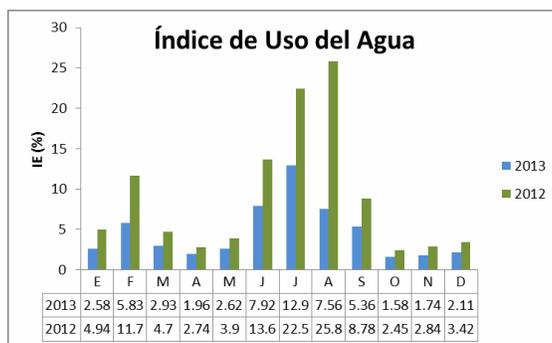


Figura 22. Índice de Uso del Agua en el río Santo Domingo. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

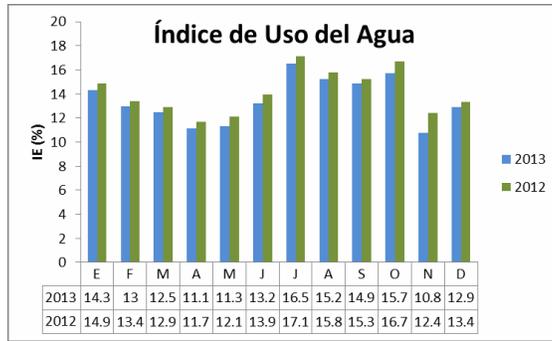


Figura 23. Índice de Uso del Agua en el río Verde. (Fuente: CRQ, 2012a, 2014)

4 DESCRIPCIÓN DE USOS Y USUARIOS DEL RECURSO HÍDRICO CONCESIONADOS EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO.

Para caracterizar la demanda actual y futura de agua del río Quindío con fines de Ordenamiento del Recurso Hídrico, se consideraron las concesiones otorgadas por la CRQ a los municipios que captan recursos hídricos de la unidad hidrográfica del río Quindío. El análisis de la información de demandas se ha estructurado en tres partes: **I)** Una descripción de usuarios, caudales y usos por municipios en la unidad hidrográfica del río Quindío, tomados de los registros oficiales de la CRQ; **II)** Un análisis de las concesiones de aguas superficiales de los municipios de la Unidad hidrográfica, y **III)** Una proyección de la demanda de agua de uso consuntivo hasta el año 2025 a partir de la proyección del crecimiento de la población de los municipios considerados, y se hacen algunas consideraciones generales.

El departamento del Quindío cuenta con precipitaciones mensuales totales superiores al promedio nacional, por lo que es normal no disponer de sistemas de riego para los cultivos, aunque en los tiempos de sequía se hace riego con aprovechamientos directos desde las corrientes superficiales. Los productos que demandan agua de riego generalmente son los semestrales como tomate, habichuela, maíz, fríjol, etc. El consumo es asumido por los sistemas de abastecimiento rural, generalmente atendido por el Comité de Cafeteros y aprovechamientos directos. (PROYECTO DE REGLAMENTACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO QUINDÍO Y SUS TRIBUTARIOS, 2011).

De las concesiones otorgadas sobre el río Quindío, la mayor demanda de agua es causada por la generación de energía eléctrica de las plantas “El Bosque” de Armenia con 3.500 L/s, “Campestre”, “Bayona” y “La Unión” de Calarcá con 2700 L/s cada una. (PROYECTO DE REGLAMENTACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO QUINDÍO Y SUS TRIBUTARIOS, 2011).

4.1 GENERALIDADES Y DEFINICIONES DE LOS USOS

4.1.1 Uso Agrícola

En términos de uso de aguas se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos.

4.1.2 Uso Doméstico

El uso doméstico incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes; así como el agua tomada directamente por el usuario de la fuente hídrica para suplir sus necesidades. Comprende el consumo de agua en

nuestra alimentación, en la limpieza de nuestras viviendas, en el lavado de ropa, la higiene y el aseo personal.

4.1.3 Uso Energético

Este es un uso no consuntivo, para generación de energía (hidroeléctrica). Desde el caudal de un río y desde un reservorio, el agua es utilizada para hacer girar una turbina y de esa manera producir electricidad; así el agua no es realmente extraída ya que después de pasar por la turbina vuelve al caudal, aunque no en el mismo lugar donde se extrajo.

4.1.4 Uso Pecuario

El uso de agua para el sector pecuario se refiere, como parte de la alimentación de los animales y en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría.

4.1.5 Uso Piscícola

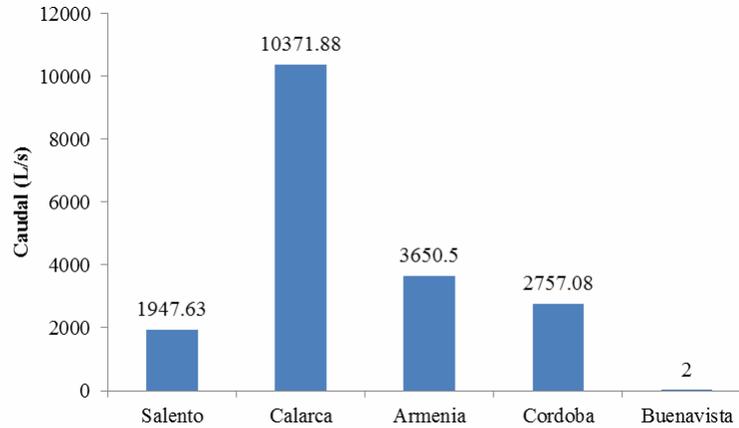
El uso de agua en el sector piscícola se refiere, al abastecimiento de los tanques de criaderos de peces para consumo humano.

4.1.6 Uso Industrial

La industria, como motor esencial del crecimiento económico, requiere recursos suficientes de agua como materia prima básica. En las fábricas, en el proceso de fabricación de productos, en los talleres, en la construcción, entre otros.

42 USUARIOS ACTUALES EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO POR MUNICIPIO

La unidad hidrográfica río Quindío tiene concesionado **18729.09 L/s** de agua superficial a un total de **181** usuarios de índole natural y jurídica. Estas concesiones se distribuyen en los municipios de Salento, Armenia, Calarcá, Córdoba, y Buenavista (Figura 24).



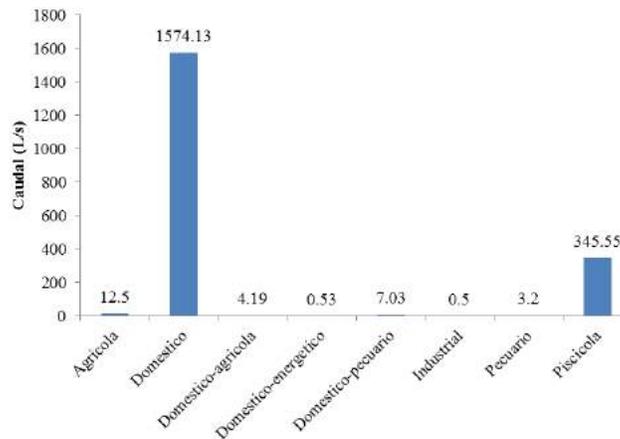
Fuente: RURH (CRQ, 2014)

Figura 24. Distribución de caudales concesionados en la unidad hidrográfica del río Quindío.

4.2.1 Concesiones en el Municipio de Salento en la unidad hidrográfica del río Quindío

El mayor volumen de agua se utiliza en las actividades domesticas; no obstante, hay usos significativos que tienen que ver con el sector piscícola y agrícola.

El recurso hídrico superficial total concesionado en el municipio de Salento en la unidad hidrográfica es de 1947.63 L/s, distribuidos de la siguiente manera (Figura 25).



Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Figura 25: Caudal otorgado para los diferentes usos, Municipio de Salento

Agrícola: A continuación se muestran los usuarios para las actividades agrícolas en el municipio de Salento y su caudal concesionado. El uso agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 12.5 L/s

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Comité Departamental de Cafeteros del Quindio</i>	<i>1487</i>	<i>2086</i>	<i>Chaguala</i>	<i>4.564</i>	<i>-75.606</i>	<i>6</i>
<i>Comité Departamental de Cafeteros del Quindio</i>	<i>1487</i>	<i>2086</i>	<i>Peñalisa</i>	<i>4.569</i>	<i>-75.610</i>	<i>4</i>
<i>Emprender Ltda</i>	<i>450</i>	<i>845</i>	<i>No registra</i>	<i>4.643</i>	<i>-75.607</i>	<i>2.5</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 7. Concesiones de agua para uso Agrícola, municipio de Salento

Doméstico: A continuación se muestran los usuarios para las actividades domésticas en el municipio de Salento y su caudal concesionado. El uso doméstico cuenta con un caudal concesionado total de 1574.13 L/s, distribuido de la siguiente manera:

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Acueducto San Juan de Carolina</i>	<i>978</i>	<i>853</i>	<i>No registra</i>	<i>4.591</i>	<i>-75.635</i>	<i>2</i>
<i>Doris Franco Macias</i>	<i>1456</i>	<i>835 A</i>	<i>La Playa</i>	<i>4.652</i>	<i>-75.564</i>	<i>0.2</i>
<i>Empresa Sanitaria del Quindio SA ESP</i>	<i>818</i>	<i>2022-B</i>	<i>Bolivia</i>	<i>4.632</i>	<i>-75.544</i>	<i>3</i>
<i>Empresa Sanitaria del Quindio SA ESP</i>	<i>818</i>	<i>2022-B</i>	<i>Las Aguilas</i>	<i>4.610</i>	<i>-75.627</i>	<i>16</i>
<i>Empresa Sanitaria del Quindio SA ESP</i>	<i>818</i>	<i>2022-B</i>	<i>La Playa</i>	<i>No registra</i>	<i>No registra</i>	<i>15</i>
<i>Empresas Publicas de Armenia SA ESP</i>	<i>558</i>	<i>2011</i>	<i>Quindio</i>	<i>4.628</i>	<i>-75.595</i>	<i>1500</i>
<i>Empresas Publicas de Armenia SA ESP</i>	<i>558</i>	<i>2011</i>	<i>La Vibora</i>	<i>4.628</i>	<i>-75.596</i>	<i>30</i>
<i>Fabio Augusto Ayala Tamayo</i>	<i>449</i>	<i>828</i>	<i>No registra</i>	<i>4.602</i>	<i>-75.627</i>	<i>0.1</i>
<i>Fernando Contreras Fernandez</i>	<i>870</i>	<i>870</i>	<i>Barcinales</i>	<i>4.624</i>	<i>-75.553</i>	<i>0.3</i>
<i>Fundacion Gimnasio Ingles de Armenia</i>	<i>1210</i>	<i>857</i>	<i>La Florida</i>	<i>4.596</i>	<i>-75.635</i>	<i>2</i>

<i>Gloria Cano de Medina</i>	1895	831	<i>La Coqueta</i>	4.637	-75.553	0.2
<i>Hogar San Juan Bosco</i>	510	889	<i>No registra</i>	4.596	-75.631	1
<i>Jaime Ordoñez Villalobos</i>	975	854	<i>La Florida</i>	4.603	-75.634	1
<i>Jorge MarioLopez Palacio</i>	528	851	<i>La Floresta</i>	4.650	-75.580	1
<i>Jose Manuel Ocampo</i>	1897	835	<i>Los Sauces</i>	4.604	-75.619	0.15
<i>Leon Dario de los Rios</i>	312	842	<i>Barcinales</i>	4.624	-75.553	0.3
<i>Lila Margarita Ochoa Romero</i>	1203	859	<i>No registra</i>	4.655	-75.590	0.03
<i>Luz Amparo Meneses Lugo</i>	2035	829	<i>Barcinales</i>	4.624	-75.553	0.03
<i>Maria Clara García Morales</i>	540	869	<i>Barcinales</i>	4.624	-75.553	0.3
<i>Mariela Ramirez de Herrera</i>	509	879 A	<i>No registra</i>	4.624	-75.617	0.8
<i>Mario Hoyos Alzate</i>	1330	850	<i>El Congal</i>	4.642	-75.588	0.05
<i>Miguel Antonio Gómez Hoyos</i>	1042	873	<i>La Diana</i>	4.638	-75.582	0.08
<i>Olma Lucia Vargas Peña</i>	2032	2032-10	<i>La Diana</i>	4.638	-75.582	0.3
<i>Omar Villegas Londoño</i>	799	3030-11	<i>No registra</i>	4.584	-75.620	0.03
<i>Reforestadora Andina S.A.</i>	798	798-11	<i>No registra</i>	4.657	-75.540	0.02
<i>Reforestadora Andina S.A.</i>	1135	886	<i>La Floresta</i>	4.650	-75.580	0.03
<i>Sonia Amador de Grisales</i>	1561	874	<i>La Patasola</i>	4.642	-75.509	0.1
<i>Teresa de Jesus Grisales</i>	1041	875	<i>La Diana</i>	4.638	-75.582	0.08
<i>REFORESTADORA ANDINA S.A.</i>	2024	885	<i>No registra</i>	4.683	-75.574	0.03

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 8. Concesiones de agua para uso Doméstico, municipio de Salento

En el uso doméstico se resaltan 2 usuarios; Empresas públicas de Armenia con un caudal total concesionado de 1530 L/s y Empresas Sanitarias del Quindío con un caudal concesionado de 34 L/s. El acueducto de Armenia EPA cuenta con 81224 usuarios; a continuación se muestran los promedios anuales de los caudales utilizados por la EPA:

EPA	
Año	Promedio Caudal m3/s
2009	1.213
2010	1.083
2011	1.022

Fuente: Control y Seguimiento, CRQ

Tabla 9. Caudal promedio anual EPA

Doméstico – agrícola: A continuación se muestran los usuarios para las actividades doméstico - agrícola en el municipio de Salento y su caudal concesionado. El uso doméstico - agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 4.19 L/s

Usuario	Resolución	Expediente	Vereda	Lat	Lon	Caudal (L/s)
Asociacion de suscriptores del acueducto rural comunitario de la vereda Palestina	1273	1273-11	Palestina	4.628	-75.579	0.10
Asociacion de usuarios acueducto El Rosario	508	2001	El Rosario	4.653	-75.584	4.00
Isabel Garzón de Ocampo	857	884	La Vibora	4.632	-75.592	0.09

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 10. Concesiones de agua para uso Doméstico - Agrícola, municipio de Salento

Doméstico – Pecuario: A continuación se muestran los usuarios para las actividades doméstico - pecuario en el municipio de Salento y su caudal concesionado. El uso doméstico - pecuario cuenta con un caudal concesionado total de 7.03 L/s

Usuario	Resolución	Expediente	Vereda	Lat	Lon	Caudal (L/s)
Alberto Palacio Betancourth	2034	2034-10	El Rancho	4.644	-75.574	0.500
Amparo Velez de Mejía	1449	882	La Cascada	4.642	-75.509	0.500

<i>Gerardo Ospina Valencia</i>	2033	836	<i>Don Andres</i>	4.625	- 75.619	0.300
<i>Helena Velez Cuevas</i>	389	858	<i>San Francisco</i>	4.656	- 75.595	0.050
<i>Hernan Gallego Alzate</i>	444	837	<i>La Carolina</i>	4.597	- 75.631	0.500
<i>Jose Fernando Betancourth Tabares</i>	2066	2066-10	<i>Cardenas</i>	4.620	- 75.616	0.500
<i>Jose Julian Noreña Lopez</i>	1647	830	<i>No registra</i>	4.632	- 75.514	0.330
<i>Maria del Carmen Ramirez</i>	1650	833	<i>La Coca</i>	4.644	- 75.552	0.330
<i>Monica Andrea Pachon Angulo</i>	1899	1899-10	<i>La Sonora</i>	4.600	- 75.625	1.000
<i>Nolberto Santiago Velasquez</i>	1560	834	<i>El Paraiso</i>	4.620	- 75.597	0.200
<i>Parque Complejo agroecologico la tierra prometida</i>	645	645-11	<i>No registra</i>	4.601	- 75.611	1.200
<i>Pedro de Jesus Hernandez Wilches</i>	1430	1430-10	<i>Alejandria</i>	4.591	- 75.623	0.020
<i>Viayco S.A.</i>	418	418-09	<i>La Irlanda</i>	4.598	- 75.637	0.250
<i>CARLOS HUMBERTO GRISALES AMADOR</i>	394	888	<i>No registra</i>	4.642	- 75.525	0.800
<i>MARIO GERMAN HOYOS MOLINA</i>	507	507-11	<i>No registra</i>	4.610	- 75.628	0.550

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 11. Concesiones de agua para uso Doméstico - Pecuario, municipio de Salento

Doméstico – Energético: Para el uso doméstico - energético solo cuenta con una concesión otorgada, a continuación se muestra el usuario y su caudal concesionado.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Carlos Gilberto Díaz Granados</i>	<i>1489</i>	<i>1489-10</i>	<i>Paraje Palestina</i>	<i>4.630</i>	<i>-75.590</i>	<i>0.530</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 12. Concesiones de agua para uso Doméstico - Energético, municipio de Salento

Industrial: Para el uso industrial solo cuenta con una concesión otorgada, a continuación se muestra el usuario y su caudal concesionado.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Juan Bautista Jaramillo</i>	<i>1826</i>	<i>867</i>	<i>Rio Arriba</i>	<i>4.630</i>	<i>-75.486</i>	<i>0.5</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 13. Concesiones de agua para uso Industrial, municipio de Salento

Pecuario: A continuación se muestran los usuarios para las actividades pecuarias en el municipio de Salento y su caudal concesionado. El uso pecuario cuenta con un caudal concesionado total de 3.20 L/s

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Dario Marulanda Angel</i>	<i>1448</i>	<i>855</i>	<i>El Chuzco</i>	<i>4.638</i>	<i>-75.502</i>	<i>1.000</i>
<i>Jorge Enrique Arias Ocampo</i>	<i>1052</i>	<i>871</i>	<i>La Laguneta</i>	<i>4.596</i>	<i>-75.538</i>	<i>1.000</i>
<i>Maria Ines Gómez luna</i>	<i>325</i>	<i>878</i>	<i>La Vibora</i>	<i>4.632</i>	<i>-75.592</i>	<i>0.200</i>
<i>Oscar Londoño Ayran</i>	<i>707</i>	<i>10304-11</i>	<i>Palestina</i>	<i>4.633</i>	<i>-75.574</i>	<i>1.000</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 14. Concesiones de agua para uso pecuario, municipio de Salento

Piscícola: A continuación se muestran los usuarios para las actividades piscícolas en el municipio de Salento y su caudal concesionado. El uso piscícola cuenta con un caudal concesionado total de 345.55 L/s

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Adalgiza Castañeda Ramírez</i>	<i>452</i>	<i>844</i>	<i>El rosario</i>	<i>4.643</i>	<i>-75.585</i>	<i>1.000</i>

<i>Diego Hincapie Londoño</i>	1687	862	<i>Cocora</i>	4.636	-75.483	250.000
<i>Jesus Maria Ramirez Ardila</i>	635	880	<i>La Llorona</i>	4.622	-75.618	0.500
<i>Marco Benavidez Ramirez</i>	442	442-11	<i>Boquía</i>	4.643	-75.584	10.000
<i>Mario Hoyos Alzate</i>	1061	863	<i>El Congal</i>	4.642	-75.588	84.050

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 15. Concesiones de agua para uso Piscícola, municipio de Salento

En el uso piscícola se resaltan 2 usuarios; Mario Hoyos Álzate con un caudal concesionado de 84.05 L/s y Truchas Cocora (Diego Hincapié Londoño) con un caudal concesionado de 250 L/s; a continuación se muestran los promedios anuales de los caudales utilizados por truchas cocora:

TRUCHAS COCORA	
Año	Promedio Caudal L/s
2009	99.3
2010	108.778
2011	141.6
2012	71.00

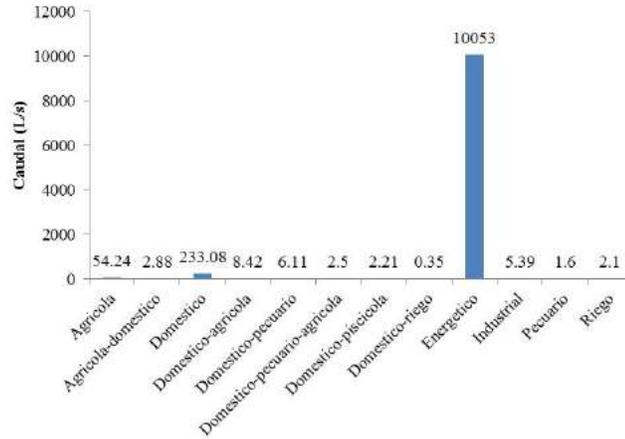
Fuente: Control y Seguimiento, CRQ

Tabla 16. Caudal promedio anual Truchas Cocora

4.2.2 Concesiones en el Municipio de Calarcá en la unidad hidrográfica del río Quindío

El mayor volumen de agua se utiliza en las actividades de generacion de energía; no obstante, hay usos significativo que tienen que ver con el sector industrial, doméstico, agrícola y piscícola.

El caudal total concesionado en el municipio de Calarcá en la unidad hidrográfica del río Quindío es de 10371.88 L/s. Las concesiones de recurso hídrico superficial están distribuidas de la siguiente manera:



Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Figura 26. Caudal otorgado para los diferentes usos, Municipio de Calarcá

Agrícola. A continuación se muestran los usuarios para las actividades agrícolas en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 54.24 L/s. Las aguas superficiales están distribuidas de la siguiente manera:

Usuario	Resolución	Expediente	Vereda	Lat	Lon	Caudal (L/s)
Asociacion productores agropecuarios	1505	5877-11	La Linda	4.436	-75.684	0.500
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	La Negra	4.471	-75.639	29.250
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	La Picota	4.453	-75.649	2.250
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	Pradera Baja	4.551	-75.630	1.740
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	La Negra	4.447	-75.639	10.000
Fernando Perdomo Cardona	1213	714	Las Colmenas	4.448	-75.650	0.500
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	La Soñadora	4.447	-75.639	10.000

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 17. Concesiones de agua para uso Agrícola, municipio de Calarcá

Agrícola – Doméstico: A continuación se muestran los usuarios para las actividades agrícolas - domésticas en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso agrícola - doméstico cuenta con un caudal concesionado total de 2.88 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Carlos Alberto Sierra Nieto</i>	<i>1429</i>	<i>630</i>	<i>El Prado</i>	<i>4.468</i>	<i>-75.679</i>	<i>0.080</i>
<i>Dora Gómez Hernández</i>	<i>1435</i>	<i>671</i>	<i>La Zulia</i>	<i>4.510</i>	<i>-75.637</i>	<i>0.400</i>
<i>Luis Fernando Bustamante Vásquez</i>	<i>1968</i>	<i>680</i>	<i>Las Brisas</i>	<i>4.547</i>	<i>-75.625</i>	<i>1.200</i>
<i>Mauricio Andres Bustamante Vásquez</i>	<i>1974</i>	<i>681</i>	<i>Las Brisas</i>	<i>4.547</i>	<i>-75.625</i>	<i>1.200</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 18. Concesiones de agua para uso Agrícola - Doméstico, municipio de Calarcá

Doméstico: A continuación se muestran los usuarios para las actividades domésticas en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso doméstico cuenta con un caudal concesionado total de 233.08 L/s, distribuidos de la siguiente manera:

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Acueducto Asuaacovir</i>	<i>1292</i>	<i>643</i>	<i>El Cofre</i>	<i>4.487</i>	<i>-75.635</i>	<i>3.000</i>
<i>Ana Aurora Mora de Coy</i>	<i>1888</i>	<i>689</i>	<i>No registra</i>	<i>4.553</i>	<i>-75.633</i>	<i>0.500</i>
<i>Aurora gamba Pineda</i>	<i>518</i>	<i>724</i>	<i>La Maria</i>	<i>4.547</i>	<i>-75.627</i>	<i>0.050</i>
<i>Berenice Prieto Valencia</i>	<i>1327</i>	<i>654</i>	<i>La Sensitiva</i>	<i>4.513</i>	<i>-75.622</i>	<i>0.200</i>
<i>Camilo Augusto Echeverry Mora</i>	<i>881</i>	<i>626</i>	<i>La Loma</i>	<i>4.463</i>	<i>-75.643</i>	<i>0.100</i>
<i>David Colon Santiago</i>	<i>445</i>	<i>575</i>	<i>No registra</i>	<i>4.545</i>	<i>-75.625</i>	<i>0.030</i>
<i>Diocesis de Armenia</i>	<i>266</i>	<i>649</i>	<i>Agua Bonita</i>	<i>4.540</i>	<i>-75.625</i>	<i>0.040</i>
<i>Empresa Multiproposito de Calarca S.A.ESP</i>	<i>262</i>	<i>2051</i>	<i>La Gata</i>	<i>4.510</i>	<i>-75.614</i>	<i>70.000</i>
<i>Empresa Multiproposito de Calarca S.A.ESP</i>	<i>262</i>	<i>2051</i>	<i>Naranjal</i>	<i>4.531</i>	<i>-75.628</i>	<i>15.000</i>
<i>Empresa Multiproposito de Calarca S.A.ESP</i>	<i>262</i>	<i>2051</i>	<i>San Rafael</i>	<i>4.523</i>	<i>-75.614</i>	<i>60.000</i>
<i>Empresa Multiproposito de Calarca S.A.ESP</i>	<i>262</i>	<i>2051</i>	<i>Santo Domingo</i>	<i>4.510</i>	<i>-75.614</i>	<i>75.000</i>

<i>Francy Arasmid Vargas Ospina</i>	1879	729	<i>La Divisa</i>	4.528	-75.615	0.030
<i>Gerardo Agudelo Castro</i>	298	657	<i>La Sensitiva</i>	4.514	-75.624	0.010
<i>Kopla S.A.S.</i>	1881	695	<i>Kopla</i>	4.492	-75.688	0.400
<i>Luis Felipe Tellez Giraldo</i>	1885	1885-10	<i>La Macarena</i>	4.485	-75.700	0.050
<i>Luz Estella Miller Hurtado</i>	1713	1713-11	<i>El Cofre</i>	4.481	-75.634	0.050
<i>Maria Aleyda Leon Gonzales</i>	326	694	<i>No registra</i>	4.526	-75.666	1.000
<i>Maria Deyanira Martinez Botero</i>	2072	2072-10	<i>La Sensitiva</i>	4.514	-75.624	0.090
<i>Maria Emilsen Marín Guarín</i>	1558	723	<i>Marisol</i>	4.509	-75.626	0.030
<i>Maria Gloria Vasquez de Morales</i>	1566	721	<i>Marisol</i>	4.509	-75.626	0.300
<i>Maria Lucila Perez Peralta</i>	1559	725	<i>Marisol</i>	4.509	-75.626	0.030
<i>Olga Henao de Montoya</i>	1965	1965-10	<i>Alto Bonito</i>	4.480	-75.639	0.200
<i>Omar Lozano Montoya</i>	945	945-11	<i>No registra</i>	4.517	-75.630	0.110
<i>Rigoberto Suarez Bedoya</i>	789	656	<i>Santa Teresa</i>	4.515	-75.620	0.200
<i>Rodolfo gallego Gonzales</i>	1436	674	<i>La Duquesa</i>	4.556	-75.620	0.010
<i>Rodrigo Antonio Ramirez Henao</i>	1969	658	<i>El Tigre</i>	4.514	-75.637	0.200
<i>Sandra Lorena García Morales</i>	173	173-10	<i>Guamal</i>	4.537	-75.633	0.500
<i>Union temporal II Centenario</i>	1181	2103	<i>No registra</i>	4.504	-75.575	0.500
<i>William Henao Quintana</i>	1326	726	<i>La Montaña</i>	4.518	-75.610	0.100
<i>HECTOR BELTRaN VALBUENA</i>	1332	732	<i>El Mirador</i>	4.506	-75.630	0.100
<i>JESUS ALFONSO SIERRA CORREA</i>	1176	703	<i>No registra</i>	4.526	-75.663	1.500
<i>JHON JAIRO GONZALEZ RAVE</i>	167	710	<i>La esperanza</i>	4.483	-75.637	0.600

MARIETA PALACIO DE LOPEZ	1057	731	La Carmelita	4.563	-75.636	0.050
NOEL PELAEZ SAAVEDRA	44	3090	Las Brisas	4.461	-75.573	3.000
SAMUEL RAMOS HERRERA	29	730 A	El Jardín	4.514	-75.637	0.100

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 19. Concesiones de agua para uso Doméstico, municipio de Calarcá

Doméstico – Agrícola: A continuación se muestran los usuarios para las actividades domésticas - agrícolas en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso doméstico - agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 8.42 L/s

Usuario	Resolución	Expediente	Vereda	Lat	Lon	Caudal (L/s)
Agustin Jaramillo Vélez	441	713	La Sonadora	4.473	-75.644	2.000
Berta Ligia Torres Reyes	1973	651	La Sor	4.545	-75.625	0.700
Curtiembres Taner de Colombia Ltda	306	701	Los Cueros	4.526	-75.663	1.000
Francisco Javier Suarez Escamilla	1894	672	La Cabaña	4.511	-75.631	0.330
Granjas Campeon	1838	3742	No registra	4.516	-75.632	0.050
Ivan Arbelaez Montoya	297	646	El Jazmin	4.514	-75.628	2.000
Jesus Alfonso Sierra Pérez	508	703	Los Cueros	4.526	-75.663	1.500
Jose del Carmen Prieto Valencia	1328	1328-11	Las Peñitas	4.498	-75.630	0.140
Pablo Ignacio Escobar	311	669	La Playa	4.440	-75.683	0.600
CAMPO ELIECER GONZALEZ	221	727	El Porvenir	4.520278	-75.610833	0.100000

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 20. Concesiones de agua para uso Doméstico - Agrícola, municipio de Calarcá

Doméstico – Pecuario: A continuación se muestran los usuarios para las actividades domésticas - pecuarias en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso doméstico - pecuaria cuenta con un caudal concesionado total de 6.11 L/s

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Adzalea González de Molina</i>	388	675	<i>Adzalea</i>	4.559	-75.620	0.040
<i>Campo Elias Bermúdez</i>	316	711	<i>Las Brisas</i>	4.564	-75.621	0.400
<i>Hector Ferney Velazco Marín</i>	856	847	<i>No Registra</i>	4.476	-75.569	0.030
<i>Javier Aguirre Sabogal</i>	544	712	<i>La Golgota</i>	4.500	-75.581	0.600
<i>Jorge Armando Ortíz</i>	446	730	<i>La Pradera</i>	4.540	-75.626	0.500
<i>Jorge Julio Echeverry Botero</i>	636	668	<i>San Diego</i>	4.467	-75.672	0.500
<i>Juan Climaco Castellanos Hoyos</i>	314	664	<i>El Pescador</i>	4.554	-75.633	0.550
<i>Juan de Dios Serna Muñoz</i>	1648	655	<i>Las Brisas</i>	4.505	-75.626	0.630
<i>Luis Fernando Leyton Pérez</i>	448	448-11	<i>La Estancia</i>	4.511	-75.632	0.600
<i>Luz Marina Gamba Gómez</i>	300	691	<i>El Pescador</i>	4.547	-75.626	0.400
<i>Maria Auxilio Pérez de Sierra</i>	1900	686	<i>Junin</i>	4.552	-75.627	0.530
<i>Mario Cobaleda Balceró</i>	1896	1896-10	<i>El Porvenir</i>	4.516	-75.631	0.230
<i>Pablo Emilio Molina Díaz</i>	389	676	<i>La Alsacia</i>	4.564	-75.621	0.040
<i>Ricardo Thomson</i>	1335	673	<i>Las Brisas</i>	4.505	-75.626	0.030
<i>Wood and Coffee</i>	1653	670	<i>Los Balsos</i>	4.519	-75.611	0.630
<i>Gladys López de Herrera</i>	451	440-11	<i>Buenavista</i>	4.534	-75.631	0.300
<i>José Germán Peña García</i>	885	633	<i>El Terreno</i>	4.540	-75.616	0.100

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 21. Concesiones de agua para uso Doméstico - Pecuario, municipio de Calarcá

Doméstico - Pecuario – Agrícola: A continuación se muestran los usuarios para las actividades domésticas – pecuarias - agrícolas en el municipio de Calarcá y su caudal

concesionado. El uso doméstico – pecuaria - agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 2.50 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Jaime Young Gómez</i>	<i>74</i>	<i>074-11</i>	<i>Buenos Aires</i>	<i>4.385</i>	<i>-75.782</i>	<i>2.500</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 22. Concesiones de agua para uso Doméstico – Pecuaria - Agrícola, municipio de Calarcá

Doméstico - Piscícola: Para el uso doméstico – piscícola se cuenta con un caudal concesionado de 2.21 L/s, a continuación se muestra la información del caudal concesionado.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Cabildo mayor indígena Embera Chami Caminera de Quín</i>	<i>1841</i>	<i>1841-10</i>	<i>La Venada</i>	<i>4.425</i>	<i>-75.653</i>	<i>0.130</i>
<i>Francisco Javier Perdomo García</i>	<i>1970</i>	<i>678</i>	<i>Santa Rita</i>	<i>4.547</i>	<i>-75.649</i>	<i>1.200</i>
<i>Gildardo Garzón Sánchez</i>	<i>253</i>	<i>682</i>	<i>Flamingo</i>	<i>4.542</i>	<i>-75.633</i>	<i>0.350</i>
<i>Jaime Botero Restrepo</i>	<i>1975</i>	<i>642</i>	<i>No registra</i>	<i>4.478</i>	<i>-75.639</i>	<i>0.030</i>
<i>Libia Giselli Correa</i>	<i>447</i>	<i>709</i>	<i>No registra</i>	<i>4.454</i>	<i>-75.713</i>	<i>0.500</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 23. Concesiones de agua para uso Doméstico – Piscícola, municipio de Calarcá

Doméstico - Riego: Para el uso doméstico – riego solo cuenta con una concesión otorgada, a continuación se muestra la información del caudal concesionado.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Augusto Arias Botero</i>	<i>415</i>	<i>667</i>	<i>La Lorena</i>	<i>4.493</i>	<i>-75.668</i>	<i>0.350</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 24. Concesiones de agua para uso Doméstico – Riego, municipio de Calarcá

Energético: A continuación se muestran los usuarios para las actividades energéticas en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso energético cuenta con un caudal concesionado total de 10053 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Empresa Multiproposito de Calarca S.A.ESP</i>	262	2051	<i>La María</i>	4.573	-75.632	2700.000
<i>Empresa Multiproposito de Calarca S.A.ESP</i>	262	2051	<i>Alto del río</i>	4.549	-75.648	2700.000
<i>Empresa Multiproposito de Calarca S.A.ESP</i>	262	2051	<i>La Bohemia</i>	4.533	-75.662	2700.000
<i>UNIVERSAL STREAM LTDA</i>	1025	1025-10	<i>La Gata</i>	<i>No registra</i>	<i>No registra</i>	1953.000

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 25. Concesiones de agua para uso Energético, municipio de Calarcá

La actividad de generación de energía es el uso más crítico en el municipio de Calarcá ya que cuenta con concesión para 4 Pequeñas Centrales Hidroeléctrica - PCH, se resaltan 2 usuarios; Empresa Multipropósito de Calarcá y Universal Stream. Las 3 PCH de la empresa multipropósito de Calarcá son: PCH Campestre, PCH Bayona y PCH La Unión, cada una con un caudal otorgado de 2700 L/s; a continuación se muestran los promedios anuales de los caudales utilizados por las tres:

PCH	AÑO	Promedio Caudal (m3/s)
Campestre	2009	1,286
Bayona		1,02
La Unión		1,287
Campestre	2010	1,231
Bayona		0,908
La Unión		1,099
Campestre	2011	1,035
Bayona		0,478
La Unión		1,122
Campestre	2012	1.005
Bayona		1.790
La Unión		1.343

Fuente: Control y Seguimiento, CRQ

Tabla 26. Caudal promedio anual PCH

Industrial: A continuación se muestran los usuarios para las actividades industriales en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso industrial cuenta con un caudal concesionado total de 5.39 L/s. Las concesiones están distribuidas de la siguiente manera:

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Union temporal II Centenario</i>	<i>1488</i>	<i>2101</i>	<i>El Salado</i>	<i>4.530</i>	<i>-75.614</i>	<i>1.000</i>
<i>Union temporal II Centenario</i>	<i>2068</i>	<i>2104</i>	<i>La Virgen Negra</i>	<i>4.525</i>	<i>-75.607</i>	<i>1.000</i>
<i>Union temporal II Centenario</i>	<i>1029A</i>	<i>2102</i>	<i>La Marqueza</i>	<i>4.503</i>	<i>-75.576</i>	<i>0.300</i>
<i>Flor de María Roa de Orozco</i>	<i>693</i>	<i>576</i>	<i>No registra</i>	<i>4.530</i>	<i>-75.632</i>	<i>0.090</i>
<i>Ladrillera e Inversiones FAYAT LTDA</i>	<i>672</i>	<i>733</i>	<i>El Bosque</i>	<i>4.534</i>	<i>-75.631</i>	<i>3.000</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 27. Concesiones de agua para uso Industrial, municipio de Calarcá

Pecuario: A continuación se muestran los usuarios para las actividades pecuarias en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso pecuario cuenta con un caudal concesionado total de 1.6 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Hilda Teresa Toloza Mendoza</i>	<i>1878</i>	<i>9296</i>	<i>Quebrada Negra</i>	<i>4.445</i>	<i>-75.680</i>	<i>0.500</i>
<i>Argelia Villa Jaramillo</i>	<i>201</i>	<i>629</i>	<i>Quebrada Negra</i>	<i>4.445</i>	<i>-75.677</i>	<i>0.200</i>
<i>Carlos Alberto Zuluaga Duque</i>	<i>925</i>	<i>659</i>	<i>El Arenillo</i>	<i>4.510</i>	<i>-75.619</i>	<i>0.100</i>
<i>Martha Helena Franco Morales</i>	<i>1031</i>	<i>708</i>	<i>Cebollal</i>	<i>4.529</i>	<i>-75.617</i>	<i>0.800</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 28. Concesiones de agua para uso Pecuario, municipio de Calarcá

Riego: A continuación se muestran los usuarios para las actividades de riego en el municipio de Calarcá y su caudal concesionado. El uso para riego cuenta con un caudal concesionado total de 2.10 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Alfredo José Rodríguez</i>	<i>1352</i>	<i>1352-11</i>	<i>El Aguila</i>	<i>4.510</i>	<i>-75.667</i>	<i>2.000</i>
<i>Offir Valbín Vallejo</i>	<i>1912</i>	<i>1912-11</i>	<i>La Duquesa</i>	<i>4.561</i>	<i>-75.631</i>	<i>0.100</i>

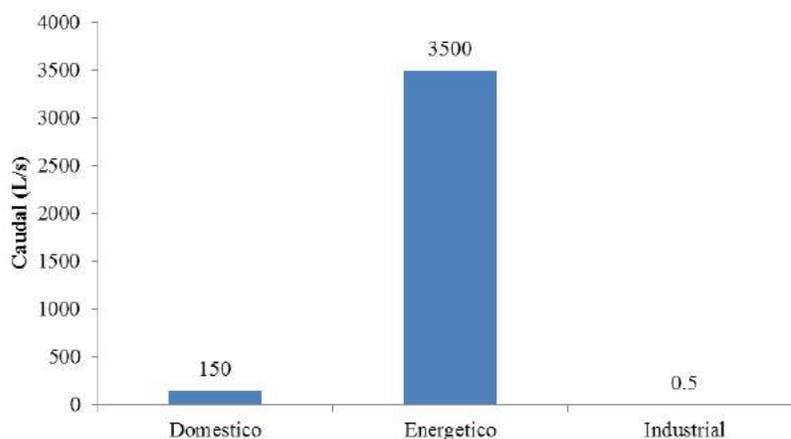
Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 29. Concesiones de agua para uso en riego, municipio de Calarcá

4.2.3 Concesiones en el Municipio de Armenia en la unidad hidrográfica del río Quindío

El mayor volumen de agua se utiliza en actividades domesticas y en el sector energetico.

El caudal total concesionado en el municipio de Armenia es de 3650.50 L/s, distribuidos de la siguiente manera:



Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Figura 27. Caudal otorgado para los diferentes usos, Municipio de Armenia

Doméstico: A continuación se presenta la información relacionada con la concesión para uso doméstico en jurisdicción del municipio de Armenia en la unidad hidrográfica del río Quindío.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>ESAQUIN</i>	<i>458</i>	<i>2032</i>	<i>La María</i>	<i>4.533</i>	<i>-75.660</i>	<i>150.000</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 30. Concesiones de agua para uso Doméstico, municipio de Armenia

Energético: Para el uso energético solo cuenta con una concesión otorgada, a continuación se presenta el usuario y su caudal concesionado.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Empresas Publicas de Armenia SA ESP</i>	558	2011	<i>San Pedro</i>	4.509	-75.686	3500.000

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 31. Concesiones de agua para uso Energético, municipio de Armenia

Empresas públicas de Armenia cuenta con una PCH llamada “el Bosque”, con un caudal otorgado de 3500 L/s; a continuación se presentan los promedios anuales de los caudales utilizados por la PCH el Bosque:

PCH el Bosque	
Año	Promedio Caudal m3/s
2010	2.598
2011	2.879
2012	2.515

Fuente: Control y Seguimiento, CRQ

Tabla 32. Caudal promedio anual PCH el Bosque

Industrial: A continuación se presenta la información de concesión para actividades industriales en jurisdicción del municipio de Armenia en la unidad hidrográfica del río Quindío.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Nestor Mauricio López Padilla</i>	859	702	<i>No registra</i>	4.531	-75.666	0.500

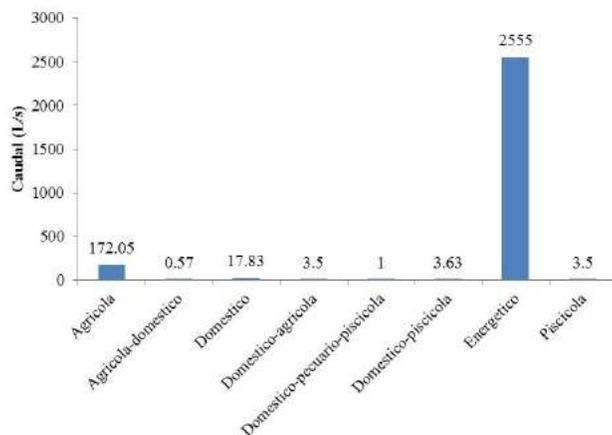
Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 33. Concesiones de agua para uso Industrial, municipio de Armenia

4.2.4 Concesiones en el Municipio de Córdoba en la unidad hidrográfica del río Quindío

Los principales usos del agua superficial son en los sectores energético y agrícola; en menor proporción se presentan otros tipos de uso, como Doméstico, Doméstico-agrícola,

Doméstico-piscícola, Piscícola, entre otros. En la Figura 28 se presenta la distribución de caudales por uso.



Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Figura 28 Caudal otorgado para los diferentes usos, Municipio de Córdoba

Agrícola. A continuación se presentan los usuarios para las actividades agrícolas del municipio de Córdoba en la unidad hidrográfica del río Quindío y su caudal concesionado. El uso agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 172.05 L/s.

Usuario	Resolución	Expediente	Vereda	Lat	Lon	Caudal (L/s)
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	La Mirandita	4.354	-75.692	1.750
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	Verde	4.411	-75.658	135.000
Comité Departamental de Cafeteros del Quindio	1487	2086	Las Pavas	4.391	-75.660	35.000
Jair Londoño Torres	1656	952	La Concha	4.401	-75.716	0.300

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 34. Concesiones de agua para uso Agrícola, municipio de Córdoba

Agrícola – Doméstico: A continuación se presentan los usuarios para las actividades agrícolas - domésticas en el municipio de Córdoba y su caudal concesionado. El uso agrícola - doméstico cuenta con un caudal concesionado total de 0.57 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Jaime Alberto Avila Godoy</i>	<i>1460</i>	<i>930</i>	<i>Buenos Aires</i>	<i>4.419</i>	<i>-75.661</i>	<i>0.130</i>
<i>Rigaul Arias Ruiz</i>	<i>1328</i>	<i>933</i>	<i>No registra</i>	<i>4.375</i>	<i>-75.700</i>	<i>0.060</i>
<i>Zulma Ramírez de Londoño</i>	<i>1208</i>	<i>937</i>	<i>La Niza</i>	<i>4.405</i>	<i>-75.701</i>	<i>0.380</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 35. Concesiones de agua para uso Agrícola-domestico, municipio de Córdoba

Doméstico: A continuación se presenta la información relacionada con la concesión para uso doméstico en jurisdicción del municipio de Córdoba en la unidad hidrográfica del río Quindío.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Empresa de Servicios Sanitarios de Córdoba S.A. ESP</i>	<i>684</i>	<i>931</i>	<i>Los Justos</i>	<i>4.374</i>	<i>-75.677</i>	<i>13.000</i>
<i>Ivet Torres García</i>	<i>1329</i>	<i>1329-10</i>	<i>No registra</i>	<i>4.382</i>	<i>-75.717</i>	<i>0.300</i>
<i>Julieta Betancourth</i>	<i>1880</i>	<i>722</i>	<i>La Guayaquila</i>	<i>4.421</i>	<i>-75.676</i>	<i>0.530</i>
<i>Acueducto Comunitario Guayaquil Alto</i>	<i>47</i>	<i>2002</i>	<i>No registra</i>	<i>4.419</i>	<i>-75.661</i>	<i>3.000</i>
<i>Luis José Rivera Goyeneche</i>	<i>1015</i>	<i>934</i>	<i>La Cascada</i>	<i>4.368</i>	<i>-75.676</i>	<i>1.000</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 36. Concesiones de agua para uso Doméstico, municipio de Córdoba

Doméstico – Agrícola: A continuación se presentan los usuarios para las actividades domésticas - agrícolas en el municipio de Córdoba y su caudal concesionado. El uso doméstico - agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 3.50 L/s

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Proconstrucciones LTDA</i>	<i>977</i>	<i>977-09</i>	<i>La concha</i>	<i>4.396</i>	<i>-75.716</i>	<i>3.500</i>

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 37. Concesiones de agua para uso Doméstico-Agrícola, municipio de Córdoba

Doméstico - Pecuario – Piscícola: A continuación se presentan los usuarios para esta categoría de uso en el municipio de Córdoba en la unidad hidrográfica del río Quindío y su caudal concesionado. El uso doméstico – pecuaria - piscícola cuenta con un caudal concesionado total de 1.00 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Danilo Jaramillo Llano</i>	324	936	<i>El Pescador</i>	4.421	-75.709	1.000

Tabla 38. Concesiones de agua para uso Doméstico-pecuario-piscícola, municipio de Córdoba

Doméstico - Piscícola: Para el uso doméstico – piscícola el municipio de Córdoba en la unidad hidrográfica del río Quindío cuenta con un caudal concesionado de 3.63 L/s, a continuación se presenta la información del caudal concesionado.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Jose Edgar Marín Londoño</i>	1652	939	<i>No registra</i>	4.380	-75.717	0.130
<i>Alejandro Cano Angel</i>	999	977-09	<i>No registra</i>	4.399	-75.714	3.500

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 39. Concesiones de agua para uso Doméstico-piscícola, municipio de Córdoba

Energético: Para el uso energético el municipio solo cuenta con una concesión otorgada, a continuación se presenta el usuario y su caudal concesionado.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>UNIVERSAL STREAM LTDA</i>	1025	1025-10	<i>No registra</i>	4.403	-75.721	2555.000

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 40. Concesiones de agua para uso Energético, municipio de Córdoba

Piscícola: A continuación se presentan los usuarios para las actividades piscícolas en el municipio de Córdoba en la unidad hidrográfica del río Quindío y su caudal concesionado. El uso piscícola cuenta con un caudal concesionado total de 3.50 L/s

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Sandra Milena Alzate Contreras</i>	790	941	<i>La Concha</i>	4.402	-75.712	0.500

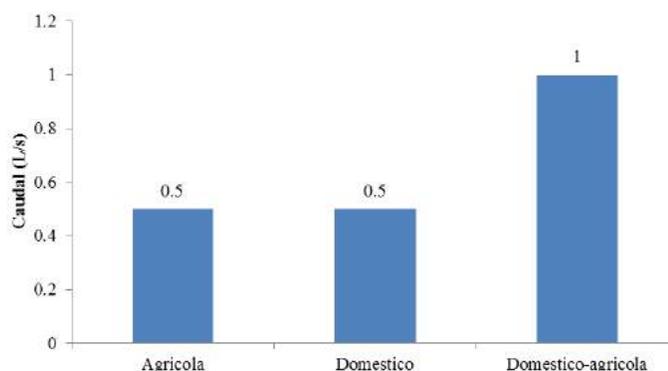
<i>Jose Antonio Salazar Acosta</i>	2065	2065-10	No registra	4.402	-75.722	3.000
------------------------------------	------	---------	-------------	-------	---------	-------

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 41. Concesiones de agua para uso Piscícola, municipio de Córdoba

4.2.5 Concesiones en el Municipio de Buenavista en la unidad hidrográfica del río Quindío

El municipio de Buenavista tiene una pequeña parte de su territorio en la unidad hidrográfica del río Quindío, en la cual se registran tres tipos de uso: Agrícola, Doméstico y Doméstico-agrícola:



Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 42. Caudal otorgado para los diferentes usos, Municipio de Buenavista

Agrícola. A continuación se muestran los usuarios para las actividades agrícolas en el municipio de Buenavista en la unidad hidrográfica del río Quindío y su caudal concesionado. El uso agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 0.50 L/s.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia</i>	1035	1035-10	No registra	4.391	-75.732	0.500

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 43. Concesiones de agua para uso Agrícola, municipio de Buenavista

Doméstico: A continuación se muestra la información relacionada con la concesión para uso doméstico en jurisdicción del municipio de Buenavista en la unidad hidrográfica del río Quindío.

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Silvia Lizethe Arbelaez Giraldo</i>	1446	947	No registra	4.387	-75.731	0.500

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 44. Concesiones de agua para uso Doméstico, municipio de Buenavista

Doméstico – Agrícola: A continuación se muestran los usuarios para las actividades domésticas - agrícolas en el municipio de Buenavista en la unidad hidrográfica del río Quindío y su caudal concesionado. El uso doméstico - agrícola cuenta con un caudal concesionado total de 1.0 L/s

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Vereda</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Daniel Alberto Correal Rubiano</i>	1883	945	No registra	4.363	-75.719	1.000

Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 45. Concesiones de agua para uso Doméstico-Agrícola, municipio de Buenavista

4.2.6 Concesiones de aguas subterráneas otorgadas en la unidad hidrográfica del río Quindío

Según el registro de usuarios del recurso hídrico, los municipios que integran la unidad hidrográfica del río Quindío tienen los siguientes caudales concesionados, Armenia 15.46 L/s, Calarcá 43.58 L/s y Salento 5 L/s. La información detallada de cada usuario se presenta en la siguiente tabla:

<i>Usuario</i>	<i>Resolución</i>	<i>Expediente</i>	<i>Municipio</i>	<i>Caudal (L/s)</i>
<i>Grupo empresarial de colombia gecol</i>	351	189	Armenia	0.01
<i>Jose omar gomez botero</i>	1190	1089	Armenia	0.30
<i>Sigifredo bernal soto</i>	94	168	Armenia	1.00
<i>Comfenalco caja de compensacion familiar</i>	795	186	Armenia	0.88

<i>Condominio campestre alcarraza</i>	1186	170	<i>Armenia</i>	0.90
<i>Fundacion hogar del anciano "anita gutierrez echeverry"</i>	933	163	<i>Armenia</i>	2.00
<i>Meals de colombia s.a.s.</i>	642	800	<i>Armenia</i>	10.37
<i>Asociacion curtidores la maria</i>	443	665	<i>Calarca</i>	6.90
<i>Carlos alberto solarte solarte</i>	905	1097	<i>Calarca</i>	4.00
<i>Condominio campestre el bosque</i>	166	706	<i>Calarca</i>	0.50
<i>Condominio campestre los almendros</i>	546	780	<i>Calarca</i>	0.50
<i>Cooperativa motoristas el cacique calarcá</i>	301	632	<i>Calarca</i>	0.10
<i>Curtiembre copiel</i>	320	985-11	<i>Calarca</i>	1.50
<i>Curtiembre río la maría Ltda</i>	1214	705	<i>Calarca</i>	3.00
<i>Curtiembre roldan</i>	172	700	<i>Calarca</i>	1.50
<i>Curtiembre sierra perez y cia s en c</i>	1370	704	<i>Calarca</i>	10.00
<i>Enrique pardo castañeda</i>	1306		<i>Calarca</i>	0.50
<i>Fernando naranjo vega</i>	1433	650	<i>Calarca</i>	0.10
<i>Gustavo y orlando marin ramirez</i>	513	679	<i>Calarca</i>	0.10
<i>Miguel alberto marquez bedoya</i>	286	696	<i>Calarca</i>	0.50
<i>Shirley salazar martinez</i>	885	658	<i>Calarca</i>	0.47
<i>Silvio manrique manrique</i>	869	869-09	<i>Calarca</i>	0.01
<i>Unidad residencia campestre los guayacanes</i>	2071	791	<i>Calarca</i>	0.50
<i>Union temporal ii centenario</i>	1197	1197-09	<i>Calarca</i>	10.00
<i>Condominio valle del sol</i>	286	688	<i>Calarca</i>	1.00

<i>Calamar granja avicola s.a.s.</i>	1021	4817-12	<i>Calarca</i>	2.40
<i>Construinvestiones a y m ltda</i>	189	872	<i>Salento</i>	3.00
<i>Jaime alberto urazan peña</i>	772	863	<i>Salento</i>	2.00
Total				64.04

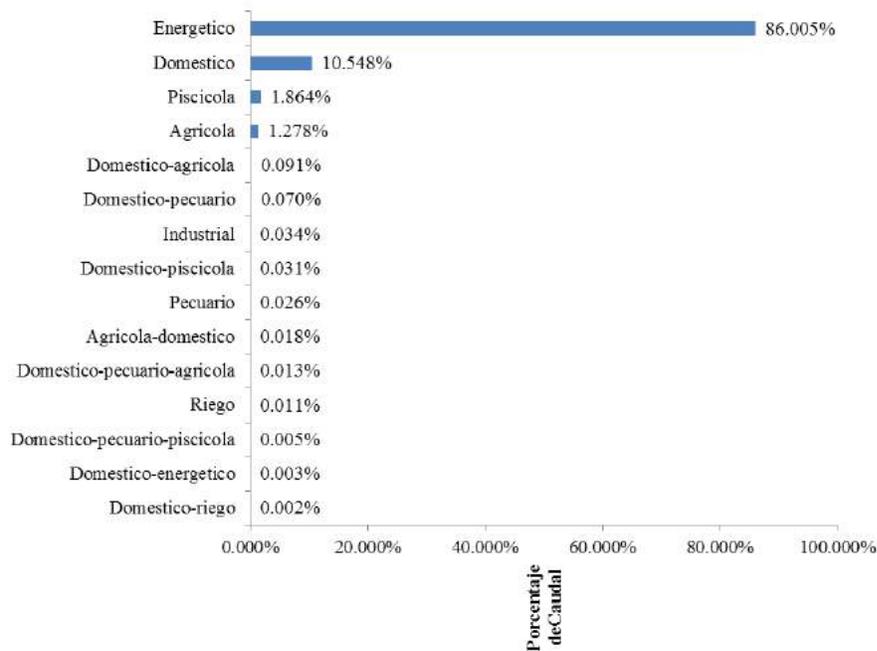
Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Tabla 46. Concesiones de agua subterráneas otorgadas en la unidad hidrográfica del río Quindío.

43 DEMANDA ACTUAL DE AGUAS SUPERFICIALES

4.3.1 Usos

La unidad hidrográfica del río Quindío tiene una demanda actual concesionada de **18729.09 L/s** que benefician a **181 usuarios** de tipo jurídico y natural en diferentes usos, en las proporciones que se muestran en la Figura 29.



Fuente: BASE DE DATOS RURH (CRQ, 2014)

Figura 29. Porcentaje de caudal concesionado por tipo de uso con respecto al total de caudal concesionado en la unidad hidrográfica del río Quindío

Se deduce de la gráfica anterior que existe marcada diferencia en el uso del agua del río Quindío y sus afluentes:

- El **86.005 %** del caudal concesionado en la unidad hidrográfica del río Quindío, es decir, 16108 L/s de los 18729.09 L/s, están destinados al uso energético, mientras que entre el uso energético y el uso doméstico se demanda el **96.55%**, es decir 18083.54 L/s de los 18729.09 L/s.
- El **99.77%** del caudal concesionado en la unidad hidrográfica, es decir 18685.17 L/s de los 18729.09 L/s, se encuentra concesionado para un solo uso, y el restante 0.23% es decir 43.92 L/s es concesionado para usos combinados. Esto permite entender que en aras de la brevedad, en adelante para mencionar el conjunto de concesiones con dos o más usos se utilice el término “*Otros usos*”.

4.3.2 Demanda actual

La Tabla 47 presenta un resumen de las concesiones dentro de la unidad hidrográfica del río Quindío, de la cual se destaca lo siguiente:

- 1) La unidad hidrográfica del río Quindío, tiene concesiones de agua superficial en jurisdicción de los municipios de Salento, Armenia, Calarcá, Córdoba y Buenavista, de los cuales el que demanda mayor caudal es Calarcá con 10371.88 L/s, seguido por Armenia con 3650.50 L/s y Córdoba con 2757.08 L/s.
- 2) La mayor parte del caudal concesionado en la unidad hidrográfica del río Quindío se destina al uso energético, distribuido en 6 concesiones con la siguiente distribución de caudales por municipio, Calarcá: 10053 L/s para cuatro (4) concesiones, Armenia: 3500 L/s para una (1) concesión y Córdoba: 2555 L/s para una (1) concesión.
- 3) De los 1975.54 L/s concesionados para uso doméstico en la unidad hidrográfica del río Quindío, 1574.13 L/s es decir el 79.68% está asignado al municipio de Salento. Por lo que Salento registra la mayor demandade agua para uso doméstico, seguido de Calarcá con 11.79% y Armenia con 7.59%.

Es importante destacar que algunas de estas concesiones para uso doméstico municipal en la unidad hidrográfica del río Quindío no se capta en el mismo territorio del municipio, de este modo el acueducto de Armenia capta aguas en Salento y en Armenia se tienen concesionados 150 L/s para el acueducto del municipio de La Tebaida.

- 4) Para uso agrícola se tienen concesionados 239.29 L/s, de los cuales 172.05 L/s (71.90%) corresponden al municipio de Córdoba. El caudal total concesionado para uso agrícola solamente representa el 1.28% del total concesionado para toda la unidad hidrográfica del río Quindío.

Se deduce de lo anterior que la demanda concesionada para uso agrícola a la totalidad de la unidad hidrográfica del río Quindío es muy baja si se considera la vocación agrícola del sector rural de la unidad hidrográfica del río Quindío. No obstante se debe tener en cuenta que las condiciones topográficas, climáticas y tipos de cultivo que caracteriza la zona hacen que no sea práctica la implementación de tecnologías de riego, y la necesidad de agua en cultivos de frutas y hortalizas se satisface fundamentalmente con el recurso pluvial suministrado de manera natural al cultivo.

Uso		Municipios					TOTAL	%
		Salento	Calarcá	Armenia	Córdoba	Buenavista		
Agrícola	Caudal (L/s)	12.50	54.24	0.00	172.05	0.50	239.29	1.28%
	No. Usuarios	3	7	0	4	1	15	8.29%
Doméstico	Caudal (L/s)	1574.13	233.08	150.00	17.83	0.50	1975.54	10.55%
	No. Usuarios	29	35	1	5	1	71	39.23%
Energético	Caudal (L/s)	0.00	10053.00	3500.00	2555.00	0.00	16108.00	86.01%
	No. Usuarios	0	4	1	1	0	6	3.31%
Industrial	Caudal (L/s)	0.50	5.39	0.50	0.00	0.00	6.39	0.03%
	No. Usuarios	1	5	1	0	0	7	3.87%
Pecuario	Caudal (L/s)	3.20	1.60	0.00	0.00	0.00	4.80	0.03%
	No. Usuarios	4	4	0	0	0	8	4.42%
Piscícola	Caudal (L/s)	345.55	0.00	0.00	3.50	0.00	349.05	1.86%
	No. Usuarios	5	0	0	2	0	7	3.87%
Riego	Caudal (L/s)	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	2.10	0.01%
	No. Usuarios	0	2	0	0	0	2	1.10%
Otros Usos	Caudal (L/s)	11.75	22.47	0	8.7	1.000	43.92	0.23%
	No. Usuarios	19	38	0	7	1	65	35.91%
TOTAL (Caudal)		1947.63	10371.88	3650.50	2757.08	2.00	18729.090	
TOTAL (Usuarios)		61	95	3	19	3	181	

Tabla 47. Relación de usos y caudales concesionados por municipio en la unidad hidrográfica del río Quindío

4.4 PROYECCION DE LA DEMANDA HIDRÍCA DEL RÍO QUINDÍO

El plan de ordenamiento del recurso hídrico se centra en definir los objetivos de calidad y usos potenciales en el cauce principal del río Quindío, desde el sitio conocido como “El Escobal” hasta aguas arriba de su confluencia con el río Barragán, tomando el caudal de entrada desde el río verde como una condición de frontera. Es por ello que la proyección de la demanda de aguas del río Quindío se realizó a partir de la proyección del crecimiento poblacional urbano y rural de los municipios que son beneficiarios directos del cauce principal de esta fuente hídrica superficial: Armenia, Calarcá y Salento, así como del municipio de La Tebaida, que a pesar de ser beneficiario indirecto, el agua para consumo humano y uso doméstico de su población están en función de la cantidad y calidad de la oferta hídrica del río Quindío, ya que toma aguas directamente del río Quindío en la jurisdicción territorial del municipio de Armenia.

4.4.1 Proyección de la población urbana y rural de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y La Tebaida.

Con el propósito de obtener cifras muy aproximadas a la realidad de la forma como se da el crecimiento poblacional de los municipios objeto de análisis, 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 tres últimos censos de población colombiana realizados por el DANE en los años 1985, 1993 y 2005.

MUNICIPIO	CENSO 1985			CENSO 1993			CENSO 2005		
	TOTAL	CABECERA	RESTO	TOTAL	CABECERA	RESTO	TOTAL	CABECERA	RESTO
ARMENIA	195.453	1.88.200	7.231	223.284	216.467	6.817	280.930	273.114	7.816
CALARCA	53.597	39.520	14.076	59.142	44.047	15.095	73.741	56.200	17.541
SALENTO	6.195	2.617	3.578	6.843	2.848	3.995	7.247	3.597	3.650
LA TEBAIDA	19.613	16.985	2.628	21.879	19.353	2.526	33.504	30.609	2.895

Fuente: DANE (2014)

Tabla 48. Población de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y La Tebaida, según resultados censales del DANE.

A continuación se presentan las diferentes metodologías utilizadas en la estimación de la población: método aritmético, método geométrico y método propuesto por la Universidad Nacional.

Método Aritmético

Este método sugiere que la población crece con una tasa constante de crecimiento aritmético y se puede aplicar a pequeñas localidades. La población proyectada se obtiene a partir de los dos últimos censos. El método se aplica según la ecuación (3-1).

$$P = P_1 + \frac{n}{m} * (P_1 - P_0) \quad (3-1)$$

Donde,

P : Población proyectada para el año t

P_1 : Población del año t_1 (último censo)

P_0 : Población del año t_0 (penúltimo censo)

$$\begin{aligned} n: & t - t_1 \\ m: & t_1 - t_0 \end{aligned}$$

t_1 : Año del censo P_1

t_0 : Año del censo P_0

Método Geométrico

Supone una población de crecimiento variable, pero aceleración constante. Aplicable a poblaciones que no han alcanzado su desarrollo y que crecen manteniendo un porcentaje uniforme obtenido en los periodos pasados. Para estimar la población por medio de este método se utiliza la ecuación (6-2).

$$P = P_1(1 + r)^n \quad (6-2)$$

Donde

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

P : Población proyectada para el año t

P_1 : Población del año t_1 (último censo)

P_0 : Población del año t_0 (penúltimo censo)

r : Tasa de crecimiento geométrico

$n: t - t_1$
 $m: t_1 - t_0$
 t_1 : Año del censo P_1
 t_0 : Año del censo P_0

Método propuesto por la Universidad Nacional

Se utiliza cuando se detectan problemas en las poblaciones, ya sea tendencia a desaparecer o un crecimiento exagerado. Este método supone una población de saturación máxima para las poblaciones en crecimiento representadas por las ecuaciones (6-3) y (6-4), mientras que para una población decreciente se asume una población mínima mediante las ecuaciones (6-5) y (6-6).

$$k_d = \frac{\ln(P_s - P_1) - \ln(P_s - P_0)}{t_1 - t_0} \quad (6-3)$$

$$P = P_s - (P_s - P_{t-1}) \text{Exp}(k_d) \quad (6-4)$$

$$k_d = \frac{\ln(P_1 - P_m) - \ln(P_0 - P_m)}{t_1 - t_0} \quad (6-5)$$

$$P = P_m + (P_{t-1} - P_m) \text{Exp}(k_d) \quad (6-6)$$

Donde,

P_1 : Población del año t_1 (último censo)
 k_d : Constante de la tasa de crecimiento
 P_s : Población de saturación máxima (se sugiere tres veces la población inicial)
 P_m : Población mínima posible (se sugiere la mitad de la población inicial)
 P_1 : Población del año t_1 (último censo)
 P_0 : Población del año t_0 (penúltimo censo)
 t_1 : Año del censo P_1
 t_0 : Año del censo P_0

442 Resultados de la proyección de población al año 2025 de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y el municipio de La Tebaida.

La tendencia del crecimiento poblacional de los municipios de Armenia y Calarcá presenta características positivas y similares tanto en la cabecera municipal como en el sector rural o en el resto de la población. Se explica en parte por la cercanía de estas dos ciudades con características de desarrollo y crecimiento similar. Figura 30 y Figura 31.

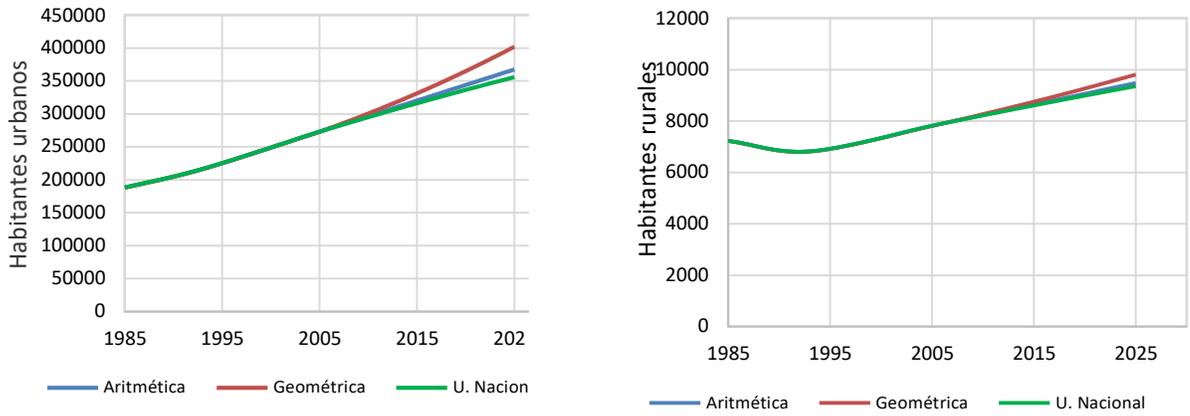


Figura 30. Proyección de la población urbana y rural municipio de Armenia al año 2025

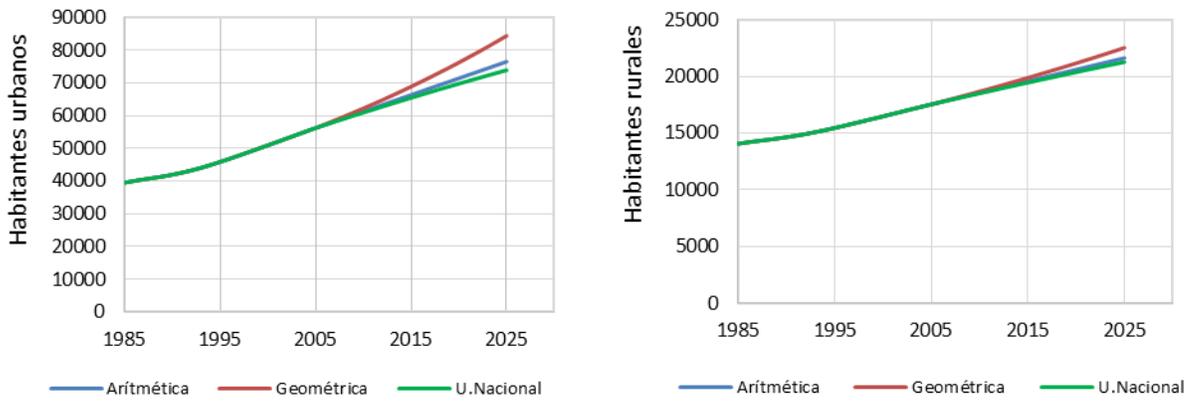


Figura 31. Proyección de la población urbana y rural municipio de Calarcá al año 2025

La tendencia de crecimiento del municipio de Salento se presenta positiva para el sector urbano pero con tendencia negativa en el sector rural.

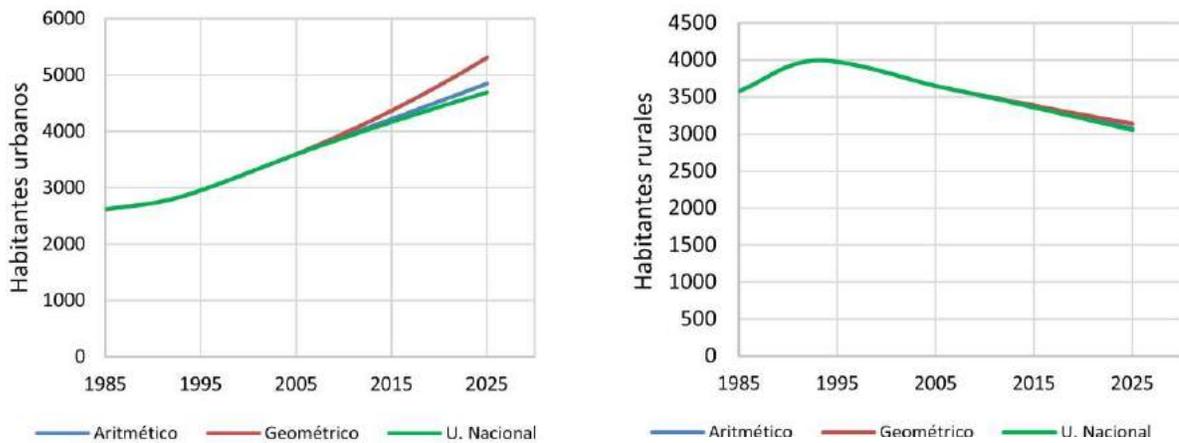


Figura 32. Proyección de la población urbana y rural municipio de Salento al año 2025

La tendencia de crecimiento del municipio de La Tebaida al igual que Armenia y Salento presenta un crecimiento positivo tanto en el sector urbano como en el sector rural. Figura 33.

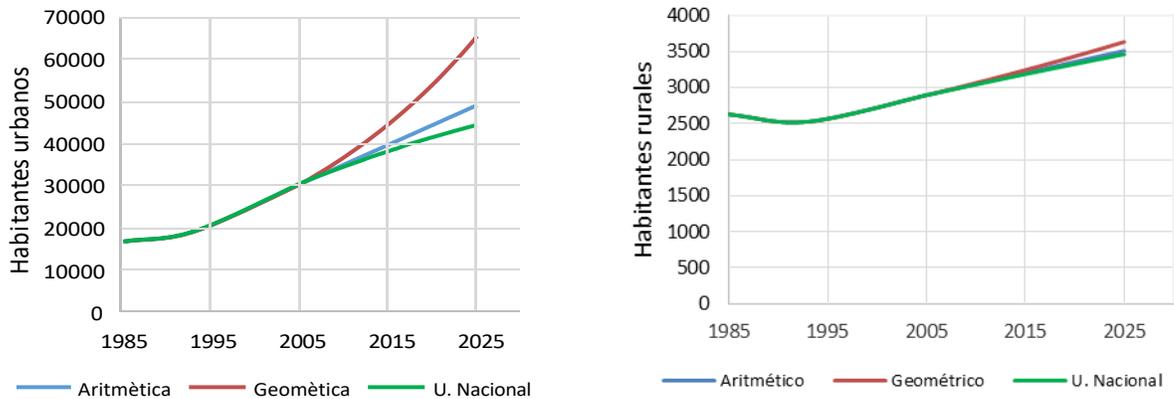


Figura 33. Proyección de la población urbana y rural municipio de La Tebaida al año 2025

443 Proyección de la demanda bruta de agua urbana y rural de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y el municipio de La Tebaida

A partir de los resultados de proyección de la población de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y del municipio de La Tebaida al año 2025, se estimó un caudal de demanda para cada uno de los métodos. Para lo anterior, se empleó la tendencia de crecimiento resultante de los censos de 1985, 1993 y 2005, en cada uno de los tres métodos

de estimación empleados, obteniendo los resultados de la Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37, tanto para el área urbana como rural.

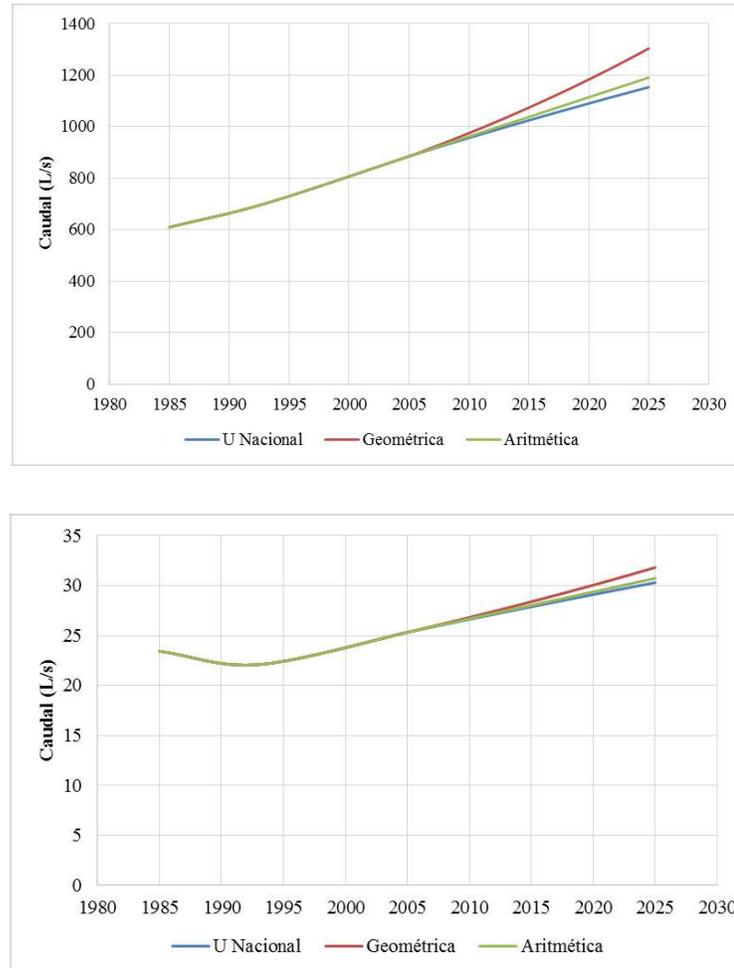


Figura 34. Proyección demanda bruta de agua municipio de Armenia al año 2025. Arriba: Urbana, Abajo: Rural.

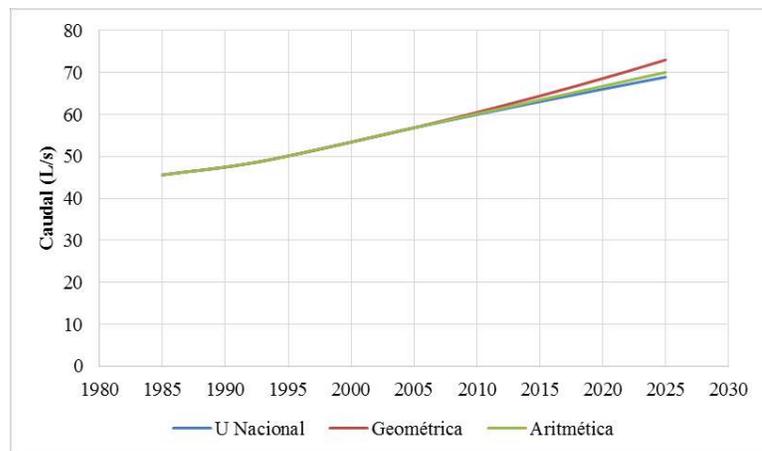
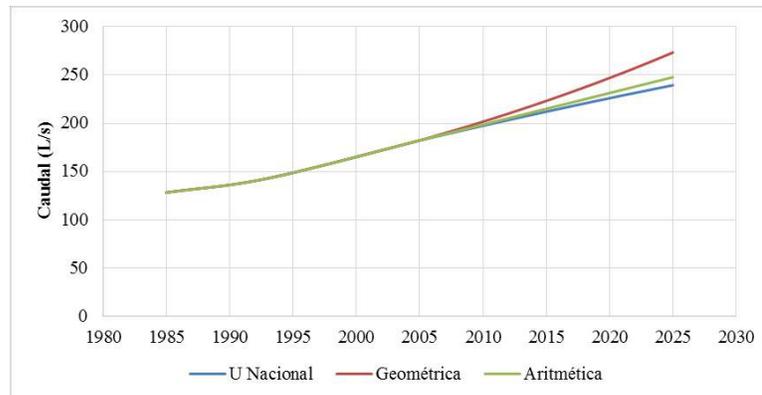


Figura 35. Proyección demanda bruta de agua municipio de Calarcá al año 2025. Arriba: Urbana, Abajo: Rural.

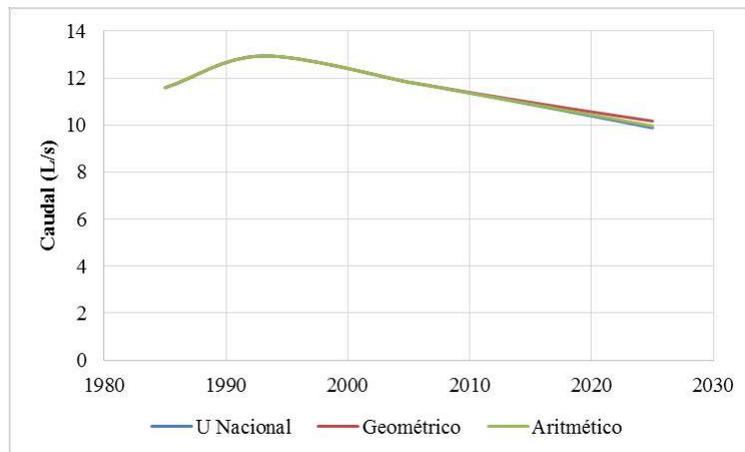
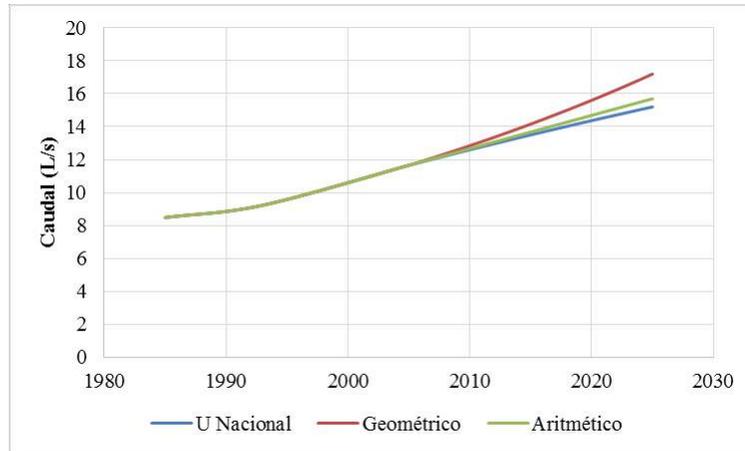


Figura 36. Proyección demanda buta de agua municipio de Salento al año 2025. Arriba: Urbana, Abajo: Rural.

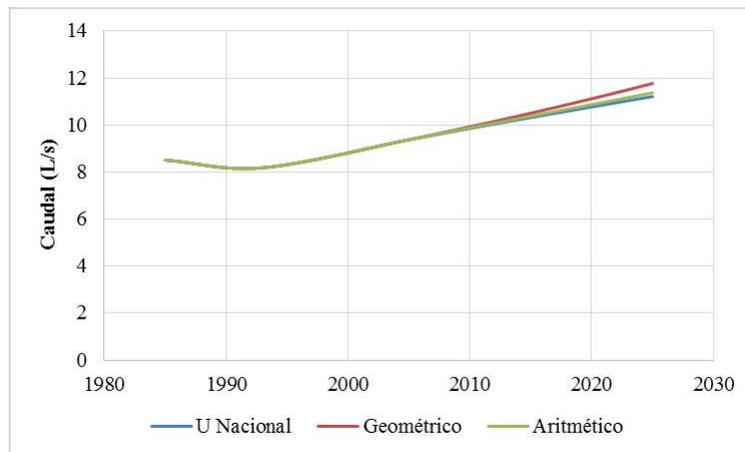
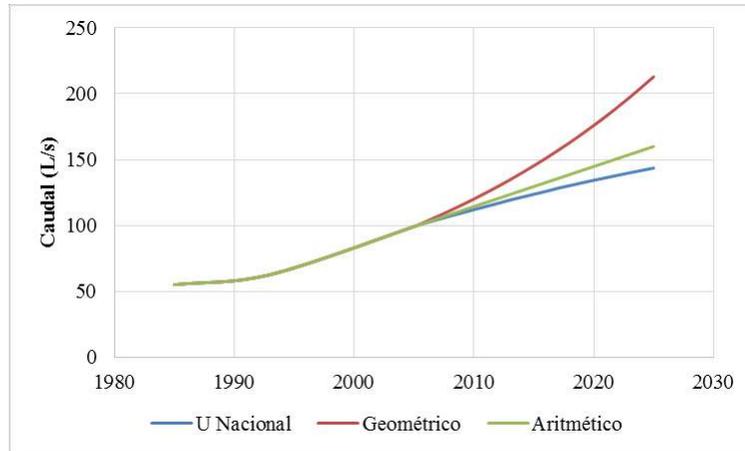


Figura 37 Proyección demanda buta de agua municipio de La Tebaida al año 2025. Arriba: Urbana, Abajo: Rural.

444 Proyección de la demanda hídrica total de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío y el municipio de La Tebaida.

A partir de los resultados de proyección de población estimada anteriormente, se calculó la demanda bruta urbana y rural de agua para uso doméstico de los municipios de Armenia, Calarcá, Salento y La Tebaida, para un periodo de 10 años (2015 a 2025).

Para el cálculo de la demanda bruta se partió de la estimación de la demanda neta siguiendo los parámetros establecidos en el la Resolución 2320 de noviembre 27 del año 2009 la cual modificó la Resolución 1096 del año 2000 en estos aspectos. La Resolución 1096 del año 2000 adoptó el Reglamento Interno para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS.

En éste sentido, el volumen persona/día se asigna a partir del *nivel de complejidad* del sistema de acueducto de cada uno de los municipios y de la condiciones de humedad de la zona. El nivel de complejidad del sistema depende del número de usuarios (habitantes) de la zona urbana, y de la humedad de la zona en tanto si es fría, templado o cálida. Así las cosas, se considera un volumen persona/día de 140 litros para Armenia, 125 litros para Calarcá y, La Tebaida, y 115 litros para Salento.

A partir de la estimación de la demanda neta se calcula la demanda bruta considerando una eficiencia del sistema de 50%, valor muy inferior al 75% exigido por la Resolución 2320 de 2009. Esta disminución en la deficiencia se explica por el deficiente estado del sistema en captación, distribución y entrega del agua. La práctica ha mostrado que relaciones entre el caudal captado y el caudal aprovechado registra pérdidas hasta de 60% en algunos acueductos municipales.

Para calcular la demanda proyectada de agua para uso agrícola, piscícola, pecuario e industrial, se parte de la demanda actual concesionada en los cuatro municipios y luego de multiplicarse por un factor de crecimiento anual de la economía de 1,015, se suma a la demanda rural proyectada de cada municipio. Dicho factor, equivale a un valor medio regional de crecimiento de acuerdo con los registros históricos del DANE (DANE, 2014).

La significativa demanda de agua del río Quindío para uso energético en los municipios de Armenia y Calarcá, y los inconvenientes generados entre la toma y retorno de aguas al río Quindío en algunos tramos del cauce principal, son razones suficientes para que se considere la proyección de la demanda en la formulación final del presente Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del Río Quindío, ya que esta proyección incide en la estimación de las condiciones de calidad y cantidad del agua después de cada captación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH).

Proyección de la Demanda Bruta de Agua en L/s Año 2025 Municipio de Armenia						
AÑO	URBANA			RURAL		
	U. Nacional	Geométrica	Aritmética	Geométrica	Aritmética	U Nacional
2015	1024,83	1074,27	1038,07	32,65	32,29	32,14
2016	1038,18	1095,29	1053,37	33,04	32,62	32,45
2017	1051,42	1116,71	1068,67	33,43	32,96	32,76
2018	1064,55	1138,55	1083,97	33,83	33,29	33,08
2019	1077,58	1160,82	1099,27	34,24	33,63	33,39
2020	1090,5	1183,53	1114,56	34,64	33,97	33,70
2021	1103,32	1206,68	1129,86	35,06	34,31	34,01
2022	1116,02	1230,28	1145,16	35,48	34,65	34,32
2023	1128,63	1254,34	1160,46	35,90	34,99	34,63
2024	1141,13	1278,88	1175,76	36,33	35,33	34,94
2025	1153,53	1303,89	1191,06	36,76	35,67	35,25
Proyección de la Demanda Bruta de Agua en L/s Año 2025 Municipio de Calarcá						
AÑO	URBANA			RURAL		
	Geométrica	Aritmética	U Nacional	Geométrica	Aritmética	U Nacional
2015	223,13	214,95	212,00	170,15	169,28	168,92
2016	227,71	218,23	214,85	172,56	171,56	171,15
2017	232,38	221,51	217,67	175,01	173,86	173,40
2018	237,15	224,80	220,47	177,49	176,19	175,67
2019	242,01	228,08	223,25	180,01	178,55	177,97
2020	246,98	231,36	226,00	182,56	180,93	180,29
2021	252,04	234,64	228,73	185,16	183,34	182,63
2022	257,21	237,92	231,44	187,78	185,78	184,99
2023	262,49	241,21	234,12	190,45	188,24	187,39
2024	267,87	244,49	236,78	193,15	190,73	189,80
2025	273,37	247,77	239,42	195,90	193,26	192,25
Proyección de la Demanda Bruta de Agua en L/seg Año 2025 Municipio de Salento						
AÑO	URBANA			RURAL		
	U Nacional	Geométrica	Aritmética	Aritmético	U Nacional	Geométrica
2015	11,09	11,63	11,24	395,25	395,26	395,32
2016	11,24	11,86	11,40	400,96	400,98	401,05
2017	11,38	12,09	11,57	406,76	406,78	406,86
2018	11,52	12,33	11,74	412,65	412,68	412,77
2019	11,67	12,57	11,90	418,63	418,66	418,76
2020	11,81	12,82	12,07	424,70	424,73	424,84

2021	11,94	13,07	12,23	430,86	430,90	431,02
2022	12,08	13,33	12,40	437,11	437,16	437,29
2023	12,22	13,59	12,57	443,46	443,51	443,66
2024	12,35	13,86	12,73	449,91	449,96	450,12
2025	12,49	14,13	12,90	456,45	456,51	456,69
Proyección de la Demanda Bruta de Agua en L/seg Año 2025 Municipio de La Tebaida						
AÑO	URBANA			RURAL		
	Geométrico	U Nacional	Aritmético	U Nacional	Aritmético	Geométrico
2015	129,78	110,46	115,71	32,26	32,31	32,43
2016	134,83	112,38	118,42	32,69	32,74	32,88
2017	140,08	114,52	121,14	33,12	33,18	33,34
2018	145,54	116,36	123,85	33,55	33,63	33,80
2019	151,20	118,16	126,57	34,00	34,08	34,28
2020	157,09	119,92	129,28	34,44	34,53	34,75
2021	163,21	121,64	131,99	34,89	34,99	35,24
2022	169,56	123,33	134,71	35,35	35,46	35,73
2023	176,17	124,99	137,42	35,81	35,93	36,23
2024	183,03	126,61	140,14	36,28	36,41	36,74
2025	190,16	128,20	142,85	36,76	36,90	37,25

Tabla 49. Demanda bruta proyectada a 10 años para los sectores urbano y rural en la unidad hidrográfica del río Quindío

5 PROCESO DE PARTICIPACIÓN PARA LA CONSOLIDACIÓN DE LA LÍNEA BASE

Teniendo en cuenta el marco conceptual de la Gestión Integral del Recurso Hídrico, se considera que *“El ordenamiento del recurso hídrico es el instrumento por excelencia, llamado a ser el articulador de todos los principios, normas y mecanismos orientados a la gestión eficaz de la minimización de riesgos asociados con la calidad, la escasez y el agotamiento del recurso hídrico, el manejo de conflictos; optimización o en su defecto racionalización de la oferta hídrica, el control de la demanda, pero ante todo, a propiciar “comunidad” en torno a los atributos y relaciones de la gente y la institucionalidad competente con el recurso hídrico en una zona claramente determinada por la AAC.”*

La formulación del PORH (Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico) debe obedecer a la identificación y priorización de problemas y conflictos del recurso, contextualizados en un análisis situacional de las relaciones de los diferentes actores entre si y con el medio ambiente, lo cual implica desarrollar un enfoque participativo. Esta prerspectiva permite no solo caracterizar de manera más acertada las problemáticas y necesidades, sino construir alternativas de solución concertadas. El resultado de este trabajo es el camino a la identificación de acciones efectivas hacia una superación de los problemas identificados.

Es importante tener en cuenta que la realidad está cambiando constantemente y reconocer que existe incertidumbre frente a escenarios futuros de la relación entre la sociedad y la naturaleza, por lo que el diagnóstico es un proceso permanente. Es cierto que el plan de ordenamiento del recurso hídrico tiene un horizonte de tiempo finito para su ejecución, sin embargo, debe considerarse que debido a probables efectos de factores externos políticos o ambientales podría requerirse una resignificación o ajuste para identificar posibles cambios de las problemáticas o identificar nuevas tendencias.

Para el buen desarrollo de este proceso, se debe definir el ámbito espacial e identificar el grupo de actores participantes. En la GIRH se asume que *“para que el ordenamiento del recurso hídrico sea exitoso, como en efecto debe ser siempre, parte de la voluntad de las directivas para enfrentar un proceso que si bien es de alta carga técnica y jurídica, es ante todo, político, pues se trata de convocar y persuadir actores, líderes y comunidades para trabajar juntos en la tarea de minimizar factores de amenaza y vulnerabilidad frente a los riesgos, minimizar los conflictos, hacer un aprovechamiento organizando la oferta y racionalizando la demanda hídrica.”*

5.1 DEFINICION DE ACTORES

Un actor es un, individuo, grupo, organización o institución que actúa en representación de sus intereses, con el propósito de desarrollarlos. Cada actor es un espacio local, cuenta con cierta

posición, cantidad de poder y capacidad de oportunidad para obtener sus objetivos, dentro de un contexto de relaciones y sistemas complejos de interacciones. Para realizar sus intereses debe formular propuestas y negociarlas con otros actores (<http://www.osman.es/ficha/11455>).

Los actores en la unidad hidrográfica del río Quindío hacen parte del sector público y privado, están organizados en gremios productivos, asociaciones, instituciones, Juntas de acción comunal, consejos municipales, asociaciones de acueductos, prestadores de servicios públicos, entre otros.

Los Actores Clave son aquellos cuya participación es indispensable y obligada para el logro del propósito, objetivos y metas del proyecto o proceso en cuestión. Tienen el poder, la capacidad y los medios para decidir e influir en campos vitales que permitan o no el desarrollo del proyecto o proceso. En algunos casos, pueden manifestar un interés directo, explícito y comprometido con los objetivos y propósitos del mismo.

Para poder contar con la participación de estos, se diseñó una estrategia de comunicación, donde se utilizó como fuente de datos secundarios suministrados por funcionarios de la CRQ y representantes de ASOJUNTAS, con quienes se definió una base de datos de contacto de los presidentes de Acción comunal, Presidentes de Asociaciones de Acueducto, Asociaciones de Comercio, personas naturales, jurídicas, públicas y privadas, entre otros.

5.2 CLASIFICACIÓN DE ACTORES

Se obtuvo la información de los actores que poseen una relación con la unidad hidrográfica del río Quindío a través de datos reportados por funcionarios de la CRQ y obtenidos de anteriores procesos de planificación ambiental desarrollados por La Entidad. La Tabla 50 presenta el listado de actores considerados relevantes para participar en el proceso de ordenamiento. En los talleres que se realizaron para el diagnóstico comunitario y la prospectiva, se contó con la representación de los actores políticos, públicos, privados, ONGS, alcaldías, asociaciones, juntas de acción comunal, entre otros (Figura 38), quienes cumplen diversas funciones y representan los diferentes tipos de intereses dentro de la unidad hidrográfica (Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53, Tabla 54).

Una vez identificados los actores, se creó una base de datos con la información necesaria para convocarlos a participar en las actividades del proceso de ordenamiento. El Anexo 1 presenta los actores que participaron en las actividades desarrolladas en los municipios de Armenia y Salento.

ACTORES IDENTIFICADOS

- GOBERNACION DEL QUINDIO
 - SECRETARIA DE EDUCACION DEPARTAMENTAL
 - SECRETARIA DE SALUD PUBLICA
 - SECRETARIA DE AGRICULTURA DESARROLLO RURAL Y MEDIO AMBIENTE, GOBERNACIÓN DEL QUINDÍO
 - C.R.Q.
 - ICA
-

-
- INCODER
 - ALCALDIAS MUNICIPALES
 - CONSEJOS MUNICIPALES
 - GRUPOS DE SOCORRO (Bomberos, Cruz roja Colombiana, Defensa civil)
 - CENTRO DE EMERGENCIA DEL QUINDIO
 - ONGS AMBIENTALISTAS
 - JUNTAS DE ACCION COMUNAL
 - ASOCIACIONES CAMPESINAS
 - EMPRESAS DE SERVICIOS PUBLICOS
 - INSPECCION DE POLICIA
 - ASOCIACION DE MINEROS ARTESANALES
 - ASOCIACION DE CURTIMBRES
 - ASOCIACION DE ARENEROS
 - ASOCIACION DE CAFETEROS
 - ASOCIACION DE AVICULTORES
 - ASOCIACION DE GANADEROS
 - ASOCIACION DE GUADUEROS
 - ASOCIACION DE TURISMO
-

Tabla 50. Actores identificados como relevantes para participar en el proceso de ordenamiento

INSTITUCIONES PUBLICAS	ORGANIZACIONES	INSTITUCIONES PRIVADAS
<ul style="list-style-type: none"> • Alcaldias • Universidades • Consejos municipales • Gobernacion del Quindio • C.R.Q • ICA • INCODER • EMPRESAS DE SERVICIO PUBLICO 	<ul style="list-style-type: none"> • J.A.C. • Juntas de Acueductos • Asociacion de Areneros • Asociaciones de Mineros Artesanales. • Ganaderos. • Cafeteros. • Agricultores • Piscicultores • Turismo • O.N.G. • Mesa Ciudadana 	<ul style="list-style-type: none"> • TURISMO (Hoteles, restaurantes, camperos, sitios recreacionales, etc) • COMITÉ DE CAFETEROS

Figura 38. Clasificación de actores

INSTITUCIONES PUBLICAS	
ACTOR	FUNCION
<ul style="list-style-type: none"> • GOBERNACIÓN DEL QUINDÍO • SECRETARÍA DEPARTAMENTAL DE EDUCACIÓN NACIONAL • SECRETARÍA DE SALUD PÚBLICA 	1. Administrar los asuntos departamentales y prestar los servicios públicos que determine la ley.

<ul style="list-style-type: none"> • SECRETARIA DE AGRICULTURA DESARROLLO RURAL Y MEDIO AMBIENTE, GOBERNACIÓN DEL QUINDÍO 	<p>2. Interpretar la voluntad soberana de sus habitantes y en el marco de la Constitución, la ley y el Reglamento.</p> <p>3. Ordenar el desarrollo de su territorio y construir las obras que demande el progreso municipal.</p> <p>4. Planificar el desarrollo económico, social y ambiental de su territorio, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades</p>
<ul style="list-style-type: none"> • C.R.Q. 	<p>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.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • ICA 	<p>Contribuir al desarrollo sostenido del sector agropecuario, pesquero y acuícola, mediante la prevención, vigilancia y control de los riesgos sanitarios, biológicos y químicos para las especies animales y vegetales, la investigación aplicada y la administración, investigación y ordenamiento de los recursos pesqueros y acuícolas, con el fin de proteger la salud de las personas, los animales y las plantas y asegurar las condiciones del comercio.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • INCODER 	<p>Ejecutar y coordinar las políticas de desarrollo rural integral establecidas por el Gobierno Nacional. Su propósito es facilitar el acceso de las comunidades rurales a los factores productivos y bienes públicos, contribuyendo a mejorar su calidad de vida.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • ALCALDIAS MUNICIPALES 	<p>Administrar los asuntos municipales y prestar los servicios públicos que determine la ley.</p> <p>2. Interpretar la voluntad soberana de sus habitantes y en el marco de la Constitución, la ley y el Reglamento.</p> <p>3. Ordenar el desarrollo de su territorio y construir las obras que demande el progreso municipal.</p> <p>4. Planificar el desarrollo económico, social y ambiental de su territorio, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades</p>
<ul style="list-style-type: none"> • CONSEJOS MUNICIPALES 	<p>Ejercer el control político y administrativo a la administración municipal</p> <p>Estudiar y aprobar proyectos de acuerdo</p>
<ul style="list-style-type: none"> • EMPRESAS DE SERVICIO PÚBLICO DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO 	<p>Administrar la red de acueducto y alcantarillado, distribuir el agua a los domicilios y velar por el servicio de aseo.</p>

Tabla 51. Funciones de actores del sector público

INSTITUCIONES PRIVADAS	
ACTOR	FUNCIONES
<ul style="list-style-type: none"> • TURISMO (Hoteles, Sitios Recreacionales y Turísticos, etc.) 	<p>SERVICIO: Explotación comercial de hoteles, restaurantes y agencias de turismo con todas sus</p>

	actividades complementarias propias de la hotelería.
• 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 52. Funciones de actores del sector privado

ORGANIZACIONES SIN ANIMO DE LUCRO	
ACTOR	FUNCIONES
• ONG	Gestion, Educación, Promover
• MESA CIUDADANA	Gestion, Promocion, Educación

Tabla 53. Funciones de actores de organizaciones sin animo de lucro

ORGANIZACIONES SOCIALES	
• ASOCIACIONES DE ACUEDUCTOS	Gestión, mantenimiento es planear, programar, dirigir, ordenar, ejecutar, administrar el acueducto.
• JAC	Representacion comunitaria, gestión
• ASOCIACIÓN DE ARENEROS	Representacion sectorial, gestión
• ASOCIACIÓN DE MINEROS ARTESANALES	Representacion sectorial, gestion
• ASOCIACIÓN DE CAFETEROS	Representacion sectorial, gestion
• ASOCIACIÓN DE AVICULTORES	Representacion sectorial, gestion
• ASOCIACIÓN DE GANADEROS	Representacion sectorial, gestion
• ASOCIACIÓN DE GUADUEROS	Representacion sectorial, gestión
• ASOCIACIÓN DE CURTIEMBRES	Representacion sectorial, gestión

Tabla 54. Funciones de actores de organizaciones sociales

5.3 DISEÑO DEL MECANISMO DE PARTICIPACIÓN

La participación de los diferentes actores identificados se materializó a través del desarrollo de jornadas de trabajo en torno a la identificación de elementos y situaciones que inciden en la

aparición de conflictos de uso del recurso hídrico. Las jornadas de trabajo se realizaron a través de talleres, de acuerdo con la metodología de la cartografía social, la cual permite construir conocimiento del territorio utilizando instrumentos técnicos y vivenciales.

La metodología se fundamenta conceptualmente en la investigación-acción-participativa, buscando construir una imagen colectiva del territorio basada en el conocimiento vivencial de la comunidad, generando un dialogo de saberes e intercambio de experiencias para llegar a un consenso, así como la reactualización de la memoria individual y colectiva para interpretar el territorio.

Se emplearon mapas parlantes temáticos ya que estos permiten obtener un espacio de interacción y concenso entre los actores. Los mapas parlante fueron elaborados colectivamente por los grupos de actores, utilizando como referencia cartografía básica de la unidad hidrográfica del río Quindio (límites de la unidad hidrográfica y sus tributarios) y los municipios e infraestructuras presentes (cascos urbanos, vías, límites veredales), con el objetivo de facilitar la ubicación espacial de sitios de interés en la zona de estudio y facilitar la orientación.

Con la elaboración de los mapas parlante se buscó materializar el acercamiento de la comunidad a su espacio geográfico, socio-económico, histórico-cultural ambiental, y con la intensión de identificar infraestructuras hidráulicas (captaciones, ocupaciones de cauces), fuentes de agua, vertimientos, y conflictos y problemas ambientales asociadas al aprovechamiento del recurso hídrico.

En cada taller, se conformaron tres mesas de trabajo en las cuales se manejaron tres temas, para que todos los participantes realizaran sus aportes en cada uno de ellos, se promovió un sistema de rotación por grupos. En cada mesa de trabajo se dispuso de un mapa con cartografía básica de la zona, donde el equipo de actores desarrolla una temática específica establecida para cada mes, cada equipo de actores permaneció en cada mesa por un periodo de 45 minutos en promedio. Las temáticas específicas en cada mesa de trabajo fueron las siguientes:

Mesa 1. Identificación y Ubicación de Infraestructura hidráulica (Captaciones por tipo de uso, estructuras presentes sobre el cauce).



Identificar y resaltar principales afluentes



Identificar tipos de uso. [Doméstico, Agrícola, Pecuario, Industrial (Energético, Minería, etc.)]



Obras e infraestructura de abastecimiento (Acueductos: Captación, Aducción, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento, entre otros), Estructuras sobre los cauces.

Mesa 2. Identificación y Ubicación de Vertimientos. El objetivo de esta mesa es identificar los principales contaminantes y su ubicación en el territorio, especificando cuales son por vertimientos domésticos, industriales y los generados en procesos de producción agrícola. Se sugirió para su localización la siguiente convención:



Vertimientos Domésticos



Vertimientos Industriales



Producción de sedimentos



Vertimientos generados en procesos de producción agropecuaria (ganadera, agricultura, avicultura, piscícola).

Mesa 3. Identificación y Ubicación de Conflictos por el uso y aprovechamiento de recursos hídricos.



Población – Población: Problemas que se presentan entre nosotros y con los habitantes de otras comunidades u Organizaciones



Población- Estado: Problemas o desacuerdos con formas de Sociedad o Estado, Instituciones Estatales o funcionarios públicos.



Población – Capital: Representado por conflictos generados por empresas o transnacionales que tienen intereses en la zona, ya sea por los recursos que posea agua, tierra-suelo y subsuelo-, aire, fuego) o por ubicación estratégica.



Población- Naturaleza: Problemas ambientales y de riesgos naturales. Deforestación, desertificación, erosión, riesgo de inundación o deslizamientos, cambios bruscos en las estaciones y el clima, etc.

5.4 RESULTADOS DE LOS TALLERES

En la fase de diagnóstico se llevaron a cabo dos talleres con los actores de la unidad hidrográfica en los municipios de Armenia y Salento. En cada taller se desarrollaron las tres mesas de trabajo descritas en la sección anterior.

5.4.1 Taller de diagnóstico: Municipio de Salento

En la **mesa de trabajo 1** los participantes reconocieron 19 fuentes hídricas como las más importantes de la parte alta de la unidad hidrográfica, las cuales son: ríos Quindío, Boquerón y Navarco, y quebradas Palmera, Las Nieblas, Aguas Claras, Pampas, Cruz Gorda, Lisboa, la Vaca, Cusumbo, La Calada, El Mudo, Santa Librada o Venus, Tigra, el Silencio, La España, Santa Librada y El águila.

Así mismo se identificaron trece acueductos, 2 Urbanos (de Armenia -E.P.A.-, y Salento – ESAQUIN-) y 11 veredales (El Castillo, San Antonio de los Pinos, Canaán, Palo Grande, El Agrado, La Holanda, Boquia, Palestina, Llanadas, Buenos Aires y San Juan de Carolina), en la Tabla 55 se presentan algunas aclaraciones encontradas por el equipo de trabajo de esta mesa

temática.

Incidencias

Quebrada Cruz Gorda – No se identificó el nombre del acueducto
Entre el Río Quindío y el Río Boquerón - No se identificó el nombre del acueducto
El acueducto El Agrado se abastece de la quebrada El Silencio
El acueducto La Holanda se abastece de la quebrada El Cusumbo
Los acueductos El Castillo y Buenos Aires se abastecen de la quebrada El Castillo
El acueducto San Juan de Carolina se abastece de la quebrada el Silencio o quebrada Florida
En la quebrada Lisboa no se identificó el nombre del acueducto
En las convenciones se anexaron dos: ----- Servicios turísticos y ----- Ganadería.
El río Navarco cuenta con 33 afluentes de agua, la quebrada Lisboa es la de mayor caudal.
Es probable que la quebrada “El Cusumbo” sea Cusumbal.
Se señalaron dos quebradas como posible quebrada Lisboa, sin embargo no hay certeza de su ubicación.
La quebrada La Palmera abastece el Acueducto de la Nubia (La Palmera y Palo Grande).

Tabla 55. Incidencias en la identificación de acueductos y fuentes hídricas

Se identificaron los siguientes tipos de aprovechamiento:

- Industrial: Cartón Colombia (forestal – maderera)
- Bosque nativo (forestal)
- Trucha Cócora – Entre quebrada Cárdenas y Río Quindío.
- Explotación minera artesanal varequeo – Entre la quebrada Santa librada y la quebrada Lisboa.
- Explotación Material de Arrastre – entre las quebradas Tigrera y Boquia.
- Ganadería – desde La Argentina hasta la Quebrada el Cusumbo y desde el río Navarco quebrada Santa Librada.
- Servicios Turísticos: Desde Cócora, truchas Cócora – La Argentina hasta la quebrada El Cusumbo.
- Cultivo de Aguacate: Entre la quebrada Cruz Gorda y parte media del río Boquerón.
- Explotación Agropecuaria: Por las riveras del río Boquerón y Navarco y en el río Quindío entre las quebradas Boquia y el Cusumbo.
- Hospedaje Turístico: La Argentina, Boquia, El Agrado: Tierra Prometida y Aldea Antacarana.

En la **mesa de trabajo 2** se identificaron 3 vertimientos urbanos en las quebradas Boquia, Santa Rita y San Juan (PTAR de Salento). Existe un porcentaje significativo de pozos sépticos en la zona rural, sin embargo el problema de vertimientos de agua residual persiste. En Boquia se identifica el vertimiento de aguas residuales ya que el pozo séptico colapsó y/o la comunidad no dispone de ellos. En cuanto a vertimientos industriales y agropecuarios se definieron los siguientes:

- Minería Artesanal: Rio Boquerón y rio Quindío desde el rio Navarco hasta la quebrada El Águila.
- Caballerizas: Donde desemboca la quebrada San Narciso y Boquia.
- Ganadería: Quebrada Boquia y Rio Boquerón.
- Quebrada Santa Rita y Rio Quindío.
- Parte baja del rio Boquerón.
- Café: Café Varsovia.
- Explotación Porcícola: Entre la quebrada Boquia y el rio Boquerón.
- Explotación Piscícola: Truchas Cócora.
- Quebrada Boquia y el rio Boquerón.
- Explotación Avícola: Entre la quebrada el Silencio y el río Quindío.

En la **mesa de trabajo 3** se identificaron las siguientes problemáticas y conflictos por uso y aprovechamiento del recurso hídrico (Tabla 56):

- Guerra de las mangueras en las fincas, se suele cortar el abastecimiento de agua, cuando se presenta el conflicto entre vecinos. Esto es común en muchos lugares del territorio. Problema de convivencia en “La Nubia”.
- La captación de agua de la vereda Los Pinos al parecer es exagerada.
- Conflicto de las empresas del Servicio Público como ESAQUIN y EPA con la comunidad de San Juan de Carolina (EPA presta el servicio de transporte de agua, pero la entidad obligada es ESAQUIN).
- Conflicto de San Juan de Carolina con su población en ocasiones los usuarios solicitan el servicio y se les niega.
- Proyectos de parcelación de tierras en el Valle del Cócora para el desarrollo de proyecto turístico.
- Proyecto de embalse multipropósito, el cual pretende inundar el Valle del rio Navarco (se vé como un problema).
- Mina La Morena y La Colosa.

Conflictos población–población	Conflictos Población–Estado	Conflictos Población–Capital
<ul style="list-style-type: none"> • Entre los pinos y el casco Urbano • San Juan y su comunidad por el embalse. • Comunidad de la quebrada La Holanda. • San Juan Carolina – Los Pinos-Navarco – Cruz Gorda (Río Quindío – Salento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Entre la quebrada Cárdenas y San Juan. • Uso del suelo parte alta de la cordillera con D.M.R.I. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto Turístico Tu País. • EPA – ESAQUIN • Plantaciones coníferas: Cartón Colombia – Minería (Navarco) • Entre las quebradas la mina y el río Navarco • Entre las quebradas La Vaca, Santa Librada, Boquia, Cruz Gorda, El Castillo y Río Boquerón. • Mina La Morena: Entre la quebrada Urrutia y la quebrada La España. • Población Naturaleza: • Quebradas Duquesa, Cusumbo, El Silencio, La Llorona, Tigrera. • Río Boquerón entre las quebradas San Pablo y Botánica. • El agrado, Cartón Colombia, Andes, El Español, Castillo, Navarco Bajo, Camino Nacional

Tabla 56. Conflictos ambientales asociados al uso y/o aprovechamiento del recurso hídrico en Salento

5.4.2 Taller de diagnóstico Municipio de Armenia

Por la diversidad de actores se instalaron tres mesas para cada temática, una para cada municipio (Armenia, Calarcá y Salento). En cada mesa se dispuso de tres mapas, es decir, uno para cada una de las tres temáticas.

En la **mesa temática 1** se identificaron 5 ríos (Quindío, Santo Domingo, Verde, Boquerón y Navarco) y 2 quebradas (La Florida y Cristales). Además, se reconocieron 11 bocatomas (dentro de las cuales se identifican como muy importantes la bocatoma de La Tebaida (ESAQUIN), y la bocatoma de Armenia (E.P.A). Dentro de los tipos de uso del agua, se resaltó el uso doméstico desde la vereda Mesopotamia hasta la vereda El Caimo, el uso industrial en todo el municipio de Armenia destacando 2 PCH. (Multipropósito E.P.A) y un Tanque de almacenamiento de la E.P.A.

La **mesa temática 2** identificó vertimientos urbanos en todo el casco urbano del municipio de Armenia, así como vertimientos de tipo avícola, porcícola y cafetero. Los principales vertimientos industriales encontrados fueron los de curtimbres en la vereda Buenos Aires sobre el río Quindío,

Sedimentos en la vereda San Pedro y varios sobre la confluencia de la quebrada La Bella con el río Quindío.

La **mesa temática 3** planteó de manera general la existencia de tres tipos de conflictos en todo el municipio de Armenia: Población – Población, Población – Estado y Población – Naturaleza. Dentro de los que se destacan los siguientes:

Conflicto Población–Población. Se refiere al conflicto que se generó con el municipio de Salento, el cual (según los actores de Armenia) debe conservar la parte alta de la unidad hidrográfica para poder garantizar el abastecimiento al municipio de Armenia. Sin embargo, no hay un reconocimiento a los esfuerzos de conservación, comprometiendo su visión de territorio ya que no hay mecanismos de incentivo a la conservación por parte de los beneficiarios.

Conflicto Población–Estado: Existe un choque en la aplicación de la normativa ambiental vigente con los intereses particulares Ej.: Concesiones, vertimientos, conservación. Y una deficiente toma de decisiones.

Conflicto Población-Naturaleza. La producción de sedimentos se asocia a dos factores: a) Características propias de la unidad hidrográfica y b) Antrópica (usos actuales del suelo: ganadería, pastos, plantaciones). Los Planes de saneamiento y manejo de vertimientos tienen una baja ejecución. Existen varios instrumentos de planificación los cuales carecen de seguimiento y presentan realidades diversas que dificultan la toma de decisiones y su ejecución.

543 Taller de diagnóstico Municipio Calarcá

Los participantes identificaron las diferentes problemáticas ubicándolas en los mapas y dándoles una identificación que a su vez se relaciona en los comentarios.

La **mesa temática 1** consideró que son 9 las fuentes hídricas más importantes para el municipio (Río Santo Domingo, Quebrada La Gata, Quebrada San Rafael, Quebrada La Sonadora, Quebrada Negra, Quebrada El Pencil o Quebrada La Colmena, Río Verde, Playa Rica, Las Agua). Los principales usos encontrados son para consumo humano (Captación de agua – Acueducto La Tebaida) y para actividades industriales (Concesión de agua industrial curtimbres La María, Aprovechamiento Industrial y minero, Aprovechamiento Minero, Aprovechamiento Industrial, Aprovechamiento Minero en la Quebrada Playa Rica). Se identificaron 8 captaciones de acueductos:

- Río Quindío – Acueducto La Tebaida (ESAQUIN)
- Quebrada San Rafael – Acueducto comunitario
- Quebrada La Gata – Captación acueducto Calarcá (Multipropósito)

- Quebrada La Sonadora – Captación Comité de Cafeteros
- Quebrada Negra – Comité de Cafeteros.
- Quebrada El Cofre – La Virginia acueducto
- Rio Verde – Acueducto Alto de Osos - Barcelona

En la **mesa temática 2** se encontró que se presentan 3 tipos de vertimientos: Industriales, domésticos, y agropecuarios. Los principales vertimientos industriales se encuentran en el sector de La María (Curtiembres y FRIGOCAFE), en la parte alta del río Santo Domingo (vertimiento del Túnel de La Línea en la quebrada La Gata), y en el sector de Barcelona hacia la confluencia del río Quindío con el Barragán (Explotación minera). Se identificaron 11 vertimientos domésticos (Caserío La María, Los Chorros, Conjuntos residenciales Avenida Centenario (armenia), Buenos Aires, Patio Bonito Bajo, Vertimiento Quebrada El Pescador, Corregimiento La Virginia, Caserío La Bella, Barcelona, Conjuntos residenciales, Caserío Rio Verde).

En la **mesa temática 3** se destaca los mayores conflictos por el uso del recurso hídrico se presentan el sector La María (Los Chorros y bocatoma La Tebaida), la zona del Túnel de la Línea, El Caserío Rio Verde (turismo – Vs. Población), La asociación de curtidores y Frigocafe. Los participantes consideran que en todo el tramo del Rio Quindío se presentan conflictos entre la población y la naturaleza fundamentalmente por amenazas de tipo natural, y el principal conflicto entre la población y el estado se evidencia en la ejecución del proyecto del túnel de la línea.

6 CALIDAD DE AGUAS

61 INFORMACIÓN EXISTENTE DE CALIDAD DEL AGUA SOBRE EL RÍO QUINDÍO

6.1.1 Generalidades

La recolección de información sobre la calidad fisicoquímica del río Quindío se llevó a cabo a través de la revisión de fuentes secundarias. En este proceso se identificaron los principales estudios realizados, se analizó la información contenida en las bases de datos de la Corporación Autónoma Regional del Quindío – CRQ y se consideró información existente en otras entidades públicas tales como: IGAC, DANE, Empresas Prestadoras de Servicios Públicos, entre otras. Las principales fuentes de información consultadas se muestran en la Tabla 57.

Nombre	Autor	Año
Estudios de modelación río Quindío		
Informe Modelación de corrientes hídricas superficiales en el Departamento del Quindío	Universidad del Quindío. Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	2001
Informe Final Modelación río Quindío, Quebradas La Florida y El Pescador	Universidad del Quindío. Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	2009
Modelación de la calidad del agua río Quindío	Johana Pérez Carreño	2012
Bases de datos CRQ		
Históricos de Cargas Contaminantes (DBO, SST) entre los años del 2008 al 2013.	Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	2008 - 2013
Informes de visitas técnicas de verificación de descarga directa e indirecta a fuente hídrica para cálculo de cobro de tasa retributiva.		2013
Históricos de calidad de agua de vertimientos de aguas residuales		2012 - 2013
Propuesta usos del agua en la cuenca del río Quindío		2013
Cartografía concesiones río Quindío		-
Plan de Manejo de la subcuenca del río Quindío		2011
PSMV's		
Plan de Saneamiento y Manejo De Vertimientos cabecera municipal Calarcá - Quindío	Empresa Multipropósito de Calarcá S.A. ESP	2007
Plan de Saneamiento y Manejo De Vertimientos del municipio de Córdoba	Empresa de Servicios Sanitarios de Córdoba ESACOR S.A E.S.P.	2010
Plan de Saneamiento y Manejo De Vertimientos municipio de Salento	Empresa Sanitaria del Quindío S. A. ESP	2009
Plan de Saneamiento y Manejo De Vertimientos del área urbana del municipio de Armenia	Empresas Públicas de Armenia EPA	2007
Plan de Saneamiento y Manejo De Vertimientos del área urbana del municipio de Armenia (en revisión)	Empresas Públicas de Armenia EPA	2014
Información secundaria adicional		
Propuesta de Ordenación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río la Vieja	Universidad del Quindío. Universidad Tecnológica de Pereira Universidad del Valle.	2011

Nombre	Autor	Año
Censos de población de los municipios pertenecientes a la cuenca del río Quindío Proyecciones a nivel nacional desde 1973 hasta 2020.	Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE	1973 - 2005
Cartografía río Quindío	Instituto Geográfico Agustín Codazzi Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	-

Tabla 57 Fuentes utilizadas para la consolidación de información de calidad del agua del río Quindío

Una vez realizado el análisis de la información disponible, se determinó que tanto los estudios de modelación como el Plan de Manejo de la Subcuenca del río Quindío, aportan información para el análisis del comportamiento histórico de la calidad del agua, el cual será detallado más adelante.

Por otra parte, cada una de las bases de datos aportadas por la CRQ reportaron datos para un análisis específico. A continuación se describe, de manera general, el proceso de análisis realizado para las principales fuentes de información. Se debe tener en cuenta que los resultados de esta etapa fueron insumo de otras actividades que se describirán en los documentos de las otras fases del PORH del río Quindío.

6.1.2 Históricos de Cargas Contaminantes (DBO, SST) entre los años del 2008 al 2013

De acuerdo con CRQ (2010), el río Quindío recibe vertimientos de manera indirecta de Truchas Cócora, de manera directa de la vereda Boquía, Central de sacrificio Frigocafé, que poseen sistema de tratamiento de aguas residuales; 20 curtiembres del sector de La María que cuentan con unidades de pre-tratamiento de sus aguas residuales, corregimiento de El Caimo que realiza vertimientos directos sin tratamiento. De manera indirecta recibe los vertimientos tratados del municipio de Salento a través del Río Navarco, y vertimientos sin tratamiento del 52% de Calarcá a través de la quebrada El Pescador y del municipio de Armenia, a través de la quebrada La Florida. Igualmente y de manera indirecta recibe los vertimientos del Relleno Sanitario Villa Karina y Sociedad Pecuaria la Esmeralda (actualmente fuera de funcionamiento), a través de las Quebradas el Crucero y las Azucenas.

La base de datos entregada por la CRQ en el marco de este estudio, reporta las cargas contaminantes de DBO y SST en kg/año por tramos en los principales cuerpos de agua superficial en su jurisdicción. Allí se recopilan datos entre el 2008 y el 2013, con los cuales la Autoridad Ambiental ha determinado los cobros de la tasa retributiva. El análisis realizado sobre estas series históricas, se centró en los tramos correspondientes al río Quindío. Tabla 58 muestra los tramos mencionados que se tuvieron en cuenta para realizar la proyección de cargas de DBO y SST para los sectores doméstico, industrial y cafetero.

Para proyectar las cargas contaminantes bajo los escenarios de corto, mediano y largo plazo, además de las cargas de DBO y SST reportadas por la CRQ, se requirió utilizar los censos poblacionales del DANE entre los años 1973 y 2005 para los municipios que pertenecen a la unidad

hidrográfica del río Quindío. La metodología utilizada para esta proyección de población es la descrita en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000 Sección II Título B.

Cuerpo de agua superficial	Descripción de los tramos
Rio Quindío	Desde el nacimiento hasta la Bocatoma del Municipio de La Tebaida. En este tramo se encuentra la descarga indirecta de aguas residuales industriales de Truchas Cócora.
	Desde la Central de Sacrificio Frigocafé hasta el río Barragán. Este tramo recibe de forma indirecta y directa las descargas industriales de Frigocafé, la Asociación de Curtiembres La María y la Procesadora Avícola Mi Pollo y las descargas pecuarias de la Porcícola Mirian Montoya y la Porcícola Nodier Arbeláez.
Quebrada La Florida	Desde el casco Urbano del Municipio de Armenia hasta la desembocadura en el río Quindío
Quebrada El Pescador	Comprendida desde el Casco Urbano del Municipio de Calarcá hasta su desembocadura en el río Quindío. Recibe el 52% de las aguas residuales sin tratamiento del municipio de Calarcá.
Quebrada El Naranjal	Desde el casco Urbano del Municipio de Calarcá hasta la desembocadura en el río Santo Domingo. Recibe el 48% de las aguas residuales sin tratamiento del municipio de Calarcá.
Rio Santo Domingo	Comprendido entre la bocatoma San Rafael hasta la desembocadura al río Verde. Recibe a través de la Quebrada El Naranjal, el 48% de las aguas residuales sin tratamiento del municipio de Calarcá. Adicionalmente, los vertimientos tratados de la central de sacrificio del municipio y aguas residuales sin tratar de los corregimientos de Quebrada negra y La Virginia, e indirectamente los vertimientos industriales del Consorcio Conlínea debido a las obras del túnel de la línea por medio de la quebrada La Gata.
Rio Verde	Comprendido entre el Casco Urbano del Municipio de Córdoba hasta su desembocadura en el río Quindío. Recibe los vertimientos sin tratamiento del municipio de Córdoba, a través de la quebrada La Española y directamente del Centro poblado Río Verde.

Fuente: CRQ (2014)

Tabla 58. Tramos río Quindío de acuerdo con el análisis de carga contaminante realizado por la CRQ

Municipio	1973	1985	1993	2005
Armenia	145341	195453	223284	272574
Buenavista	3824	3239	4128	2954
Calarcá	50184	53597	59142	71605
Córdoba	8447	5059	5525	5238
Salento	6674	6195	6843	7001

Fuente: DANE (2014)

Tabla 59. Censos poblacionales de la unidad hidrográfica del río Quindío

6.1.3 Identificación de Vertimientos sobre el río Quindío

Durante el año 2013, la CRQ realizó visitas técnicas de verificación de descarga directa e indirecta a fuentes hídricas con el fin de determinar nuevos usuarios del recurso hídrico en el área de su jurisdicción, los cuales deben cumplir con lo establecido en el Decreto 2667 de 2012, por medio del cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y así poder iniciar el cobro del rubro económico referido en el mencionado decreto a los nuevos usuarios identificados .

Las visitas técnicas se reportaron en documentos individuales, los cuales contenían la información básica de cada usuario (ubicación, propietario, tipo de tratamiento, georreferenciación, registro fotográfico y tipo de descarga). Cabe aclarar que ninguno de estos vertimientos reportaron datos de calidad del agua asociados. En la Tabla 60 se presenta el número reportado de vertimientos (parcialmente) por la CRQ en la unidad hidrográfica del río Quindío.

Vertimientos identificados	Usuario Tasa Retributiva	Descarga Fuente Superficial	Descarga Alcantarillado
27	21	16	5
	Armenia: 9	Armenia: 6	Armenia: 3
	Calarcá: 9	Calarcá: 7	Calarcá: 2
	Salento: 3	Salento: 3	Salento: 0

Tabla 60. Vertimientos reportados en visitas técnicas CRQ sobre la unidad hidrográfica del río Quindío

En la Figura 39 se proyectan los vertimientos identificados en la unidad hidrográfica del río Quindío, a partir de las visitas técnicas realizadas por la Autoridad Ambiental.

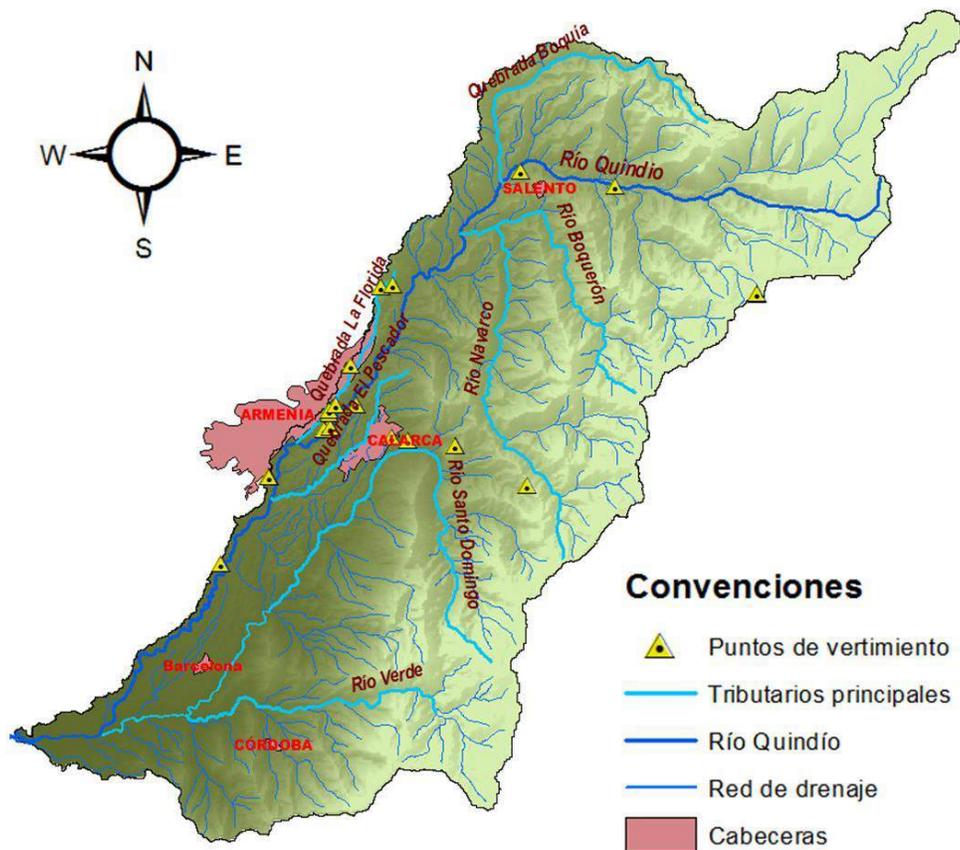


Figura 39 Puntos de vertimientos sujetos a cobro por tasa retributiva identificados por la CRQ en la unidad hidrográfica del río Quindío

De los 21 usuarios de tasa retributiva identificados en las visitas técnicas realizadas por la CRQ, 16 de ellos vierten directa o indirectamente sobre el río Quindío. En la Tabla 61 se muestra un resumen de estos usuarios; de acuerdo con esta información, de los 16 usuarios identificados, 5 vierten de manera directa al río objeto de ordenamiento y los 11 restantes lo hacen a tributarios tales como la quebrada La Florida, quebrada La Gata, quebrada El Salado, quebrada San José y otras no identificadas.

No.	Nombre del Vertimiento	Municipio	Tipo de tratamiento	Fuente Superficial
1	Central de beneficio de carne Frigocafé	Armenia	Tratamiento primario, tratamiento secundario	Río Quindío
2	Curtiembre López Jaramillo	Armenia	Tratamiento primario	Río Quindío
3	Curtiembre López Gallego Hermanos	Armenia	Sistema de tratamiento con cuatro (4) cárcamos, tanque de homogenización	Río Quindío

No.	Nombre del Vertimiento	Municipio	Tipo de tratamiento	Fuente Superficial
4	HOMECENTER	Armenia	Trampa de grasas	Quebrada La Florida
5	Centro de salud El Caimo	Armenia	Trampa de grasas y pozo séptico	Quebrada
6	Centro comercial Armenia Calima	Armenia	Trampa de grasas y caja de inspección	Quebrada La Florida
7	Túnel de La Línea	Calarcá	Tanques sedimentadores, trampa grasas, filtro y coagulante	Quebrada La Gata
8	Central de sacrificio animal	Calarcá	PTAR	No se indica
9	Curtiembre Grajales	Calarcá	PTAR asociación de curtidores	Rio Quindío
10	Curtiembre Curticueros Bodega 5	Calarcá	PTAR asociación de curtidores	Rio Quindío
11	Lavadero sector Virgen Negra	Calarcá	No cuenta con ningún sistema de tratamiento para las aguas residuales	Quebrada El Salado
12	Lavadero Bellavista	Calarcá	No cuenta con ningún sistema de tratamiento para las aguas residuales	Quebrada El Salado
13	Lavadero Piqui Piqui	Calarcá	No cuenta con ningún sistema de tratamiento para las aguas residuales	Quebrada El Salado
14	Truchas Cócora	Salento	Tanques con trampa de grasas, pozo anaeróbico	Quebrada San José
15	Restaurante El Solar	Salento	Trampa de grasas, tanque de filtrado, pozo séptico	Quebrada La Florida
16	Colegio Gimnasio Inglés	Salento	Trampa grasas, tres (3) PTAR que descargan a campos de infiltración	Campos de infiltración y quebrada La Florida

Fuente: CRQ (2014)

Tabla 61. Usuarios de tasa retributiva que vierten sobre el río Quindío

6.1.4 Históricos de calidad de agua de vertimientos de aguas residuales

En el año 2014 se recogieron los reportes de laboratorios de la red de monitoreo a cargo de la CRQ realizados durante el año 2012 y 2013, los cuales contienen datos de calidad de 127 vertimientos realizados dentro de su jurisdicción en los municipios de Armenia, Calarcá y Salento.

Los datos no reportan ubicación geográfica, lo cual dificultó el análisis requerido para la modelación de calidad de agua del río Quindío, ya que no fue posible la espacialización exacta de los mismos en los tramos usados por el modelo. Sin embargo, se tuvieron en cuenta como insumo de acuerdo con la descripción de la actividad o el lugar de muestreo y la ubicación municipal.

6.1.5 Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos

La formulación y ejecución de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV's, permite definir un conjunto de programas, proyectos y actividades requeridas para mejorar el saneamiento y tratamiento de los vertimientos líquidos, la adecuada recolección, transporte, tratamiento y la disposición de las aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado de los municipios de una región. En ese contexto, se recolectó la información más relevante de los PSMV's de los municipios de Calarcá, Salento y Armenia.

De acuerdo con lo anterior, la información de saneamiento de estos municipios se resume en la Tabla 62. De esta información y de las obras que los municipios tienen proyectadas para el horizonte de 10 años, se pueden determinar con más precisión los escenarios de saneamiento que se implementarán en el marco del PORH. Sin embargo la situación actual en términos de saneamiento de estos municipios, indica que ninguno de ellos tiene implementada alguna medida de saneamiento de las aguas residuales.

El municipio de Salento, a pesar de contar con un PSMV que supone una PTAR en funcionamiento con una cobertura del 89% y una remoción del 56%, para diciembre de 2014, a través de información entregada por la CRQ se confirma que la planta no se encuentra en uso y requiere inversión para su puesta en marcha. De la misma manera sucede en el municipio de Calarcá. Sin embargo, profesionales de la CRQ informaron que, durante el año 2015, las empresas prestadoras de servicios públicos de estos municipios deberán presentar la modificación de estos PSMV's con el fin de realizar los ajustes requeridos que permitan tener un panorama más claro y aterrizado a las condiciones de financiación y entrega real de obras y medidas de saneamiento.

En cuanto al municipio de Armenia, las Empresas Públicas de Armenia – EPA, durante el año 2014, presentaron el ajuste de este Plan a la Corporación. A pesar de estar en revisión por parte de la CRQ, la información allí consignada se tuvo en cuenta en el presente ejercicio de análisis. En el municipio de Armenia se tiene proyectada la construcción de una PTAR ubicada al sur del Estadio Centenario, la cual recolectará el 25% del agua residual generada con un caudal actual de 280 L/s y un caudal proyectado de 430 L/s, la cual estará funcionando a partir de septiembre de 2015, esperando una remoción del 80% de carga contaminante. No obstante, las aguas residuales que serán tratadas en dicha planta, hoy en día no llegan, directa o indirectamente, al río Quindío, sino a otras fuentes de agua superficial que drenan hacia el río La Vieja. En Armenia, las fuentes superficiales afluentes del río Quindío son la Quebrada La Florida y la Quebrada Urbana San Nicolás, las cuales recogen el 15% de las aguas residuales generadas en la ciudad. De acuerdo con el ajuste realizado por parte de la empresa prestadora de servicios públicos para el horizonte planteado entre el 2013 y 2018, no se tiene previsto ninguna obra que pueda mejorar la calidad de las quebradas anteriormente nombradas, teniendo en cuenta que actualmente no existe ningún colector construido.

6.1.6 Información Propuesta de Ordenación del Recurso Hídrico en la cuenca del río La Vieja

En el año 2011, las Corporaciones Autónomas Regionales que tienen jurisdicción en la cuenca del río la Vieja: Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ, Corporación Autónoma Regional de Risaralda - CARDER y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, con la colaboración de la Universidad del Quindío, la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad del Valle, desarrollaron un proyecto de Ordenación del recurso hídrico en dicha cuenca, con base en una metodología con criterios de eficiencia económica e implementación de herramientas de apoyo a la decisión, incluyendo aspectos de cantidad y calidad del agua, mediante estrategias, acciones y medidas para la descontaminación de las aguas residuales a escala de cuenca con criterios de eficiencia económica y la participación de todos los sectores involucrados.

La línea base recopilada por este equipo de trabajo se utilizó en el presente estudio con el fin de extraer datos de interés (calidad del agua y proyecciones de carga) del río Quindío, que con respecto a la cuenca del río La Vieja corresponde a la cuenca alta. De acuerdo con este estudio, la cuenca alta del río La Vieja está conformado por:

- Río Boquerón
- Río Navarco
- Río Santo Domingo
- Río Verde
- Río Barragán
- Río Lejos
- Río Azul
- Río Rojo
- Río San Juan

Para efectos del presente estudio, se tendrán en cuenta los datos registrados en el año 2011 para los ríos Boquerón, río Navarco, río Santo Domingo y río Verde. Además de lo anterior, se recopiló la información existente sobre vertimientos asociados a cada una de estas fuentes superficiales y que fueron presentados en secciones anteriores.

De la misma manera, se tendrán en cuenta las cargas domésticas proyectadas para el año 2011 asociadas a cada afluente del río Quindío, información que será detallada con mejor precisión más adelante.

6.1.7 Información de calidad del agua sobre cuerpos de agua superficial

Del proceso descrito anteriormente, se lograron obtener los datos históricos de la calidad del agua del río Quindío. El río Quindío es una fuente superficial importante en la región y sobre ella se han realizado tres (3) estudios de modelación en los años de 2001, 2009 y 2012. Para el

desarrollo de estos estudios, se realizaron campañas de monitoreo en diferentes estaciones, las cuales se tuvieron en cuenta como información histórica base de calidad del agua del río Quindío.

Adicional a lo anterior, en el año 2011 la CRQ formuló el Plan de Manejo de la subcuenca del río Quindío, en el que se consolidaron datos de calidad de 12 estaciones sobre el cuerpo de agua objeto de ordenamiento, y que fueron monitoreados durante los años 2007, 2008 y 2009. Dichos datos también se tuvieron en cuenta y hacen parte de la línea base histórica de calidad del agua.

De acuerdo con el consolidado de los históricos de calidad del agua del río Quindío, las estaciones que tienen asociados al menos dos datos de diferentes años, y permiten realizar un análisis del comportamiento de algunos determinantes en el tiempo, son:

1. El Escobal
2. Quebrada Boquía
3. Bocatoma EPA
4. Río Navarco
5. Quebrada La Florida
6. Quebrada San Nicolás
7. Quebrada La Picota
8. Río Verde

En la Tabla 62 Información recopilada de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, se muestran los datos de calidad asociados a las estaciones anteriormente nombradas. De acuerdo con esta tabla, los Sólidos Suspendedos Totales, en general, tienden a disminuir en cada una de las estaciones analizadas. Sin embargo, existen estaciones en las cuales este comportamiento no se cumple. Por ejemplo, en la estación del río Navarco, para el año 2009, se registró una concentración de 6.1 mg/L, aumentando a 17.2 mg/L para el año 2012. Este tributario del río Quindío recibe las aguas residuales del municipio de Salento, por lo cual puede atribuirse dicho aumento a que la PTAR de Salento no se encuentra en funcionamiento. En la estación San Nicolás se puede observar que el comportamiento ha sido relativamente estable y la concentración se ha mantenido alrededor de un promedio de 22.92 mg/L.

En cuanto el Oxígeno Disuelto, las concentraciones de este determinante en todas las estaciones está por encima de 6 mg/L, presentado un valor máximo de 11 mg/L en la quebrada La Picota. La estación de la quebrada La Florida presenta un comportamiento relativamente atípico registrando la concentración más baja, 4.1 mg/L para el año 2007. Cabe resaltar que ésta quebrada recibe aproximadamente el 12% de la carga contaminante generada por el municipio de Armenia.

En cuanto a la DQO y DBO₅, muchos de los datos registrados en las estaciones están por debajo del límite de detención, los dos determinantes presentan un valor máximo en la estación La Florida en el año 2009, con concentraciones de 52.4 y 61.8 mg/L respectivamente.

De acuerdo con el análisis de las campañas de monitoreo de 2007, 2008 y 2009 realizado por la CRQ en el Plan de Manejo de la subcuenca del río Quindío, el comportamiento de los coliformes totales y fecales en el río superan los valores permisibles para los usos de los tramos de la estación de La Florida, San Nicolás y Quebrada Boquía, en la Tabla 62 Información recopilada de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos. Incluso se muestran registros de 1.6×10^{12} NMP/100ml, en la estación de la Quebrada La Florida en el año 2009.

Municipio	Fecha de formulación	Cobertura	Fuente hídrica receptora	Empresa de prestación de servicios	Tipo de tratamiento PTAR	% remoción PTAR	Coordenadas de descole		Carga contaminante (kg/día)	Q diseño PTAR (L/s)	Obras proyectadas	Reducción de carga contaminante	Plazos de ejecución
SALENTO	2009	89%	- Quebrada La Calzada - Río Boquerón - Río Navarco - Río Quindío	Empresa Sanitaria Del Quindío ESAQUIN S.A.	Tratamiento Preliminar, Primario y Reactores UASB	56%	4° 38' 13,61"	75° 34' 13,38"	52,89	22	-Optimización redes de alcantarillado sanitario - Optimización redes de alcantarillado combinado - Construcción y optimización sistema de tratamiento aguas residuales	Superar el 60% de remoción	2008-2017
ARMENIA	2007	15%	- Quebrada La Florida - Quebrada Urbana San Nicolás	Empresas Públicas de Armenia EPA	No cuenta con tratamiento de aguas residuales	-					- Se tiene proyectado la construcción de tres (3) PTAR – (PTAR la florida de interés en la cuenca del río Quindío)		2007-2017
CALARCÁ	2007	100%	- Quebrada El Pescador - Quebrada El Narajal - Quebrada Las Marías	Empresa Multipropósito de Calarcá SA ESP	No cuenta con tratamiento de aguas residuales	-			1095		- Construir la planta de tratamiento de aguas residuales Aguacatal y La Virginia.		2007-2017

Tabla 62 Información recopilada de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.

Estación	Año	Fuente de información	Temp. (°C)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C. T. (NMP/10 0ml)	C. F. (NMP/10 0ml)	pH	Caudal (m ³ /S)	Cond. (µS/cm)	SDT (mg/L)	NH ₄ (mg/L N-NH ₃)	P Total (mg P /L)
Escobal	2007	PLAN DE MANEJO CRQ	19,4	25	8,2	<LD	<LD	<LD	3000	7,76	0,176	187	189	0,45	<LD
	2008		23	13	6,6	15,4	<LD	200	200	8,13	0,752	174	157	1,5	<LD
	2009		20,5		7	17,2	<LD			8,26	0,417			1,5	
	2011	POMCA LA VIEJA	13,2	6,8	6,8		1,57	400	400	7,03	2,29				
	2011		12,1	4,7	9,6	2,8	0,29	400	400	7,35	1,88	85			
	2011		20,5		7,58	11,57	2,8			8,26	0,3				
	2012	MODELACIÓN 2012	13,5	<LD	8,7		<LD			6,96	0,92				
Quebrada Boquia	2007	PLAN DE MANEJO CRQ	20,8	12	6,8	23,6	6,9	<LD	<LD	8,17	0,499	129	136	0,58	<LD
	2008		23,2	9,6	7,9	<LD	<LD	<LD	<LD	7,96		97,8	110	<LD	<LD
	2009		19,6	<LD	7,4	<LD	<LD	16 x 10 ⁵	16 x 10 ⁵	7,88	1,221			1,4	
Bocatoma EPA	2007	PLAN DE MANEJO CRQ	19,3	20	6,6	<LD	<LD	<LD	<LD	8,1	0,162	113	139	0,63	<LD
	2008		21,7	14,9	7,2	12,8	<LD	7000	4900	7,88		93,4	73,3		<LD
	2009	MODELACIÓN 2009	15,3	5,2	7,63	<LD	1,7	680	680	7,95	0,97				
	2012	MODELACIÓN 2012	15	<LD	8,76		<LD			7,56	3,446				
Río Navarco	2009	MODELACIÓN 2009	15,3	6,1	7,7		2,85		1.7 x 10 ⁴	8,05					
	2011	POMCA LA VIEJA	15	6,46	8		7,57	3300	3300	7,67	2,31				
	2011		16	27	5,5	11	3,58	2200	2200	7,98	1,58	100			
	2011		17	34,8	8,05	18,8	5,6	2.4 x 10 ⁴	1.3 x 10 ⁴	7,96	0,64	109			
	2012	MODELACIÓN 2012	17,2	59,1	8,55		<LD			7,51	3,267				
PCH La Unión	2009	MODELACIÓN 2009	21,7	22,6	6,52	22,5	3,05	1.6 x 10 ⁶	1.6 x 10 ⁶	7,84	1,07				
	2012	MODELACIÓN 2012													
La María	2009	MODELACIÓN 2009	21,4	9,6	7,06	15,7	1,2	3.3 x 10 ⁴	1.6 x 10 ⁶	8,29	0,89				
	2012	MODELACIÓN 2012	19,1	9,28	8,65		<LD			7,83	3,658				
Quebrada La Florida	2007	PLAN DE MANEJO CRQ	23,1	1134	4,1	3,51	9,7	7.9 x 10 ⁵	7.9 x 10 ⁵	6,83	0,153	181	870	1,5	<LD
	2008		23	31,7	6,1	53	30	1.6 x 10 ⁷	1.6 x 10 ⁷	7,83	0,164	142	124	3,1	0,42
	2009		21,9	49,1	7,16	52,4	13,1	1,6E+12	1,6E+12	7,86		213			
	2009	MODELACIÓN 2009	20,5	27,6	6,42		61,8			7,77					
	2012	MODELACIÓN 2012	21	358	5,78		<LD			7,37	0,384				
Quebrada San Nicolas	2007	PLAN DE MANEJO CRQ	17	26,5	6,8	21,4	<LD	2.4 x 10 ⁶	2.4 x 10 ⁶	6,83		131	120	1,6	0,49
	2008		23,3	16,2	5,9	16,4	<LD	3.9 x 10 ⁵	3.9 x 10 ⁵	8		118	88,8	<LD	<LD
	2009		19,3	22,6	6,52	22,5	<LD	1.6 x 10 ⁶	1.6 x 10 ⁶	7,84		132			
	2012	MODELACIÓN 2012	21,7	105	4,42		<LD			7,49	0,028				
Quebrada La Picota	2007	PLAN DE MANEJO CRQ		48,7	8,2	15,4	6	9.2 x 10 ⁴	9.2 x 10 ⁴	7,86	1,378	140	113	1,7	0,311
	2008			4,7	11	12,1	<LD	1.1 x 10 ⁴	1.1 x 10 ⁴	7,76	0,943	153	142		<LD

Estación	Año	Fuente de información	Temp. (°C)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C. T. (NMP/10 0ml)	C. F. (NMP/10 0ml)	pH	Caudal (m ³ /S)	Cond. (µS/cm)	SDT (mg/L)	NH ₄ (mg/L N-NH ₃)	P Total (mg P /L)
	2009		20,3	4,7	6,3	<LD	<LD	450	450	7,71	0,061				<LD
Rio Verde	2009	MODELACIÓN 2009	19,8	17	7,33		2,85			7,93					
	2011	POMCA LA VIEJA	18	47,9	6,53		2,25	1.7 x 10 ⁴	1.3 x 10 ⁴	7,63	5,55				
	2011		20	11,5	4,6	7,3	2,47	3.5 x 10 ⁴	3.5 x 10 ⁴	7,46	3,9	148			
	2011		20		7,64	10,4	3,2	10600	10600	7,9	3,417				

Tabla 63 Información histórica de calidad del agua del río Quindío

6.1.8 Información de calidad del agua sobre vertimientos de aguas residuales

Estación	Año	Fuente de información	Temp. (°C)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C. T. (NMP/100ml)	C. F. (NMP/100ml)	pH	Caudal (m ³ /S)	G Y A (mg/L)	Sulfuros (mg/L S ²⁻)	Cr Total (mg/L)
Truchas Cocora	2013	CAMPAÑA CRQ	17,3	<LD		20,1	<LD			7,78	473			
	2013		17,1	<LD		17	<LD			7,57	7,24			
	2013		17,6	<LD		17	<LD			7,28	19			
	2013		18	<LD		13,3	<LD			7,71	10			
Curtiembres La María	2009	MODELACIÓN 2009	24	580	0,37		1770			7,75				
	2011	POMCA LA VIEJA	20,35	74,38	4,2	114,55	51,05	276000	235000	7,64	1,05			
	2012	MODELACIÓN 2012	26,2	168	0,29		<LD			8	0			
	2012	CAMPAÑA CRQ	22,4	1988		3670	2376			10,1	3,9	312	301	709
	2012		23,1	175		948	509			8,05	3,9	23	237	82,9
Frigocafé	2012	MODELACIÓN 2012	19,5	363	1,76		<LD			7,36	0,001			
	2012	CAMPAÑA CRQ	24,3	32461		25225	3480			8,87	3,06	52433		
	2012		22,7	934		3490	1528			7,29	0,86	236		
Planta de Sacrificio Mi Pollo	2012	CAMPAÑA CRQ	14,1	706		2290	1400			6,91	5	1075		
	2012		15,2	768		6245	2839			6,86	275	2600		
	2012		15,9	252		802	603			6,69	275	117		

Tabla 64. Información histórica de calidad del agua de los principales vertimientos identificados sobre el río Quindío

6.1.9 Conclusiones de los estudios previos de modelación

6.1.9.1 Informe Modelación de corrientes hídricas superficiales en el Departamento del Quindío (2001)

En el año 2001, se celebró el convenio interadministrativo 07 entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío y la Universidad de Quindío, su objetivo fue realizar la modelación del río Quindío, río Roble y la quebrada Cristales. El software seleccionado fue QUAL-2E, destacado principalmente por su gran adaptabilidad a las condiciones particulares de las corrientes.

De acuerdo con este estudio, el Río Quindío, el Río Roble y la Quebrada Cristales presentaron una capacidad de auto-depuración notable, dada por el mejoramiento de los parámetros de calidad OD y DBO, por sus características de corrientes de montaña, así como por su abundante red de drenaje.

Así mismo, la modelación indicó que la mayor fuente de contaminación sobre el río Quindío se relacionó con los vertimientos industriales que recibe el río en la cuenca media (Curtiembres La María y Frigocafé), para estos recomendaron la implementación de planes de producción más limpia y tratamientos adecuados que permitieran cumplir con la norma de vertimientos vigente.

En forma general, del estudio se logró concluir que dos de los escenarios modelados representaban los efectos más nocivos sobre la calidad de las aguas de las corrientes:

- Reducción del caudal inicial por causas climáticas o humanas: Mostró los efectos más nocivos dado a los vertimientos contaminantes de la cuenca alta de las corrientes, donde las fuentes superficiales no tienen el caudal suficiente para efectuar un posible efecto de dilución, mientras que el propio cuerpo de agua inicia su proceso de autodepuración.
- Aumento del caudal de las cargas residuales que ingresan a cada corriente: Este escenario mostró resultados críticos, para este caso los autores recomendaron mantener los niveles de los vertimientos actuales y controlar los permisos para los nuevos vertimientos.

En cuanto al saneamiento de los cuerpos de agua estudiados, determinaron que los organismos encargados de esta gestión debían incrementar sus programas de saneamiento en especial en los sitios más críticos identificados en este estudio. Así mismo, los escenarios planteados respecto a las concentraciones de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno mostraron que el tratamiento de los vertimientos de aguas residuales, hechos a las tres corrientes, ayudaría en un porcentaje muy pequeño (por el orden de 5 a 20%) a la remoción de materia orgánica propia de cada corriente.

6.1.9.2 Modelación río Quindío, Quebradas La Florida y El Pescador (2009)

En el año 2009, se celebró el convenio interinstitucional 036 entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío y la Universidad de Quindío, con el fin de realizar la modelación de calidad de agua en el río Quindío, Quebradas La Florida y El Pescador. Este estudio implementó el modelo a través del software QUAL2K.

En general, el modelo implementado logró reproducir en forma aceptable los valores de Oxígeno Disuelto, DBO, SST, pH, temperatura y Coliformes Fecales y Totales. De acuerdo con los resultados arrojados por el modelo, se evidenció que las condiciones hidrológicas e hidráulicas de las corrientes afectan considerablemente la capacidad de autodepuración de las diferentes corrientes estudiadas.

Así mismo, la quebrada El Pescador mostró una alta capacidad de autodepuración con respecto al comportamiento de los coliformes totales, determinante que registró elevadas concentraciones (del orden de 10×10^9 NMP/100ml), la cual disminuyó apreciablemente (hasta un valor de 10×10^5 NMP/100ml) para la última estación, sin embargo notaron que para el uso del recurso hídrico en el suministro de agua potable y riego agrícola esta concentración sigue siendo muy elevada.

En cuanto a la quebrada La Florida, las concentraciones de coliformes totales fueron mucho más elevadas (16×10^{10} NMP/100ml) debido a que los vertimientos urbanos de Armenia en esta quebrada están presentes casi hasta su desembocadura con el río Quindío. El modelo de la quebrada la Florida tuvo limitaciones para modelar con eficacia los niveles de coliformes en la última estación debido a que no tuvieron en cuenta el vertimiento del barrio Uribe a causa del alto riesgo y complejidad de acceso.

De manera general, una vez implementado el modelo de calidad del agua, la Universidad del Quindío concluyó:

- El río Quindío y la quebrada La Florida tienen un alto grado de autopurificación y/o recuperación ante el impacto generado por los diferentes contaminantes de origen antrópico, esta cualidad se debió a las elevadas tasas de degradación de materia orgánica, reaireación y degradación de las bacterias. Características típicas de las corrientes de montaña.
- De acuerdo con los objetivos de calidad, concluyeron, para la quebrada El Pescador sería necesario la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que esto permitiría el cumplimiento de los objetivos de calidad en cuanto a OD, pero sería muy interesante evaluar otras ubicaciones geográficas del efluente con respecto a la ubicación analizada en ese informe.

- Corresponde a los especialistas en saneamiento definir la metodología de tratamiento óptima para alcanzar los niveles de remoción propuestos en los diferentes escenarios de saneamiento.

Adicional a lo anterior, recomendaron robustecer la base de datos de calidad y cantidad de las corrientes estudiadas, con al menos 3 campañas de medición a lo largo de un año, bajo diferentes condiciones hidrológicas y preferiblemente para caudales altos, medios y bajos, así como realizar estas campañas aplicando a través de la toma de muestras siguiendo la masa de agua (tiempos de viaje) y muestreando de forma simultánea la mayor cantidad de vertimientos y tributarios. Además recomendaron la implementación de nuevas estaciones limnigráficas y limnimétricas para las 3 corrientes lo que permitirá un mejor control y evaluación de la variación longitudinal de las principales variables hidrométricas.

6.1.9.3 Modelación de la calidad del agua río Quindío (2012)

En el año 2012, se llevó a cabo una modelación de calidad de agua en el tramo comprendido entre el nacimiento del río Quindío hasta la bocatoma del municipio de La Tebaida. Al igual que el estudio del 2009, el modelo se implementó a través del software QUAL2K.

En términos generales, el modelo reprodujo en forma aceptable los valores de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH y Temperatura en las diferentes estaciones ubicadas a lo largo de la corriente. Este estudio realizó en diciembre de 2012 una campaña de monitoreo con propósitos de calibración en cuatro (4) estaciones sobre el cauce principal y cinco (5) vertimientos

Los escenarios que fueron propuestos y las cargas proyectadas evidenciaron el cumplimiento de los objetivos establecidos por la Corporación para el Tramo 1 del río Quindío. Sin embargo los SST registraron una concentración considerablemente alta en la estación del río Navarco, cercano a 60 mg/L, y debido a esto en los resultados de modelación este determinante no cumple con el límite establecido por la Corporación en los objetivos de calidad.

Por lo anterior, el estudio concluyó que es necesario contrastar la hipótesis de la DBO y SST proyectados para el año 2017, con monitoreos periódicos en épocas de caudales bajos (julio y agosto) con el fin de soportar el actual ejercicio de modelación frente a estos parámetros y así validar su información.

De la misma manera, agregó que los ajustes de calibración del modelo para ciertos determinantes deben ser mejorados puesto que se han presentado valores que contienen algún grado de incertidumbre que afecta la confiabilidad del modelo de simulación; por esta razón, recomendó llevar a cabo más caracterizaciones de calidad de agua en la corriente que permitan refinar los aspectos de la calibración que no están brindando los mejores resultados.

62 VISITA TÉCNICA PRELIMINAR AL RÍO QUINDÍO

El día 8 de marzo del 2014, se realizó la campaña de reconocimiento de la unidad hidrográfica del río Quindío, destacando la corriente principal y sus importantes afluentes y vertimientos. La visita técnica inició con el reconocimiento de la parte alta de la unidad hidrográfica, continuó con el desplazamiento por la parte media que representa la influencia de la cabecera del municipio de Armenia, finalizando en la parte baja de la unidad hidrográfica río Quindío, con la observación del río Barragán que al unirse al río Quindío generan el río La Vieja. La mayor parte del recorrido se realizó paralelo a la corriente principal del río Quindío, completando cerca de 68 km de vía transitable. A continuación se relacionan parte de las zonas importantes que fueron destacadas mediante el recorrido.

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	1005407	Altura (m.s.n.m.)	2474
	E	844423		
Municipio	Salento		Quebrada San José	
<p>El río Quindío nace en la zona de páramo en la parte alta del municipio de Salento, donde limita el departamento del Tolima con el departamento del Quindío. En la parte alta se reconocen diferentes afluentes del río Quindío, pero son la quebrada San José y la quebrada Cárdenas las que dan origen al mismo. El punto representa el inicio de la reserva del Parque Nacional Natural de los Nevados en el departamento del Quindío. En esta zona no se observaron actividades económicas y las fincas de la zona hacen parte de la protección del parque.</p>				

Tabla 65. Punto 1 de Reconocimiento Quebrada San José

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	1005001	Altura (m.s.n.m.)	1967
	E	837375		
Municipio	Salento		La Playa	
<p>Es un puente popular en la zona, previa a la entrada que del Valle del Cócora, que conduce a la cabecera del municipio de Salento. En la zona se aprecia la cría de truchas en cercanías al río Quindío y la ganadería como actividades económicas destacables.</p>				

Tabla 66. Punto 2 de Reconocimiento La Playa

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	1005358	Altura (m.s.n.m.)	1764
	E	832816		
Municipio	Salento		Boquía	
<p>Boquía es el sector turístico que antecede al casco urbano del municipio de Salento. En esta zona se aprecia como el río Quindío ha aumentado su caudal y ya recibió el agua residual del municipio de Salento y de Fincas ganaderas, turísticas, agrícolas y lecheras, así como el agua de escorrentía de la reserva forestal de Cartón de Colombia.</p>				

Tabla 67. Punto 3 de Reconocimiento Boquía

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	1003673	Altura (m.s.n.m.)	1707
	E	831570		
Municipio	Salento		Bocatoma EPA (Empresas Publicas de Armenia)	
<p>Este es un lugar de importancia para el río Quindío por su papel como proveedor de agua para el abastecimiento del municipio de Armenia. Sobre el río, se muestra una sección definida donde se realizan mediciones de caudal y calidad del agua por parte de la EPA y la CRQ. Desde la captación hasta la distribución, existen pérdidas de hasta el 30 %. Como parte de las estrategias de saneamiento, en las fincas del sector se han proyectado pozos sépticos.</p>				

Tabla 68. Punto 4 de Reconocimiento Bocatoma EPA

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	1002475	Altura (m.s.n.m.)	1670
	E	830483		
Municipio	Salento		Unión río Navarco y río Quindío	
<p>La zona de reconocimiento es cercana a la finca Las Delicias. Aquí, se aprecia el cambio de coloración en la confluencia entre el río Navarco y el río Quindío. EL río Navarco recibe la carga por escorrentía de los residuos de los cultivos de Aguacate, Plátano, Frutales y Café. Adicionalmente como actividades económicas cercanas se destacan las actividades de Ganadería y fincas lecheras.</p>				

Tabla 69. Punto 5 de Reconocimiento Unión Río Navarco y río Quindío

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	996977	Altura (m.s.n.m.)	1501
	E	827017		
Municipio	Calarcá		Chagualá	
<p>Esta zona de reconocimiento hace parte de la parte media de la unidad hidrográfica del río Quindío y constituye parte de la zona previa a la influencia del municipio de Armenia sobre el río. En esta zona, la corriente recibe la carga contaminante de viviendas cercanas y los aportes no puntuales de las aguas de escorrentía de cultivos de Aguacate, Café, Pino y Plátano.</p>				

Tabla 70. Punto 6 de Reconocimiento Chaguala

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	993232	Altura (m.s.n.m.)	1405
	E	824079		
Municipio	Calarcá		La María	
<p>Esta zona se encuentra en la parte media de la unidad hidrográfica del río Quindío. Tiene una importancia en la calidad de agua de la corriente dado que se ubica antes de la descarga de las aguas residuales de la central de beneficio de carne Frigocafe y la asociación de curtidores La María y de otras curtiembres. Previamente se han realizado las captaciones para diferentes pequeñas centrales hidroeléctricas. Por su cercanía a la zona urbana del municipio de Armenia, en esta zona la corriente recibe una carga contaminante producto de viviendas cercanas, restaurantes, conjuntos residenciales, talleres, entre otras actividades de la zona.</p>				

Tabla 71. Punto 7 de Reconocimiento La María

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	988083	Altura (m.s.n.m.)	1291
	E	819963		
Municipio	Calarcá		Balboa	
<p>Esta zona hace parte del cierre de la parte media del río Quindío. Se ubica después de la influencia del casco urbano de Armenia y diferentes cultivos de plátano y café de la zona. Nuevamente, para esta altura se realizan captaciones y retornos de caudal de diferentes Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.</p>				

Tabla 72. Punto de Reconocimiento Balboa

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	978060	Altura (m.s.n.m.)	1081
	E	812798		
Municipio	Calarcá		Unión Río Quindío y Río Verde	
<p>En el límite del municipio de Calarcá con el municipio de Armenia y Buenavista, el río Quindío se une al río Verde. Los cambios de coloración de las dos corrientes son evidentes en campo. El río Verde recibe el aporte de los drenajes presentes en los municipios de Calarcá y Córdoba. El acceso a este punto requiere autorización para el ingreso por encontrarse en predios de propiedad privada.</p>				

Tabla 73. Punto 8 de Reconocimiento unión río Quindío y río Verde

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	974842	Altura (m.s.n.m.)	1087
	E	811495		
Municipio	Buenavista		Quebrada La Picota	
<p>La quebrada La Picota se une al río Barragán en la intersección con el río Quindío, donde inicia el río La Vieja. Aunque la quebrada recoge los aportes de las diferentes actividades agrícolas de la zona, hace parte de la unidad hidrográfica del río Barragán que actualmente no es objeto de estudio.</p>				

Tabla 74. Punto de Reconocimiento quebrada La Picota

Coordenadas (Magna Sirgas Bogotá)	N	971583	Altura (m.s.n.m.)	1106
	E	809592		
Municipio	Caicedonia		Río Barragán	
<p>El río Barragán recoge las aguas de una red de drenaje natural que se extiende en más de 5 municipios como son Pijao, Génova, Sevilla, Caicedonia y Buenavista. Se une al río Quindío a una altura de 1052 m.s.n.m. El río hace parte del límite entre los departamentos del Valle del Cauca y el departamento del Quindío.</p>				

Tabla 75. Punto de Reconocimiento río Barragán

En la Figura 40 se presenta la representación espacial de los puntos visitados de forma preliminar. De las actividades de reconocimiento, se destaca que el acceso al drenaje principal del río Quindío y los tributarios de mayor importancia, se realiza mediante desplazamiento vehicular por vías principales, secundarias y accesos vehiculares de predios de propiedad privada. Lo anterior, permite el desplazamiento de personal, equipos e insumos necesarios para el desarrollo adecuado de las actividades de toma de muestras.

Se observó gran variedad de vegetación que rodea el cauce principal del río Quindío y sus afluentes principales, evidenciando además la influencia de las actividades agropecuarias, domésticas y turísticas en las márgenes del río. Sobre el cauce principal en la parte alta y media de la unidad hidrográfica río Quindío, se observaron materiales de lecho de gran tamaño, característicos de ríos de montaña (cantos, bolos, guijarros y gravas), además de diferentes residuos sólidos y ramas de árboles secos que obstaculizan el flujo. En la parte alta de la unidad hidrográfica y en las zonas encañonadas, la velocidad de la corriente es generalmente alta.

Las riberas del río son de pendiente diversa, en ocasiones altamente empinadas y con la presencia de vegetación arbustiva y en otras zonas es plano con variedad de actividades económicas cercanas. Como actividades económicas destacadas se reconocen los cultivos de plátano, café, aguacate, frutales, ganadería y la recreación como oferta turística. En algunos puntos se aprecian actividades pesqueras y de cría de peces. El río es de baja sinuosidad, en pequeñas zonas se evidenciaron zonas con baja a nula velocidad y pequeñas ramificaciones de la corriente principal. En los sectores cercanos al municipio de Armenia se aprecian diferentes vertimientos de agua lluvia y agua residual de población alojada en las márgenes del río.

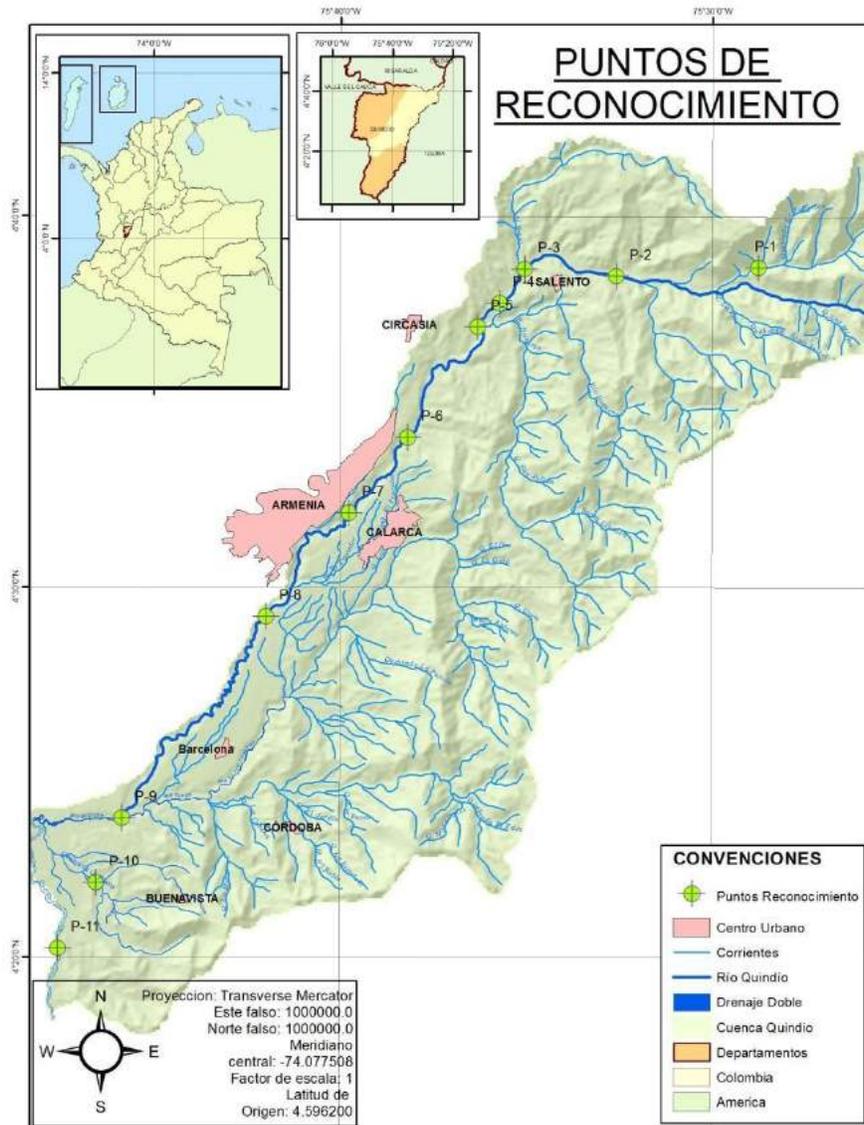


Figura 40 Mapa con la red de monitoreo propuesta

63 RED DE MONITOREO DEL RÍO QUINDÍO

La red de monitoreo de la calidad del agua del río Quindío y sus tributarios principales se definió a partir de la información existente y con el fin de obtener los insumos necesarios para el modelo de la calidad del agua de la corriente principal.

6.3.1 Criterios para la selección de los sitios de monitoreo

Se consideraron los siguientes criterios:

1. Los sitios de monitoreo seleccionados deben representar de forma apropiada el cambio de la calidad del agua a lo largo de la corriente principal. Para ello, se deben seleccionar puntos que permitan identificar el efecto de aportes de carga contaminante de tributarios y vertimientos puntuales y difusos, y cambios en el uso del agua y del suelo.
2. También se considera la localización de sitios de monitoreo que acoten cambios significativos en la geomorfología y dinámica fluvial de la corriente (cambios de pendiente, tipo de cauce, meso-hábitats, etc.). Gran parte de esta información es obtenida de la visita preliminar de campo y el acceso a imágenes satelitales y fotografías aéreas.
3. Los tributarios considerados en el monitoreo son aquellos que generan un aporte significativo de caudal y/o carga contaminante sobre el río principal. En particular, se da prioridad a aquellos que reciben la descarga de aguas residuales (tratadas o no tratadas) de centros poblados o industrias.
4. Se tienen en consideración las estaciones utilizadas previamente por la Corporación Autónoma Regional del Quindío en otros estudios para la evaluación y control de la calidad del agua, con el fin de aprovechar, en lo posible, la información disponible y establecer una continuidad en el monitoreo que permita hacer seguimiento a la evolución temporal de la calidad del recurso hídrico en diferentes sitios de la corriente.
5. Un aspecto adicional considerado, es la facilidad de acceso a los sitios propuestos de monitoreo. Para este fin es bastante importante la visita preliminar de campo, el acceso a cartografía con las vías principales que cruzan o pasan cerca de la corriente principal y las condiciones topográficas de los puntos potencialmente identificados.

6.3.2 Metodología para la definición de los puntos de medición

De acuerdo con los criterios definidos anteriormente, el procedimiento efectuado para la selección de los puntos de monitoreo fue el siguiente:

- Se identificaron los tributarios principales utilizando cartografía a escala 1:100,000 y a partir de la red de drenaje obtenida del procesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM) SRTM de 3 arcsec (celda de 90 m aprox.). El umbral de celdas definido para la obtención de la red de drenaje se estableció en 500, lo que equivale a áreas de drenaje aferentes no menores que 4,05 km².
- Identificación de los principales centros poblados (Armenia, Calarcá, Salento y Barcelona) en la unidad hidrográfica del río Quindío en relación con la red de drenaje de la misma.

- Obtención del perfil longitudinal de elevación del río Quindío desde su cabecera hasta su confluencia con el río Barragán.
- Localización de los tributarios principales del río Quindío, cruces de vía y ubicación de la ciudad de Armenia sobre el perfil longitudinal de la corriente.
- Revisión de trabajos de seguimiento y modelación de la calidad del agua anteriores para identificar los sitios de medición utilizados en las respectivas campañas de monitoreo.
- Elaboración de un esquema conceptual de la corriente principal y sus tributarios, complementado con las observaciones hechas durante la visita preliminar de campo y la existencia de puntos de aprovechamiento del recurso hídrico superficial sobre el río Quindío.
- Generación de la propuesta de sitios de monitoreo y levantamiento de información.

6.3.3 Red de monitoreo propuesta

En el proceso para la identificación de los tributarios principales del río Quindío, se obtuvieron los siguientes ríos y quebradas, enunciados conforme el río aumenta su caudal aguas abajo e indicando el borde sobre el cual confluyen:

- | | |
|---------------------------------------|-------------------|
| 1. Quebrada Las Mirlas | (borde izquierdo) |
| 2. Quebrada La Pita | (borde izquierdo) |
| 3. Quebrada Cárdenas | (borde derecho) |
| 4. Quebrada La Honda | (borde derecho) |
| 5. Quebrada Cruz Gorda | (borde izquierdo) |
| 6. Río Santa Rita | (borde derecho) |
| 7. Quebrada Boquía | (borde derecho) |
| 8. Río Boquerón | (borde izquierdo) |
| 9. Quebrada El Cusumbo | (borde izquierdo) |
| 10. Quebrada El Águila | (borde izquierdo) |
| 11. Quebrada La Florida | (borde derecho) |
| 12. Quebrada El Cafetero ¹ | (borde derecho) |
| 13. Quebrada El Pescador | (borde izquierdo) |
| 14. Río Verde | (borde izquierdo) |

Se decidió localizar la primera estación de monitoreo sobre el río Quindío (Q1) en el punto conocido como “El Escobal”, ubicado aguas abajo de las confluencias de las quebradas Mirlas, La Pita y Cárdenas, por los siguientes motivos:

¹ Identificada por trabajos anteriores sobre el río Quindío conocida también como quebrada San Nicolás

1. Corresponde a un sitio de cambio de pendiente longitudinal. Su área de drenaje corresponde a la parte alta de la unidad hidrográfica del río Quindío.
2. Los principales aportes de carga contaminante hasta dicho punto son de carácter difuso (actividades agrícolas y acuícolas).
3. Se ha utilizado como primer punto de monitoreo en estudios anteriores de modelación de la calidad del agua del río Quindío (*e.g.* Pérez, 2012).

Del listado de afluentes principales identificados, se seleccionaron los siguientes de acuerdo con el aporte de caudal y/o carga contaminante:

1. Quebrada Boquía (AF1): recoge gran parte de las aguas del noroccidente de la parte de la unidad hidrográfica alta del río Quindío.
2. Río Boquerón (AF2): recibe directamente las aguas residuales del municipio de Salento.
3. Quebrada La Florida (AF3): recibe directamente parte de las aguas residuales de la ciudad de Armenia.
4. Quebrada El Cafetero (San Nicolás) (AF4): recibe directamente parte de las aguas residuales de la ciudad de Armenia.
5. Quebrada El Pescador (AF5): recibe directamente las aguas residuales del municipio de Calarcá.
6. Río Verde (AF6): genera un aporte muy importante de caudal (recoge las aguas del río Santo Domingo) y conduce cargas contaminantes provenientes de los municipios Barcelona y Córdoba, entre otras.

Los puntos de monitoreo restantes sobre el río Quindío (ver Figura 41) se localizan aguas arriba de los afluentes principales definidos en el listado anterior o en sitios estratégicos para cuantificar el aporte de múltiples descargas de aguas residuales. Los puntos para hacer el monitoreo de la calidad del agua sobre el río Quindío fueron los siguientes, algunos de los cuales mantienen cierta correspondencia con estudios anteriores de modelación de calidad del agua:

1. Escobal (Q1). Cabecera. Calidad del agua de la parte alta de la unidad hidrográfica del río Quindío.
2. Bocatoma EPA (Q2): se localiza aguas abajo de la Quebrada Boquía. Sitio históricamente utilizado para fines de modelación de la calidad del agua.
3. Aguas arriba Río Boquerón (Q3).

4. Aguas arriba Quebrada El Cusumbo (Q4): se localiza aguas arriba de la ciudad de Armenia. Sirve como punto de control para establecer el aporte de carga contaminante de la ciudad de Armenia y el municipio de Calarcá.
5. La María (Q5): se localiza aguas arriba de la Quebrada La Florida y es un sitio de fácil acceso, el cual ha sido utilizado en estudios anteriores de modelación de calidad del agua. Junto al sitio Q4, sirve para establecer aportes de carga contaminante aparte de los vertimientos directos localizados en dicho tramo (Curtiembres, planta de beneficio Frigocafé).
6. Aguas arriba Quebrada El Pescador (Q6): se localiza aguas abajo de la Quebrada El Cafetero (San Nicolás), y junto con Q5 permitiría establecer aportes adicionales de carga contaminante aparte de las quebradas Florida y El Cafetero.
7. Aguas arriba Río Verde (Q7).
8. Aguas arriba Confluencia Río Barragán (Q8): Este punto corresponde al cierre de la red de monitoreo sobre el río Quindío y permitiría establecer, entre otros, el efecto sobre la calidad del agua que tendría el río Verde y la calidad del agua del río Quindío próximo a su entrega al río La Vieja.

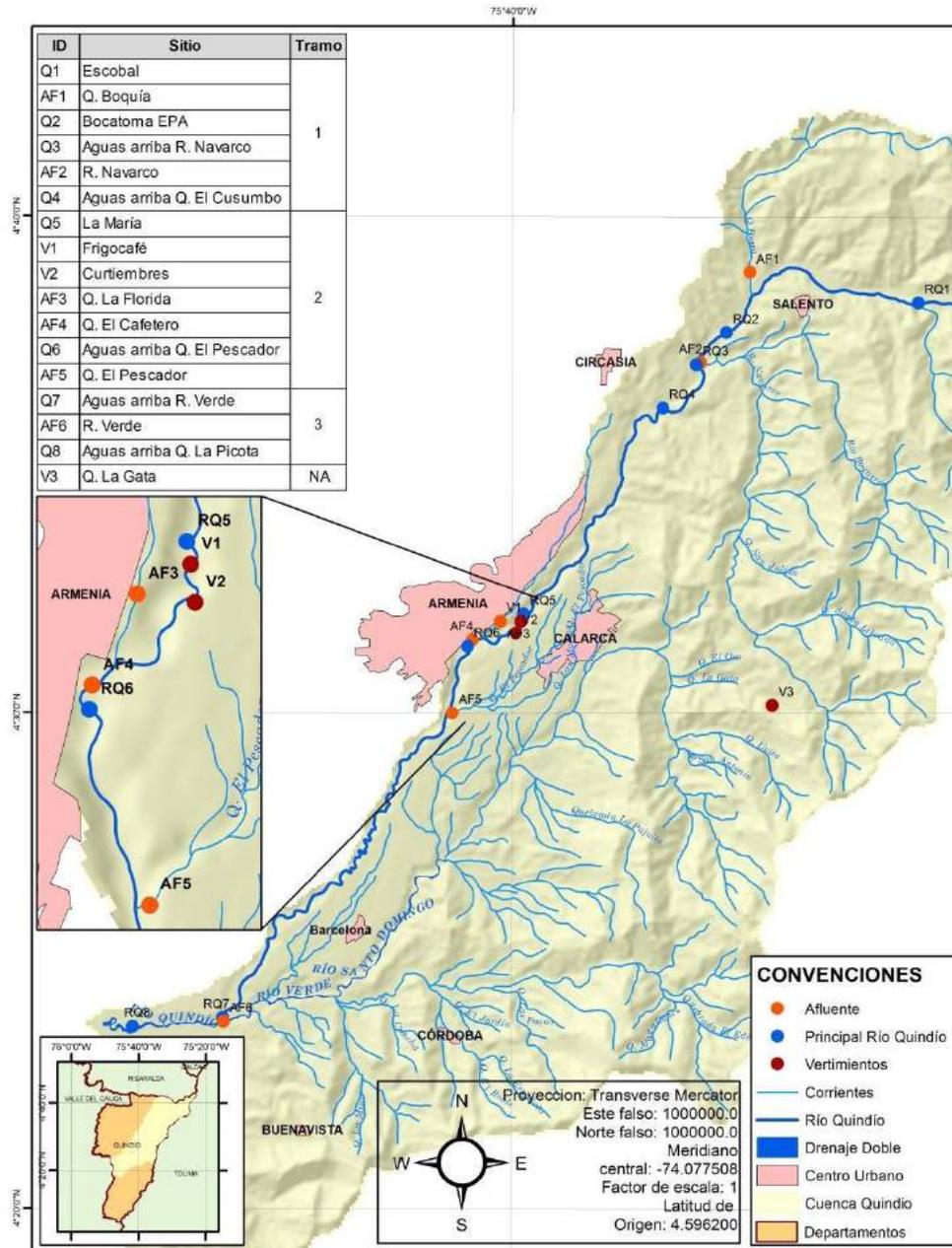


Figura 41 Mapa con la red de monitoreo propuesta para el río Quindío

Adicionalmente a los anteriores puntos de muestreo, también se contempló el monitoreo de los principales vertimientos de aguas residuales que se hacen directamente sobre el río Quindío. Los vertimientos seleccionados fueron:

1. Descarga Curtiembres (La María).
2. Descarga de la Planta de Beneficio de Armenia (Frigocafé).

En total se requirieron 16 puntos entre afluentes, vertimientos y sitios sobre la corriente principal, para hacer un monitoreo representativo del río Quindío. Se midió un punto adicional en

la quebrada La Gata para evaluar el efecto sobre este cuerpo de agua por parte de las descargas de las aguas residuales provenientes de las actividades en el Túnel de La Línea. En dichos puntos se realizaron aforos de caudal líquido y se hizo la toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas.

6.4 DESCRIPCIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO

Para el monitoreo de la calidad del agua del río Quindío y sus tributarios principales, se hizo la revisión de estudios previos de modelación de la calidad del agua sobre la corriente objeto de ordenamiento, junto con las observaciones realizadas en la visita preliminar y la red de monitoreo propuesta, lo cual aportó información suficiente para la identificación de los procesos dominantes y las principales entradas y salidas de carga contaminante que ocurren en el sistema de drenaje natural. De acuerdo con lo anterior, se desarrolló el programa de toma de muestras en dos temporadas hidrológicas contrastantes: seca y húmeda.

La toma y análisis de las muestras fisicoquímicas y microbiológicas fue ejecutada por el laboratorio MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., el cual está acreditado por el IDEAM según la Resolución N° 0869 del 27 de mayo de 2013. Debido a que en Colombia aún no está establecido un protocolo de monitoreo específico para la calibración de modelos unidimensionales de calidad del agua en estado estable, a continuación se presentan algunos aspectos destacables para este propósito, que fueron seguidos de forma estricta durante las campañas de medición:

- La toma de muestras se realizó desde aguas arriba hacia aguas abajo, incluyendo los afluentes en el orden que confluyen en la corriente principal. En ese mismo orden se realizaron los respectivos aforos de caudal líquido.

La primera actividad por realizar en cada uno de los días del levantamiento de información de cantidad y calidad del agua fue la medición de caudal líquido en el último sitio del día correspondiente. Con dicho caudal se establecieron los tiempos de viaje para realizar la toma de muestras, siguiendo la misma masa de agua a lo largo de la corriente principal, desde aguas arriba hacia aguas abajo. A partir de la información de aforo se obtuvieron las velocidades media (U) en la sección transversal. La velocidad media se calculó así:

$$U = \frac{Q}{A} \quad [1]$$

Siendo Q el caudal calculado y A el área de la sección aforada. Estas velocidades fueron utilizadas para estimar los tiempos medios de viaje (\bar{t}), en los puntos de monitoreo localizados aguas arriba del punto de medición de caudal:

$$\bar{t} = \frac{L}{U} \quad [2]$$

Siendo L la longitud entre puntos. Se estimó el tiempo medio de viaje de la masa de agua dividiendo cada longitud entre la velocidad media. Luego se definió la hora de la primera toma de muestra en la cabecera y la hora de muestreo en cada sitio aguas abajo sumando al tiempo inicial en la cabecera el respectivo tiempo de viaje. El procedimiento fue el mismo para los tres primeros días de muestreo de calidad de agua en las campañas realizadas en tiempo seco y tiempo húmedo.

- Con excepción del oxígeno disuelto, las grasas y aceites y los parámetros microbiológicos, todas las muestras sobre corrientes naturales de agua superficial se realizaron de forma integrada en la sección transversal y en la profundidad.

Las muestras de oxígeno disuelto y de los parámetros microbiológicos fueron tomadas de forma puntual en el centro de la corriente. La muestra de oxígeno disuelto se tomó de manera superficial, previniendo cualquier reaireación artificial de la muestra de oxígeno para no alterar la medida.

- Las muestras y caudales en los vertimientos (Curtiembres y Frigorífico) se tomaron de forma puntual en las dos campañas de campo y adicionalmente se realizó una medición compuesta de cada vertimiento por 24 horas que incluía la medición horaria de caudales.
- Durante la toma de muestras se registraron observaciones referentes a las condiciones del lugar, tales como:
 - a. Estado del tiempo (seco, lluvioso)
 - b. Eventos meteorológicos
 - c. Color del agua
 - d. Olores
 - e. Presencia de basuras, obstáculos y/o estructuras hidráulicas
 - f. Espuma
 - g. Buchón
 - h. Tipo de sedimento de fondo (bloques, guijarros, cantos, gravas, arenas, limos, arcillas).
 - i. Cobertura aproximada de sedimentos finos de fondo (espesores superiores a 10 cm).
 - j. Cobertura aproximada de algas de fondo (macrófitas y/o perifíticas).
- Se hizo el registro fotográfico de cada sitio de medición.
- Se registraron los datos característicos de la climatología del día de muestreo, incluyendo la medición de la temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, humedad relativa, velocidad del viento, porcentaje de cobertura de nubes y porcentaje de sombra sobre el espejo de agua

- En las estaciones de monitoreo establecidas previamente, se realizaron aforos de caudal líquido y el análisis de los determinantes de la calidad del agua reportados en la Tabla 76. En la Tabla 77 se indica en qué sitios se hizo la toma de muestras para el análisis de metales, metaloides y de pesticidas.

Determinante	Unidades
<i>In situ (MCS)</i>	
Conductividad	uS/cm
Oxígeno disuelto	mg/L O ₂
pH	Unidades
Temperatura del agua	°C
Laboratorio – Modelo de calidad del agua	
DBO ₅	mg/L O ₂
DBO ₅ soluble (filtrada)	mg/L O ₂
DQO	mg/L O ₂
DQO soluble (filtrada)	mg/L O ₂
Nitrógeno Total Kejhdaal	mg/L N
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃ -N
Nitritos	mg/L NO ₂ -N
Nitratos	mg/L NO ₃ -N
Fósforo Total	mg/L P
Ortofosfatos	mg/L P
Clorofila-a (fitoplancton)	ug/L Chl- <i>a</i>
Peso seco (perifiton)	g/m ² D
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L D
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L D
Coliformes Totales	NMP/100 mL
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃
Fisicoquímicos básicos - Información general	
Grasas y aceites	mg/L
Dureza Total	mg/L CaCO ₃
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃
Fenoles	mg/L
SAAM	mg/L
Fisicoquímicos, iones y metales - Curtiembres	
Cloruros	mg/L

Determinante	Unidades
Sulfatos	mg/L
Sulfuros	mg/L
Cromo Total	mg/L
Cromo Hexavalente	mg/L
Cianuros	mg/L
Metales y metaloides	
Arsénico	mg/L
Bario	mg/L
Cadmio	mg/L
Cobre	mg/L
Mercurio	mg/L
Plomo	mg/L
Selenio	mg/L
Hierro	mg/L
Manganeso	mg/L
Cinc	mg/L
Pesticidas	
Organoclorados	mg/L
Organofosforados	mg/L

Tabla 76 Determinantes de calidad del agua medidos

ID	Sitio	Abscisa (km)	Altitud (m)	Localización de medición	Parámetros especiales
Tramo 1					
Q1	Escobal	0.00	2028	Sobre el río Quindío	Pesticidas, metales
AF1	Quebrada Boquía	7.74	1749	Sobre la quebrada Boquía	
Q2	Bocatoma EPA	9.78	1705	Aguas arriba Bocatoma sobre Río Quindío	
Q3	Aguas arriba Río Navarco	11.65	1652	Sobre el río Quindío	
AF2	Río Navarco	11.69	1652	Sobre el río Navarco	Pesticidas
Q4	Aguas arriba Quebrada El Cusumbo	14.34	1599	Sobre el río Quindío	Pesticidas, metales
Tramo 2					
Q5	La María	26.66	1420	Aguas arriba de los vertimientos sobre Río Quindío	Metales
V1	Curtiembres	27.01	1387	Medir simultáneamente calidad y caudal (prioridad)	Metales
V2	Frigocafé	27.55	1384	Medir simultáneamente calidad y caudal (prioridad)	
AF3	Quebrada La Florida	29.39	1365	Sobre la quebrada La Florida	Metales
AF4	Quebrada El Cafetero	29.85	1347	Sobre la quebrada El Cafetero	Metales

ID	Sitio	Abscisa (km)	Altitud (m)	Localización de medición	Parámetros especiales
Q6	Aguas arriba Quebrada El Pescador	31.81	1339	Sobre el río Quindío, este punto coincide con Captación PCH El Bosque	
AF5	Quebrada El Pescador	33.41	1326	Sobre la quebrada El Pescador	Pesticidas, metales
Tramo 3					
Q7	Aguas arriba Río Verde	50.01	1124	Sobre el río Quindío	
AF6	Río Verde	53.89	1077	Sobre el río Verde	Pesticidas
Q8	Aguas arriba confluencia Río Barragán	58.26	1056	Sobre el río Quindío	Pesticidas, metales
V3	Quebrada La Gata	-	-	Sobre la quebrada La Gata	

Tabla 77 Estaciones de monitoreo de la red de calidad hídrica del río Quindío y sus tributarios principales con observaciones sobre parámetros por medir

6.4.1 Primera campaña de monitoreo (tiempo seco)

Durante los días 24, 25 y 26 de julio, fechas que corresponden a condiciones hidrológicas de tiempo seco en la región andina colombiana, se realizó el seguimiento de la cantidad y calidad del agua en los 16 puntos de monitoreo del recurso hídrico definidos sobre la corriente del río Quindío (afluentes, vertimientos y sitios representativos sobre la corriente principal). En dichos puntos se realizaron aforos de caudal líquido, el análisis de diferentes determinantes de la calidad del agua y la descripción de las características propias del entorno de cada punto. En la Tabla 78 se presentan parte del registro fotográfico realizado en la toma de muestras.

En la Tabla 80 se presentan las estaciones de monitoreo distribuidas durante los días en los que se llevó a cabo la campaña de campo en la unidad hidrográfica del río Quindío. La distribución de estos puntos contempla el monitoreo de la parte alta en el primer día, parte media en el segundo día y parte baja en el tercer día. La toma de muestras se realizó desde aguas arriba hacia aguas abajo, estimando los tiempos de viaje entre los tres tramos seleccionados con las expresiones relacionadas previamente. En la Tabla 80 se presenta la hora de toma de muestras de cada estación de monitoreo de calidad de agua.

	
<p>Punto de muestro Bocatoma EPA</p>	<p>Punto de muestro Río Navarco</p>
	
<p>Punto de muestreo La María</p>	<p>Punto de Muestreo Aguas arriba Quebrada El Pescador</p>
	
<p>Punto de Muestreo Aguas Arriba Río Verde</p>	<p>Punto de Muestreo Quebrada La Gata</p>
	
<p>Punto de Muestreo Aguas Arriba confluencia Río Barragán</p>	

Tabla 78. Toma de muestras campaña 1

ID	Sitio	Abscisa (km)	Altitud (m)	Localización de medición	Hora Toma de Muestras
Día 1 - 24/07/2014					
Q1	Escobal	0	2028	Sobre el río Quindío	2:30 p.m.
AF1	Quebrada Boquía	7,74	1749	Sobre la quebrada Boquía	5:22 p.m.
Q2	Bocatoma EPA	9,78	1705	Aguas arriba Bocatoma sobre Río Quindío	6:07 p.m.
Q3	Aguas arriba Río Navarco	11,65	1652	Sobre el río Quindío	6:48 p.m.
AF2	Río Navarco	11,69	1652	Sobre el río Navarco	6:49 p.m.
Q4	Aguas arriba Quebrada El Cusumbo	14,34	1599	Sobre el río Quindío	7:48 p.m.
Día 2 - 25/07/2014					
Q5	La María	26,66	1420	Aguas arriba de los vertimientos sobre Río Quindío	10:17 a.m.
V1	Frigocafé	27,01	1387	Medir simultáneamente calidad y caudal (prioridad)	10:26 a.m.
V2	Curtiembres	27,55	1384	Medir simultáneamente calidad y caudal (prioridad)	10:40 a.m.
AF3	Quebrada La Florida	29,39	1365	Sobre la quebrada La Florida	11:28 a.m.
AF4	Quebrada El Cafetero	29,85	1347	Sobre la quebrada El Cafetero	11:40 a.m.
Q6	Aguas arriba Quebrada El Pescador	32,81	1328	Sobre el río Quindío	12:57 a.m.
AF5	Quebrada El Pescador	33,41	1318	Sobre la quebrada El Pescador	01:12 p.m.
Día 3 - 26/07/2014					
Q7	Aguas arriba Río Verde	53,79	1077	Sobre el río Quindío	9:00 a.m.
AF6	Río Verde	53,89	1077	Sobre el río Verde	9:03 a.m.
Q8	Aguas arriba confluencia Río Barragán	58,26	1056	Sobre el río Quindío	11:29 a.m.
V3	Quebrada La Gata	-	2335	Sobre la quebrada La Gata	(10:00 a.m.)*

*No requiere seguimiento de la masa de agua por no ser tributario directo del río Quindío

Tabla 79 Estaciones de monitoreo de la red de calidad hídrica del río Quindío y sus tributarios principales. Localización, hora de toma de muestra y observaciones de la campaña 1

Durante el día 27 de julio se obtuvo la información adicional de caudales para observar el efecto longitudinal de las abstracciones y retornos hechos por las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) sobre el río Quindío. En la Tabla 80 se presentan las características de los puntos de medición monitoreados. La medición se realizó por vadeo con micromolinetes por el laboratorio Antek S.A.

Día 4 - 27/07/2014				
ID	Sitio	Abscisa (km)	Altitud (m)	Localización de medición
E1	Retorno PCH El Campestre	23,71	1442	Aguas arriba
E2	Captación PCH Bayona	23,80	1444	Aguas arriba
E3	Captación Tebaida	26,39	1411	Aguas arriba
E4	Retorno PCH Bayona	26,45	1401	Aguas abajo
E5	Captación PCH La Unión	26,49	1401	Aguas abajo
E6	Retorno PCH La Unión	30,36	1340	Aguas arriba

Día 4 - 27/07/2014				
ID	Sitio	Abscisa (km)	Altitud (m)	Localización de medición
E7	Captación PCH El Bosque	31,81	1339	Aguas arriba
E8	Retorno PCH El Bosque	40,70	1221	Aguas arriba

Tabla 80. Puntos para levantamiento de la sección topo-batimétrica

La primera campaña de toma de muestras se realizó sin inconvenientes, cumpliendo con el desarrollo de las actividades definidas según el cronograma establecido. Las condiciones de tiempo fueron las caracterizadas de tiempo seco, sin presencia de lluvias en la zona durante las últimas semanas previas al muestreo, según lo comunicado por la población. En el desarrollo de la toma de muestras se obtuvo información climática característica de cada día en algunos puntos de muestreo, esta información se muestra en la Tabla 81.

Parámetro	Unidades	24/07/2014	25/07/2014		26/07/2014
		Río Navarco	Quebrada El Pescador	Aguas Arriba Quebrada El Pescador	Aguas Arriba Confluencia Río Barragán
Temperatura	°C	26,4	24,9	31,2	28,5
Temperatura Aparente	°C	25,8	25	31,1	28,4
Humedad Relativa	%	41,6	62,8	28,5	54,7
Temperatura de bulbo húmedo	°C	16,9	20,1	19,4	21,4
Punto de rocío	°C	11,5	17,8	13	18,4
Delta Temperatura	°C	8	5	11,8	7,6
Velocidad del Viento	Km/h	13,7	1,5	1,5	0,2
Max Velocidad del viento	Km/h	-	2,5	7,4	4,5
Dirección del viento	-	SSW-209°	SSW-210°	W-262°	SW-221°

Tabla 81. Características climáticas de la campaña de muestreo 1

6.4.2 Segunda campaña de monitoreo (tiempo húmedo)

Debido a dificultades logísticas que implica el monitoreo en época de aguas altas, la segunda campaña de toma de muestras se realizó en dos etapas, una etapa de toma de datos de calidad de agua y otra etapa de medición de caudales. Durante los días 26, 27 y 28 de octubre, fechas que corresponden a condiciones hidrológicas de tiempo húmedo, se realizó el seguimiento de la calidad del agua en los 16 puntos de monitoreo del recurso hídrico definidos sobre la corriente del río Quindío (afluentes, vertimientos y sitios representativos sobre la corriente principal). En dichos puntos se realizó el análisis de diferentes determinantes de la calidad del agua, mientras que la medición de velocidad se realizó por medio de flotadores, dado que las condiciones de caudal limitaban la medición en diferentes puntos del río Quindío. Por tal razón, la medición de caudales se estableció dos semanas después de las fechas de toma de muestras de calidad de agua, garantizando la continuidad del periodo húmedo.

Pese a las condiciones de caudal alto, la toma de muestras se realizó de acuerdo con las especificaciones necesarias para su aplicación en la modelación de calidad de agua. En la Tabla 82 se observa parte del registro fotográfico de las actividades de toma de muestras realizadas por el personal del laboratorio.

En la Tabla 83 se presentan las estaciones de monitoreo distribuidas durante los días en los que se llevó a cabo la campaña de campo. La distribución de estos puntos contempla el monitoreo de la parte alta en el primer día, parte media en el segundo día y parte baja de la unidad hidrográfica río Quindío en el tercer día. La toma de muestras se realizó desde aguas arriba hacia aguas abajo, estimando los tiempos de viaje en los tres tramos. En la misma tabla se presenta la hora de toma de muestras de cada estación de monitoreo de calidad de agua.

	
<p>Punto de muestro Escobal</p>	<p>Punto de muestro Aguas Arriba Confluencia Río Barragán</p>
	
<p>Punto de muestreo Quebrada La Florida</p>	<p>Punto de Muestreo Aguas arriba Quebrada El Pescador</p>



Tabla 82. Toma de muestras campaña 2

ID	Sitio	Abscisa (km)	Altitud (m)	Localización de medición	Hora Toma de Muestras
Día 1 - 26/10/2014					
Q1	Escobal	0	2028	Sobre el río Quindío	12:20
AF1	Quebrada Boquía	7,74	1749	Sobre la quebrada Boquía	14:20
Q2	Bocatoma EPA	9,78	1705	Aguas arriba Bocatoma sobre Río Quindío	14:40
Q3	Aguas arriba Río Navarco	11,65	1652	Sobre el río Quindío	15:21
AF2	Río Navarco	11,69	1652	Sobre el río Navarco	17:49
Q4	Aguas arriba Quebrada El Cusumbo	14,34	1599	Sobre el río Quindío	18:48
Día 2 - 27/10/2014					
Q5	La María	26,66	1420	Aguas arriba de los vertimientos sobre R. Quindío	11:30
V1	Frigocafé	27,01	1387	Medir simultáneamente calidad y caudal (prioridad)	11:45
V2	Curtiembres	27,55	1384	Medir simultáneamente calidad y caudal (prioridad)	11:50
AF3	Quebrada La Florida	29,39	1365	Sobre la quebrada La Florida	12:20
AF4	Quebrada El Cafetero	29,85	1347	Sobre la quebrada El Cafetero	12:40
Q6	Aguas arriba Quebrada El Pescador	32,81	1328	Sobre el río Quindío	13:10
AF5	Quebrada El Pescador	33,41	1318	Sobre la quebrada El Pescador	13:30

ID	Sitio	Abscisa (km)	Altitud (m)	Localización de medición	Hora Toma de Muestras
Día 3 - 28/10/2014					
Q7	Aguas arriba Río Verde	53,79	1077	Sobre el río Quindío	12:50
AF6	Río Verde	53,89	1077	Sobre el río Verde	13:30
Q8	Aguas arriba Confluencia Río Barragán	58,26	1056	Sobre el río Quindío	15:00
V3	Quebrada La Gata	-	2335	Sobre la quebrada La Gata	(11:15)*

*No requiere seguimiento de la masa de agua por no ser tributario directo del río Quindío

Tabla 83. Estaciones de monitoreo de la red de calidad hídrica del río Quindío y sus tributarios principales. Localización, hora de toma de muestra y observaciones de la campaña 2

Las actividades de medición de caudales se desarrollaron los días 16, 17, 18, 19 y 20 de noviembre del 2014, fechas que mantenían un comportamiento de tiempo húmedo, con la presencia de lluvias en la zona antes o después de cada día de aforo. En la campaña de medición de caudales se incluyeron los puntos de medición de calidad de agua y las estaciones necesarias para conocer las abstracciones y retornos hechos por las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) sobre el río Quindío. Como observaciones generales se destacan los altos niveles de agua en los puntos de monitoreo. Las mediciones de caudal se realizaron con el laboratorio MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, usando técnicas de medición de caudal por vadeo y bote cautivo, de acuerdo con las dificultades propias de cada punto de aforo. En el desarrollo de la toma de muestras se obtuvo información climática característica de cada día en algunos puntos de muestreo, esta información se muestra en la Tabla 84.

PARAMETROS	Unid.	26/10/2014	27/10/2014	28/10/2014
		Aguas Arriba Quebrada Cusumbo	Quebrada El Pescador	Río Verde
Temperatura	°C	22	37,6	31,4
Temperatura Aparente	°C	21,8	31,3	32,3
Humedad Relativa	%	74,5	49,3	46,9
temperatura de bulbo humedo	°C	18,4	23,4	23,4
Punto de rocío	°C	16,3	19,7	19,9
Delta Temperatura	°C	2,3	10,9	8,8
Velocidad del Viento	Km/h	1	1,7	0,8
Max Velocidad del viento	Km/h	-	5,8	4,3
Dirección del viento	-	290° WMW	321° NW	231°SW

Tabla 84. Características climáticas de la campaña de muestreo 2

6.5 RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO DEL RÍO QUINDÍO

Con el fin de tener una fotografía del estado actual de la calidad del agua en dos instantes de tiempo característicos bajo condiciones contrastantes de caudales mínimos y periodos húmedos, se llevaron a cabo dos campañas de monitoreo en el año 2014. La primera campaña, correspondiente a características de aguas bajas, se efectuó entre los días 24 y 27 de julio de 2014, mientras que la segunda campaña, correspondiente a características de aguas altas, se efectuó entre los días 26 y 28 de octubre de 2014. Como se mencionó en secciones anteriores, el río Quindío fue dividido en tres sectores para el levantamiento de la información de calidad del agua y se siguió un programa de monitoreo siguiendo la misma masa de agua para cada sector.

Los resultados presentados en esta sección están orientados a analizar el comportamiento espacial (longitudinal) de los siguientes aspectos sobre la calidad fisicoquímica del agua del río Quindío y sus tributarios principales:

1. Características fisicoquímicas medidas *in situ*.
2. Contaminación por materia orgánica carbonácea.
3. Contaminación por nutrientes.
4. Contaminación por organismos patógenos y sólidos.
5. Capacidad buffer del cuerpo de agua.
6. Contaminación por pesticidas.
7. Contenido de metales y metaloides.
8. Contenido de otras sustancias e iones relevantes.

Así mismo, se presentan los resultados de la caracterización de dos vertimientos no domésticos directos sobre el río Quindío: Frigocafé y Curtiembres del sector La María. Para estos últimos, se optó por un muestreo compuesto de 24 horas y la medición de caudales y determinantes *in situ* cada hora en el mismo período de tiempo.

El análisis comparativo entre los resultados de ambas campañas, la determinación de índices de calidad del agua, así como el análisis de conflictos uso-calidad, el cumplimiento de normas vigentes de límites máximos permisibles para vertimientos, entre otros, se presentan en una sección posterior.

Para interpretar apropiadamente los perfiles de calidad del agua, en la Tabla 85 se presentan las abscisas correspondientes a cada punto monitoreado sobre el río Quindío y sus tributarios y vertimientos principales. El punto 0 se definió en el sitio El Escobal (RQ1), el cual se considera como la cabecera del río Quindío para la implementación del modelo hidráulico y de calidad del agua.

Nombre de la estación	ID	Abscisa (km)	Altitud (m)
Estaciones sobre el río Quindío			
El Escobal	RQ1	0	2028
Bocatoma EPA	RQ2	9.78	1705
Aguas arriba río Navarco	RQ3	11.65	1652
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	14.34	1599
La María	RQ5	26.66	1420
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	31.81	1328
Aguas arriba río Verde	RQ7	50.01	1077
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	58.26	1056
Tributarios y vertimientos			
Quebrada Boquía	AF1	7.74	1749
Río Navarco	AF2	11.69	1652
Vertimiento Frigocafé	V1	27.01	1387
Vertimiento Curtiembres La María	V2	27.55	1384
Quebrada La Florida	AF3	29.39	1365
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	29.85	1347
Quebrada El Pescador	AF5	33.41	1318
Río Verde	AF6	53.89	1077
Puntos adicionales			
Vereda Túnel de la Línea	V3	NA	NA

Tabla 85 Abscisado y altitud de los sitios de medición de la red de monitoreo del río Quindío

6.5.1 Campaña 1 – Condiciones de tiempo seco

6.5.1.1 Características fisicoquímicas medidas in situ

En la Tabla 86 se presentan los determinantes medidos *in situ* para cada uno de los sitios de medición durante la primera campaña de monitoreo.

Nombre de estación	ID	Caudal	Temperatura	Cond.	pH	OD
		m ³ /s	°C	µS/cm	Und.	mg/L O ₂
El Escobal	RQ1	1.44	20.3	151.3	7.36	6.30
Bocatoma EPA	RQ2	3.85	20.2	121.9	6.25	6.26
Aguas arriba río Navarco	RQ3	1.02	19.9	122.8	7.02	7.50
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	2.78	21.4	124.2	7.32	6.21
La María	RQ5	1.63	20.3	131.5	2.51	4.30
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	2.70	24.6	168.4	6.29	6.63
Aguas arriba río Verde	RQ7	4.24	25.5	168.8	6.90	7.50
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	8.83	23.5	184.2	8.98	5.56

Nombre de estación	ID	Caudal	Temperatura	Cond.	pH	OD
		m ³ /s	°C	μS/cm	Und.	mg/L O ₂
Tributarios y vertimientos						
Quebrada Boquía	AF1	0.41	19.4	57.7	7.16	6.50
Río Navarco	AF2	1.56	22.3	154.8	4.26	6.75
Vertimiento Frigocafé	V1	2.1.E-04	25.2	6320.0	7.59	0.00
Vertimiento Curtiembres La María	V2	1.1.E-05	27.1	13160.0	8.03	0.00
Quebrada La Florida	AF3	0.41	23	298.0	7.30	5.90
Quebrada El Cafetero(San Nicolás)	AF4	0.02	24.5	698.0	6.89	3.01
Quebrada El Pescador	AF5	0.26	23.6	185.1	7.67	6.27
Río Verde	AF6	4.77	23.1	206.1	7.10	7.10
Puntos adicionales						
Vereda Túnel de la Línea	V3	0.132	17.7	302.0	3.06	7.14

Tabla 86 Determinantes medidos in situ en la campaña 1

En la Figura 42 se representa el perfil longitudinal de los caudales medidos sobre la corriente principal (línea azul discontinua) y los caudales medidos sobre los tributarios y vertimientos principales (barras rojas). Así mismo, se presentan los perfiles respectivos de temperatura y conductividad.

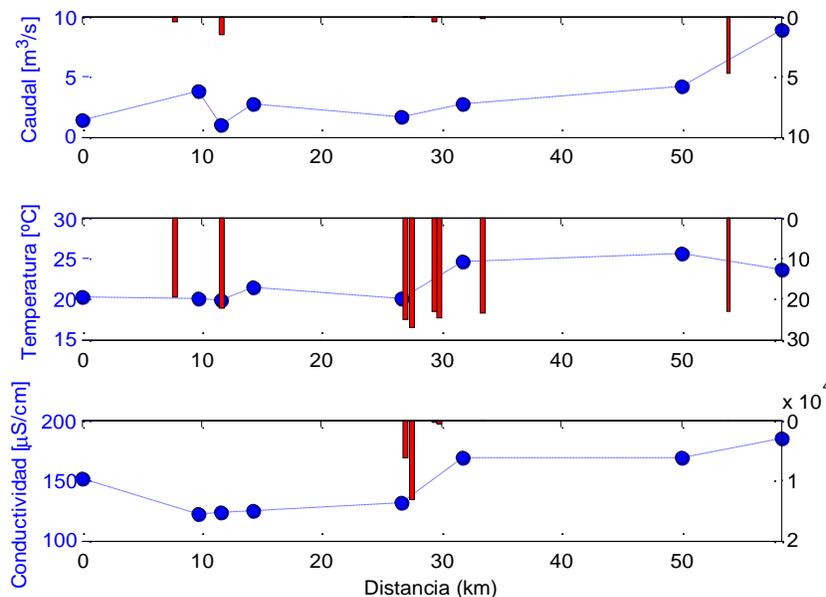


Figura 42 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: Caudal, Temperatura y Conductividad. Campaña 1. La línea azul discontinua representa los valores medidos sobre el río Quindío los cuales se leen en el eje vertical izquierdo. Las barras rojas representan los valores medidos sobre los tributarios y vertimientos principales los cuales se leen en el eje vertical (invertido) derecho

Las condiciones hidrológicas asociadas a la primera campaña de monitoreo corresponden a tiempo seco, por lo que los caudales sobre el río Quindío adquieren valores relativamente bajos entre $1.44 \text{ m}^3/\text{s}$ y $8.83 \text{ m}^3/\text{s}$ en El Escobal (RQ1, Cabecera) y aguas arriba de la confluencia con el río Barragán (RQ8, próximo a la desembocadura), respectivamente. Estas condiciones representan el escenario de capacidad de dilución más baja sobre el río Quindío. Nótese que alrededor del kilómetro 12 se evidencia la disminución de caudal debida a la captación del acueducto de la ciudad de Armenia. De acuerdo con la actualización del PSMV de Armenia (en revisión), solo el 15% de las aguas residuales domésticas generadas en la cabecera municipal, son dirigidas a las quebradas La Florida y El Cafetero (San Nicolás), las cuales a su vez descargan sus aguas en el río Quindío. En este orden de ideas, cerca de un 85% de las aguas captadas del río Quindío en la bocatoma EPA no regresan a su cauce (constituyéndose en un trasvase a otra unidad hidrográfica del orden de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$). De acuerdo con las mediciones de caudal líquido, la oferta hídrica del río Quindío en el sitio de la bocatoma se recupera hacia el kilómetro 32, en el tramo que recibe la mayor cantidad de descargas de aguas residuales de carácter puntual. La disminución de caudal sobre el río Quindío en el sector de la María se puede explicar por la abstracción de caudal de la bocatoma La Tebaida y la PCH La Unión.

La temperatura del agua se encuentra en un rango del orden de 20 a 25°C , mostrando un aumento progresivo hacia aguas abajo que es consistente con la disminución de la altitud. La conductividad eléctrica, la cual representa la concentración de sustancias disueltas en el agua caracterizadas por su comportamiento conservativo (i.e. que no decaen o reaccionan) y que es del orden de $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ (la cual es relativamente alta), aumenta hacia aguas abajo, presentando un quiebre significativo en el kilómetro 32, lo cual se debe a la influencia de las descargas de aguas residuales en el sector de la María y de la ciudad de Armenia. Nótese que la concentración más alta de conductividad se encuentra en el vertimiento de las curtiembres ($13160 \mu\text{S}/\text{cm}$), lo cual concuerda con las altas concentraciones de cloruros presentes en dichas aguas residuales y, en general, por las sustancias presentes en las mismas. La alta conductividad que se observó en todos los puntos de monitoreo pueden explicarse en parte por la influencia de la geología del sector, especialmente porque las aguas del río tienen su origen en un ambiente volcánico. Pese a los valores relativamente elevados de dicho determinante, estos no impiden que el agua sea utilizada para riego (en términos de conductividad), teniendo en cuenta que aguas con valores por debajo de $250 \mu\text{S}/\text{cm}$ se consideran excelentes para dicho uso (Romero, 2009).

6.5.1.2 Capacidad buffer y dureza

En la Tabla 87 se presentan los valores medidos de Alcalinidad, pH y Dureza medidos durante la primera campaña de monitoreo en el río Quindío.

Nombre de estación	ID	Alcalinidad	pH	Dureza Total	Dureza Cálctica
		mg/L CaCO ₃	Und.	mg/L CaCO ₃	mg/L CaCO ₃
El Escobal	RQ1	54.65	7.36	75.24	52.3
Bocatoma EPA	RQ2	42.47	6.25	54.65	38.4
Aguas arriba río Navarco	RQ3	43.46	7.02	53.06	42.0
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	44.85	7.32	59.4	36.8
La María	RQ5	48.41	2.51	53.06	32.9
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	52.37	6.29	58.21	37.2
Aguas arriba río Verde	RQ7	47.62	6.90	59.8	39.6
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	54.21	8.98	71.28	40.8
Tributarios y vertimientos					
Quebrada Boquía	AF1	25.05	7.16	21.38	13.9
Río Navarco	AF2	51.88	4.26	58.21	42.0
Vertimiento Frigocafé	V1	662.31	7.59	168.3	132.7
Vertimiento Curtiembres La María	V2	2215.62	8.03	851.5	356.4
Quebrada La Florida	AF3	92.96	7.30	53.04	37.6
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	213.84	6.89	93.06	60.6
Quebrada El Pescador	AF5	42.67	7.67	52.67	34.5
Río Verde	AF6	59.99	7.10	72.86	53.9
Puntos adicionales					
Vereda Túnel de la Línea	V3	109.49	3.06	145.73	99.8

Tabla 87 Alcalinidad, pH y Dureza medidos en la campaña 1

De acuerdo con la clasificación de dureza, las aguas superficiales del río Quindío y de sus tributarios principales son moderadamente duras (50-150 mg/L CaCO₃). El cuerpo de agua superficial con mayor dureza es la quebrada El Cafetero (San Nicolás), la cual recibe una parte importante de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Armenia. Nótese, no obstante, que la mayor dureza sobre el río Quindío se encuentra en su cabecera, lo cual se puede explicar por el aporte natural de iones de Calcio y Magnesio provenientes del ambiente volcánico de donde se originan sus aguas. El río Verde, a su salida, presenta un valor similar de dureza total al del río Quindío en su cabecera, lo que genera un aumento de la misma a la salida del cuerpo de agua principal (aguas arriba de la confluencia Con el río Barragán). Las aguas residuales provenientes de las Curtiembres tienen una dureza muy alta (>300 mg/L CaCO₃) y las provenientes de Frigocafé clasifican como alta (150 - 300 mg/L CaCO₃), lo cual indicaría un aporte importante de iones de calcio y magnesio provenientes de ambas actividades.

En la Figura 43 se presentan los perfiles de pH y Alcalinidad Total a lo largo del río Quindío. De dichos perfiles se puede resaltar que en el sector de La María hay una disminución drástica de pH, alcanzando un valor de 2.5 unidades que corresponde a aguas muy ácidas. Asimismo, es importante anotar que después de El Escobal también se presenta una disminución de la alcalinidad, específicamente en el sitio de la bocatoma del acueducto de Armenia; no obstante, a partir de allí hay un aumento progresivo de la misma, que también se ve influenciado por el aporte de los vertimientos en el sector de La María (por ejemplo, el vertimiento de la curtiembre tiene una

alcalinidad superior a los 2000 mg/L CaCO₃), lo que compensa la capacidad buffer del ecosistema acuático. El valor tan bajo de pH podría explicarse por la influencia de las actividades de minería aguas arriba del punto mencionado y a la geología del sector. Nótese que el río Quindío, a excepción del punto La María, tiende a mantener valores de pH cercanos a la neutralidad e inclusive el último punto medido (aguas arriba de la Confluencia Con el río Barragán) alcanza a presentar condiciones alcalinas con un valor próximo a las 9 unidades.

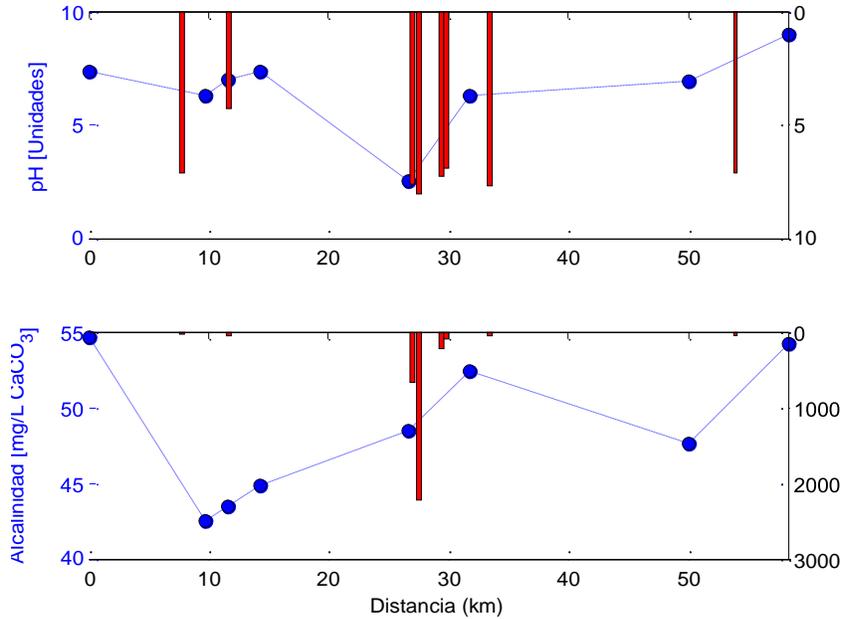


Figura 43 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: pH y Alcalinidad. Campaña 1

6.5.1.3 Contaminación por materia orgánica carbonácea

En la Tabla 88 se presentan los valores medidos de Oxígeno disuelto, DBO₅ y DQO durante la primera campaña de monitoreo sobre la red del río Quindío.

Nombre de estación	ID	OD	DBO ₅	DBO ₅ Soluble	DQO	DQO Soluble
		mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂
El Escobal	RQ1	6.3	<5	<5	<20	<20
Bocatoma EPA	RQ2	6.3	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba río Navarco	RQ3	7.5	<5	<5	<20	<20
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	6.2	<5	<5	<20	<20
La María	RQ5	4.3	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	6.6	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba río Verde	RQ7	7.5	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	5.6	<5	<5	<20	<20

Nombre de estación	ID	OD	DBO ₅	DBO ₅ Soluble	DQO	DQO Soluble
		mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂
Tributarios y vertimientos						
Quebrada Boquía	AF1	6.5	<5	<5	<20	<20
Río Navarco	AF2	6.8	<5	<5	<20	<20
Vertimiento Frigocafé	V1	0.0	405.0	77.0	654.0	529.0
Vertimiento Curtiembres La María	V2	0.0	324.0	57.0	507.0	417.0
Quebrada La Florida	AF3	5.9	56.0	25.0	90.0	50.0
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	3.0	181.0	32.0	283.0	233.0
Quebrada El Pescador	AF5	6.3	<5	<5	<20	<20
Río Verde	AF6	7.1	<5	<5	<20	<20
Puntos adicionales						
Vereda Túnel de la Línea	V3	7.1	<5	<5	<20	<20

Tabla 88 Oxígeno disuelto, DBO₅ y DQO medidos en la campaña 1

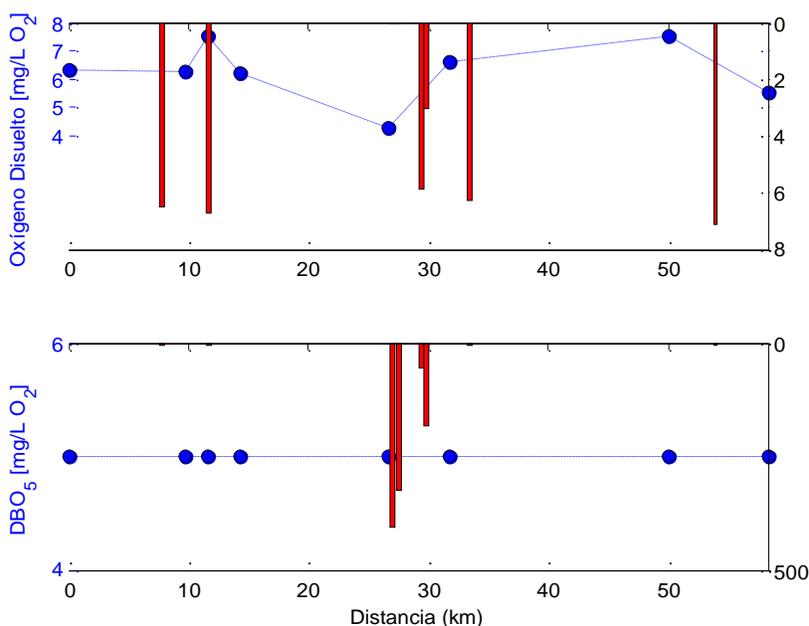


Figura 44 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: Oxígeno disuelto y DBO₅. Campaña 1

Con respecto a los perfiles de oxígeno disuelto y DBO₅, la Figura 44 indica los cambios longitudinales de ambos determinantes a lo largo del río Quindío, y los valores medidos sobre los principales tributarios y vertimientos puntuales. En dicha figura puede resaltarse que, para las condiciones medidas, no hay conflictos de contaminación por materia orgánica carbonácea, puesto que todos los valores medidos sobre el río Quindío, tanto de DBO₅ como de DQO, están por debajo del límite de detección y se presentan excelentes condiciones de reaireación de la corriente. El valor mínimo de oxígeno disuelto medido sobre el cuerpo de agua principal está alrededor de los 4 mg/L, lo cual no representa peligro alguno para las comunidades ícticas que habitan la corriente, en términos de disponibilidad de oxígeno en el agua, en un agua cálida. Las buenas condiciones de

oxigenación, que también son evidentes en la quebrada Boquía, el río Navarco, la quebrada El Pescador y el río Verde, se pueden explicar por las características que son propias de corrientes de montaña, con sucesiones de piscinas, rápidos y escalones, altas pendientes, altas velocidades y bajas profundidades. Igualmente, es importante resaltar que las mayores concentraciones de materia orgánica son aportadas por los vertimientos de las Curtiembres y Frigocafé, y las quebradas urbanas del municipio de Armenia (La Florida y El Cafetero) las cuales reciben la mayoría de las aguas residuales de tipo doméstico e industrial provenientes de dicho municipio.

6.5.1.4 Contaminación por nutrientes

En la Tabla 89 se presentan los resultados de laboratorio para los nutrientes y biomasa de algas medidos durante la campaña 1 en el río Quindío.

Nombre de estación	ID	NTK	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NT	INP	P Total	Fitoplancton	Perifiton
		mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L NO ₃	mg/L NO ₂	mg/L N	mg/L PO ₄ -P	mg/L P	µg/L Chl-a	g/m ² PS
El Escobal	RQ1	4.4	<1	1.2	<0.003	4.7	<0.062	0.145	<0.12	28.58
Bocatoma EPA	RQ2	3.3	<1	0.6	<0.003	3.4	<0.062	0.065	<0.12	64.26
Aguas arriba río Navarco	RQ3	2.7	<1	0.6	<0.003	2.9	<0.062	0.077	<0.12	21.29
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	3.3	<1	0.7	<0.003	3.4	<0.062	0.095	<0.12	3.20
La María	RQ5	4.4	<1	2.0	0.0069	4.8	<0.062	0.048	<0.12	26.21
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	9.3	<1	3.2	0.2363	10.1	0.146	0.238	<0.12	32.74
Aguas arriba río Verde	RQ7	5.5	<1	2.4	0.0660	6.1	0.133	0.193	<0.12	10.93
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	8.2	<1	1.9	0.0110	8.7	0.094	0.134	<0.12	268.80
Tributarios y vertimientos										
Quebrada Boquía	AF1	3.8	<1	0.9	<0.003	4.1	<0.062	0.065	<0.12	48.08
Río Navarco	AF2	2.7	<1	0.6	<0.003	2.9	<0.062	0.195	<0.12	20.52
Vertimiento Frigocafé	V1	82.7	14.3	3.9	0.0090	83.6	4.820	8.500	<0.12	-
Vertimiento Curtiembres La María	V2	6.6	<1	14.5	0.0072	9.9	0.065	0.118	<0.12	-
Quebrada La Florida	AF3	18.1	<1	1.5	0.0320	18.5	0.780	0.940	<0.12	25.38
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	37.3	22.8	3.2	0.0218	38.0	1.740	3.550	<0.12	75.13
Quebrada El Pescador	AF5	3.3	<1	5.7	<0.003	4.6	0.776	0.957	<0.12	40.73
Río Verde	AF6	2.2	<1	1.6	0.0095	2.6	0.103	0.165	<0.12	5.24
Puntos adicionales										
Vereda Túnel de la Línea	V3	21.4	<1	1.6	<0.003	21.8	<0.062	0.030	<0.12	66.75

Tabla 89 Nutrientes y biomasa de algas medidos en la campaña 1

En relación con los nutrientes (nitrógeno y fósforo totales), la Figura 45 indica un quiebre o salto aguas abajo del sector de La María, en donde precisamente se reciben los aportes de aguas residuales municipales de Armenia y los vertimientos industriales más importantes. El mayor contenido de nitrógeno se encuentra en las quebradas urbanas, mientras que el fósforo presenta las más altas concentraciones en el vertimiento de Frigocafé. Nótese que los valores de nitrógeno y fósforo ya son relativamente altos en El Escobal, lo cual indica una fuerte influencia de diversas

actividades humanas, principalmente agrícolas y acuícolas, en la parte alta de la unidad hidrográfica del río. Este exceso de nutrientes se ve reflejado en la presencia masiva de algas perifíticas alrededor del sitio de bocatoma del municipio de Armenia. Nótese también el contenido significativo de nutrientes en la quebrada El Pescador, la cual recoge parte de las aguas residuales de Calarcá y de actividades agrícolas en su área de drenaje.

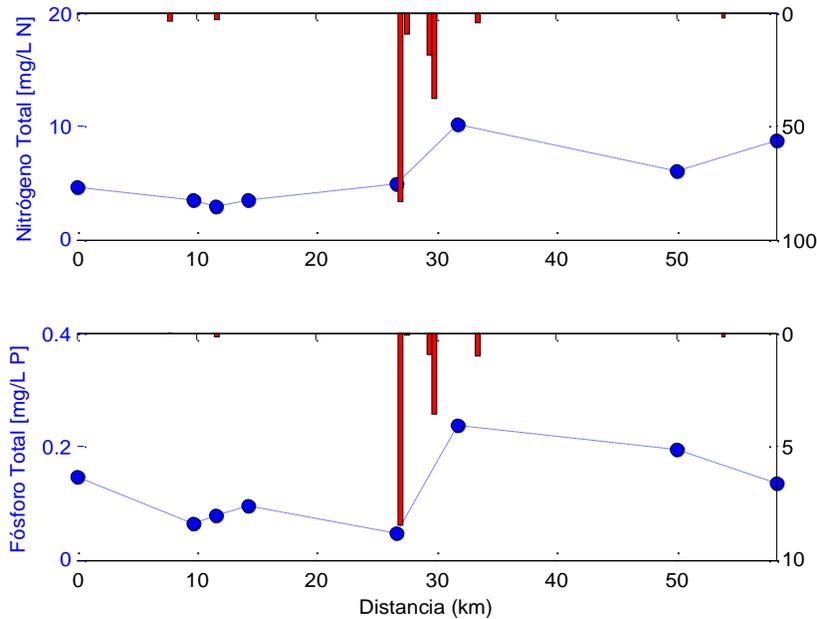


Figura 45 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: Nitrógeno Total y Fósforo Total. Campaña 1

Por otra parte, de acuerdo con la Tabla 89, se debe resaltar que todas las fuentes de agua superficial presentaron un bajo contenido de nitrógeno amoniacal (por debajo del límite de detección en laboratorio), así como bajo contenido de ortofosfatos, el cual representa el fósforo reactivo soluble que toman las algas para su crecimiento, en los puntos sobre el río Quindío hasta La María. No obstante, los ríos y quebradas medidos de la parte media y baja de la unidad hidrográfica, ya presentan un contenido más elevado de este grupo de fósforo, lo cual se puede explicar por la presión antrópica urbana y agrícola. Por otra parte, dado que se trata de ríos característicos de montaña, en todos los puntos no se detectó biomasa de algas suspendidas (fitoplancton), aunque sí de algas fijadas de fondo (perifiton); respecto a éste último, se encontró un alto contenido por metro cuadrado en el punto localizado aguas arriba de la confluencia con el río Barragán, lo cual podría responder a la acumulación de nutrientes hacia la salida de la unidad hidrográfica por las descargas domésticas, industriales y aportes difusos provenientes de actividades agrícolas (pudiendo estas últimas estar alterando la calidad del agua del flujo base, lo cual se discutirá cuando se presenten los resultados de pesticidas).

6.5.1.5 Contaminación por organismos patógenos y sólidos

En la Tabla 90 se presentan los resultados de la primera campaña de monitoreo para determinantes de la calidad del agua asociados con organismos patógenos y sólidos suspendidos y disueltos.

Nombre de estación	ID	SDT	SST	SSV	Coliformes Totales	Coliformes Termotolerantes
		mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100mL	UFC/100mL
El Escobal	RQ1	104.7	5.0	<8	6.30E+03	3.0
Bocatoma EPA	RQ2	83.2	<2	<8	1.05E+05	26.0
Aguas arriba río Navarco	RQ3	80.2	14.0	<8	2.28E+03	14.0
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	84.9	5.0	<8	3.50E+03	46.0
La María	RQ5	88.0	5.0	<8	9.80E+04	53.0
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	115.7	6.0	<8	5.12E+03	83.0
Aguas arriba río Verde	RQ7	115.8	<2	<8	2.13E+03	38.0
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	152.7	7.0	<8	1.60E+03	25.0
Tributarios y vertimientos						
Quebrada Boquía	AF1	46.5	<2	<8	1.58E+03	36.0
Río Navarco	AF2	95.3	5.0	<8	1.12E+04	83.0
Vertimiento Frigocafé	V1	4108.0	226.0	91.0	3.23E+06	<1
Vertimiento Curtiembres La María	V2	8554.0	283.0	69.0	1.68E+05	190.0
Quebrada La Florida	AF3	206.1	25.0	16.0	1.32E+05	2950.0
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	453.7	72.0	47.0	1.30E+07	3880.0
Quebrada El Pescador	AF5	127.5	7.0	<8	2.95E+03	70.0
Río Verde	AF6	136.5	6.0	<8	3.08E+03	16.0
Puntos adicionales						
Vereda Túnel de la Línea	V3	202.2	51.0	8.0	9.88E+02	15.0

Tabla 90 Organismos patógenos y sólidos medidos en la campaña 1

Los resultados de laboratorio para los Sólidos Disueltos Totales (SDT) son consistentes con el comportamiento observado para la conductividad. El Escobal presenta un contenido relativamente elevado de sustancias disueltas en relación con el resto de puntos en la parte alta de la unidad hidrográfica del río Quindío, lo cual tiene una relación directa con la alcalinidad y con la dureza total que también son más altos en El Escobal que en otros puntos sobre la parte alta del río Quindío. En este punto es válido recordar que la dureza es una medida indirecta de la presencia de calcio y magnesio y que la alcalinidad corresponde a una medida indirecta del contenido de carbonatos y bicarbonatos en el agua, iones que aportan a la conductividad y a los SDT. La fuente de estos iones puede explicarse principalmente por la influencia de la geología en la parte alta de la corriente objeto de ordenamiento. Los mayores contenidos de SDT en la parte media y baja del río Quindío y en las quebradas La Florida, El cafetero, El Pescador y el río Verde, están relacionados con la

influencia de actividades antrópicas en la unidad hidrográfica (domésticas, industriales y agropecuarias, principalmente).

Por otra parte, nótese que, de manera consecuente con lo encontrado para la materia orgánica carbonácea, los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) están por debajo del límite de detección en laboratorio en todas las fuentes de aguas superficiales, con excepción de las quebradas urbanas La Florida y El Cafetero. Los SSV son una medida, en términos de peso seco, del contenido de materia orgánica particulada (detritos) que, en equivalentes de oxígeno, aporta a la DBO total.

Con respecto a los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los Coliformes Totales, la Figura 46 representa los principales cambios de estos determinantes a lo largo del río Quindío. El salto de SST alrededor de los 12 km se explica por la influencia de las actividades de explotación de material de arrastre aguas arriba de la confluencia del río Navarco. A excepción de este punto, el río Quindío mantiene una baja concentración de sólidos en época de aguas bajas. En este sentido, no se presentaría conflictos por uso en relación con los SST.

En relación con los Coliformes Totales, todo los puntos medidos sobre el río, incluyendo El Escobal, presentan concentraciones superiores a 1000 NMP/100mL, lo cual limita el uso del recurso para riego agrícola sin restricciones, el consumo humano con solo desinfección y el uso recreativo con contacto primario (de acuerdo con el decreto 1594 de 1984). Lo anterior, a pesar de que las condiciones medidas no son necesariamente las más críticas dadas las bajas profundidades y las mayores temperaturas que favorecen la muerte por radiación solar y la remoción por adsorción de los organismos patógenos. No obstante, es necesario indicar que no necesariamente la presencia de Coliformes Totales implica, en su totalidad, aportes por contaminación fecal, sino que también corresponde a microorganismos que se presentan de forma natural en el agua.

Para esto último, los Coliformes Termotolerantes son un mejor indicador (aunque algunos microorganismos que agrupa también se presentan de forma natural, está asociado principalmente con *Escherichia Coli*). De acuerdo con la misma figura, nótese que el contenido de C. Termotolerantes en la cabecera del río Quindío es muy bajo (3 UFC/100mL) y, a medida que se avanza longitudinalmente en la dirección de la corriente, hay un aumento prácticamente constante hasta la parte media de la unidad hidrográfica, en donde se alcanza un máximo (justo en la zona de mayores aportes por parte de la ciudad de Armenia a través de sus quebradas urbanas), que luego progresivamente disminuye dada la capacidad asimilativa de la corriente. Es importante resaltar que los cuerpos de agua superficial, diferentes a las quebradas urbanas de la ciudad de Armenia, que presentan el mayor contenido de Coliformes Termotolerantes, son el río Navarco (que recibe la descarga de Salento) y la quebrada El Pescador (que recibe parte de la descarga de Calarcá). Las concentraciones en ambas fuentes son similares a las del río Quindío aguas arriba de la quebrada el Pescador, justo después de recibir los aportes de la ciudad de Armenia. En este orden de ideas, los Coliformes Termotolerantes son un indicador claro de la contaminación por aguas residuales domésticas en el río Quindío y sus tributarios principales. También se debe resaltar que el río

Verde, pese a que recibe parte de las aguas residuales domésticas de Calarcá a través de la quebrada Santo Domingo (que a su vez las recibe de la quebrada El Naranjal) y del municipio de Córdoba, tiene una capacidad de autodepuración que favorece una baja concentración de estos organismos a la salida de su unidad hidrográfica, hecho que también se refleja en el río Quindío mismo, que antes de la confluencia con el río Barragán, presenta valores del mismo orden de magnitud que la salida del río Verde.

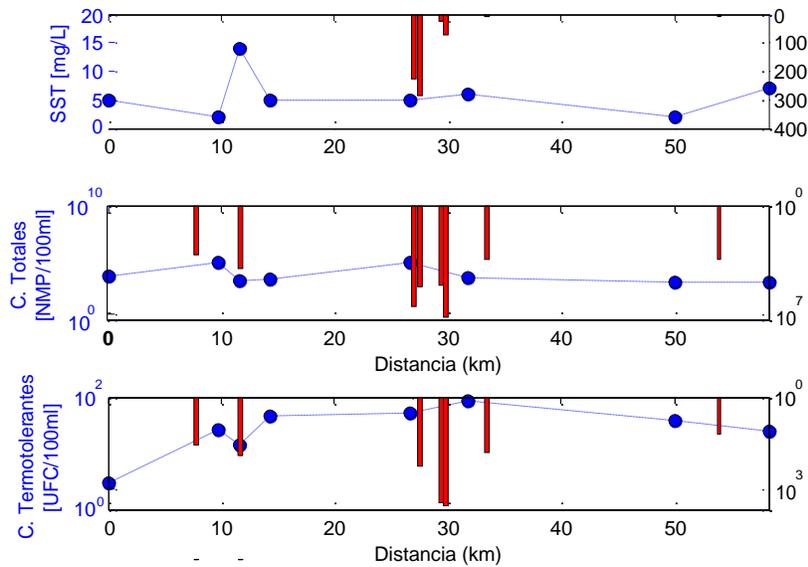


Figura 46 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: SST y Coliformes Totales. Campaña 1

6.5.1.6 Pesticidas, iones y otras sustancias

En la Tabla 91 se reportan los resultados de laboratorio de la primera campaña de medición, con respecto a pesticidas, iones y otras sustancias de interés. Algunas de ellas no se midieron en todos los puntos de la red de monitoreo, sino en sitios específicos de interés por el tipo de actividades asociadas al cuerpo de agua o vertimiento.

Nombre de estación	ID	Organofosforados	Organoclorados	Cloruros
		mg/L	mg/L	mg/L Cl ⁻
El Escobal	RQ1	<0.00002	0.651	6.3
Bocatoma EPA	RQ2			
Aguas arriba río Navarco	RQ3			
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	<0.00002	<0.00005	2.9
La María	RQ5			3.7
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6			
Aguas arriba río Verde	RQ7			

Nombre de estación	ID	Organofosforados	Organoclorados	Cloruros
		mg/L	mg/L	mg/L Cl ⁻
Aguas arriba Confluencia Río Barragán	RQ8	<0.00002	<0.00005	12.9
Tributarios y vertimientos				
Quebrada Boquía	AF1			
Río Navarco	AF2	<0.00002	<0.00005	
Vertimiento Frigocafé	V1			
Vertimiento Curtiembres La María	V2			4011.5
Quebrada La Florida	AF3			19.4
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4			55.6
Quebrada El Pescador	AF5	<0.00002	0.085	13.0
Río Verde	AF6	<0.00002	<0.00005	
Puntos adicionales				
Vereda Túnel de la Línea	V3			

Nombre de estación	ID	SAAM	Grasas y Aceites	Sulfatos	Sulfuros	Fenoles Totales	Cianuro Total
		mg/L	mg/L	mg/L SO ₄ ⁻²	mg/L S ⁻²	mg/L	mg/L
El Escobal	RQ1	<0.15	<0.67	22.6	<1.5	<0.002	<0.1
Bocatoma EPA	RQ2	<0.15	<0.67			<0.002	
Aguas arriba río Navarco	RQ3	<0.15	<0.67			<0.002	
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	<0.15	<0.67	16.0	<1.5	<0.002	<0.1
La María	RQ5	<0.15	<0.67	17.0	<1.5	<0.002	
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	<0.15	<0.67			<0.002	
Aguas arriba río Verde	RQ7	<0.15	<0.67			<0.002	
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	<0.15	<0.67	14.3	<1.5	<0.002	<0.1
Tributarios y vertimientos							
Quebrada Boquía	AF1	<0.15	<0.67			<0.002	
Río Navarco	AF2	<0.15	<0.67			<0.002	
Vertimiento Frigocafé	V1	<0.15	13.2			0.0063	
Vertimiento Curtiembres La María	V2	<0.15	<0.67	60.2	11.9	<0.002	<0.1
Quebrada La Florida	AF3	<0.15	0.75	29.1	<1.5	<0.002	<0.1
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	<0.15	4.68	5.0	2.7	0.0830	<0.1
Quebrada El Pescador	AF5	<0.15	<0.67	25.0	<1.5	<0.002	<0.1
Río Verde	AF6	<0.15	<0.67			<0.002	
Puntos adicionales							
Vereda Túnel de la Línea	V3	<0.15	<0.67				

Tabla 91 Pesticidas, iones y otras sustancias. Campaña 1

En relación con los pesticidas, el único grupo detectable en algún punto del cuerpo de agua fueron los organoclorados, presentes en El Escobal y en la quebrada El Pescador, indicando posiblemente una influencia importante de las actividades agrícolas desde la parte alta del río Quindío y, especialmente, sobre el flujo base del río (correspondiente a aportes por agua subterránea o flujo subsuperficial), dado que la medición fue realizada en tiempo seco. Nótese que

el valor encontrado de organoclorados en la cabecera del río Quindío y en la quebrada El Pescador es consistente con un valor relativamente elevado de cloruros y sulfatos. Entre las fuentes de cloruros en un cuerpo de agua se cuentan los fertilizantes que contienen cloruro de potasio; de manera similar, algunos sulfatos tienen su origen también en el uso de fertilizantes y pesticidas. Nótese que éstos aumentan a lo largo del río principal, lo cual también es concordante con el aumento de la conductividad y los SDT. Debe resaltarse el alto contenido de los mismos en el vertimiento de las Curtiembres y, aunque no fue medido, también se espera un valor elevado en las aguas residuales de Frigocafé. Para los sulfatos, no se descarta la influencia de la geología de la unidad hidrográfica. Ninguno de los niveles detectados de cloruros y sulfatos en los cuerpos de agua, representan un peligro para la salud pública.

Con respecto a las otras sustancias reportadas, nótese que las SAAM, los sulfuros, los fenoles totales y las grasas y aceites se encuentran todos por debajo del límite de detección en los cuerpos de agua superficial, con excepción de los fenoles, sulfuros y grasas y aceites en las quebradas urbanas. No se reportaron cianuros totales en la columna de agua por encima del límite de detección.

6.5.1.7 Contenido de metales y metaloides

Los metales y metaloides medidos en la campaña 1 fueron Arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo Total (Cr), Cromo Hexavalente (Cr⁺⁶), Hierro Total (Fe), Manganeso (Mn), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Selenio (Se) y Zinc (Zn). Aquellos que presentaron valores por encima del límite de detección en alguno de los puntos medidos, se presentan en la Tabla 92. De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, aún vigente por el artículo 76 del Decreto 3930 de 2010, los valores medidos en todos los cuerpos de agua superficial no presentan conflicto alguno para la destinación del recurso hídrico.

Nombre de estación	ID	As	Fe Total	Se	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
El Escobal	RQ1	0.00037	0.195	<0.00017	<0.014
Bocatoma EPA	RQ2				
Aguas arriba río Navarco	RQ3				
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	0.00043	0.301	0.00019	<0.014
La María	RQ5	0.00036	0.190	0.00015	<0.014
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6				
Aguas arriba río Verde	RQ7				
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	0.00039	0.221	0.00021	<0.014
Tributarios y vertimientos					
Quebrada Boquía	AF1				
Río Navarco	AF2				
Vertimiento Frigocafé	V1				
Vertimiento Curtiembres La María	V2	0.00036	0.256	0.00019	<0.014
Quebrada La Florida	AF3	0.00039	0.970	0.00021	0.0250

Nombre de estación	ID	As	Fe Total	Se	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	0.00041	1.170	0.00023	0.0520
Quebrada El Pescador	AF5	0.00045	0.354	0.00022	<0.014
Río Verde	AF6				
Puntos adicionales					
Vereda Túnel de la Línea	V3				

Tabla 92 Metales y metaloides detectados en la red de drenaje durante la campaña 1

6.5.1.8 Aforos de caudal líquido

Simultáneamente con la toma de muestras, en la campaña 1 se hizo la medición de caudal con correntómetro en todos los puntos de monitoreo y en unas secciones adicionales correspondientes a las captaciones y retornos de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) y la captación de La Tebaida. En la Tabla 93 se presenta el resumen de los aforos realizados en cada uno de los sitios mencionados sobre el río Quindío. Dicha tabla incluye el área mojada (A), el perímetro mojado (P), el radio hidráulico (Rh), la profundidad máxima en la sección (Y), el ancho superficial (B), la profundidad media ($H=A/B$), la velocidad media (U), la velocidad máxima medida (u_{max}) y el caudal aforado. Los caudales medidos en los tributarios y vertimientos están reportados en la Tabla 86. En la Figura 47 se presentan las secciones de aforo obtenidas en cada sitio sobre el río Quindío.

ID	Sección	Abscisa (km)	Altitud (m)	Propiedades geométricas						Resultados de aforo		
				A (m ²)	P (m)	Rh (m)	Y (m)	B (m)	H (m)	U (m/s)	u_{max} (m/s)	Q (m ³ /s)
Q1	Escobal	0.00	2028	1.92	7.70	0.25	0.40	7.50	0.26	0.75	1.89	1.44
Q2	Bocatomá EPA	9.78	1705	4.71	27.61	0.17	0.22	27.45	0.17	0.82	1.22	3.85
Q3	Aguas arriba Río Navarco	11.65	1652	1.92	4.68	0.41	0.90	4.00	0.48	0.53	0.75	1.02
Q4	Aguas arriba Quebrada El Cusumbo	14.34	1599	6.98	11.69	0.60	1.00	11.20	0.62	0.40	0.55	2.78
E1	Retorno PCH El Campestre	23.71	1445	6.54	21.06	0.31	0.45	21.00	0.31	0.42	0.62	2.75
E2	Captación PCH Bayona	23.80	1444	7.10	23.90	0.30	0.50	23.80	0.30	0.44	0.62	3.14
E3	Captación Tebaida	26.45	1421	5.67	13.91	0.41	1.00	13.00	0.44	0.52	1.02	2.92
E4	Retorno PCH Bayona	26.47	1421	6.28	11.37	0.55	1.80	9.00	0.70	0.41	0.68	2.58
E5	Captación PCH La Unión	26.49	1421	11.66	17.97	0.65	2.21	15.84	0.74	0.20	0.36	2.33
Q5	La María	26.66	1420	5.19	23.08	0.22	0.34	23.00	0.23	0.31	0.60	1.63
E6	Retorno PCH La Unión	30.36	1340	6.12	18.78	0.33	0.50	18.60	0.33	0.54	0.83	3.29
E7	Captación PCH El Bosque	31.81	1339	16.64	22.51	0.74	1.50	20.80	0.80	0.24	0.33	3.95
Q6	Aguas arriba Quebrada El Pescador	32.81	1328	4.25	12.44	0.34	0.67	12.30	0.35	0.64	1.27	2.70

ID	Sección	Abscisa (km)	Altitud (m)	Propiedades geométricas						Resultados de aforo		
				A (m ²)	P (m)	Rh (m)	Y (m)	B (m)	H (m)	U (m/s)	u _{max} (m/s)	Q (m ³ /s)
E8	Retorno PCH El Bosque	40.70	1221	13.97	17.32	0.81	1.50	16.00	0.87	0.18	0.25	2.51
Q7	Aguas arriba Río Verde	53.79	1077	9.81	30.85	0.32	0.75	30.70	0.32	0.43	0.88	4.24
Q8	Aguas arriba Confluencia Río Barragán	58.26	1056	17.19	34.88	0.49	0.81	34.77	0.49	0.51	0.74	8.83

Tabla 93 Resumen de resultados de aforo en el río Quindío. Campaña 1

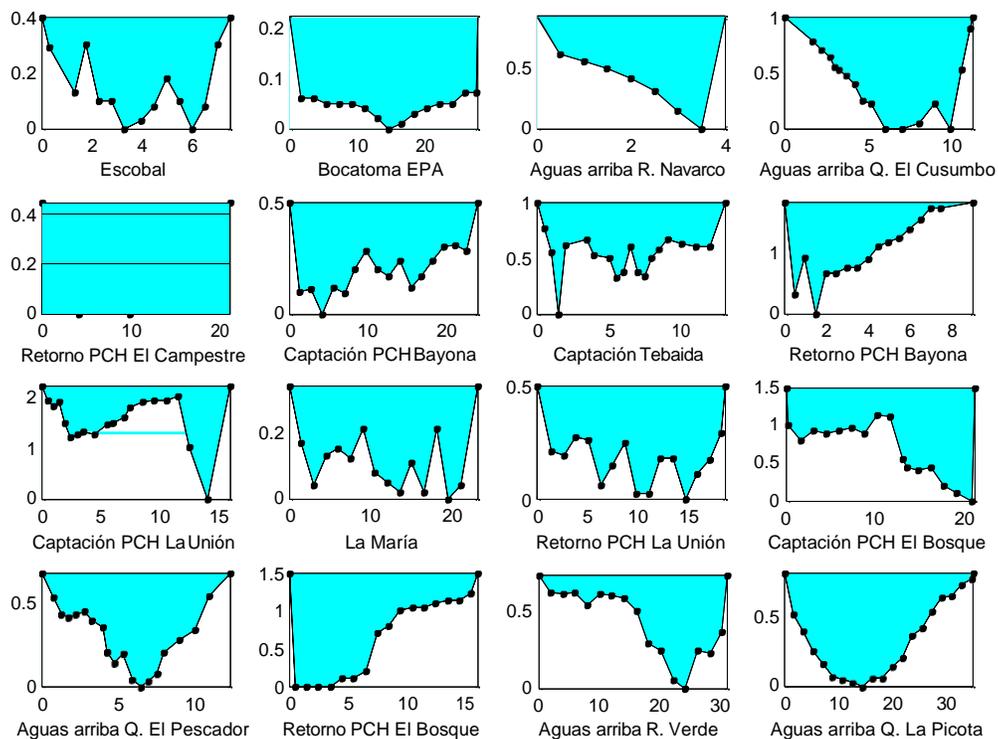


Figura 47 Secciones de aforo sobre el río Quindío obtenidas durante la campaña 1. Los valores sobre los ejes están en metros lineales.

6.5.1.9 Comparación de cargas contaminantes

En esta sección se comparan las cargas aportadas por los afluentes naturales y vertimientos directos al río Quindío durante la campaña 1. Es importante anotar que, durante esta campaña, los caudales medidos en los dos vertimientos industriales de Frigocafé y Curtiembres La María, presentaron valores muy bajos. No obstante, en una sección posterior se presentan los resultados para los dos vertimientos a partir de un muestreo compuesto de 24 horas.

En la Figura 48 se muestran gráficamente las cargas contaminantes aportadas por los tributarios principales y vertimientos directos medidos en el río Quindío. El cálculo de las cargas cuando el valor de concentración medido está por debajo del límite de detección, se hace a partir de la concentración límite en laboratorio.

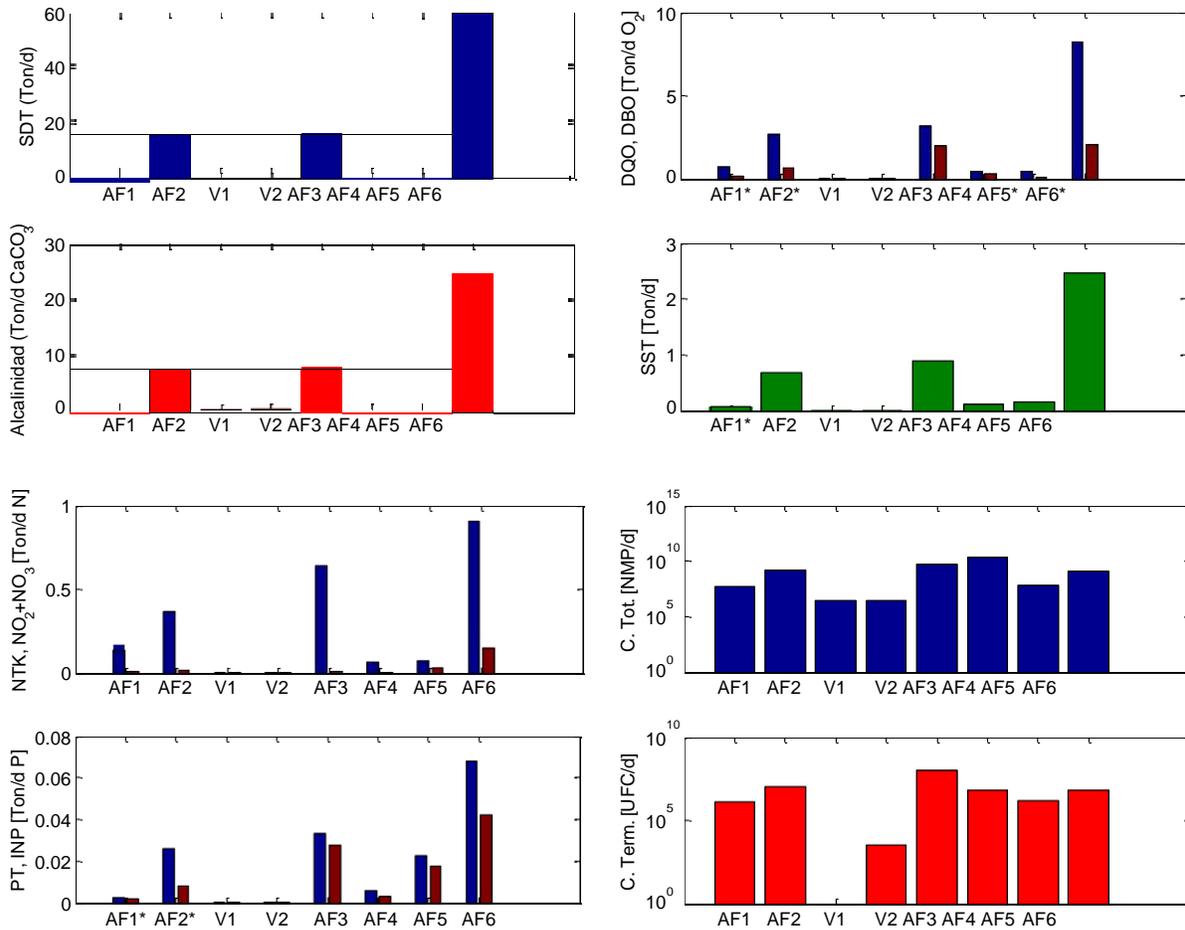


Figura 48 Comparación de cargas contaminantes para los principales determinantes medidos en los afluentes y vertimientos directos del río Quindío. Campaña 1. El asterisco junto al código del tributario (AF) indica que la concentración está por debajo del límite de detección.

De acuerdo con la Figura 48, en términos generales, los mayores aportes de carga corresponden al río Verde, teniendo en cuenta que descarga un poco más del mismo caudal que el río Quindío a la altura de su confluencia. Es importante resaltar que el río Verde recoge las aguas residuales del municipio de Córdoba, recibe la presión de actividades agropecuarias y, a través del río Santo Domingo, recibe parte de los aportes de aguas residuales provenientes del municipio de Calarcá. En relación con el aporte de nutrientes, aparte del río Verde, el río Navarco (que recibe las descargas de Salento), y las quebradas La Florida (que recibe parte de las descargas de la ciudad de Armenia) y El Pescador (que recibe parte de las descargas del municipio de Calarcá), son los mayores aportantes. Lo anterior deja en evidencia el efecto de las descargas de las aguas residuales domésticas sobre los cuerpos de agua naturales y también puede indicar cierta incidencia de las actividades agropecuarias sobre la calidad de las aguas subsuperficiales que alimentan el flujo base de las corrientes de agua.

Por otra parte, nótese que los aportes de contaminación por organismos patógenos son preocupantes en todos los afluentes naturales monitoreados y, pese al despreciable caudal medido en los vertimientos de Frigocafé y Curtiembre La María, es necesario hacer un mayor control de dichos organismos mediante mecanismos de desinfección en los sistemas de tratamiento correspondientes.

De proponerse un control específico orientado a la implementación de mecanismos de desarrollo limpio y de mejores prácticas disponibles en el sector agropecuario, es menester dar prioridad a los río Navarco-Boquerón, la quebrada El Pescador y el río Verde, en conjunto con la separación y tratamiento de las aguas residuales municipales aportadas a las quebradas La Florida, El cafetero y El Pescador.

6.5.2 Campaña 2 – Condiciones de tiempo húmedo

De manera similar a como se hizo para la campaña 1, a continuación se describen, aunque de manera más general, los principales perfiles longitudinales de calidad del agua obtenidos durante la campaña 2, la cual fue llevada a cabo en condiciones características de época de altas precipitaciones. En la sección 0, en donde se presentan los análisis de conflictos usos-calidad, se profundiza en el análisis comparativo entre las dos campañas para los resultados obtenidos en campo y laboratorio. Es importante indicar que en época de aguas altas, los aportes de carga por escorrentía superficial son mucho más importantes.

6.5.2.1 Características fisicoquímicas medidas in situ

En la Tabla 94 se presentan los resultados de monitoreo de los determinantes medidos *in situ* durante la segunda campaña.

Nombre de estación	ID	Caudal	Temperatura	Cond.	pH	OD
		m ³ /s	°C	µS/cm	Und.	mg/L O ₂
El Escobal	RQ1	3.17	12.6	90.0	5.79	9.40
Bocatoma EPA	RQ2	6.53	15.9	58.4	6.66	8.60
Aguas arriba río Navarco	RQ3	7.78	17	59.3	5.37	8.00
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	11.88	16.1	76.4	5.43	5.50
La María	RQ5	12.57	24.6	90.4	5.57	6.80
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	14.79	21.4	121.0	6.52	6.70
Aguas arriba río Verde	RQ7	19.87	25.1	110.8	7.22	6.50
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	49.35	26.9	135.4	6.34	6.50
Tributarios y vertimientos						
Quebrada Boquía	AF1	1.80	16.3	32.3	7.07	8.50
Río Navarco	AF2	6.30	17	103.8	5.53	8.20
Vertimiento Frigocafé	V1	1.0.E-03	24.9	1587.0	7.47	0.10
Vertimiento Curtiembres La María	V2	2.3.E-03	24.5	18590.0	8.37	0.10
Quebrada La Florida	AF3	0.45	24.2	174.4	6.82	1.80

Nombre de estación	ID	Caudal	Temperatura	Cond.	pH	OD
		m ³ /s	°C	μS/cm	Und.	mg/L O ₂
Quebrada El cafetero (San Nicolás)	AF4	0.08	22.5	690.0	6.75	4.00
Quebrada El Pescador	AF5	0.67	23.7	151.0	6.06	7.80
Río Verde	AF6	13.82	25.1	162.6	7.83	6.50
Puntos adicionales						
Vereda Túnel de la Línea	V3	0.2757	17.4	248.0	6.38	7.90

Tabla 94 Determinantes medidos in situ en la campaña 2

En la Figura 49 se presentan los perfiles longitudinales de caudal, temperatura y conductividad, determinados a partir de los datos tomados en campo. Como las condiciones hidrológicas asociadas a la segunda campaña de monitoreo corresponden a tiempo húmedo, los valores de caudal sobre el río Quindío y sus tributarios principales tienen valores relativamente altos entre 3.2 m³/s y 49.4 m³/s en El Escobal (RQ1, Cabecera) y aguas arriba de la confluencia con el río Barragán (RQ8, próximo a la desembocadura), respectivamente. De acuerdo con lo anterior, se puede inferir que los caudales característicos en el río Quindío en época húmeda son del orden de 3 a 6 veces más grandes que los encontrados en época de bajas precipitaciones. Al igual que para la campaña 1, es importante resaltar que el caudal aportado por el río Verde es casi el mismo que el conducido por el río Quindío a la altura de su confluencia; esto pese a que el área de drenaje de la unidad hidrográfica del río Verde es menor a la del río Quindío aguas arriba de la llegada de este tributario. Por otra parte, nótese que la disminución de caudal aguas abajo del sitio de la bocatoma de la Empresa de Servicios Públicos de Armenia (tercer punto de izquierda a derecha) no es evidente en el perfil de caudales, dado el rendimiento hídrico de la unidad hidrográfica en época húmeda, lo cual muestra que en una distancia inferior a los 2 km, el río ya ha recuperado el caudal abstraído en el sitio de captación. A lo anterior, se suma el aporte significativo del río Navarco, que es el segundo tributario más importante del río Quindío, en términos de cantidad de agua. Por otra parte, nótese que el aumento de caudal entre aguas arriba la quebrada El Cusumbo y La María no es significativo, lo cual es consistente con las abstracciones de caudal de la bocatoma La Tebaida y la PCH La Unión.

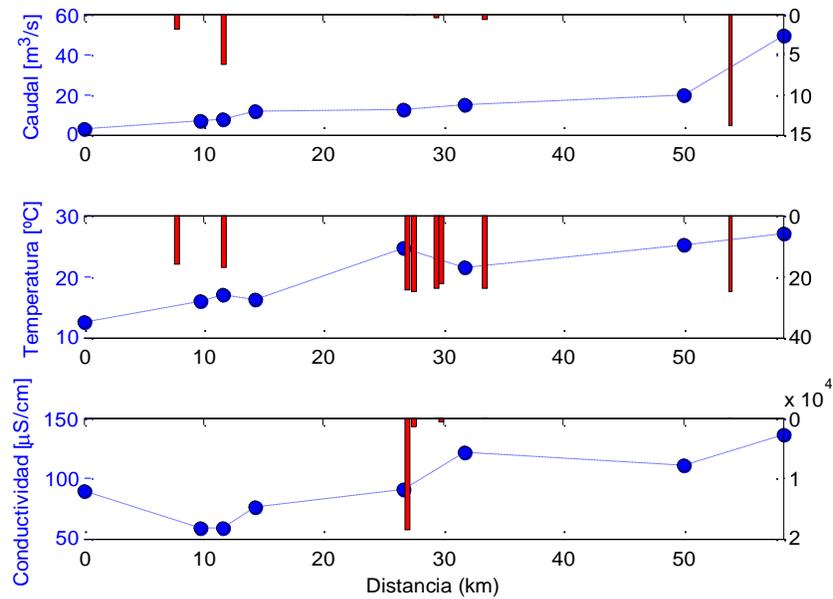


Figura 49 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: Caudal, Temperatura y Conductividad. Campaña 2. La línea azul discontinua representa los valores medidos sobre el río Quindío los cuales se leen en el eje vertical izquierdo. Las barras rojas representan los valores medidos sobre los tributarios y vertimientos principales los cuales se leen en el eje vertical (invertido) derecho

En relación con la temperatura, el río Quindío registra 10°C en su cabecera en el Escobal (menor a la registrada en la campaña 1 en el mismo punto, lo cual es consistente con la condición hidrológica que está asociada a temperaturas ambiente más bajas durante el día) y cerca de 27°C aguas arriba de la confluencia con el río Barragán, lo cual indica un aumento progresivo que es conforme con la disminución de la altitud. El comportamiento de la conductividad es similar al observado para la campaña 1, en donde persiste el efecto de dilución en los primeros 10 km, el aumento progresivo de sustancias disueltas a lo largo del recorrido de las aguas del río Quindío, lo cual se debe a los aportes naturales y antrópicos existentes, y el quiebre observado hacia el kilómetro 32 por el aumento significativo de aportes de aguas residuales domésticas e industriales en dicho sector. No obstante, nótese que la conductividad en el río es inferior a la registrada en la campaña 1 (entre 90 y 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo cual se debe directamente al efecto de mayor dilución que ocurre en época húmeda. La mayor conductividad se encontró, de nuevo y sin sorpresa, en el vertimiento de las Curtiembres La María (18590 $\mu\text{S}/\text{cm}$). También es importante anotar que, al igual que lo observado en la campaña 1, la conductividad en el río Verde es mayor que la medida en el río Quindío a la altura de su confluencia. Lo anterior indica que, en términos acumulativos, ambas fuentes de agua conducen prácticamente la misma carga de sales disueltas. Este aspecto es interesante, en el sentido de que se puede evidenciar que los efectos acumulativos de aportes difusos de carga provenientes de actividades principalmente agropecuarias en la unidad hidrográfica del río Verde equiparan los aportes puntuales de carga provenientes principalmente

de actividades domésticas e industriales en la unidad hidrográfica del río Quindío antes del ingreso del río Verde.

6.5.2.2 Capacidad buffer y dureza

En la Tabla 95 se reportan los valores medidos de alcalinidad, pH y dureza medidos en la segunda campaña de monitoreo sobre el río Quindío.

Nombre de estación	ID	Alcalinidad	pH	Dureza Total	Dureza Cálctica
		mg/L CaCO ₃	Und.	mg/L CaCO ₃	mg/L CaCO ₃
El Escobal	RQ1	28.18	5.79	32.08	28.1
Bocatoma EPA	RQ2	18.28	6.66	19.5	16.3
Aguas arriba río Navarco	RQ3	18.28	5.37	20.99	9.5
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	24.24	5.43	23.36	17.4
La María	RQ5	14.04	5.57	29.7	15.1
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	29.10	6.52	34.85	16.8
Aguas arriba río Verde	RQ7	30.20	7.22	36.83	21.8
Aguas arriba Confluencia Río Barragán	RQ8	34.85	6.34	38.41	20.6
Tributarios y vertimientos					
Quebrada Boquía	AF1	12.32	7.07	8.61	6.8
Río Navarco	AF2	30.70	5.53	34.45	21.0
Vertimiento Frigocafé	V1	630.24	7.47	145.53	121.8
Vertimiento Curtiembres La María	V2	2885.23	8.37	581.13	276.2
Quebrada La Florida	AF3	50.50	6.82	27.32	17.8
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	186.45	6.75	47.12	36.4
Quebrada El Pescador	AF5	28.89	6.06	27.32	16.2
Río Verde	AF6	49.14	7.83	51.88	35.2
Puntos adicionales					
Vereda Túnel de la Línea	V3	86.46	6.38	94.64	62.2

Tabla 95 Alcalinidad, pH y Dureza medidos en la campaña 2

Todos los valores registrados en la tabla anterior son menores a sus pares medidos en la campaña 1, lo cual se debe al efecto de dilución por el mayor aporte superficial y subsuperficial de agua en época húmeda. Prácticamente, todas las aguas superficiales naturales, incluyendo las urbanas, clasifican como de baja dureza (<50 mg/L CaCO₃).

En la Figura 50 se muestran los perfiles de pH y Alcalinidad Total medidos en la segunda campaña sobre el río Quindío. Aunque no se reportaron valores tan bajos de pH como en la campaña 1, si hay una disminución importante en este determinante entre aguas arriba del río Navarco y el sector de La María (valores medidos del orden de 5.5 unidades), lo cual concuerda con la disminución de la alcalinidad en el mismo sector. Esto se podría explicar por aportes provenientes de actividades mineras y a la propia geología del sector. El aumento de la alcalinidad

aguas abajo del sector de La María se puede explicar, en parte, por el aporte de los vertimientos de las curtiembres y la planta de beneficio.

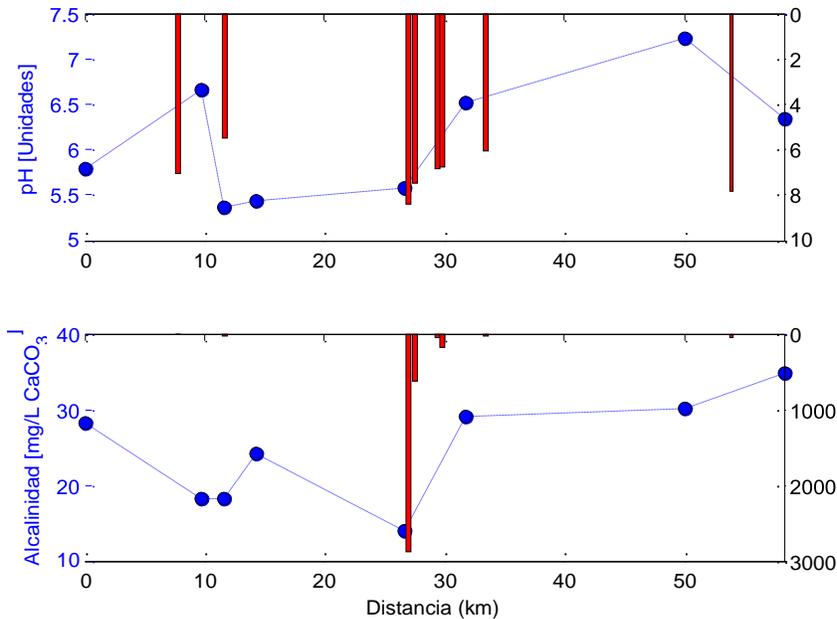


Figura 50 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: pH y Alcalinidad. Campaña 2

6.5.2.3 Contaminación por materia orgánica carbonácea

En la Tabla 96 se presentan los valores medidos de oxígeno disuelto y materia orgánica carbonácea en equivalentes de oxígeno, durante la segunda campaña de monitoreo en el río Quindío, y en la Figura 51 se presentan los perfiles longitudinales de oxígeno disuelto y DBO₅.

Nombre de estación	ID	OD	DBO ₅	DBO ₅ Soluble	DQO	DQO Soluble
		mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂
El Escobal	RQ1	9.4	<5	<5	<20	<20
Bocatoma EPA	RQ2	8.6	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba río Navarco	RQ3	8.0	<5	<5	<20	<20
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	5.5	<5	<5	<20	<20
La María	RQ5	6.8	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	6.7	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba río Verde	RQ7	6.5	<5	<5	<20	<20
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	6.5	<5	<5	<20	<20
Tributarios y vertimientos						
Quebrada Boquía	AF1	8.5	61.0	34.0	102.0	57.0
Río Navarco	AF2	8.2	<5	<5	<20	<20
Vertimiento Frigocafé	V1	0.1	332.0	135.0	553.0	222.0

Nombre de estación	ID	OD	DBO ₅	DBO ₅ Soluble	DQO	DQO Soluble
		mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L O ₂
Vertimiento Curtiembres La María	V2	0.1	1610.0	1130.0	2650.0	1860.0
Quebrada La Florida	AF3	1.8	51.0	<5	85.0	42.0
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	4.0	160.0	86.0	266.0	144.0
Quebrada El Pescador	AF5	7.8	<5	<5	<20	<20
Río Verde	AF6	6.5	<5	<5	<20	<20
Puntos adicionales						
Vereda Túnel de la Línea	V3	7.9	<5	<5	<20	<20

Tabla 96 Oxígeno disuelto, DBO₅ y DQO medidos en la campaña 2

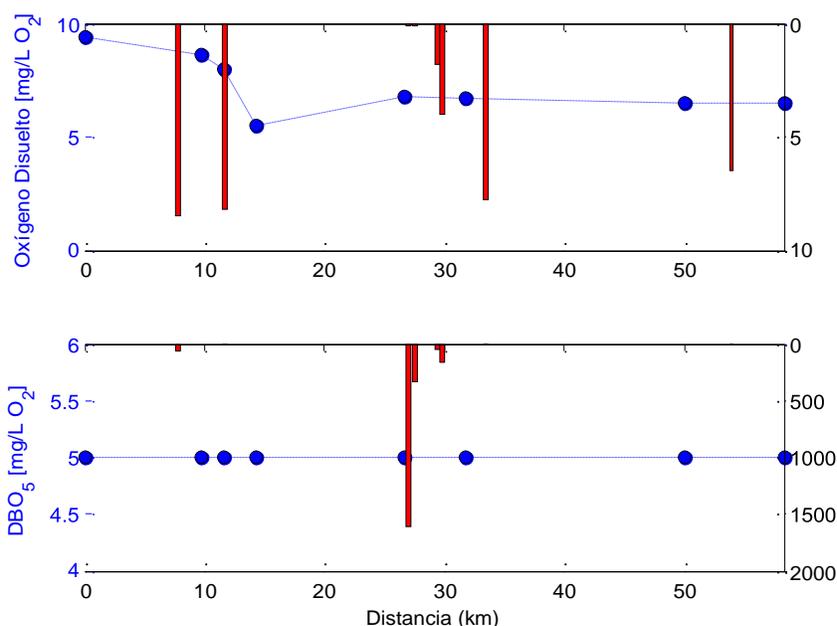


Figura 51 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: Oxígeno disuelto y DBO₅. Campaña 2

Como era de esperarse por los resultados encontrados en la primera campaña, en época de aguas altas no se detectaron niveles de DBO₅ y DQO en el río Quindío por encima del límite de detección en laboratorio. No obstante, si es llamativo que la concentración en la quebrada Boquía pasó de <5 mg/L de DBO₅ y de <20 mg/L de DQO a 61 mg/L de DBO₅ y 102 mg/L de DQO, siendo aproximadamente la mitad el contenido de materia orgánica carbonácea particulada (de acuerdo con los resultados de las fracciones solubles de DBO y DQO). Este aumento puede deberse a un aporte de aguas residuales no detectado el mismo día de la campaña 1 o a un aporte importante de materia orgánica proveniente del lavado de la unidad hidrográfica del río Quindío (arrastre de detritos, entre otros). El contenido de DBO₅ y DQO presentes en las quebradas urbanas de la ciudad de Armenia que drenan al río Quindío y de los vertimientos industriales presentan niveles similares de concentración a los encontrados en la campaña 1, aunque hay un aumento significativo de concentración en el vertimiento de las curtiembres, teniendo en cuenta que hay un mayor caudal

(en la campaña 1, los vertimientos prácticamente no estaban operando). Se debe resaltar que aproximadamente la mitad del material orgánico carbonáceo presente en los vertimientos es particulado, y los valores de DQO en relación con la DBO₅, son del orden de 1.6 veces mayores (consistentes con las mediciones de la campaña 1) lo cual corresponde a aguas residuales con alto contenido de material orgánico fresco que han recibido un tratamiento primario (ver Chapra, 1997, pp 357).

En cuanto al contenido de oxígeno disuelto, los valores registrados en el sector correspondiente a la parte alta del río indican valores muy cercanos o que exceden el oxígeno de saturación, lo cual se explica por la alta turbulencia propia del régimen torrencial característico de ríos de montaña como el río Quindío. Nótese que pareciera formarse una bolsa de oxígeno aguas abajo del aporte de la quebrada Boquía y el río Navarco con un valor mínimo de 5mg/L el cual, en principio, no representa un nivel peligroso de contenido de oxígeno para la manutención de comunidades ícticas presentes en la corriente. Los niveles encontrados hacia el final de la corriente se mantienen cerca del oxígeno de saturación, lo cual evidencia la excelente capacidad de asimilación del cuerpo receptor, lo cual es favorecido por las características geomorfológicas de la corriente.

6.5.2.4 Contaminación por nutrientes

En la Tabla 97 se presentan los resultados de laboratorio para los nutrientes y biomasa de algas medidos durante la campaña 2 en el río Quindío.

Nombre de estación	ID	NTK	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NT	INP	P Total	Fitoplancton	Perifiton
		mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L NO ₃	mg/L NO ₂	mg/L N	mg/L PO ₄ -P	mg/L P	µg/L Chl-a	g/m ² PS
El Escobal	RQ1	<4	<1	1.7	0.013	<4.4	<0.062	<0.15	<0.12	4.67
Bocatoma EPA	RQ2	<4	<1	1.1	<0.003	<4.3	<0.062	<0.15	<0.12	36.38
Aguas arriba río Navarco	RQ3	<4	<1	1.1	0.005	<4.3	<0.062	<0.15	<0.12	21.36
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	<4	<1	1.1	0.014	<4.3	<0.062	<0.15	<0.12	28.20
La María	RQ5	<4	<1	4.2	0.0138	<4.9	<0.062	<0.15	<0.12	5.18
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	<4	<1	1.6	0.2015	<4.4	<0.062	<0.15	<0.12	5.24
Aguas arriba río Verde	RQ7	<4	<1	1.9	0.0120	<4.4	<0.062	<0.15	<0.12	19.88
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	<4	<1	1.3	0.0137	<4.3	0.066	<0.15	<0.12	4.67
Tributarios y vertimientos										
Quebrada Boquía	AF1	<4	<1	0.8	0.0	4.2	0.186	-	<0.12	4.03
Río Navarco	AF2	<4	<1	1.3	0.0	4.3	<0.062	<0.15	<0.12	24.36
Vertimiento Frigocafé	V1	147.3	35.3	7.1	<0.003	148.9	0.788	-	<0.12	-
Vertimiento Curtiembres La María	V2	451.6	338.0	>15.0	0.0037	455.0	1.640	-	<0.12	-
Quebrada La Florida	AF3	<4	<1	1.9	0.0047	4.4	0.198	-	<0.12	21.04
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	29.1	2.4	3.8	0.0037	30.0	0.498	-	<0.12	16.43
Quebrada El Pescador	AF5	<4	<1	2.2	0.7	4.7	0.303	-	<0.12	10.74
Río Verde	AF6	<4	<1	0.8	0.0190	4.2	<0.062	<0.15	<0.12	37.85
Puntos adicionales										
Vereda Túnel de la Línea	V3	<4	<1	0.3	0.0	4.1	0.074	<0.15	<0.12	20.91

Tabla 97 Nutrientes y biomasa de algas medidos en la campaña 2

Los resultados obtenidos para la segunda campaña permiten concluir aspectos más generales que específicos, dado que se presentaron dificultades con los reportes suministrados por el laboratorio MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S.² En términos generales, los resultados indican menores cantidades de biomasa de perifiton en la corriente, lo cual concuerda con las condiciones físicas del cauce en época húmeda (altas velocidades, arrastre de material de sustrato, mayor turbiedad y concentración de SST). Las concentraciones de los nutrientes son prácticamente inferiores a las encontradas durante época seca, lo cual se explica fundamentalmente por el efecto de la mayor dilución derivada de mayores aportes de caudal en el cuerpo de agua. En la Figura 52 se presentan los perfiles de fósforo y nitrógeno totales. En particular, allí se observa el aumento de nitrógeno total en el sector de La María, aunque los valores medidos no son muy variables y permanecen en el orden de 4.5 mg/L en todos los puntos medidos sobre la corriente objeto de ordenamiento.

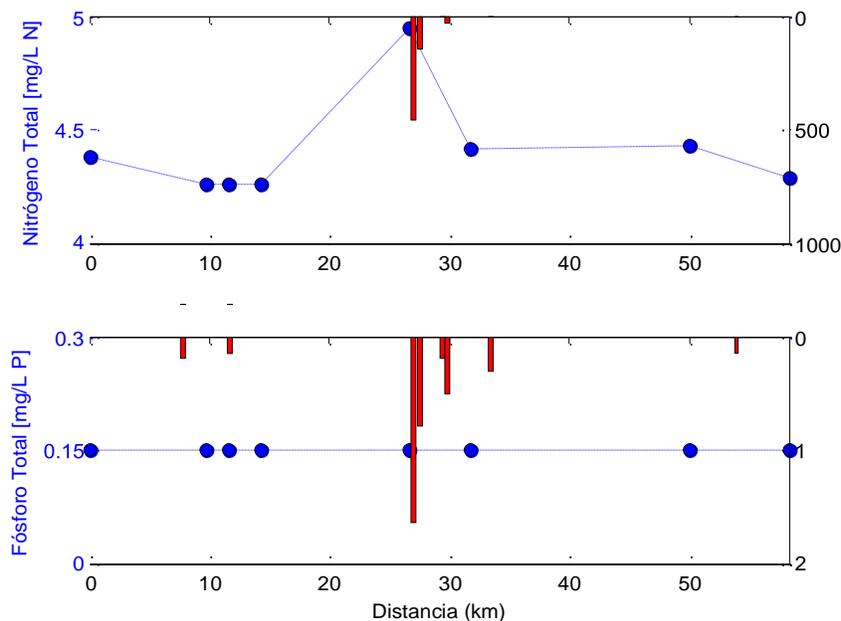


Figura 52 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: Nitrógeno Total y Fósforo Total. Campaña 2

6.5.2.5 Contaminación por organismos patógenos y sólidos

En la Tabla 90 se presentan los resultados de la segunda campaña de monitoreo para determinantes de la calidad del agua asociados con organismos patógenos y sólidos suspendidos y

² Los siguientes son ejemplos de la inconsistencias, imposibles de corregir, encontradas en los reportes del laboratorio:

- Mayores concentraciones de ortofosfatos que de fósforo total en la mayoría de los tributarios y vertimientos.
- El límite de detección del NTK es muy alto (4mg/L N) y diferente al reportado en la primera campaña.
- El límite de detección del Fósforo Total es muy alto (0.15 mg/L P) y diferente al reportado en la primera campaña.

disueltos. La Figura 53 representa los principales cambios de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los Coliformes Totales a lo largo del río Quindío, medidos en la misma campaña.

Nombre de estación	ID	SDT	SST	SSV	Coliformes Totales	Coliformes Termotolerantes
		mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100mL	UFC/100mL
El Escobal	RQ1	57.8	20.0	<8	1.95E+02	14.0
Bocatoma EPA	RQ2	35.0	31.0	<8	3.01E+03	37.0
Aguas arriba río Navarco	RQ3	38.6	29.0	<8	2.56E+03	28.0
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	49.7	177.0	<8	2.43E+03	<1
La María	RQ5	58.8	32.0	<8	1.88E+02	6.0
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	59.0	32.0	<8	6.30E+02	<1
Aguas arriba río Verde	RQ7	72.0	15.0	<8	2.28E+02	38.0
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	88.0	26.0	<8	3.12E+02	<1
Tributarios y vertimientos						
Quebrada Boquía	AF1	21.0	21.0	<8	8.50E+02	12.0
Río Navarco	AF2	67.5	132.0	<8	6.24E+03	<1
Vertimiento Frigocafé	V1	1031.6	172.0	<8	1.51E+03	<1
Vertimiento Curtiembres La María	V2	12083.5	290.0	<8	1.02E+03	32.0
Quebrada La Florida	AF3	113.4	45.0	<8	6.29E+04	113.0
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	448.5	29.0	<8	1.99E+05	<1
Quebrada El Pescador	AF5	77.0	9.0	<8	4.10E+02	46.0
Río Verde	AF6	105.7	32.0	<8	1.87E+03	<1
Puntos adicionales						
Vereda Túnel de la Línea	V3	171.6	60.0	<8	4.11E+02	<1

Tabla 98 Organismos patógenos y sólidos medidos en la campaña 2

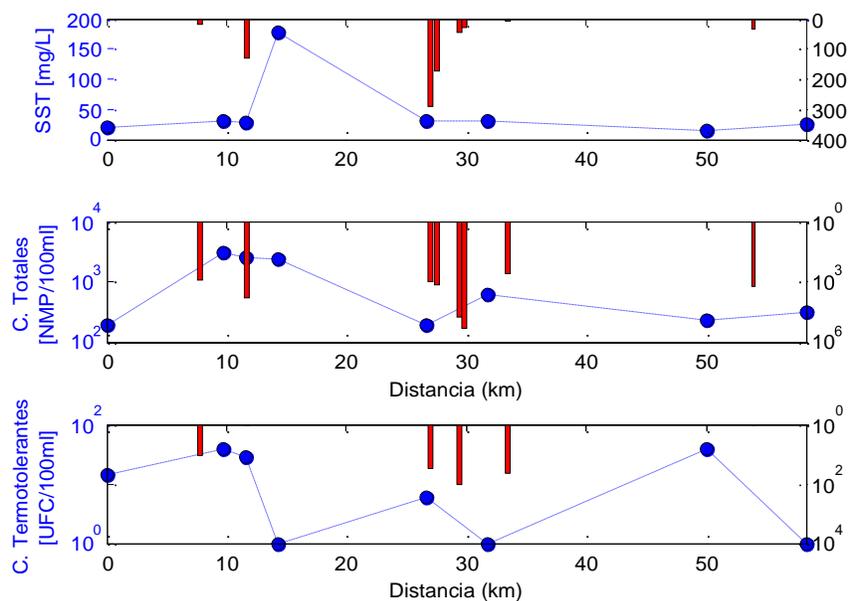


Figura 53 Perfiles longitudinales en el río Quindío de: SST y Coliformes Totales. Campaña 2

Como era de esperarse, las concentraciones de SST son mayores en la segunda campaña que en la primera, dado el mayor caudal y fuerza tractiva del agua que hace que haya mayor capacidad de transporte de sólidos en suspensión (favoreciendo la resuspensión del material de fondo y dificultando la sedimentación de las partículas suspendidas), así como el mayor aporte de carga de lavado de la unidad hidrográfica en época de mayores precipitaciones. Es importante resaltar el aumento significativo de los SST aguas abajo de la confluencia del río Navarco, que a su vez es un aporte importante de sedimentos. Las mayores concentraciones de SST inhiben la penetración de la luz que favorece el crecimiento de las algas de fondo, lo cual explica, en parte, la disminución de la biomasa por unidad de área de perifiton en los puntos seleccionados.

En relación con los Coliformes Totales, los valores encontrados en la campaña 2 son mucho menores que en la campaña 1, lo que se podría explicar por el aumento de caudal. De manera consistente con la primera campaña, entre El Escobal y la bocatoma EPA hay un aumento de Coliformes Totales y de Coliformes Termotolerantes. En el sector de La María se presenta un leve aumento de Coliformes Totales y una disminución drástica de Coliformes Termotolerantes, aunque estos últimos vuelven aumentar significativamente hasta aguas arriba de la confluencia del río Verde.

6.5.2.6 Pesticidas, iones y otras sustancias

En la Tabla 99 se reportan los resultados de laboratorio de la segunda campaña de medición, con respecto a pesticidas, iones y otras sustancias de interés. Al igual que en la primera campaña, algunas de ellas no se midieron en todos los puntos de la red de monitoreo, sino en sitios específicos de interés por el tipo de actividades asociadas al cuerpo de agua o vertimiento.

Nombre de estación	ID	Organofosforados	Organoclorados	Cloruros
		mg/L	mg/L	mg/L Cl ⁻
El Escobal	RQ1	<0.00002	<0.0000002	<1.3
Bocatoma EPA	RQ2			
Aguas arriba río Navarco	RQ3			
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	<0.00002	<0.0000002	<1.3
La María	RQ5			<1.3
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6			
Aguas arriba río Verde	RQ7			
Aguas arriba Confluencia Río Barragán	RQ8	<0.00002	<0.0000002	8.8
Tributarios y vertimientos				
Quebrada Boquía	AF1			
Río Navarco	AF2	<0.00002	<0.0000002	
Vertimiento Frigocafé	V1			
Vertimiento Curtiembres La María	V2			4843.8
Quebrada La Florida	AF3			10.2
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4			49.3
Quebrada El Pescador	AF5	<0.00002	<0.0000002	13.9
Río Verde	AF6	<0.00002	<0.0000002	
Puntos adicionales				
Vereda Túnel de la Línea	V3			

Nombre de estación	ID	SAAM	Grasas y Aceites	Sulfatos	Sulfuros	Fenoles Totales	Cianuro Total
		mg/L	mg/L	mg/LSO ₄ ⁻²	mg/L S ⁻²	mg/L	mg/L
El Escobal	RQ1	<0.15	<0.67	<5	<1.5	<0.002	<0.1
Bocatoma EPA	RQ2	<0.15	<0.67			<0.002	
Aguas arriba río Navarco	RQ3	<0.15	<0.67			<0.002	
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	<0.15	<0.67	<5	<1.5	<0.002	<0.1
La María	RQ5	<0.15	<0.67	<5	<1.5	<0.002	<0.1
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	<0.15	<0.67			<0.002	
Aguas arriba río Verde	RQ7	<0.15	<0.67			<0.002	
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	<0.15	<0.67	15.6	<1.5	<0.002	<0.1
Tributarios y vertimientos							
Quebrada Boquía	AF1	<0.15	<0.67			<0.002	
Río Navarco	AF2	<0.15	<0.67			<0.002	
Vertimiento Frigocafé	V1	0.8	7.33			0.4930	
Vertimiento Curtiembres La María	V2	1.1	2.85	18.2	35.6	5.0400	<0.1
Quebrada La Florida	AF3	<0.15	1.72	10.4	<1.5	<0.002	<0.1
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	<0.15	2.15	45.4	<1.5	<0.002	<0.1
Quebrada El Pescador	AF5	<0.15	<0.67	<5	<1.5	<0.002	<0.1
Río Verde	AF6	<0.15	<0.67			<0.002	
Puntos adicionales							
Vereda Túnel de la Línea	V3	<0.15	<0.67			<0.002	

Tabla 99 Pesticidas, iones y otras sustancias. Campaña 2

Todas las sustancias correspondientes a esta sección, con excepción de los sulfatos y los cloruros en el último punto sobre el río Quindío, presentan valores por debajo del límite de detección, lo cual es consecuencia de la mayor capacidad de dilución del cuerpo de agua objeto de ordenamiento en época húmeda. La concentración de cloruros encontrada sobre el río Quindío aguas arriba de la confluencia con el río Barragán puede explicarse por los aportes puntuales en el sector de La María (Planta de beneficio, curtiembres y descargas urbanas provenientes de Armenia y Calarcá) así como a aportes difusos provenientes de actividades agrícolas. Nótese que el valor medido de 8.8 mg/L no es significativamente más bajo que los 12.9 mg/L reportados en el mismo sitio durante la primera campaña. Los sulfatos son incluso más elevados en la segunda campaña en el punto mencionado, lo cual implicaría una presión significativa de actividades agropecuarias, teniendo en cuenta que la fuente de estas sustancias se pueden atribuir al uso de fertilizantes; no obstante, no se descarta la influencia de la geología del sector. Es importante resaltar el mayor aporte de sulfatos por parte de la quebrada El cafetero, con respecto a la primera campaña; así como de sulfuros en el vertimiento de las curtiembres.

6.5.2.7 Contenidos de metales y metaloides

Al igual que en la campaña 1, y con el fin de evaluar si podría haber algún efecto por resuspensión de material de fondo, los metales y metaloides medidos en la campaña 2 fueron Arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo Total (Cr), Cromo Hexavalente (Cr+6), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Selenio (Se) y Zinc (Zn). Aquellos que presentaron valores por encima del límite de detección en alguno de los puntos medidos, se presentan en la Tabla 100. De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, aún vigente por el artículo 76 del Decreto 3930 de 2010, los valores medidos en todos los cuerpos de agua superficial no presentan conflicto alguno para la destinación del recurso hídrico.

Nombre de estación	ID	Fe Total	Zn
		mg/L	mg/L
El Escobal	RQ1	0.858	<0.014
Bocatoma EPA	RQ2		
Aguas arriba río Navarco	RQ3		
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	3.690	<0.014
La María	RQ5	1.370	0.0260
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6		
Aguas arriba río Verde	RQ7		
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	3.680	0.0860
Tributarios y vertimientos			
Quebrada Boquía	AF1		
Río Navarco	AF2		
Vertimiento Frigocafé	V1		
Vertimiento Curtiembres La María	V2	0.755	0.1200

Nombre de estación	ID	Fe Total	Zn
		mg/L	mg/L
Quebrada La Florida	AF3	2.260	0.1090
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	0.598	0.1180
Quebrada El Pescador	AF5	0.851	0.0770
Río Verde	AF6		
Puntos adicionales			
Vereda Túnel de la Línea	V3		

Tabla 100 Metales y metaloides detectados en la red de drenaje durante la campaña 2

En comparación con la campaña 1, en época húmeda hay un aumento significativo de hierro total presente en las aguas del río Quindío y de los afluentes naturales (con excepción de la quebrada El cafetero). Es posible que los suelos y rocas de la unidad hidrográfica sean ricos en hierro, sin descartar la influencia de las actividades agrícolas y mineras.

6.5.2.8 Aforos de caudal líquido

En la Tabla 101 se presenta el resumen de los resultados de los aforos de caudal líquido realizados durante la segunda campaña de monitoreo en el río Quindío. Así mismo, en la Figura 54 se presentan las secciones de aforo obtenidas en la misma campaña.

ID	Sección	Abscisa (km)	Altitud (m)	Propiedades geométricas						Resultados de aforo		
				A (m ²)	P (m)	Rh (m)	B (m)	Y (m)	H (m)	U (m/s)	u _{max} (m/s)	Q (m ³ /s)
Q1	Escobal	0.00	2028	3.36	9.12	0.37	8.50	0.74	0.39	0.94	1.73	3.17
Q2	Bocatoma EPA	9.78	1705	6.76	26.80	0.25	26.70	0.30	0.25	0.97	1.21	6.53
Q3	Aguas arriba Río Navarco	11.65	1652	9.97	16.55	0.60	16.00	1.00	0.62	0.78	1.06	7.78
Q4	Aguas arriba Quebrada El Cusumbo	14.34	1599	11.78	14.33	0.82	13.00	1.70	0.91	1.01	1.61	11.88
E1	Retorno PCH El Campestre	23.71	1445	14.37	21.42	0.67	21.00	1.10	0.68	0.84	1.49	12.12
E2	Captación PCH Bayona	23.80	1444	2.11	5.42	0.39	5.00	0.56	0.42	1.41	1.80	2.98
E3	Captación Tebaida 1 y 2	26.45	1421	13.74	21.52	0.64	21.00	1.00	0.65	1.14	1.62	15.61
E4	Retorno PCH Bayona	26.47	1421	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	Captación PCH La Unión	26.49	1421	13.04	66.39	0.20	33.00	0.80	0.40	0.90	1.61	11.67
Q5	La María	26.66	1420	14.01	26.29	0.53	26.00	0.79	0.54	0.90	1.85	12.57
E6	Retorno PCH La Unión	30.36	1340	20.68	28.11	0.74	27.50	1.30	0.75	0.62	0.82	12.78
E7	Captación PCH El Bosque	31.81	1339	19.13	27.52	0.70	27.00	0.96	0.71	0.64	1.14	12.22
Q6	Aguas arriba Quebrada El Pescador	32.81	1328	16.29	29.84	0.55	19.00	0.75	0.86	0.91	1.37	14.79

ID	Sección	Abscisa (km)	Altitud (m)	Propiedades geométricas						Resultados de aforo		
				A (m ²)	P (m)	Rh (m)	B (m)	Y (m)	H (m)	U (m/s)	u _{max} (m/s)	Q (m ³ /s)
E8	Retorno PCH El Bosque	40.70	1221	17.91	20.15	0.89	19.50	1.35	0.92	0.68	0.90	12.22
Q7	Aguas arriba Río Verde	53.79	1077	22.79	34.24	0.67	24.00	1.15	0.95	0.87	1.50	19.87
Q8	Aguas arriba confluencia Río Barragán	58.26	1056	30.92	44.52	0.69	39.00	1.16	0.79	1.60	2.14	49.35

Tabla 101 Resumen de resultados de aforo en el río Quindío. Campaña 2

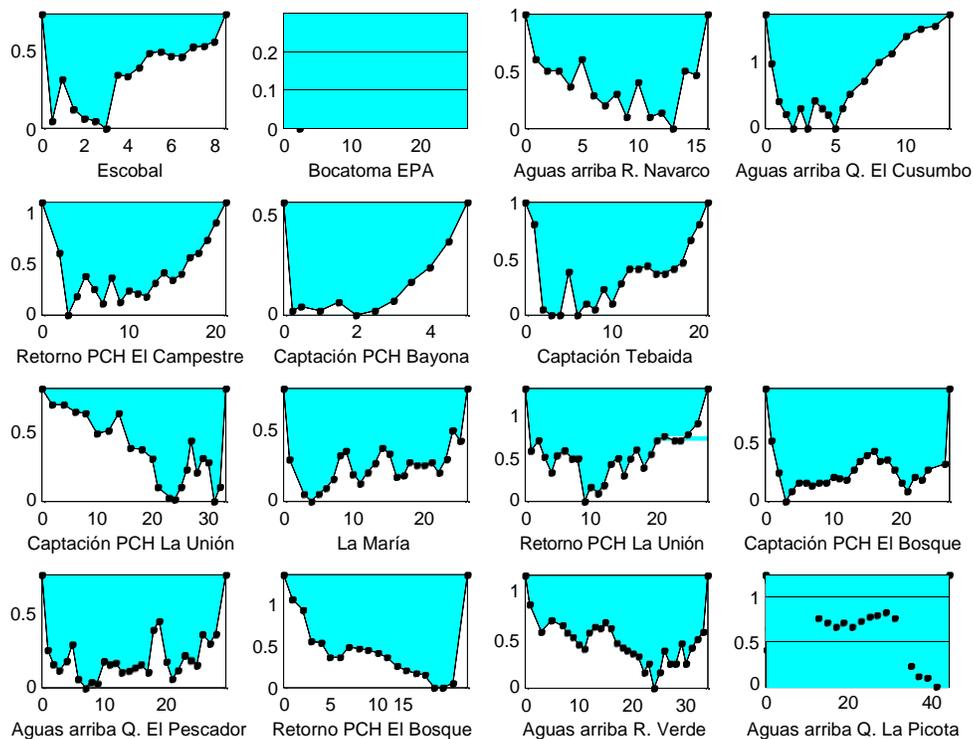


Figura 54 Secciones de aforo sobre el río Quindío obtenidas durante la campaña 2. Los valores sobre los ejes están en metros lineales.

6.5.2.9 Comparación de cargas contaminantes

En la Figura 55 se presentan las cargas contaminantes de los principales determinantes de la calidad del agua medidos sobre los afluentes principales y vertimientos directos al río Quindío durante la segunda campaña de monitoreo, la cual corresponde a condiciones hidrológicas características de tiempo húmedo.

En términos generales, en condiciones hidrológicas de altos caudales, los mayores aportantes de carga son los ríos Navarco y Verde. Es particular, de acuerdo con los resultados puntuales medidos en la segunda campaña, el río Navarco aporta una mayor carga de SST que el río Verde, lo cual también se evidencia en el aumento significativo de los SST sobre el río Quindío aguas debajo de la confluencia del río Navarco. Para los otros determinantes, la tendencia es que el mayor

aporte de carga está dado por el río Verde, lo cual guarda una relación directa con el caudal que entrega la corriente superficial. Así mismo, llama la atención el aporte significativo de carga orgánica carbonácea por parte de la quebrada Boquía, la cual, a pesar de ser menos caudalosa, superó los aportes del río Navarco. Finalmente, la quebrada La Florida, pese a su bajo caudal, es el principal aportante de carga de materia orgánica carbonácea, SST y de organismos patógenos en la parte media del río Quindío. En relación con la descarga de nutrientes, los mayores aportantes después de los ríos Verde y Navarco, son la quebrada El Pescador y Boquía, respectivamente.

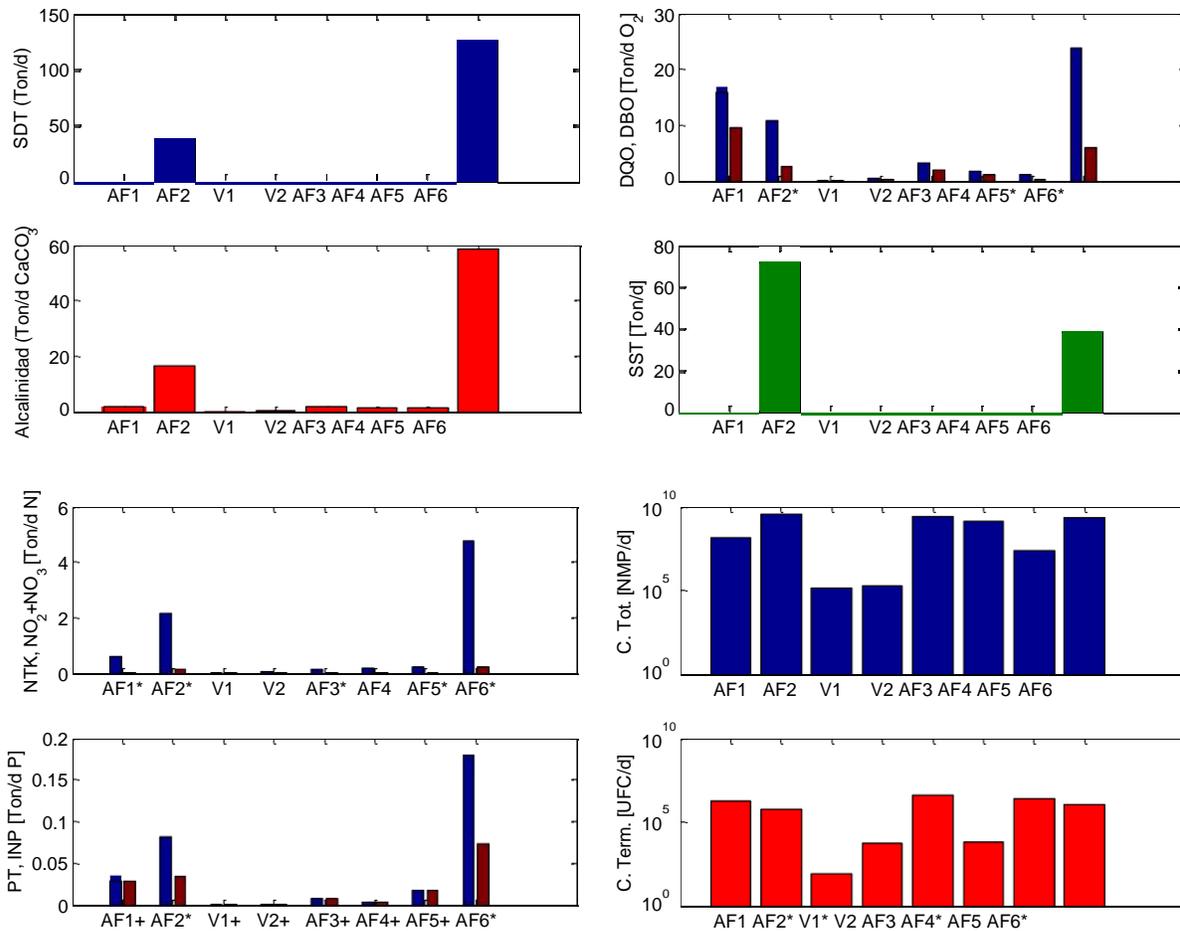


Figura 55 Comparación de cargas contaminantes para los principales determinantes medidos en los afluentes y vertimientos directos del río Quindío. Campaña 2. El asterisco junto al código del tributario (AF) indica que la concentración está por debajo del límite de detección. El signo + hace referencia al que el valor de fósforo total no fue medido y se toma como el contenido de ortofosfatos.

6.5.3 Caracterización de vertimientos directos al río Quindío

Los días 19 y 20 de noviembre de 2014 se llevó a cabo la caracterización de los dos principales vertimientos directos en el río Quindío: Frigocafé y Curtiembres La María. Dicha caracterización consistió en la toma de muestras compuestas de 24 horas proporcionales al caudal, tomando

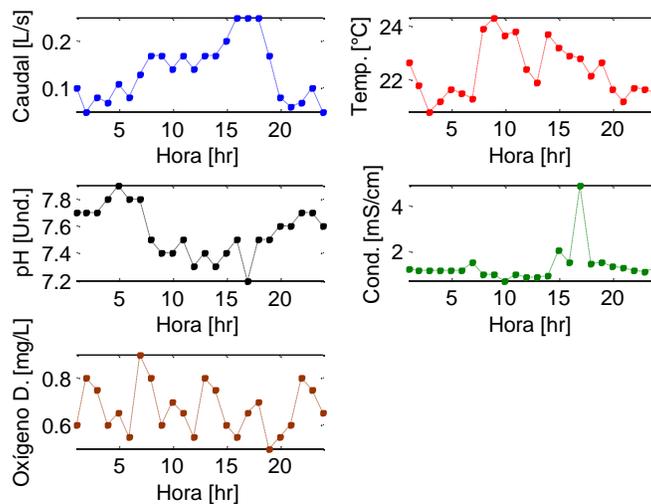
registros horarios de los determinantes *in situ* (caudal, temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto) y evaluando, por lo menos, la concentración de los siguientes determinantes para cada muestra compuesta:

- DBO₅, DQO.
- NTK, Nitrógeno Amoniacal, Nitritos y Nitratos.
- Fósforo Total y Ortofosfatos.
- SST, Coliformes Totales y Coliformes Fecales.
- Cloruros, Sulfuros, Sulfatos y Cianuro Total.
- Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Cromo Total, Cromo Hexavalente, Hierro Total, Manganeseo, Mercurio, Plomo, Selenio y Cinc.

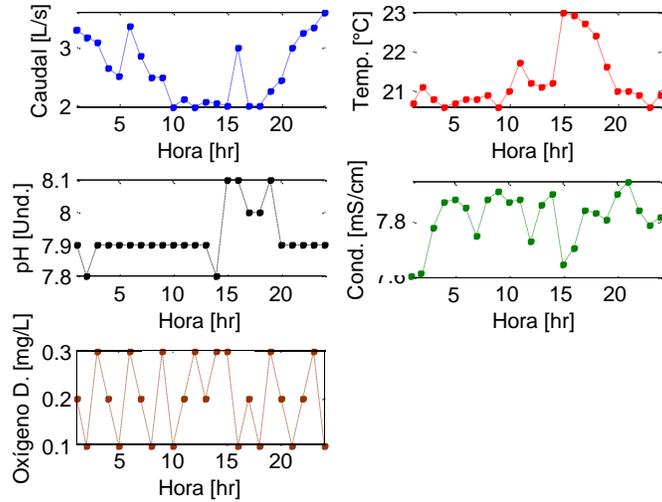
Durante la caracterización de los dos vertimientos se deben resaltar las siguientes observaciones realizadas por el personal de laboratorio:

- Planta de Beneficio Frigocafé: las aguas residuales descargas no son exclusivas de dicha planta, sino que también se conectan varias curtiembres adyacentes y unidades domiciliarias.
- Asociación La María: se recogen las aguas residuales de 18 curtiembres. El tratamiento fisicoquímico en los tanques decantadores utiliza sulfato de aluminio.

A continuación, en la Figura 56 se presentan gráficamente los valores medidos *in situ*, los cuales indican la dinámica esperada de los vertimientos a lo largo del día. Los valores correspondientes se muestran en la Tabla 102. Las mediciones en los vertimientos iniciaron a las 2 de la tarde y finalizaron a la 1 de la tarde del día siguiente, no obstante, en las gráficas se presentan los valores correspondientes a cada hora del día, desde las 0 horas hasta las 23 horas.



a) Frigocafé



b) Curtiembres La María

Figura 56 Comportamiento de los determinantes medidos in situ en los vertimientos

HORA	Curtiembres La María					Frigocafé				
	Caudal	Temp.	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Caudal	Temp.	pH	Conductividad.	Oxígeno Disuelto
	(L/s)	(°C)	(Unidades)	(mS/cm)	(mg/L)	(L/s)	(°C)	(Unidades)	(mS/cm)	(mg/L)
14:00	2	23	8.1	7.65	0.3	0.2	23.2	7.4	2.06	0.6
15:00	3	22.9	8.1	7.71	0.1	0.25	22.9	7.5	1.49	0.55
16:00	2	22.7	8	7.84	0.2	0.25	22.8	7.2	4.93	0.65
17:00	2	22.4	8	7.83	0.1	0.25	22.1	7.5	1.45	0.7
18:00	2.25	21.6	8.1	7.81	0.3	0.17	22.6	7.5	1.5	0.5
19:00	2.43	21	7.9	7.9	0.2	0.08	21.6	7.6	1.29	0.55
20:00	3	21	7.9	7.94	0.1	0.06	21.2	7.6	1.27	0.6
21:00	3.26	20.9	7.9	7.84	0.2	0.07	21.7	7.7	1.13	0.8
22:00	3.35	20.6	7.9	7.79	0.3	0.1	21.6	7.7	1.08	0.75
23:00	3.63	20.9	7.9	7.82	0.1	0.05	21.5	7.6	1.25	0.65
0:00	3.31	20.7	7.9	7.6	0.2	0.1	22.6	7.7	1.17	0.6
1:00	3.2	21.1	7.8	7.61	0.1	0.05	21.8	7.7	1.16	0.8
2:00	3.09	20.8	7.9	7.78	0.3	0.08	20.8	7.7	1.13	0.75
3:00	2.65	20.6	7.9	7.87	0.2	0.07	21.2	7.8	1.13	0.6
4:00	2.51	20.7	7.9	7.88	0.1	0.11	21.6	7.9	1.12	0.65
5:00	3.39	20.8	7.9	7.85	0.3	0.08	21.5	7.8	1.12	0.55
6:00	2.87	20.8	7.9	7.75	0.2	0.13	21.3	7.8	1.52	0.9
7:00	2.48	20.9	7.9	7.88	0.1	0.17	23.9	7.5	0.94	0.8
8:00	2.49	20.6	7.9	7.91	0.3	0.17	24.3	7.4	0.93	0.6
9:00	1.98	21	7.9	7.87	0.1	0.14	23.6	7.4	0.69	0.7

HORA	Curtiembres La María					Frigocafé				
	Caudal	Temp.	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Caudal	Temp.	pH	Conductividad.	Oxígeno Disuelto
	(L/s)	(°C)	(Unidades)	(mS/cm)	(mg/L)	(L/s)	(°C)	(Unidades)	(mS/cm)	(mg/L)
10:00	2.11	21.7	7.9	7.88	0.2	0.17	23.8	7.5	0.94	0.65
11:00	1.98	21.2	7.9	7.73	0.3	0.14	22.4	7.3	0.84	0.55
12:00	2.06	21.1	7.9	7.86	0.2	0.17	21.9	7.4	0.83	0.8
13:00	2.05	21.2	7.8	7.9	0.3	0.17	23.7	7.3	0.92	0.75

Tabla 102 Valores medidos in situ sobre los vertimientos

Nótese que, de acuerdo con la figura anterior, el mayor aporte de caudal y el mayor registro de conductividad (medida en mS/cm) en la Planta de Beneficio de Armenia ocurre hacia las 17 horas, lo cual también corresponde el valor más bajo de pH. Los mayores caudales se presentan entre las 8 de la mañana y 7 de la noche (del orden de 0.2 L/s). En cuanto al vertimiento de las curtiembres, los caudales se encuentran entre los 2 y 3.6 L/s (del orden de 10 veces más que los registrados en la Planta de Beneficio), presentando mayores descargas entre las 8 de la noche y las 6 de la mañana, siendo la conductividad prácticamente constante a lo largo del día, aunque presentándose un leve aumento del pH entre las 3 de la tarde y las 8 de la noche. Mientras que en el frigorífico la variación de la temperatura es consistente con el comportamiento de la temperatura ambiente, en las curtiembres, las temperaturas más altas se registran entre las 3 de la tarde y las 7 de la noche. En ambos vertimientos se presentan condiciones prácticamente anaerobias. El caudal del vertimiento de las curtiembres es, en promedio, del orden de 20 veces mayor que el medido en la Planta de Beneficio de Armenia.

En la Tabla 103 y en la Tabla 103 Análisis de los valores medidos en el vertimiento de Curtiembres La María se presentan los resultados del análisis de laboratorio para los principales determinantes de la calidad del agua, se comparan con los datos de concentración medidos de forma puntual en las dos campañas y se confrontan los valores medidos con los límites máximos permitidos de acuerdo con la nueva norma de vertimientos (Resolución 0631 de 2015).

Determinante	Unidades	Decreto 1594 de 1984	Resolución 0631 de 2015	Campaña 1	Campaña 2	Muestreo compuesto	Cumple Decreto 1594/84	Cumple Resolución 0631/15
Generales								
pH	Unidades	5.00 a 9.00	6.00 a 9.00	8.03	8.37	7.8 - 8.1	SI	SI
Temperatura	°C	40	-	27.1	24.5	20.6 - 23	SI	NA
DQO	mg/L O ₂	-	1200	507	2650	1050	NM	NO
DBO ₅	mg/L O ₂	R. 80% carga	600	324	1610	651	NM	NO
SST	mg/L	R. 80% carga	600	283	290	143	NM	SI
S. Sedimentables	mL/L	-	2.0	-	-	-	NA	NA
Grasas y aceites	mg/L	R. 80% carga	60	<0.67	2.85	2.46	NM	SI
Fenoles	mg/L	0.2	-	<0.002	5.04	4.8	NO	NA

Determinante	Unidades	Decreto 1594 de 1984	Resolución 0631 de 2015	Campaña 1	Campaña 2	Muestreo compuesto	Cumple Decreto 1594/84	Cumple Resolución 0631/15
SAAM	mg/L	-	AyR	<0.15	1.06	-	NA	NA
Hidrocarburos								
HTP	mg/L	-	10	-	-	-	NA	NM
HAP	mg/L	-	AyR	-	-	-	NA	NM
BTEX	mg/L	-	AyR	-	-	-	NA	NM
AOX	mg/L	-	AyR	-	-	-	NA	NM
Compuestos de Fósforo								
Ortofosfatos	mg/L PO4 ⁻ P	-	AyR	0.065	1.64	0.162	NA	NA
Fósforo Total	mg P /L	-	AyR	0.118	-	3.37	NA	NA
Compuestos de Nitrógeno								
Nitratos	mg/L N - NO ₃	-	AyR	3.28	>3.4	>3.4	NA	NA
Nitrógeno Amoniacal	mg/L N-NH ₃	-	AyR	<1	338.00	54.10	NA	NA
Nitrógeno Total	mg/L N	-	AyR	9.87	454.98	>409.43	NA	NA
Iones								
Cloruros	mg/L	-	3000	4011.52	4843.78	14684.1	NA	NO
Sulfatos	mg/L	-	AyR	60.2	18.2	15.2	NA	NA
Sulfuros	mg/L	-	3.0	11.9	35.6	19.5	NA	NO
Metales y metaloides								
Arsénico	mg/L	0.5	-	0.00036	<0.004	<0.004	SI	NA
Bario	mg/L	5.0	-	<0.5	<0.5	0.269	SI	NA
Cadmio	mg/L	0.1	-	<0.01	<0.01	<0.01	SI	NA
Cinc	mg/L	-	-	<0.014	<0.014	0.032	NA	NA
Cobalto	mg/L	-	-	-	-	-	NA	NM
Cobre	mg/L	3.0	-	<0.055	<0.055	<0.055	SI	NA
Cromo	mg/L	-	1.5	<0.109	<0.109	<0.109	NA	SI
Cromo +6	mg/L	0.5	-	<0.01	<0.01	<0.01	SI	NA
Mercurio	mg/L	0.02	-	<0.0019	<0.0019	<0.0019	SI	NA
Níquel	mg/L	2.00	-	-	-	-	NM	NM
Plata	mg/L	0.50	-	-	-	-	NM	NM
Plomo	mg/L	0.5	-	<0.05	<0.05	<0.05	SI	NA
Selenio	mg/L	0.5	-	0.00019	<0.01	<0.01	SI	NA
Cianuro	mg/L	1.0	-	<0.1	<0.1	<0.1	SI	NA
Otros parámetros								
Acidez Total	mg/L CaCO ₂	-	AyR	-	-	-	NA	NM
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	-	AyR	2215.62	2885.23	2753.24	NA	NA
Dureza Cálrica	mg/L CaCO ₃	-	AyR	356.4	276.2	335.76	NA	NA
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	-	AyR	851.5	581.13	705.45	NA	NA

Determinante	Unidades	Decreto 1594 de 1984	Resolución 0631 de 2015	Campaña 1	Campaña 2	Muestreo compuesto	Cumple Decreto 1594/84	Cumple Resolución 0631/15
Color real	m ⁻¹	-	AyR	-	-	-	NA	NM

NM: No medido; NA: No aplica; AyR: Análisis y Reporte; R: Remoción; El cumplimiento del vertimiento para cada parámetro se determinó comparando todos los valores medidos.

Tabla 103 Análisis de los valores medidos en el vertimiento de Curtiembres La María

Determinante	Unidades	Decreto 1594 de 1984	Resolución 0631 de 2015 Ganadería de bovino, bufalino, equino, ovino y/o caprino (Beneficio)	Resolución 0631 de 2015 Ganadería Porcinos (Beneficio)	Campaña 1	Campaña 2	Muestreo compuesto	Cumple Decreto 1594/84	Cumple Resolución 0631/15
Generales									
pH	Unidades	5.00 a 9.00	6.00 a 9.00	6.00 a 9.00	7.59	7.47	7.2 - 7.9	SI	SI
Temperatura	°C	40	-	-	25.2	24.9	20.8 - 24.3	NM	NM
DQO	mg/L O ₂	-	900	800	654	553	95	NM	SI
DBO5	mg/L O ₂	R. 80% carga	450	450	405	332	51	NM	SI
SST	mg/L	R. 80% carga	200	200	226	172	23	NM	NO
S. Sedimentables	mL/L	-	5	5.0	-	-	-	NA	NM
Grasas y aceites	mg/L	R. 80% carga	50	30	13.2	7.33	5.4	NM	SI
Fenoles	mg/L	0.2	-	-	0.0063	0.493	0.07	NO	NA
SAAM	mg/L	-	AyR	AyR	< 0.15	< 0.15	-	NA	SI
Hidrocarburos									
HTP	mg/L	-	-	-	-	-	-	NA	NM
HAP	mg/L	-	-	-	-	-	-	NA	NM
BTEX	mg/L	-	-	-	-	-	-	NA	NM
AOX	mg/L	-	-	-	-	-	-	NA	NM
Compuestos de Fósforo									
Ortofosfatos	mg/L PO ₄ ⁻³ P	-	AyR	AyR	4.82	0.788	4.13	NA	NA
Fósforo Total	mg P/L	-	AyR	AyR	8.5	0.788	6.16	NA	NA
Compuestos de Nitrógeno									
Nitratos	mg/L N - NO ₃	-	AyR	AyR	0.88	1.60	1.28	NA	NA
Nitrógeno Amoniacal	mg/L N- NH ₃	-	AyR	AyR	14.3	35.30	19.60	NA	NA
Nitrógeno Total	mg/L N	-	AyR	AyR	147.29	147.29	27.89	NA	NA
Iones									
Cloruros	mg/L	-	500	500	-	-	311.42	NA	SI
Sulfatos	mg/L	-	500	500	-	-	14.8	NA	SI
Sulfuros	mg/L	-	-	-	-	-	1.5	NA	NA

Determinante	Unidades	Decreto 1594 de 1984	Resolución 0631 de 2015 Ganadería de bovino, bufalino, equino, ovino y/o caprino (Beneficio)	Resolución 0631 de 2015 Ganadería Porcinos (Beneficio)	Campaña 1	Campaña 2	Muestreo compuesto	Cumple Decreto 1594/84	Cumple Resolución 0631/15
Metales y metaloides									
Arsénico	mg/L	0.5	-	-	-	-	<0.004	NA	NA
Bario	mg/L	5.0	-	-	-	-	0.096	NA	NA
Cadmio	mg/L	0.1	-	-	-	-	0.015	NA	NA
Cinc	mg/L	-	-	-	-	-	0.048	NA	NA
Cobalto	mg/L	-	-	-	-	-	-	NM	NM
Cobre	mg/L	3.0	-	-	-	-	<0.055	SI	NA
Cromo	mg/L	-	-	-	-	-	<0.109	NA	NA
Cromo +6	mg/L	0.5	-	-	-	-	<0.01	SI	NA
Mercurio	mg/L	0.02	-	-	-	-	0.0023	SI	NA
Níquel	mg/L	2.00	-	-	-	-	-	NM	NM
Plata	mg/L	0.50	-	-	-	-	-	NM	NM
Plomo	mg/L	0.5	-	-	-	-	0.052	SI	NA
Selenio	mg/L	0.5	-	-	-	-	<0.01	SI	NA
Cianuro	mg/L	1.0	-	-	-	-	<0.1	SI	NA
Otros parámetros									
Acidez Total	mg/L CaCO ₂	-	AyR	AyR	-	-	-	NA	NM
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	-	AyR	AyR	662.31	630.24	590.68	NA	NA
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	-	AyR	AyR	132.66	121.77	87.65	NA	NA
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	-	AyR	AyR	168.3	145.53	136.54	NA	NA
Color real	m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	NA	NM

NM: No medido; NA: No aplica; AyR: Análisis y Reporte; R: Remoción; El cumplimiento del vertimiento para cada parámetro se determinó comparando todos los valores medidos.

Tabla 104 Análisis de los valores medidos en el vertimiento de Frigocafé

De acuerdo con los resultados para el vertimiento de las Curtiembres La María, los niveles medidos de DQO, DBO₅, Cloruros y Sulfuros, exceden los límites máximos permisibles indicados en la Resolución 0631 de 2015. Con respecto a los límites de concentración vigentes (Decreto 1594 de 1984), el único determinante medido con conflictos es Fenoles. El no cumplimiento de los límites máximos permisibles se determinó si alguno de los valores medidos excedió el valor establecido en la norma correspondiente. En cuanto al vertimiento de Frigocafé, al igual que para las curtiembres, se excedió el límite máximo permisible para fenoles según el Decreto 1594 de 1984 (en la segunda campaña). Con respecto a la Resolución 0631 de 2015, se sobrepasó el límite permisible para los SST en la medición de la primera campaña. En términos generales, el estado de cumplimiento del vertimiento de Frigocafé presenta muchos menos conflictos que el de la

asociación de curtidores La María, por lo que es recomendable intensificar el seguimiento por parte de la CRQ a este último.

En la Tabla 105 se presentan las cargas contaminantes obtenidas para los principales determinantes de la calidad del agua durante el muestreo compuesto de 24 horas en los vertimientos directos. Dado que en dicha jornada los caudales medidos en el vertimiento de las curtiembres fueron, en promedio, del orden de 20 veces mayores a los medidos en Frigocafé, las cargas del primero son mayores que las del segundo. En la segunda campaña, por el contrario, se midieron valores de caudal similares en ambos vertimientos, por lo que se debe tener precaución al momento de analizar los resultados del muestreo compuesto para la planta de beneficio.

Determinante	Unidades	Curtiembres	Frigocafé
Generales			
DQO	Kg/d	238.48	1.10
DBO5	Kg/d	147.86	0.59
SST	Kg/d	32.48	0.27
Grasas y aceites	Kg/d	0.56	0.06
Fenoles	g/d	1.09	0.81
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos	Kg/d	0.04	0.05
Fósforo Total	Kg/d	0.77	0.07
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos	Kg/d	>0.77	0.01
Nitrógeno Amoniacal	Kg/d	12.29	0.23
Nitrógeno Total	Kg/d	>92.99	0.32
Iones			
Cloruros	Kg/d	3335	3.62
Sulfatos	Kg/d	3.45	0.17
Sulfuros	Kg/d	4.43	0.02
Otros parámetros			
Alcalinidad Total	Kg/d	625.33	6.87

Tabla 105 Cargas contaminantes promedio obtenidas a partir del muestreo compuesto de 24 horas

66 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DEL RÍO QUINDÍO

6.6.1 Índices de calidad fisicoquímica del agua del río Quindío

El índice de calidad del agua utilizado para el río Quindío es el establecido por el IDEAM para el Estudio Nacional del Agua del año 2010 y el descrito en los Lineamientos Metodológicos y Conceptuales para la Evaluación Regional del Agua – ERAs (IDEAM, 2013).

De acuerdo con IDEAM (2011), el Índice de Calidad del Agua – ICA, es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco a seis variables, registradas en una estación de monitoreo en un tiempo dado. La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad [3]$$

Siendo W_i el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i e I_i el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente); n es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador (5 o 6, dependiendo de la medición del ICA que se seleccione, ver Tabla 106).

Variable	Unidad de medida	Ponderación (5 variables)	Ponderación (6 variables)
OD	% Saturación	0.2	0.17
SST	mg/L	0.2	0.17
DQO	mg/L O ₂	0.2	0.17
Conductividad	μS/cm	0.2	0.17
pH	Unidades	0.2	0.15
NT/PT	-	-	0.17

Tabla 106 Variables y ponderaciones para el cálculo del ICA

Las curvas funcionales adoptadas son las propuestas por Ramírez y Viña (1998) para el oxígeno disuelto, los SST y la conductividad eléctrica; la propuesta por la Universidad Politécnica de Cataluña (2006) para la DQO y la propuesta por Rueda (2008) para la relación NT/PT.

El procedimiento general de cálculo consiste en ingresar el valor que, en una determinada medición haya registrado la variable de calidad i , en la curva funcional correspondiente y estimar el valor I_i . A continuación se presentan las ecuaciones de referencia:

6.6.1.1 Oxígeno disuelto

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas. Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación PS_{OD} :

$$PS_{OD} = \frac{OD}{O_s} \quad [4]$$

Siendo OD el valor medido en mg/L y O_s el valor de oxígeno de saturación, también en mg/L, el cual se puede estimar a partir de la siguiente ecuación (APHA, 1992; ver Chapra, 1997, pp. 362):

$$O_s = (1 - 0.1148elev) \times \exp \left[-139.34411 + \frac{1.575701 \times 10^5}{T_a} - \frac{6.642308 \times 10^7}{T_a^2} + \frac{1.243800 \times 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 \times 10^{11}}{T_a^4} \right] \quad [5]$$

Siendo T_a la temperatura absoluta del agua y $elev$ la altitud en km. La temperatura absoluta se calcula como:

$$T_a = T + 273.15 \quad [6]$$

Siendo T la temperatura del agua en °C.

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor I_{OD} se calcula con la fórmula siguiente:

$$I_{OD} = 1 - (1 - PS_{OD}) \quad [7]$$

Cuando el porcentaje de saturación es mayor al 100%:

$$I_{OD} = 1 - (PS_{OD} - 1) \quad [8]$$

6.6.1.2 Sólidos Suspendidos Totales SST

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar asociada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Puede tener una relación directa con la turbiedad (no en todos los casos). El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \times SST) \quad [9]$$

Si $SST \leq 4.5$ mg/L, entonces $I_{SST} = 1$; si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$.

6.6.1.3 Demanda Química de Oxígeno DQO

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 correspondiente se calcula así:

DQO	I_{DQO}
≤ 20	0.910
(20-25]	0.710
(25-40]	0.510
(40-80]	0.260
> 80	0.125

6.6.1.4 Conductividad eléctrica

Está relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja el estado de mineralización del agua. El subíndice correspondiente se calcula como sigue:

$$I_c = 1 - 10^{-3.26 + 1.34 \log(\text{Cond})} \quad [10]$$

Cuando I_c sea menor a cero, se le asigna un valor igual a cero.

6.6.1.5 pH

Mide la acidez del agua, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuática.

pH	I_{pH}
< 4	0.1
[4-7]	$0.02628 \exp(0.5200pH)$
(7-8]	1.0
(8-11]	$\exp((pH - 8) \times -0.5188)$
> 11	0.1

6.6.1.6 Nitrógeno Total / Fósforo Total

Mide la degradación por intervención antrópica, es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad empleado para cuerpos de agua lénticos como la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica; es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los río neotropicales (desde el norte de Argentina hasta el centro de México).

NT/PT	$I_{NT/PT}$
[15-20]	0.80
(10-15)	0.60
(5-10]	0.35
≤ 5 o > 20	0.15

6.6.1.7 Categorías del ICA y resultados

Los valores optativos que puede llegar a tomar el indicador han sido clasificados en categorías, de acuerdo a ellos se clasifica la calidad del agua de las corrientes superficiales, al cual se le ha asociado un color como señal de alerta. En la Tabla 107 se registra la relación entre los valores y la calificación.

Rango de valores	Calificación	Color
0.00-0.25	Muy mala	Red
0.26-0.50	Mala	Orange
0.51-0.70	Regular	Yellow
0.71-0.90	Aceptable	Green
0.91-1.00	Buena	Blue

Tabla 107 Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

En la Tabla 108 se presentan de nuevo los valores medidos en las dos campañas para los determinantes de calidad del agua utilizados en el cálculo del ICA. En la Tabla 109 se presentan los resultados para los subíndices y el ICA en cada campaña de monitoreo, considerando los grupos de 5 y 6 determinantes. En la Figura 57 se presentan los perfiles longitudinales del Índice de Calidad del Agua en el río Quindío obtenidos con el grupo de 6 determinantes. En la Tabla 110 se presentan los resultados para los principales afluentes y vertimientos directos sobre el río Quindío. Finalmente, en los esquemas de la Figura 58 se presenta el consolidado para las dos campañas considerando el grupo de 6 determinantes.

Nombre de estación	ID	Elev (m)	Campaña 1							
			Temp.	Cond.	pH	OD	DQO	SST	NT	PT
			°C	µS/cm	Und.	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L	mg/L N	mg/L P
El Escobal	RQ1	2028	20.3	151.3	7.36	6.30	<20.0	5.0	4.7	0.145
Bocatoma EPA	RQ2	1705	20.2	121.9	6.25	6.26	<20.0	<2.0	3.4	0.065
Aguas arriba río Navarco	RQ3	1652	19.9	122.8	7.02	7.50	<20.0	14.0	2.9	0.077
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	1599	21.4	124.2	7.32	6.21	<20.0	5.0	3.4	0.095
La María	RQ5	1420	20.3	131.5	2.51	4.30	<20.0	5.0	4.8	0.048
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	1328	24.6	168.4	6.29	6.63	<20.0	6.0	10.1	0.238
Aguas arriba río Verde	RQ7	1077	25.5	168.8	6.90	7.50	<20.0	<2.0	6.1	0.193
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	1056	23.5	184.2	8.98	5.56	<20.0	7.0	8.7	0.134

Nombre de estación	ID	Elev (m)	Campaña 2							
--------------------	----	----------	-----------	--	--	--	--	--	--	--

			Temp.	Cond.	pH	OD	DQO	SST	NT	P Total
			°C	µS/cm	Und.	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L	mg/L N	mg/L P
El Escobal	RQ1	2028	12.6	90.0	5.79	9.40	<20.0	20.0	4.4	<0.15
Bocatoma EPA	RQ2	1705	15.9	58.4	6.66	8.60	<20.0	31.0	4.3	<0.15
Aguas arriba río Navarco	RQ3	1652	17	59.3	5.37	8.00	<20.0	29.0	4.3	<0.15
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	1599	16.1	76.4	5.43	5.50	<20.0	177.0	4.3	<0.15
La María	RQ5	1420	24.6	90.4	5.57	6.80	<20.0	32.0	4.9	<0.15
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	1328	21.4	121.0	6.52	6.70	<20.0	32.0	4.4	<0.15
Aguas arriba río Verde	RQ7	1077	25.1	110.8	7.22	6.50	<20.0	15.0	4.4	<0.15
Aguas arriba Confluencia. Río Barragán	RQ8	1056	26.9	135.4	6.34	6.50	<20.0	26.0	4.3	<0.15

Tabla 108 Valores de los determinantes de la calidad del agua utilizados para el cálculo del ICA

Nombre de estación	ID	Campaña 1											ICA (5)
		Ta	Os	PSOD	NT/PT	I _{OD}	I _{DQO}	I _{SST}	I _C	I _{pH}	I _{NT/PT}	ICA (6)	
		K	mg/L O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
El Escobal	RQ1	293.45	6.93	0.91	32.12	0.91	0.91	1.01	0.54	1.00	0.15	0.75	0.87
Bocatoma EPA	RQ2	293.35	7.28	0.86	52.82	0.86	0.91	1.00	0.66	0.68	0.15	0.71	0.82
Aguas arriba río Navarco	RQ3	293.05	7.38	1.02	37.40	0.98	0.91	0.98	0.65	1.00	0.15	0.77	0.91
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	294.55	7.22	0.86	36.29	0.86	0.91	1.01	0.65	1.00	0.15	0.76	0.88
La María	RQ5	293.45	7.57	0.57	100.87	0.57	0.91	1.01	0.62	0.10	0.15	0.57	0.64
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	297.75	7.06	0.94	42.50	0.94	0.91	1.00	0.47	0.69	0.15	0.69	0.80
Aguas arriba río Verde	RQ7	298.65	7.18	1.05	31.36	0.95	0.91	1.00	0.47	0.95	0.15	0.73	0.86
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	296.65	7.47	0.74	64.72	0.74	0.91	1.00	0.40	0.60	0.15	0.64	0.73

Nombre de estación	ID	Campaña 2											ICA (5)
		Ta	Os	PSOD	NT/PT	I _{OD}	I _{DQO}	I _{SST}	I _C	I _{pH}	I _{NT/PT}	ICA (6)	
		K	mg/L O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
El Escobal	RQ1	285.75	6.49	1.45	29.19	0.55	0.91	0.96	0.77	0.53	0.15	0.65	0.75
Bocatoma EPA	RQ2	289.05	7.99	1.08	28.38	0.92	0.91	0.93	0.87	0.84	0.15	0.77	0.89
Aguas arriba río Navarco	RQ3	290.15	7.80	1.03	28.41	0.97	0.91	0.93	0.87	0.43	0.15	0.72	0.82
Arriba quebrada El Cusumbo	RQ4	289.25	8.13	0.68	28.38	0.68	0.91	0.49	0.82	0.44	0.15	0.58	0.67
La María	RQ5	297.75	6.97	0.98	32.98	0.98	0.91	0.92	0.77	0.48	0.15	0.71	0.81
Aguas arriba quebrada El Pescador	RQ6	294.55	7.49	0.90	29.42	0.90	0.91	0.92	0.66	0.78	0.15	0.72	0.83
Aguas arriba río Verde	RQ7	298.25	7.18	0.90	29.53	0.90	0.91	0.98	0.70	1.00	0.15	0.77	0.90
Aguas arriba confluencia Río Barragán	RQ8	300.05	7.02	0.93	28.60	0.93	0.91	0.94	0.61	0.71	0.15	0.71	0.82

Tabla 109 ICAs calculados para las estaciones del río Quindío utilizadas en las dos campañas de 2014

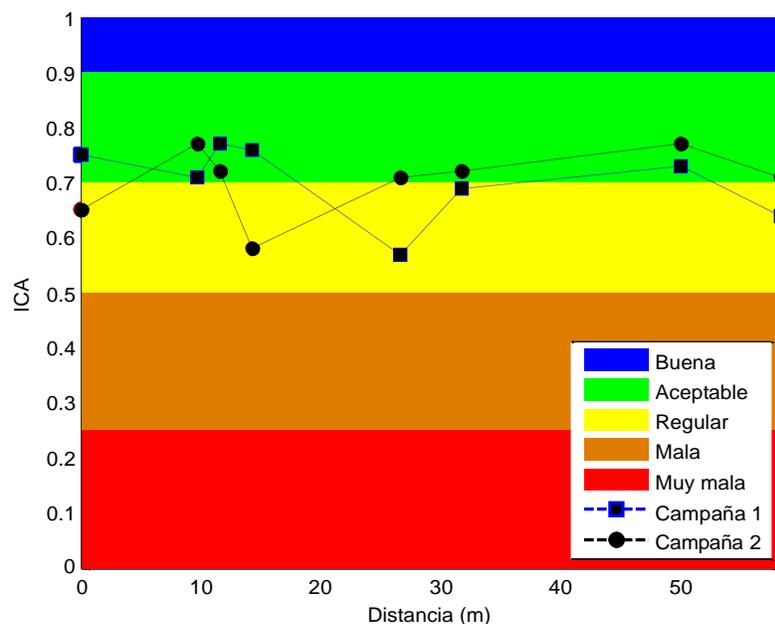


Figura 57 Perfiles longitudinales del ICA con 6 determinantes en el río Quindío

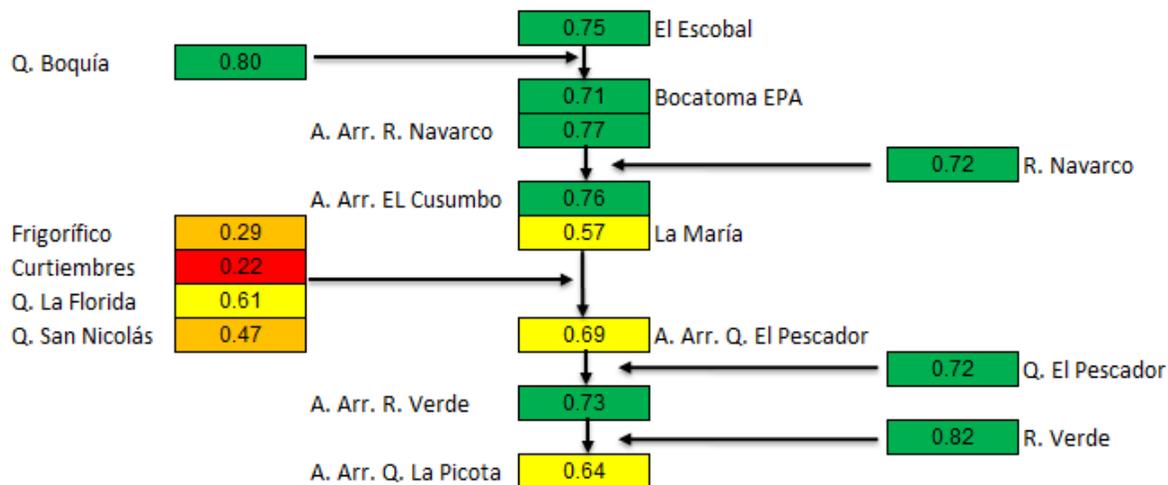
Los resultados indican que la relación de nutrientes marca una diferencia (a la baja) entre los ICAs calculados con 5 y 6 determinantes, lo cual se puede explicar por las actividades agrícolas y domésticas llevadas a cabo en la unidad hidrográfica del río Quindío. El pH medido en la segunda campaña baja de categoría la calidad del agua del río Quindío a regular en su cabecera. En la primera campaña, el sector de La María presenta una calidad del agua categorizada como regular, lo cual es consistente con la presión antrópica (principalmente urbana) que reciben las aguas superficiales en esa zona. Nótese, además, que en época de aguas bajas, la calidad del agua regular se extiende, por lo menos, hasta aguas arriba la quebrada El Pescador. En época húmeda, el punto aguas arriba de la quebrada El Cusumbo (justo antes del inicio de la influencia de la ciudad de Armenia), se clasifica como regular, lo cual indica que en ésta época la mayor influencia proviene de las actividades agrícolas y mineras, especialmente en la parte alta de la unidad hidrográfica río Quindío. En la segunda campaña, los puntos La María y aguas arriba de la quebrada El Pescador registran (no por muy lejos) una calidad aceptable, lo cual se puede explicar por la mayor capacidad de dilución de la corriente (lo cual aplica prácticamente para la parte media y baja del río Quindío). En ambas campañas, la llegada del río Verde disminuye el valor del ICA sobre el río Quindío, dado el importante aporte de carga de este último tributario natural.

Nombre de estación	ID	Campaña 1											ICA (5)
		Ta	Os	PS _{OD}	NT/PT	I _{OD}	I _{DQO}	I _{SST}	I _C	I _{pH}	I _{NT/PT}	ICA (6)	
		K	mg/L O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Quebrada Boquía	AF1	292.55	7.35	0.88	62.39	0.88	0.91	1.00	0.87	1.00	0.15	0.80	0.93
Río Navarco	AF2	295.45	7.04	0.96	14.77	0.96	0.91	1.01	0.53	0.24	0.60	0.72	0.73
Vertimiento Frigocafé	V1	298.35	6.92	0.00	9.83	0.00	0.13	0.34	0.00	1.00	0.35	0.29	0.29
Vertimiento Curtiembres La María	V2	300.25	6.69	0.00	83.68	0.00	0.13	0.17	0.00	0.98	0.15	0.22	0.26
Quebrada La Florida	AF3	296.15	7.23	0.82	19.64	0.82	0.13	0.95	0.00	1.00	0.80	0.61	0.58
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	297.65	7.05	0.43	10.71	0.43	0.13	0.80	0.00	0.95	0.60	0.47	0.46
Quebrada El Pescador	AF5	296.75	7.20	0.87	4.78	0.87	0.91	1.00	0.40	1.00	0.15	0.72	0.84
Río Verde	AF6	296.25	7.50	0.95	15.50	0.95	0.91	1.00	0.31	1.00	0.80	0.82	0.83

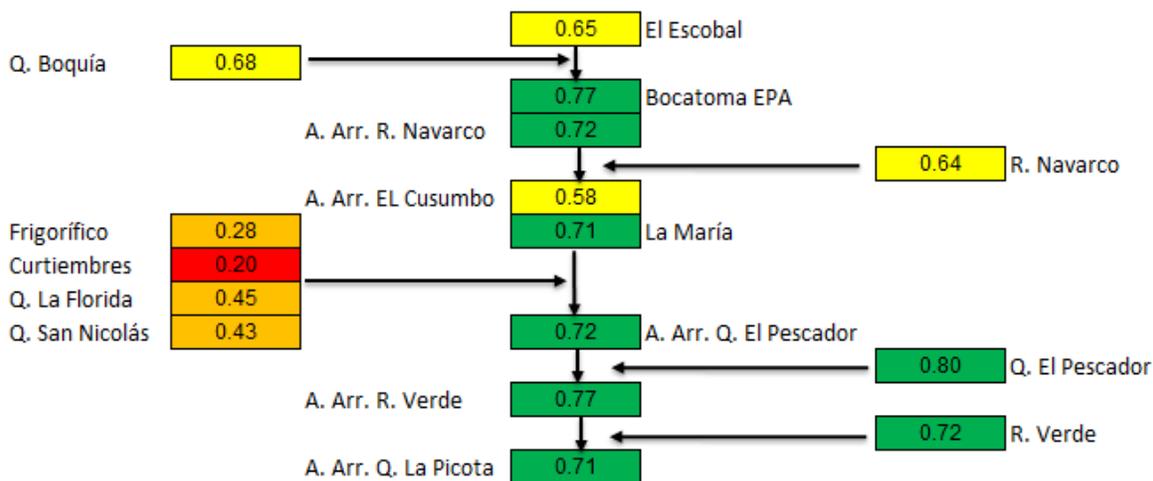
Nombre de estación	ID	Campaña 2											ICA (5)
		Ta	Os	PS _{OD}	NT/PT	I _{OD}	I _{DQO}	I _{SST}	I _C	I _{pH}	I _{NT/PT}	ICA (6)	
		K	mg/L O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Quebrada Boquía	AF1	289.45	7.84	1.08	22.47	0.92	0.13	0.96	0.94	1.00	0.15	0.68	0.79
Río Navarco	AF2	290.15	7.83	1.05	69.45	0.95	0.91	0.62	0.72	0.47	0.15	0.64	0.74
Vertimiento Frigocafé	V1	298.05	6.96	0.01	188.94	0.01	0.13	0.50	0.00	1.00	0.15	0.28	0.33
Vertimiento Curtiembres La María	V2	297.65	7.02	0.01	277.43	0.01	0.13	0.15	0.00	0.83	0.15	0.20	0.22
Quebrada La Florida	AF3	297.35	7.07	0.25	22.39	0.25	0.13	0.89	0.45	0.91	0.15	0.45	0.52
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	295.65	7.32	0.55	60.14	0.55	0.13	0.93	0.00	0.88	0.15	0.43	0.50
Quebrada El Pescador	AF5	296.85	7.18	1.09	15.57	0.91	0.91	0.99	0.54	0.61	0.80	0.80	0.79
Río Verde	AF6	298.25	7.23	0.90	67.54	0.90	0.91	0.92	0.50	1.00	0.15	0.72	0.85

Tabla 110 Resultados del cálculo del ICA para los afluentes principales y vertimientos directos al río Quindío

En cuanto a la calidad del agua de los principales afluentes y vertimientos directos del río Quindío, cabe resaltar que es evidente el sesgo introducido en el ICA al no calcularse el subíndice correspondiente a los organismos patógenos, ya que aguas altamente contaminadas en este sentido, como las de las quebradas urbanas La Florida, El Cafetero e incluso El Pescador, no clasifican como de muy mala calidad. Por el contrario, en algunos casos presentan a favor la buena reaeración dadas sus características de ríos de montaña. Así mismo, el subíndice para el pH permite que las aguas residuales de la Planta de Beneficio de Armenia (Frigocafé) tampoco clasifique como de muy mala calidad (al contrario de las aguas provenientes de las curtiembres). De manera consistente con el comportamiento observado para el río Quindío en su parte alta en época húmeda, la calidad de los tributarios en dicha zona tiende a disminuir por la influencia de actividades agropecuarias y mineras (ver específicamente el caso del río Navarco).



a) Campaña de Monitoreo No. 1



b) Campaña de Monitoreo No. 2

Figura 58 Esquemas de distribución espacial del ICA en el río Quindío (con 6 determinantes)

6.6.2 Análisis de conflictos uso – calidad

En esta sección se comparan los perfiles de calidad del agua medidos en las dos campañas de monitoreo sobre el río Quindío en el año 2014, con los diferentes criterios para la destinación del recurso hídrico establecidos en el Decreto 1594 de 1984 (en donde aplique). El propósito de este análisis es identificar los usos del agua que son posibles a lo largo del río Quindío e identificar si existen conflictos con los usos actuales identificados en la corriente, en el marco normativo ambiental colombiano y algunos referentes internacionales. En la Tabla 111 se presenta la tabla

resumen con los criterios de calidad del agua contenidos en los artículos 38 al 45 del Decreto 1594 de 1984 y se resaltan los determinantes analizados de acuerdo con este instrumento normativo.

Determinante de calidad del agua	Unidades	Consumo humano y doméstico		Agrícola (Art. 40)		Pecuario (Art. 41)	Recreativo		Preservación de Fauna y Flora (Art. 45)	
		Tratamiento convencional (Art. 38)	Solo desinfección (Art. 39)	Sin restricciones	Con restricciones		Contacto primario (Art. 42)	Contacto secundario (Art. 43)	Agua fría dulce	Agua cálida dulce
Amoniaco	mg/L N	1.00	1.00	5.00		-	-	-	-	-
Aluminio	mg/L Al	-	-	-	-	5.00	-	-	-	-
Arsénico	mg/L As	0.05	0.05	0.10		0.20	-	-	-	-
Bario	mg/L Ba	1.00	1.00	0.10		-	-	-	-	-
Boro	mg/L B	-	-	0.3 - 4.0		5.00	-	-	-	-
Cadmio	mg/L Cd	0.01	0.01	0.01		0.05	-	-	-	-
Cianuro	mg/L CN-	0.20	0.20	-		-	-	-	-	-
Cinc	mg/L Zn	15.00	15.00	2.00		25.00	-	-	-	-
Cloruros	mg/L Cl-	250.00	250.00	-		-	-	-	-	-
Clorofenol	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.50	0.50
Cobre	mg/L Cu	1.00	1.00	0.20		0.50	-	-	-	-
Color	Color real Platino - Cobalto	75.00	20.00	-		-	-	-	-	-
Compuestos fenólicos	mg/L Fenol	0.00	0.00	-		-	0.002	-	-	-
Cromo	mg/L Cr+6	0.05	0.05	0.10		-	-	-	-	-
Difenil Policlorados	Concentración de agente activo	No detectable	No detectable	-		-	-	-	0.0001	0.0001
Flúor	mg/L F	-	-	1.00		-	-	-	-	-
Hierro	mg/L Fe	-	-	5.00		-	-	-	-	-
Litio	mg/L Li	-	-	2.50		-	-	-	-	-
Manganeso	mg/L Mn	-	-	0.20		-	-	-	-	-
Mercurio	mg/L Hg	0.00	0.00	-		-	-	-	-	-
Molibdeno	mg/L Mo	-	-	0.01		-	-	-	-	-
Níquel	mg/L Ni	-	-	0.20		-	-	-	-	-

Determinante de calidad del agua	Unidades	Consumo humano y doméstico		Agrícola (Art. 40)		Pecuario (Art. 41)	Recreativo		Preservación de Fauna y Flora (Art. 45)	
		Tratamiento convencional (Art. 38)	Solo desinfección (Art. 39)	Sin restricciones	Con restricciones		Contacto primario (Art. 42)	Contacto secundario (Art. 43)	Agua fría dulce	Agua cálida dulce
Nitritos+Nitratos	mg/L N	-	-	-	-	100.00	-	-	-	-
Nitratos	mg/L N	10.00	10.00	-		-	-	-	-	-
Nitritos	mg/L N	10.00	10.00	-		10.00	-	-	-	-
Oxígeno disuelto	mg/L O ₂	-	-	-	-	-	-	-	5.0	4.0
	% Sat	-	-	-	-	-	70	70	-	-
pH	Unidades	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0		-	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	6.5 - 9.0	4.5 - 9.0
Plata	mg/L Ag	0.05	0.05	-		-	-	-	-	-
Plomo	mg/L Pb	0.05	0.05	5.00		0.10	-	-	-	-
Selenio	mg/L Se	0.01	0.01	0.02		-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L SO ₄	400.00	400.00	-		-	-	-	-	-
Sulfuro de hidrógeno ionizado	mg/L H ₂ S	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	0.0002
Tensoactivos	mg/L SAAM	0.50	0.50	-		-	0.50	0.50	-	-
Turbiedad	UJT	-	10.00	-		-	-	-	-	-
Vanadio	mg/L V	-	-	0.10		-	-	-	-	-
Contenido de sales	Peso total	-	-	-	-	3000.00	-	-	-	-
Coliformes totales	NMP/100 mL	20000.00	20000.00	5000.00	-	-	1000	5000	-	-
Coliformes fecales	NMP/100 mL	2000.00	2000.00	1000.00	-	-	200	-	-	-

Tabla 111 Criterios de calidad para la destinación del recurso hídrico del Decreto 1594 de 1984

6.6.2.1 Sólidos Disueltos Totales

En la Figura 59 se presenta la comparación entre los perfiles medidos de SDT y el criterio establecido por la FAO (1974) de 450 mg/L para indicar la concentración máxima para la cual no hay ninguna restricción para riego agrícola.

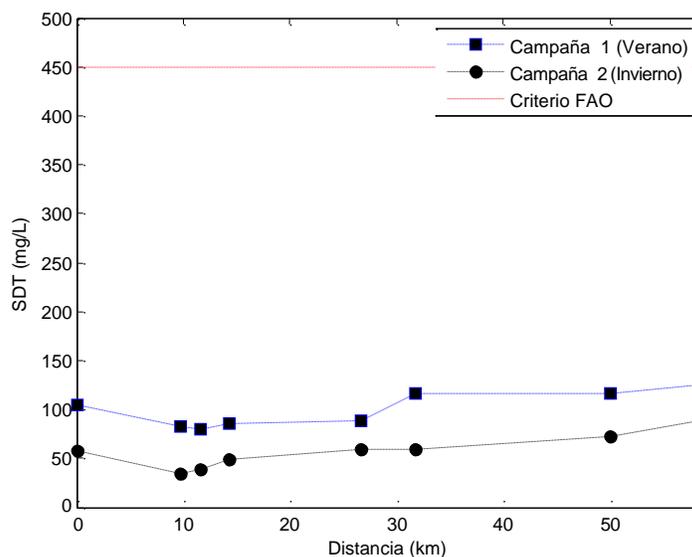


Figura 59 Perfiles de SDT medidos en el río Quindío durante las dos campañas de monitoreo del año 2014. Comparación con criterio sugerido por la FAO para ningún grado de restricción de uso agrícola

De acuerdo con los resultados, el contenido de SDT medido en 2014 sobre el río Quindío no compromete su destinación para el riego de cultivos agrícolas en ningún sector del mismo. Los perfiles también permiten evidenciar que la conductividad se redujo en un orden del 50% en el río Quindío durante la época húmeda, en relación con la época seca, dada la mayor capacidad de dilución de la corriente.

6.6.2.2 Oxígeno disuelto

En la Figura 60 y en la Figura 61 se presentan, de dos formas distintas, los perfiles de oxígeno disuelto medidos en las campañas de medición sobre el río Quindío en el año 2014. De acuerdo con el marco normativo colombiano, el oxígeno disuelto es importante para el uso recreativo y para la preservación de la flora y la fauna.

El porcentaje de saturación registrado en el sector de La María se encontró por debajo del 70% y el valor de oxígeno disuelto es inferior a 5 mg/L, en la época seca medida, lo cual impide su destinación para uso recreativo, por contacto primario y secundario, y uso para preservación de fauna y flora. En la época húmeda medida no se evidenció conflicto alguno, aunque el porcentaje de saturación aguas arriba de la quebrada El Cusumbo indicó que el río está apenas en el límite para cumplir con el criterio de calidad del agua para uso recreativo.

En términos cualitativos, los perfiles de oxígeno disuelto en ambas campañas parecen indicar la existencia de una bolsa de oxígeno que, en época seca, ocurre en el sector de La María por el nivel de impacto e importancia que adquieren las descargas puntuales de carácter industrial y doméstico en el sector urbano del río Quindío. En época húmeda, dicha bolsa de oxígeno parece retroceder y presentarse aguas abajo de la confluencia del río Navarco, lo cual se podría explicar por la mayor influencia del aporte difuso de material orgánico y de nutrientes por escorrentía, cuyo origen es el lavado de cultivos agrícolas principalmente.

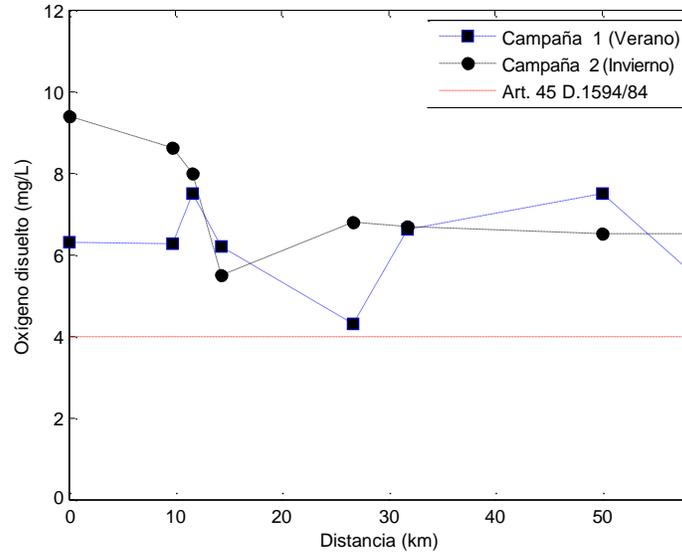


Figura 60 Perfiles de oxígeno disuelto medidos en el río Quindío durante las dos campañas de monitoreo del año 2014. Comparación con el criterio contenido en el artículo 45 del D.1594/84

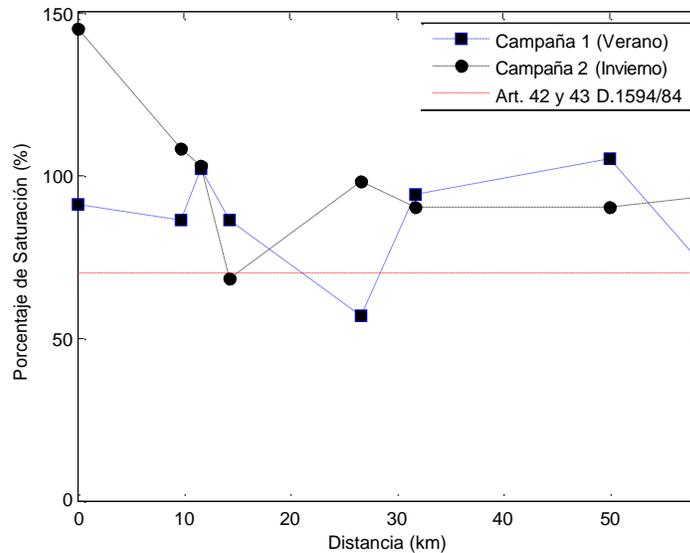


Figura 61 Perfiles de porcentaje de saturación en el río Quindío obtenidos a partir de las dos campañas de monitoreo del año 2014. Comparación con el criterio contenido en los artículos 42 y 43 del D. 1594/84

6.6.2.3 Nitrógeno

En la Figura 62 se presentan los perfiles de Nitrógeno Total medidos en ambas campañas del 2014. Los perfiles de nitrógeno amoniacal no se graficaron dado que todos los valores medidos sobre el río Quindío registraron valores por debajo del límite de detección, el cual coincide con el criterio de calidad del agua del amoniaco para uso agrícola (<1 mg/L N). En este orden de ideas, no se presentaron conflictos por este determinante para los usos de consumo humano y doméstico y agrícola (< 5 mg/L N) en ningún sector del río y para las dos épocas medidas en 2014.

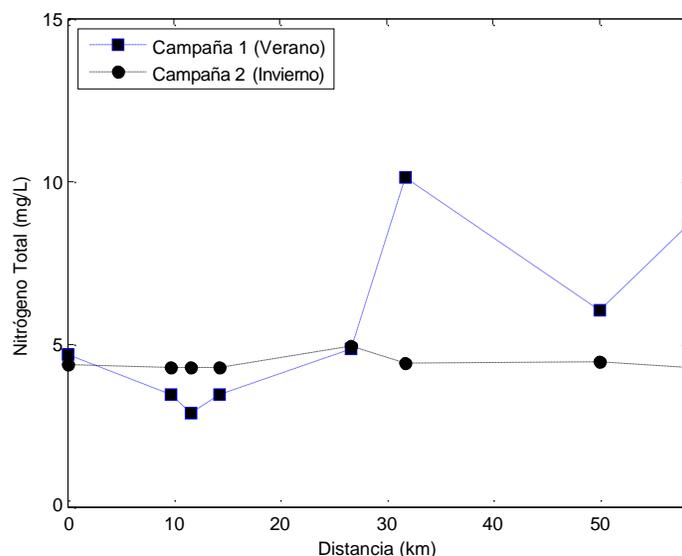


Figura 62 Perfiles de Nitrógeno Total en el río Quindío obtenidos a partir de las dos campañas de monitoreo del año 2014.

Los perfiles de Nitrógeno Total, si bien no se comparan con ningún criterio dado que no está definido en el contexto colombiano, permiten confirmar algunos aspectos descritos para los perfiles de oxígeno disuelto. Nótese que, en época húmeda, los valores de Nitrógeno Total son superiores que sus pares para la época seca, en el tramo aguas arriba del sector de La María, mientras que ocurre lo contrario luego de dicho punto. Lo anterior podría confirmar la influencia preponderante de las actividades agrícolas (principales aportantes de nutrientes por escorrentía) en época húmeda, mientras que en época seca, la influencia es principalmente de los aportes puntuales de origen doméstico e industrial, cuyos efectos se observan aguas abajo del sector de La María. Lo anterior implica que la calidad del río Quindío está dominada principalmente por las actividades agrícolas en su parte alta, al contrario de la parte media y baja, en donde confluye la influencia conjunta de las actividades domésticas, industriales, mineras y agropecuarias.

Lo anterior se refleja igualmente en los perfiles para la suma de los nitritos y nitratos, presentados en la Figura 63, que presenta un comportamiento muy similar al observado para el Nitrógeno Total. En dicha figura se indica que en ningún sector del río se presentaron conflictos para uso pecuario y para consumo humano y doméstico por estos dos determinantes.

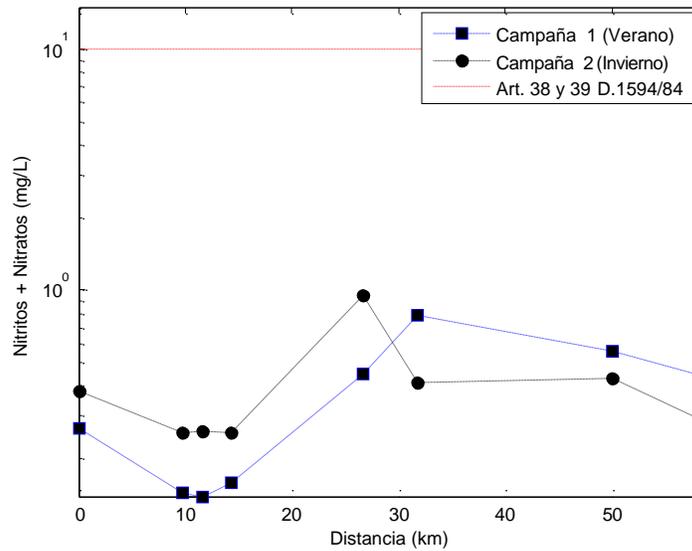


Figura 63 Perfiles de Nitritos+Nitratos en el río Quindío obtenidos a partir de las dos campañas de monitoreo del año 2014. Comparación con el criterio contenido en los artículos 38 y 39 del D. 1594/84

6.6.2.4 pH

En relación con los conflictos uso-calidad por pH, en la Figura 64 se presentan los perfiles obtenidos en 2014 comparados con los criterios para diferentes usos según el Decreto 1594 de 1984.

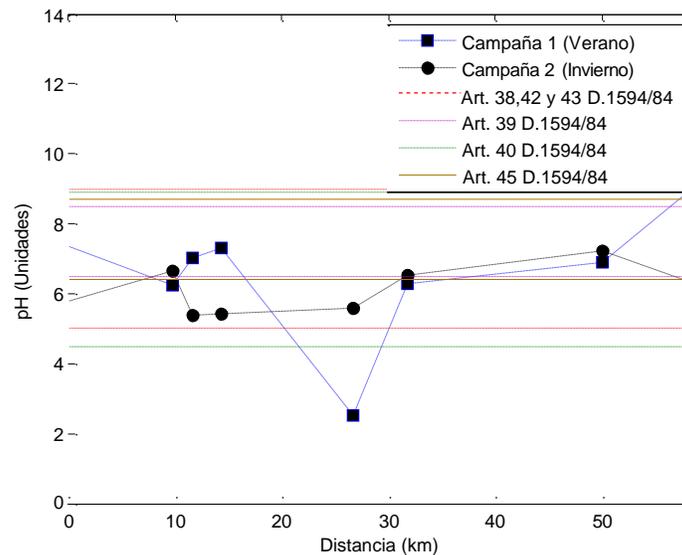


Figura 64 Perfiles de pH en el río Quindío obtenidos a partir de las dos campañas de monitoreo del año 2014. Comparación con los criterios contenidos en los artículos 38 al 45 del D. 1594/84

De acuerdo con los resultados de los monitoreos, en la época seca medida, en el sector de La María, el pH no permite la destinación del recurso para ningún uso reglamentado (consumo

humano y doméstico, agrícola, recreativo y preservación da fauna y flora). Así mismo, para la misma época, el uso para consumo humano y doméstico con solo desinfección tendría conflictos en el punto aguas arriba de la confluencia con el río Barragán (por influencia de la descarga del río Verde). En la época húmeda monitoreada, el sector comprendido entre El Escobal y aguas arriba de la quebrada El Pescador (aunque apenas cumpliendo en el sitio de la bocatoma EPA y en el punto mismo de aguas arriba El Pescador), presentó conflictos por pH para su destinación para consumo humano y uso doméstico con solo desinfección.

6.6.2.5 Indicadores microbiológicos

En la Figura 65 y Figura 66, se comparan los perfiles de Coliformes Totales y Termotolerantes con los criterios contenidos en el Decreto 1594 de 1984.

De acuerdo con los resultados obtenidos en 2014, no se presentaron conflictos para uso recreativo por contacto primario para ningún sector del río Quindío en ambas épocas del año por Coliformes Termotolerantes (aproximadamente el 80% corresponde a E-Coli, de acuerdo con Hachich et al., 2012).

No obstante, de acuerdo con los Coliformes Totales, se presentarían conflictos para uso recreativo por contacto primario en todo el río durante época seca, y en el sector comprendido entre la bocatoma EPA y aguas arriba de la quebrada El Cusumbo, en época húmeda. En relación con uso recreativo por contacto secundario y agrícola sin restricciones, se presentaron conflictos, en época seca, entre El Escobal y la bocatoma EPA, y entre La María y aguas arriba de la quebrada El Pescador; en época húmeda no hubo conflictos. En cuanto al uso para consumo y doméstico, independiente del tipo de tratamiento, se registraron valores por encima del criterio en la bocatoma EPA y en el sector de La María para la época seca medida (pero no en la época húmeda). Lo anterior indica que hay un conflicto actual en el río Quindío en términos de contaminación por organismos patógenos en el sitio de la bocatoma que abastece a la ciudad de Armenia. No obstante, el hecho anterior no se considera alarmante, teniendo en cuenta que los valores medidos de Coliformes Termotolerantes están por debajo de las 100 UFC/100 mL en dicho punto.

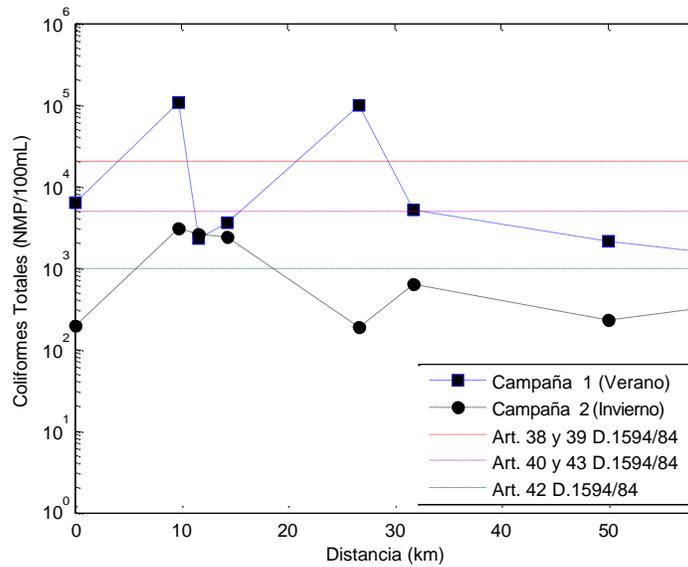


Figura 65 Perfiles de Coliformes Totales en el río Quindío obtenidos a partir de las dos campañas de monitoreo del año 2014. Comparación con los criterios contenidos en los artículos 38 al 43 del D. 1594/84

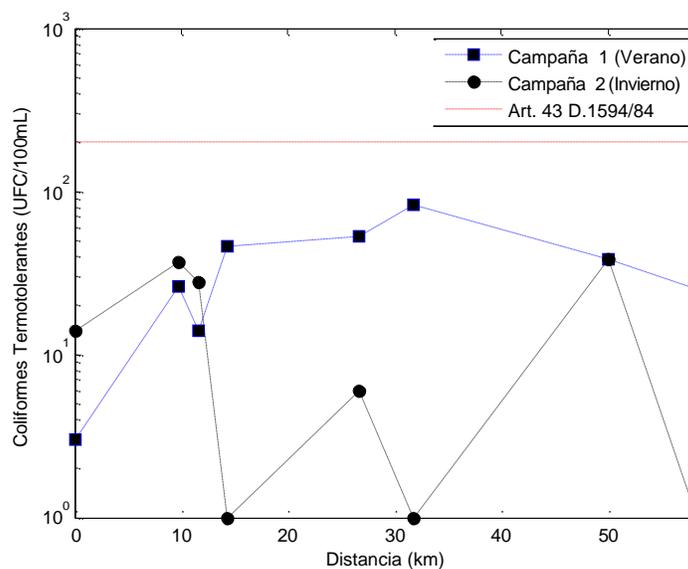


Figura 66 Perfiles de Coliformes Termotolerantes en el río Quindío obtenidos a partir de las dos campañas de monitoreo del año 2014. Comparación con el criterio contenido en el artículo 43 del D. 1594/84 para Coliformes Fecales, el cual también es válido para UFC/100mL (ver EPA, 2012).

6.6.3 Resumen

A manera de resumen, en la Tabla 112 se señalan con un X si se presentó algún conflicto usocidad sobre los puntos medidos en ambas épocas hidrológicas sobre el río Quindío, y en la columna “observaciones” se indica el determinante generador del conflicto.

Punto Río Quindío	Consumo humano y doméstico				Agrícola				Observaciones		
	Tratamiento Convencional		Solo desinfección		Sin restricciones		Con restricciones				
	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda			
El Escobal				X	X				pH	CT	
Bocatoma EPA	X		X		X					CT	
Aguas arriba río Navarco				X					pH		
Arriba quebrada El Cusumbo				X					pH		
La María	X		X	X	X		X		pH y CT	pH	
Aguas arriba quebrada El Pescador					X					CT	
Aguas arriba río Verde											
Aguas arriba confluencia Río Barragán			X						pH		

Punto Río Quindío	Pecuario		Recreativo				Preservación de Fauna y Flora		Observaciones		
			Contacto primario		Contacto secundario						
	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda			
El Escobal			X		X					CT	
Bocatoma EPA			X	X	X					CT	
Aguas arriba río Navarco			X	X						CT	
Arriba quebrada El Cusumbo			X	X						CT	
La María			X		X		X		pH y CT	OD	
Aguas arriba quebrada El Pescador			X		X					CT	
Aguas arriba río Verde			X							CT	
Aguas arriba confluencia Río Barragán			X							CT	

Tabla 112 Resumen de conflictos uso-calidad según el Decreto 1594 de 1984

6.6.4 Análisis de acumulación y remoción de carga contaminante en el río Quindío

De la Figura 67 a la Figura 72 se presenta la comparación entre las cargas contaminantes medidas directamente en el río Quindío (obteniendo el producto entre caudal y concentración en cada punto) y la carga acumulada a lo largo del río por parte de los tributarios y vertimientos directos en el orden de su confluencia. La comparación entre las dos curvas permite identificar dos aspectos:

1) Cuando la carga acumulada es mayor a la carga que lleva el río principal, puede ser indicio de que la diferencia de carga ha sido removida por la fuente receptora por su capacidad auto-depuradora o por la existencia de abstracciones sin retorno.

2) Cuando la carga acumulada es inferior a la carga que lleva el río principal, puede ser indicio de aportes adicionales de carga contaminante (principalmente puntuales en época seca, y difusos en época húmeda).

En los dos casos anteriores debe tenerse en cuenta que también influye la incertidumbre en la medición de las concentraciones y el caudal.

Los perfiles de caudal y carga en la siguiente figura evidencian las abstracciones a la altura de la bocatoma EPA y de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Nótese que a la salida, el caudal acumulado por los tributarios y vertimientos es aproximadamente igual al medido sobre la corriente, lo que indicaría que los principales aportes puntuales fueron medidos. La diferencia entre la carga de SDT acumulada y la conducida por el río se debe principalmente a las abstracciones hechas por las PCHs.

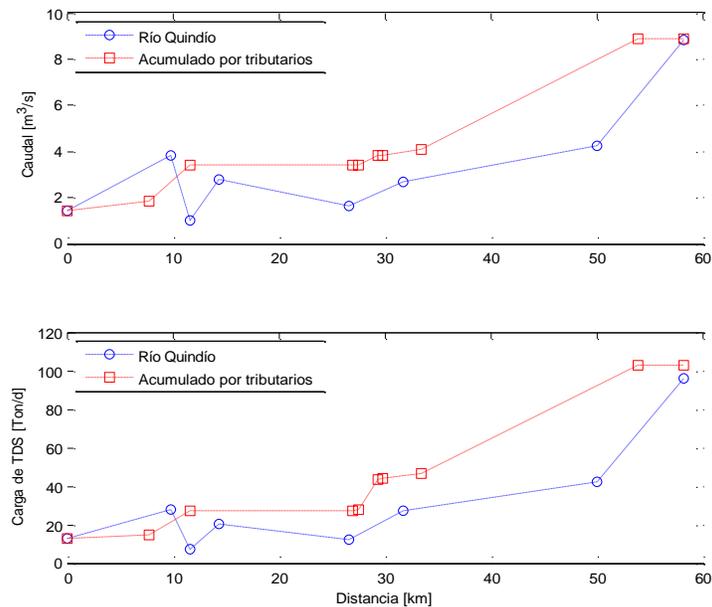


Figura 67 Comparación de caudales y cargas de SDT acumulados por los tributarios y vertimientos, y los valores medidos directamente sobre el río Quindío. Campaña 1 – Tiempo seco.

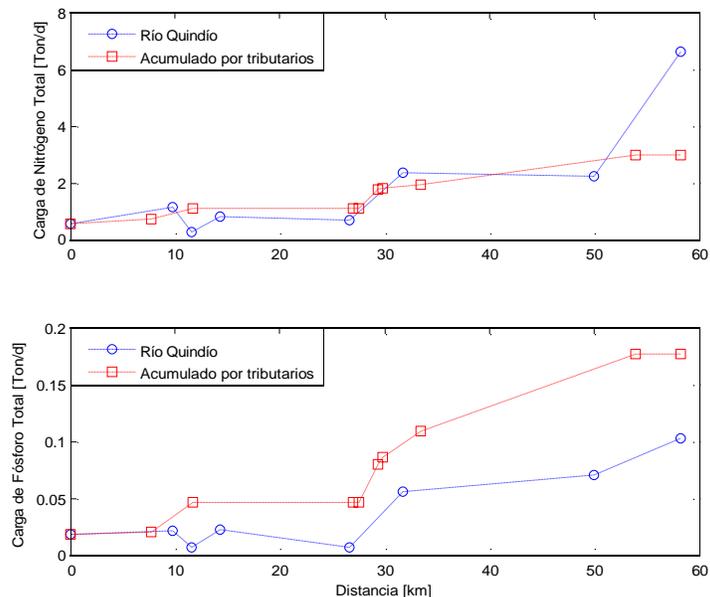


Figura 68 Comparación de cargas de nutrientes acumulados por los tributarios y vertimientos, y los valores medidos directamente sobre el río Quindío. Campaña 1 – Tiempo seco.

En relación con la figura anterior, a la salida del sistema se observa una remoción o asimilación del contenido de fósforo total por parte del río Quindío. No obstante, no es posible evidenciar lo mismo para el caso del nitrógeno total después de la llegada de la confluencia del río Verde. Lo anterior puede indicar que existe un aporte significativo de nitrógeno en el río Quindío que no fue medido, originado por aportes subsuperficiales de nitrógeno y varias descargas puntuales individuales a lo largo de la corriente.

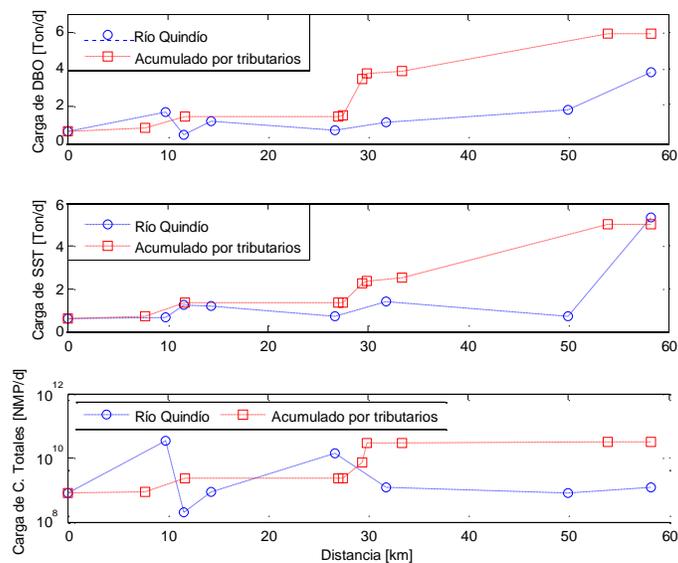


Figura 69 Comparación de cargas de DBO₅, SST y Coliformes Totales acumulados por los tributarios y vertimientos, y los valores medidos directamente sobre el río Quindío. Campaña 1 – Tiempo seco.

La figura anterior indica la remoción de Coliformes totales a lo largo del río Quindío, más evidente en la parte media y baja de la corriente. En la parte alta, la carga de Coliformes Totales que conduce el río a la altura de la bocatoma EPA es superior a la acumulada, lo cual puede indicar un aporte puntual o difuso no monitoreado en el sector aguas arriba, o una subestimación en la carga medida en la quebrada Boquía. Lo anterior también se observa para el sector de La María, indicando la influencia de aportes no monitoreados a la altura de este tramo. Para el caso de los SST, no se evidencia una asimilación a la salida del sistema analizado (al contrario de lo observado justo antes de la confluencia del río Verde en el kilómetro 50) lo cual indica la importancia en el aporte de SST por parte del río Verde al río Quindío, teniendo en cuenta que sus caudales son muy similares entre sí a la altura de su confluencia. En la figura anterior también se puede evidenciar la asimilación de carga orgánica carbonácea, la cual se incrementa drásticamente en el sector de La María por la influencia de las descargas de la ciudad de Armenia (alrededores del km 30).

En la Figura 70 a la Figura 72 se presentan los perfiles de carga obtenidos para la época húmeda medida en 2014. En los perfiles de caudal se observa que en varios puntos a lo largo del río Quindío, el valor medido sobre el mismo es superior al acumulado, observándose la mayor diferencia luego de la confluencia del río Verde. De haberse medido los aportes difusos, la línea roja siempre debería estar por encima de la azul. La diferencia a la salida entre la línea azul y la roja son, en parte, los aportes difusos por escorrentía superficial no medidos a lo largo del río Quindío, además de los efectos del error en la medición de caudales, los cuales son más altos en época húmeda. Es muy probable que las mediciones de caudal en el sitio aguas arriba del río Verde y a la salida del río Verde hayan sido subestimadas dada la alta variabilidad de los caudales en época de húmeda, y que por eso se observe una diferencia cercana a los 25 m³/s a la salida del sistema.

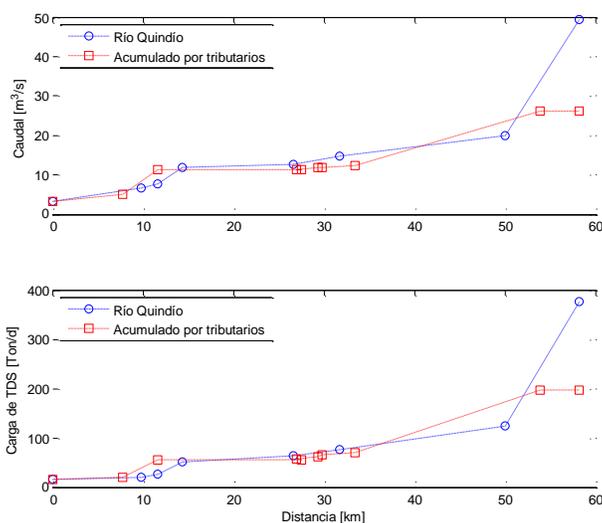


Figura 70 Comparación de caudales y cargas de SDT acumulados por los tributarios y vertimientos, y los valores medidos directamente sobre el río Quindío. Campaña 2 – Tiempo húmedo.

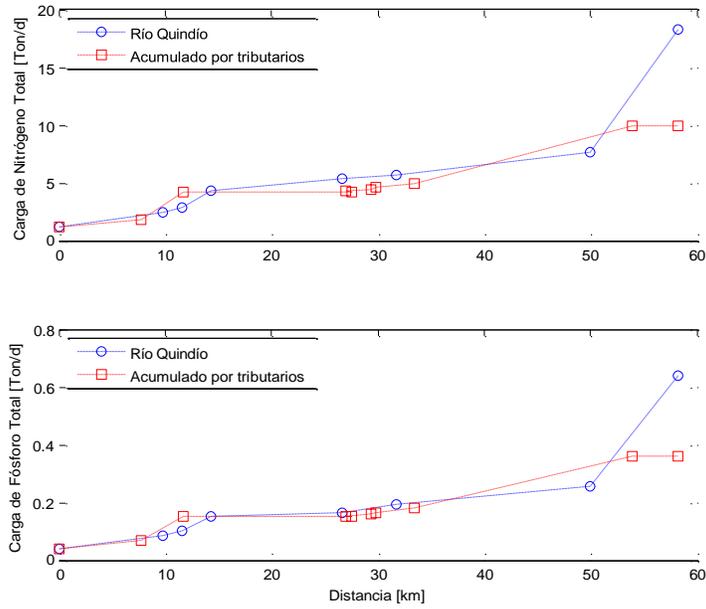


Figura 71 Comparación de cargas de nutrientes acumulados por los tributarios y vertimientos, y los valores medidos directamente sobre el río Quindío. Campaña 2 – Tiempo húmedo.

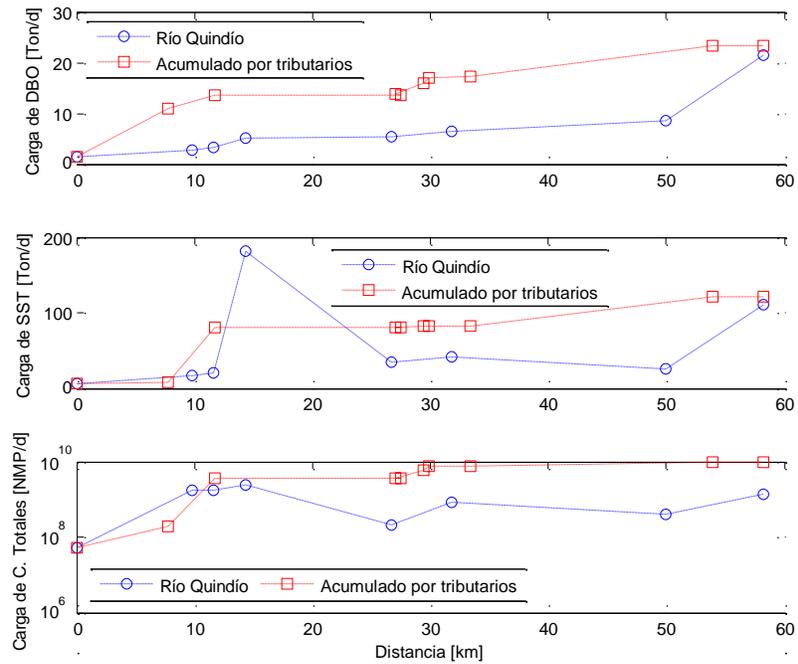


Figura 72 Comparación de cargas de DBO₅, SST y Coliformes Totales acumulados por los tributarios y vertimientos, y los valores medidos directamente sobre el río Quindío. Campaña 2 – Tiempo húmedo.

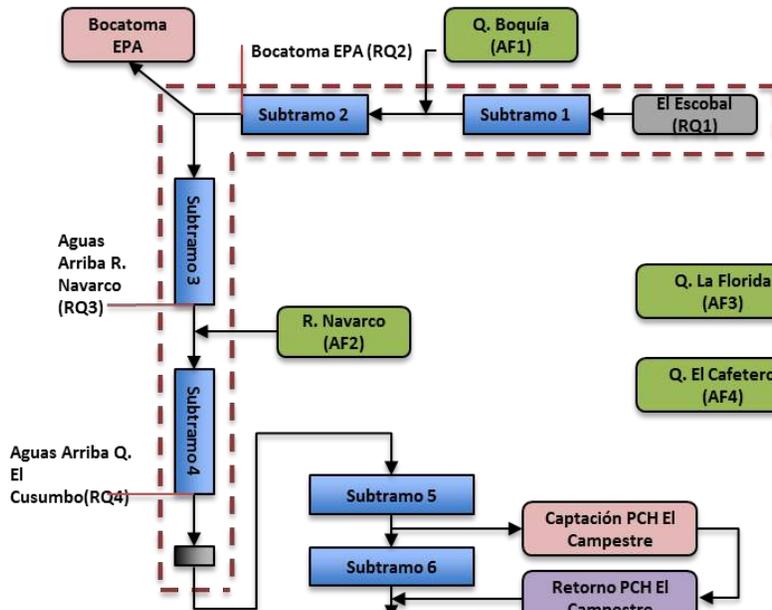
Para la época húmeda, con excepción de los Coliformes Totales, es evidente, por un lado, el excedente de carga no medida de nutrientes de origen difuso (por escorrentía superficial) y, por el

otro, el importante aporte de carga contaminante del río Verde para los SST. En relación con la DBO5, es difícil ser concluyentes dado que los valores medidos sobre la mayoría de los cuerpos de agua superficial estuvieron por debajo del límite de detección igual a 5 mg/L O₂ (al igual que para la DQO).

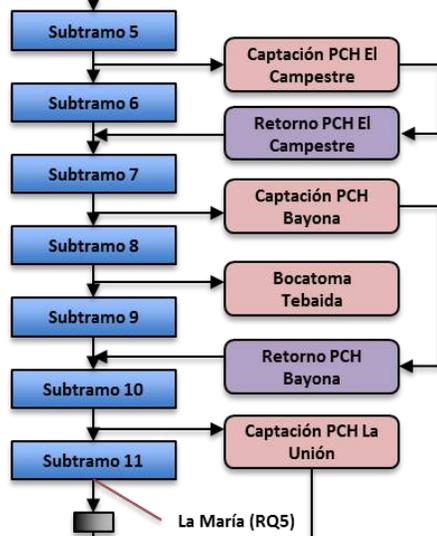
6.7 ESQUEMA CONCEPTUAL DEL RÍO QUINDÍO

En la siguiente figura se muestra la representación conceptual del río Quindío, el cual se ha dividido en cuatro tramos que corresponden a los principales cambios en cantidad y calidad del agua observados sobre la corriente principal. Dicho esquema es el insumo principal para la implementación de software de modelación QUAL2Kw, el cual se describe en la siguiente sección.

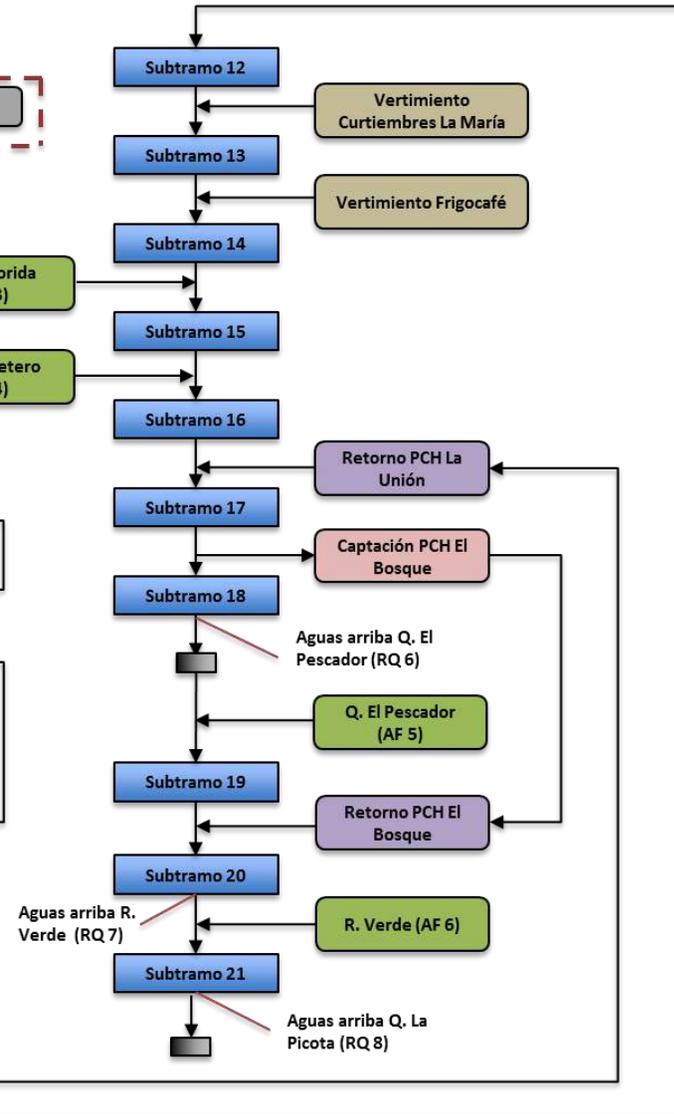
TRAMO 1 (Escobal – Aguas arriba Q. El Cusumbo)



TRAMO 2 (Aguas arriba Q. El Cusumbo – La María)



TRAMO 3 (La María – Aguas arriba Q. El Pescador)



TRAMO 4 (Aguas arriba Q. El Pescador – Aguas arriba Q. La Picota)

68 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA HERRAMIENTA DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

6.8.1 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. A diferencia del primero, WASP es más apropiado para la modelación de sustancias tóxicas; no obstante, presenta una desventaja importante que consiste en la dificultad de calibrarlo automáticamente dado que carece de un módulo para ello y no permite ser ejecutado en segundo plano (batch mode). Por otra parte, mientras la versión más reciente de QUAL2K de la USEPA, desarrollado en el entorno Excel, no incluye explícitamente un módulo de autocalibración, mediante el uso de macros es posible hacer múltiples simulaciones en línea. 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, el análisis hidráulico de flujo no uniforme y no permanente, y la inclusión de zonas de almacenamiento temporal. Estas nuevas capacidades no son necesarias para este trabajo de modelación, puesto que se plantea el desarrollo de un modelo en estado estable y se supone que la descarga de las aguas residuales es continua y constante en el tiempo, con el fin de considerar un efecto en condiciones de equilibrio sobre el cuerpo receptor.

Se modelarán los principales determinantes de la calidad del agua involucrados en el proceso de eutroficación de corrientes, incluyendo el efecto de las algas perifíticas (algas de fondo). Estos son: Temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, DBO última, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos más nitritos, fósforo total, ortofosfatos, SST y Coliformes Totales.

6.8.2 Descripción general de QUAL2Kw v.5.1

El software de modelación QUAL2Kw es una versión moderna del programa Qual2E (Brown y Barnwell, 1985). La versión 5.1 de QUAL2Kw corresponde a un modelo unidimensional de flujo uniforme y permanente que permite el cálculo dinámico de la calidad

del agua a nivel diario (con intervalos de 1 hora) y está programado en el entorno Microsoft Excel. Está bien documentado y se puede obtener de forma gratuita (<http://www.ecy.wa.gov/>).

QUAL2Kw permite utilizar tramos de diferentes tamaños, introducir múltiples cargas y abstracciones en cada uno y utilizar dos formas de DBO carbonácea para representar el carbono orgánico disuelto; estas formas son la lentamente oxidable (DBO lenta) y la rápidamente oxidable (DBO rápida). Adicionalmente, la materia orgánica particulada inerte (detritos) también es simulada.

El software de modelación es apropiado para la simulación de condiciones anóxicas o anaerobias, ya que inhibe las reacciones de oxidación para niveles bajos o nulos de oxígeno disuelto. Además, la desnitrificación es modelada como una reacción de primer orden que incrementa su efecto a bajas concentraciones de oxígeno. El programa de modelación calcula endógenamente los procesos en la interface sedimento-agua y en la zona hiporreica (esta última opcional), aunque permite que los primeros sean prescritos. El modelo simula explícitamente las algas de fondo (aparte del fitoplancton), las cuales pueden representar la presencia de perifiton y/o macrófitas. La extinción de luz en la columna de agua es calculada en función de las algas, los detritos y los sólidos inorgánicos. La alcalinidad, el carbono inorgánico total y el pH en el cuerpo de agua también son simulados. Los patógenos genéricos son simulados en función de la temperatura, la luz y sedimentación. El software incluye un algoritmo genético para la calibración automática de los parámetros del modelo (constantes y tasas de transformación). La documentación y teoría completas para QUAL2Kw está disponible en Pelletier y Chapra (2008).

Datos de entrada

Los datos de entrada incluyen: localización, fecha, opciones de control para la integración numérica de las ecuaciones de balance de masa, caudal y concentraciones en la condición de frontera aguas arriba (cabecera), condiciones de frontera de caudal y concentración para las fuentes puntuales y difusas de contaminación, longitudes de los segmentos y tramos, elevaciones, geometría e hidráulica (curvas de calibración de profundidad y velocidad, o los parámetros para resolver la ecuación de Manning considerando flujo uniforme y sección trapezoidal), temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, velocidad del viento, cobertura de nubes, sombra, parámetros para el modelo de atenuación de luz en la columna de agua, opciones para los modelos de radiación solar, evaporación y radiación de onda larga, valores de los parámetros (constantes y tasas de transformación) que gobiernan la calidad del agua, los parámetros de control del algoritmo genético para la calibración automática opcional de las constantes y tasas de transformación de la calidad del agua.

Ventajas del software de modelación

QUAL2Kw tiene la capacidad de convertir la muerte de algas en una demanda bioquímica carbonácea de oxígeno. Por lo tanto, este modelo es apropiado cuando las macrófitas desempeñan un rol importante en el sistema modelado.

Suposiciones y simplificaciones realizadas en el modelo

Para la implementación de QUAL2Kw en modo de estado estable es necesario hacer las siguientes suposiciones básicas:

1. Flujo permanente.
2. Descarga de aguas residuales continua y constante en el tiempo.
3. No hay variación de concentración en la transversal y en la profundidad. Se supone que el cuerpo receptor está completamente mezclado.
4. El efecto de la dispersión longitudinal es despreciable (Rutherford, 1994).

Adicionalmente:

1. No se simula la transferencia de masa entre el agua de poros de la zona hiporreica y la columna de agua, así como la transformación de la calidad del agua en la primera.
2. Se tiene en cuenta el efecto de las algas de fondo (perifiton) y no se simulará el efecto del fitoplancton dadas las concentraciones de Clorofila-*a* encontradas por debajo del límite de detección en la columna de agua.
3. Se permite el cálculo endógeno de la demanda béntica y demás flujos en la interface sedimento-agua.

Calibración del Modelo en el río Quindío

Para la estimación de los parámetros del modelo, el río se dividió en dos tramos teniendo en cuenta el cambio en la calidad del agua evidenciado en los perfiles longitudinales para los diferentes parámetros y el protocolo de toma de muestras siguiendo la misma masa de agua. El tramo 1 se tomó desde la cabecera en El Escobal (RQ1) hasta Aguas Arriba Q. El Cusumbo (RQ4), que fueron los puntos monitoreados el primer día. El tramo 2 de calibración, se tomó desde La María (RQ5) hasta el punto Aguas Arriba de la confluencia con el río Barragán (RQ8), correspondientes a los puntos de los días 2 y 3, y con valores más críticos de contaminación y presencia de descargas de aguas residuales domésticas e industriales provenientes de los municipios de Armenia y Calarcá principalmente.

En el tramo 1, debido a que no se encontraron valores de DBO₅ y DQO por encima de los límites de detección, no se hizo una separación de la materia orgánica carbonácea y solamente se calibró la tasa correspondiente a la oxidación de la fracción de degradación rápida, tomada como la mitad del límite de detección de la DQO (suponiéndola como la DBO última). En el tramo 2, la separación de la materia orgánica carbonácea se tuvo en cuenta, calculando la DBO última a partir de la DBO₅ medida con una tasa de oxidación en laboratorio de 0.009

d^{-1} ; la DBO rápida se igualó a la DBO última estimada, y la DBO lenta se calculó como la DQO menos la DBO rápida.

El procesamiento relacionado con las variables de nitrógeno consistió en la preparación de los valores que se deben ingresar en QUAL2Kw de nitrógeno orgánico (NO), nitrógeno amoniacal (NH_4) y nitratos (NO_3) a partir de las mediciones de NTK, nitrógeno amoniacal, nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3). Teniendo en cuenta que los nitritos, al tratarse de una especie intermedia entre el amonio y los nitratos que tiende a presentar valores muy bajos de concentración en cuerpos de agua, QUAL2Kw incluye las siguientes relaciones (sin considerar los equivalentes en nitrógeno del fitoplancton):

$$NTK = NH_4 + NO$$

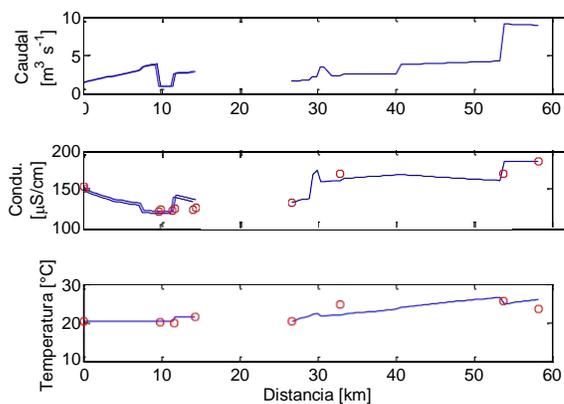
$$NO_3 = NO_{3m} + NO_2$$

$$NT = NTK + NO_3 = NH_4 + NO + NO_{3m} + NO_2$$

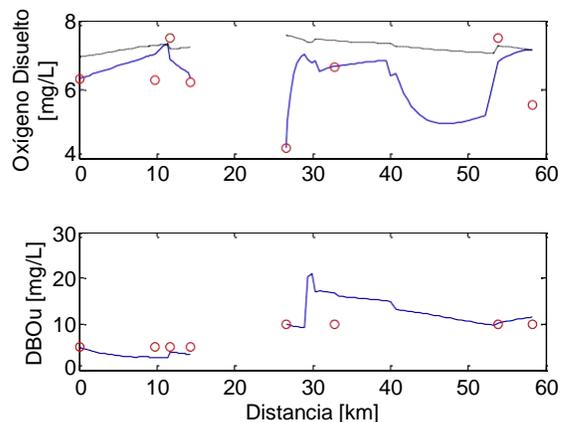
En cuanto al ciclo de fósforo, el fósforo orgánico se calculó como la diferencia entre el fósforo total y los ortofosfatos, y el fósforo inorgánico se igualó a los ortofosfatos medidos.

Para la calibración se ajustaron automáticamente los aportes difusos de carga contaminante provenientes de flujo base y descargas puntuales no monitoreadas para pH, Alcalinidad, Nitrógeno orgánico, Fósforo orgánico y Coliformes totales. Los detalles, tanto en las tasas óptimas estimadas, rangos de calibración y aportes difusos, se pueden observar en la hoja *rates* de los archivos de modelación anexos a este informe de avance.

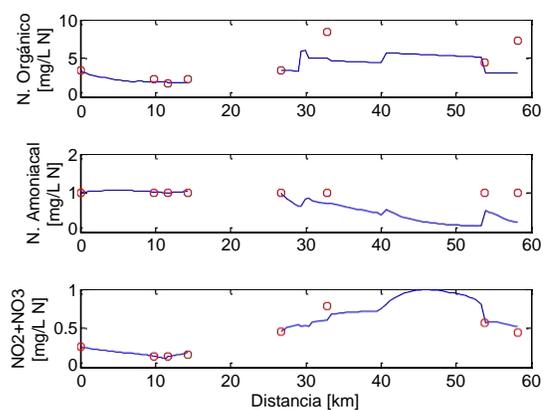
A continuación se presentan los resultados gráficos de calibración, en donde se evidencia un buen ajuste entre los valores medidos y simulados. En la mayoría de los determinantes de la calidad del agua, los valores simulados representan la tendencia longitudinal observada en los perfiles medidos.



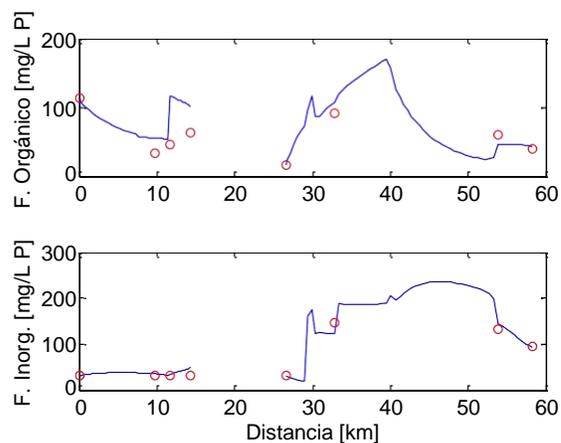
Caudal, conductividad y temperatura



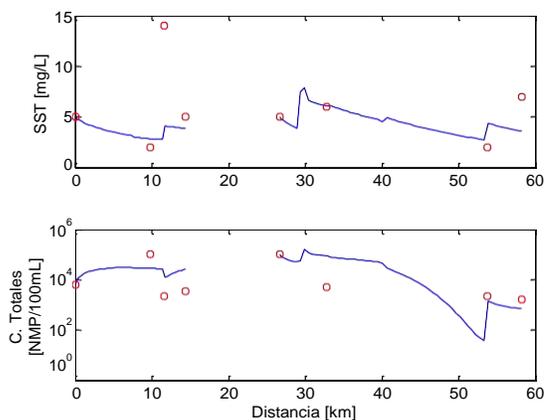
Oxígeno disuelto y DBO última



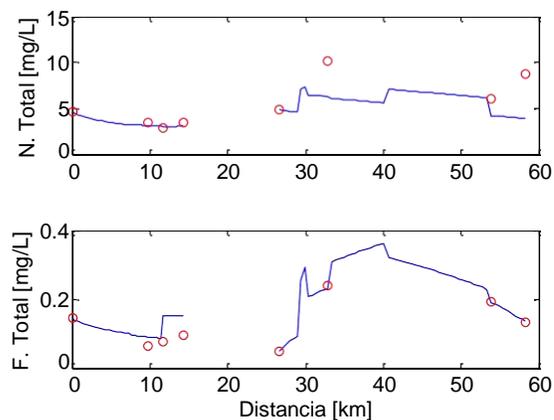
Ciclo de Nitrógeno



Ciclo de Fósforo



SST y Coliformes Totales



Nutrientes

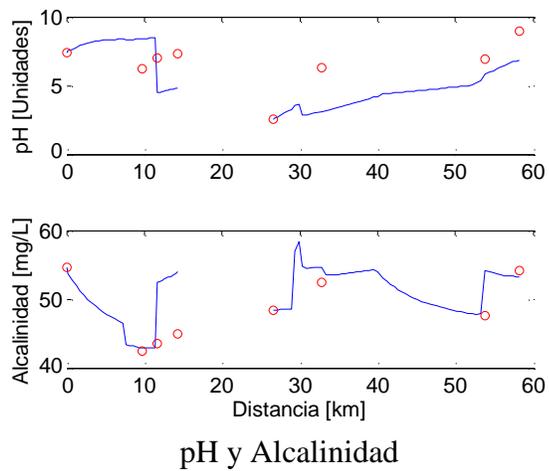


Figura 73 Resultados de calibración. Las dos líneas continuas representan los valores simulados para los tramos 1 y 2 de izquierda a derecha, respectivamente. Los círculos rojos son los valores observados.

7 ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA TOTAL

Debido a que no se tienen mediciones de series históricas de caudales en todos los puntos de interés en la unidad hidrográfica del río Quindío, se requiere utilizar modelación hidrológica para realizar dicha estimación. La experiencia más reciente de modelación hidrológica en la unidad hidrográfica del río Quindío ha empleado el modelo WEAP a escala mensual (CRQ y Universidad del Quindío, 2011). El propósito de dicho estudio fue “...cuantificar la cantidad de agua superficial disponible en la cuenca para poder estimar los caudales ecológicos en los tramos del río”. Dentro de la conceptualización de WEAP los autores de dicho estudio emplearon el método lluvia-escorrentía (FAO), el cual requiere información de precipitación, evapotranspiración de referencia, precipitación efectiva y un coeficiente de cultivo.

Las principales desventajas de dicha conceptualización se centran en la pobre representación de los subprocesos hidrológicos y su incapacidad para simular los mecanismos de producción de escorrentía, y el respectivo balance de humedad en los diferentes elementos de las laderas y la red de cauces. Con respecto a la aplicación en la unidad hidrográfica del río Quindío, se identifica como principal debilidad tratar el parámetro de “coeficiente de cultivo” como una variable de calibración que cambia su valor en cada paso de tiempo, lo cual se realiza con el propósito de cambiar el valor de la evapotranspiración en cada paso de tiempo y así cerrar el balance hídrico global y garantizar un ajuste prácticamente perfecto de los caudales simulados con los observados en el procedimiento de calibración. Además de ello, no se presenta una validación del modelo utilizando una muestra hidrometeorológica independiente a la muestra utilizada para la calibración, lo cual es imprescindible para realizar una correcta evaluación de la eficiencia y robustez del modelo hidrológico.

Es importante destacar que el uso del concepto de parámetros efectivos variables en el contexto de la modelación hidrológica distribuida es una línea de trabajo esperanzadora para mejorar la parametrización de los modelos (Barrios, M, 2014; Barrios, M y Francés, F, 2012). Sin embargo, para poder ser empleado, debe justificarse, identificarse y entenderse la función determinística que explica la no estacionariedad del parámetro y así minimizar la posibilidad de introducir más incertidumbre al proceso de modelación (Barrios, M y Francés F, 2012). Por todo lo anterior, y debido a que se requiere construir el modelo hidrológico a escala diaria y simulación espacialmente distribuida, se hace necesario formular una nueva modelación hidrológica de la unidad hidrográfica.

7.1 SELECCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO

Debido a que existe una amplia variedad de modelos disponibles para representar la relación lluvia-escorrentía, la tarea de seleccionar un modelo hidrológico para una aplicación

en un caso concreto no es simple. Los principales criterios a tener en cuenta para aceptar la aplicabilidad de un modelo hidrológico candidato en un caso práctico son (Beven, 2001):

- ¿Existe un modelo disponible o podría estar disponible si vale la pena invertir tiempo y dinero?
- ¿El modelo predice todas las variables requeridas por los objetivos particulares del caso de estudio?
- ¿Las hipótesis del modelo son asumibles de acuerdo con el conocimiento que se tenga de la respuesta de la unidad hidrográfica que se desea estudiar?
- ¿Todas las entradas requeridas por el modelo (dominio del flujo, condiciones iniciales y de contorno, parámetros del modelo) se pueden estimar en el tiempo y con las restricciones de costos del proyecto?

En el marco del proceso de ordenamiento del recurso hídrico de la unidad hidrográfica del río Quindío, se debe calcular el régimen de caudal ambiental a escala de unidad hidrográfica integrando criterios hidrológicos, hidráulicos, de calidad de aguas y disponibilidad de hábitat, así como es necesaria la identificación de áreas prioritarias para la conservación del recurso hídrico en unidades hidrográficas abastecedoras de acueductos. Por lo anterior, se requiere utilizar Modelación Hidrológica de tipo distribuido espacialmente, para tener una representación explícita de la heterogeneidad espacial del efecto de las características biofísicas de relevancia hidrológica, así como la variabilidad espacial y conectividad lateral entre los flujos y almacenamientos que componen el balance hídrico en la unidad hidrográfica.

Teniendo en cuenta los anteriores requerimientos, el equipo técnico del proyecto ha optado por aplicar el modelo hidrológico distribuido TETIS (Francés, F, et. al.; 2007). Lo cual se justifica principalmente en que este modelo hidrológico se fundamenta en hipótesis y conceptualizaciones que permiten asumir que en la misma unidad hidrográfica ocurran varios mecanismos de producción de escorrentía (ej. por exceso de infiltración y exceso de saturación), permitiendo simular todos los componentes de la escorrentía y permite tener estimaciones del balance hídrico distribuidas espacialmente en las diferentes celdas de modelación en que se divida la unidad hidrográfica. Además, TETIS es un modelo parsimonioso con pocos parámetros de calibración y dispone de un módulo de optimización automática basado en el algoritmo Shuffled Complex Evolution (SCE-UA).

7.1.1 Descripción del Modelo Hidrológico Distribuido TETIS

La producción de escorrentía se modela en TETIS utilizando cinco tanques conectados en cada celda de modelación, y la propagación en cauces es gobernada por la onda cinemática

teniendo en cuenta las características geomorfológicas de la red de cauces. A continuación se presenta la descripción del modelo TETIS elaborada por Bussi (2010).

La producción de la escorrentía se basa en la realización de un balance hídrico en cada celda, asumiendo que el agua se distribuye en cinco niveles o tanques de almacenamiento conceptuales y conectados entre sí, como puede observarse en la Figura 74. El esquema adoptado para la simulación del movimiento vertical del agua en cada celda se basa en describir las interacciones atmósfera – vegetación – suelo – acuífero a través de cinco tanques (Figura 74). 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.

Los flujos verticales de agua entre cada tanque representan los procesos hidrológicos de: precipitación (lluvia o nieve, X1), evapotranspiración (Y1), infiltración (X3), percolación (X4) y pérdidas subterráneas (X5), mientras que los horizontales representan respectivamente: escorrentía directa (Y2), interflujo (Y3) y flujo base (Y4). 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.

La conceptualización del modelo TETIS es una malla interconectada en tres dimensiones como se puede observar en la Figura 75. Los tres tanques inferiores drenan hacia el correspondiente tanque aguas abajo, siguiendo las direcciones del flujo propuestas por el DEM, hasta alcanzar la red principal de drenaje. La longitud de interconexión máxima para cada tanque es definida por el usuario, teniendo en cuenta que para la escorrentía y el flujo subsuperficial esta longitud está asociada al tamaño de las laderas. Para el flujo base esta longitud se estima teniendo en cuenta el punto inicial del flujo permanente en el cauce.

Las salidas posibles de agua para cada celda se da por los tres componentes principales de la escorrentía: la escorrentía directa (producida por escorrentía hortoniana y escorrentía por saturación), el interflujo y el flujo base. Cada proceso involucrado se simula con ecuaciones simples y con pocos parámetros para estimar (Vélez, 2001; Francés, et. al., 2007).

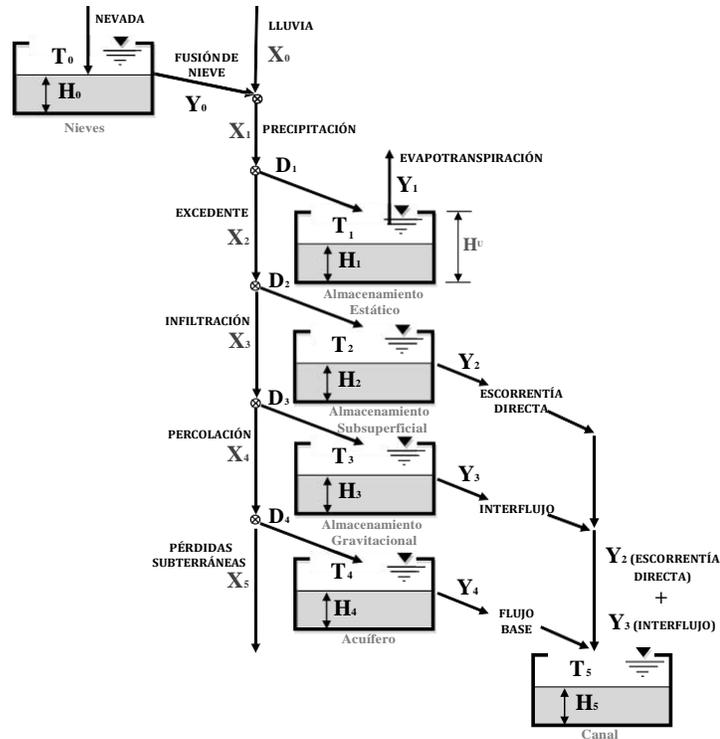


Figura 74 Esquema conceptual de celda del modelo TETIS (Francés et al, 2007)

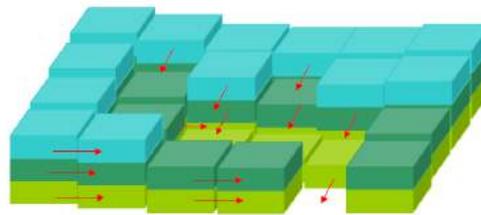


Figura 75. Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS (Vélez, 2001)

En Montoya (2008) se propone que las salidas del interflujo y del flujo base a la superficie diferencian las zonas de la cuenca en tres elementos, definidos por las áreas umbrales para que las diferentes componentes de la escorrentía salgan a la superficie: las laderas, las cárcavas y los cauces (Figura 76 y Figura 77).

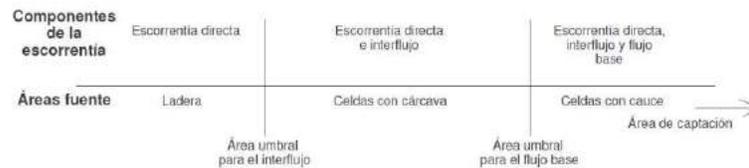


Figura 76. Elementos del sistema, áreas umbrales y componentes de la escorrentía (Montoya, 2008)

En las laderas el flujo superficial tiene lugar en combinación entre flujo laminar y a través de una red de surcos. En el modelo TETIS, los procesos hidrológicos que ocurren en las áreas

inter-surcos (*interrill*) y en los surcos (*rills*) se tratan de manera conjunta, de modo que no es necesaria la caracterización geomorfológica de estos elementos. En paralelo, el interflujo y el flujo base se generan en las respectivas capas de suelo. Una vez el interflujo, en su recorrido, alcanza una celda con área drenada superior al área umbral para el interflujo, sale a la superficie, integrándose a la escorrentía superficial que fluye en las cárcavas. Lo mismo ocurre cuando el flujo base alcanza una celda cuya área drenada es superior al umbral para el flujo base; a partir de este punto, las tres salidas de agua se concentraran en un cauce. Estos principios se explican en la Tabla 113, Tabla 114 y Tabla 115, donde se muestran las transferencias de escorrentía directa, interflujo y flujo base entre una celda y otra en función de la tipología de celda de origen y la tipología de celda de destino.

TANQUE 2			
Celda de origen →	LADERA	CÁRCAVA	CAUCE
Celda de destino ↓			
LADERA	Tanque 2	-	-
CÁRCAVA	Tanque 5	Tanque 5	-
CAUCE	Tanque 5	Tanque 5	Tanque 5

Tabla 113. Flujos de salida desde el tanque 2 (escorrentía directa), según tipo de celda de origen y de destino (tanque 5 = flujo en canal). (Bussi, 2010)

TANQUE 3			
Celda de origen →	LADERA	CÁRCAVA	CAUCE
Celda de destino ↓			
LADERA	Tanque 3	-	-
CÁRCAVA	Tanque 5	Tanque 5	-
CAUCE	Tanque 5	Tanque 5	Tanque 5

Tabla 114. Flujos de salida desde el tanque 3 (interflujo), según tipo de celda de origen y de destino (tanque 5 = flujo en canal). (Bussi, 2010)

TANQUE 4			
Celda de origen →	LADERA	CÁRCAVA	CAUCE
Celda de destino ↓			
LADERA	Tanque 4	-	-

CÁRCAVA	Tanque 4	Tanque 4	-
CAUCE	Tanque 5	Tanque 5	Tanque 5

Tabla 115. Flujos de salida desde el tanque 4 (flujo base), según tipo de celda de origen y de destino (tanque 5 = flujo en canal). (Bussi, 2010)

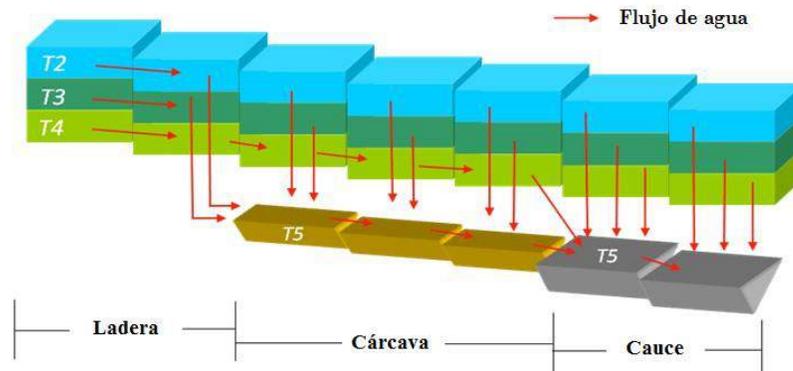


Figura 77. Representación esquemática de los componentes de la escorrentía en TETIS. (Vélez, 2001)

La formulación hidráulica para la propagación en la red de cauces utilizada en el modelo TETIS se basa en una aproximación de la onda cinemática, asumiendo un lecho fijo en cada celda en el cual se aplica una ecuación de balance. Dicha formulación se denomina Onda Cinemática Geomorfológica (Vélez, 2001). La forma de la sección de flujo en cada uno de los elementos que forman la red de drenaje puede obtenerse a partir de relaciones de geometría hidráulica previa validación de sus parámetros. Las relaciones utilizadas son las relaciones de Leopold y Maddock (1953), que asocian las dimensiones de la sección de flujo (profundidad, ancho, velocidad y caudal) mediante ecuaciones de tipo potencial. Las ecuaciones son las siguientes:

Área de captación Λ y caudal a sección llena Q_b :

$$\Lambda = \kappa \cdot Q_b^\varphi$$

Ancho de la sección transversal a sección llena W_b y caudal a sección llena Q_b :

$$W_b = a_1 \cdot Q_b^{\alpha_1}$$

Ancho de la sección transversal W y caudal que pasa por la sección Q :

$$W = Q^{\alpha_2}$$

Diámetro del sedimento d , pendiente S y profundidad del flujo h :

$$d = C_d \cdot (S \cdot h)^\theta$$

Coefficiente de rugosidad n y diámetro del sedimento d :

$$n = c_n \cdot d^\xi$$

Los coeficientes y los exponentes de las ecuaciones anteriores pueden estimarse utilizando regresiones lineares a partir de un número pequeño de secciones transversales medidas en

campo para cada región geomorfológica homogénea. En la se muestran los intervalos de variación habituales en cauces naturales según literatura.

El modelo TETIS, en su parte hidrológica, utiliza una estructura de parámetros efectivos separada en dos partes (Francés, et. al., 2007):

- Las características físicas del medio natural, estimadas según la información disponible y medida a una escala espacial definida.
- Los factores correctores.

Parámetro	Intervalo de variación
κ	0.5 – 0.75
φ	0.65 – 0.8
a_1	0.5 – 5.75
α_1	0.34 – 0.55
α_2	0.05 – 0.2
c_d	0.5 – 50
θ	0.5 – 2.75
c_n	0.025 – 0.07
ξ	0.125 – 0.18

Tabla 116. Intervalos de variación de los coeficientes y exponentes geomorfológicos (Francés, et. al. 2007)

Las características físicas expresan el valor medido o estimado del parámetro para cada celda de la cuenca, describen la variabilidad espacial del mismo y poseen significado físico.

Los factores correctores absorben los errores provenientes de todas las fuentes citadas antes. Es razonable suponer que el factor corrector sea común para todas las zonas de la cuenca, o al menos para un número limitado de regiones dentro de la cuenca. Además, siendo todas las celdas del mismo tamaño, los efectos de escala son iguales para toda la cuenca. La ecuación que describe la estructura separada del parámetro efectivo es la siguiente:

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

donde $\theta_{i,j}^*$ es el parámetro efectivo i -enésimo para la celda j , R_i es el factor corrector del parámetro i , común para todas las celdas, $\theta_{i,j}$ es el parámetro estimado para la celda j , n es el número total de celdas y p es el número total de parámetros por celda.

La ventaja principal de esta estructura del parámetro es que, en la fase de calibración, se reduce notablemente el número de variables que deben ser ajustadas, siendo sólo necesario calibrar los p factores correctores, en vez de np valores (número de parámetros por número de celdas). De este modo, el modelo hidrológico TETIS podrá ser calibrado a través del ajuste

de 9 factores correctores (Tabla 117). En el modelo TETIS se puede utilizar un procedimiento de calibración automática empleando el algoritmo de optimización Shuffled Complex Evolution (SCE-UA), el cual fue implementado en el modelo TETIS por Vélez (2003).

Factor corrector (R_i)	Parámetro	Símbolo
FC1	Capacidad de almacenamiento estático	H_u
FC2	Índice de cobertura de vegetación	λ
FC3	Capacidad de infiltración	K_s
FC4	Velocidad del flujo superficial	u
FC5	Capacidad de percolación	K_p
FC6	Velocidad del interflujo	k_{ss}
FC7	Capacidad de percolación profunda	K_{ps}
FC8	Velocidad del flujo base	K_{sa}
FC9	Velocidad del flujo en canal	v

Tabla 117. Factores correctores y los respectivos parámetros ajustados

7.1.2 Información Hidrometeorológica para la Modelación

Para realizar la modelación hidrológica de la unidad hidrográfica río Quindío se seleccionaron las estaciones meteorológicas e hidrométricas presentadas en la Tabla 118. Dicha selección se soportó en los siguientes criterios aplicados con una resolución temporal diaria:

- **Consistencia de los datos registrados.** Evaluada a través de curvas de doble masa, análisis visual y correlaciones entre la información de las estaciones hidrométricas y meteorológicas, específicamente relacionando caudales y precipitación.
- **Longitud de las series temporales disponibles.** La continuidad de registros de caudales por varios años aceptando un porcentaje de datos faltantes inferior o igual al 10% se consideró como aceptable para elaborar el procedimiento de calibración y validación del modelo, procurando tener estimaciones de campos de precipitación para todo el periodo con base en al menos diez estaciones meteorológicas en cada intervalo temporal.

Es importante indicar que se consideró innecesario e inconveniente realizar homogenizaciones de las series temporales, debido a que **i)** la información hidrometeorológica fue recientemente sometida a un proceso de validación por parte de la CRQ, **ii)** la selección de estaciones y periodos de análisis se sometió a los anteriores criterios de consistencia y **iii)** los métodos de homogenización tienen un alto riesgo de artificializar y suavizar los campos espaciales de precipitación.

Los caudales de la unidad hidrográfica del río Quindío están artificialmente alterados por aprovechamientos de recursos hídricos para abastecimiento de los acueductos de Armenia y La Tebaida, y concesiones para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs). Por lo anterior, es necesario restituir los caudales al régimen natural para poder calibrar el modelo hidrológico. Debido a que la estación de calibración del modelo (Calle Larga) se encuentra aguas abajo de las captaciones y respectivos retornos de las demandas no consuntivas correspondientes a las PCHs, la restitución al régimen natural se realizó adicionando a la serie el caudal promedio captado por la bocatoma de La Tebaida (asumiendo un caudal de 0.12 m³/s) y el caudal captado por la bocatoma de Armenia menos sus retornos (asumiendo un valor de retorno del 50%, equivalente a 0.65 m³/s). La Figura 78 presenta la distribución espacial de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas para el estudio de modelación hidrológica.

No.	Estación	X (m)	Y (m)	Tipo
1	Bremen	1163951.851	1007967.969	Meteorológica
2	CRQ	1156884.098	995664.0916	Meteorológica
3	Estrella de agua	1182709.823	1003241.538	Meteorológica
4	La playa	1165813.197	1004277.208	Meteorológica
5	Navarco	1168989.306	987757.2446	Meteorológica
6	La picota	1178751.434	1006152.98	Meteorológica
7	Planadas	1160296.723	987673.2769	Meteorológica
8	Centro guadua	1164023.9	1003389.3	Meteorológica
9	La Montaña	1179566.154	1004218.888	Meteorológica
10	26125060	1145526.524	984482.0589	Meteorológica
11	26120170	1152234.377	971021.6326	Meteorológica
12	26120160	1167410.951	1004557.141	Meteorológica
13	26130550	1173181.008	1015355.376	Meteorológica
14	26130560	1166699.746	1015307.89	Meteorológica
15	26120120	1137944.765	970853.2129	Meteorológica
16	21215130	1173063.476	972002.1671	Meteorológica
17	21210140	1173738.572	973098.7204	Meteorológica
18	21210130	1173865.215	976273.8433	Meteorológica
19	21210180	1184112.469	991905.4297	Meteorológica
20	Calle Larga	1146351.8	979233.3	Hidrométrica

Tabla 118. Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas para la modelación hidrológica de la unidad hidrográfica del río Quindío

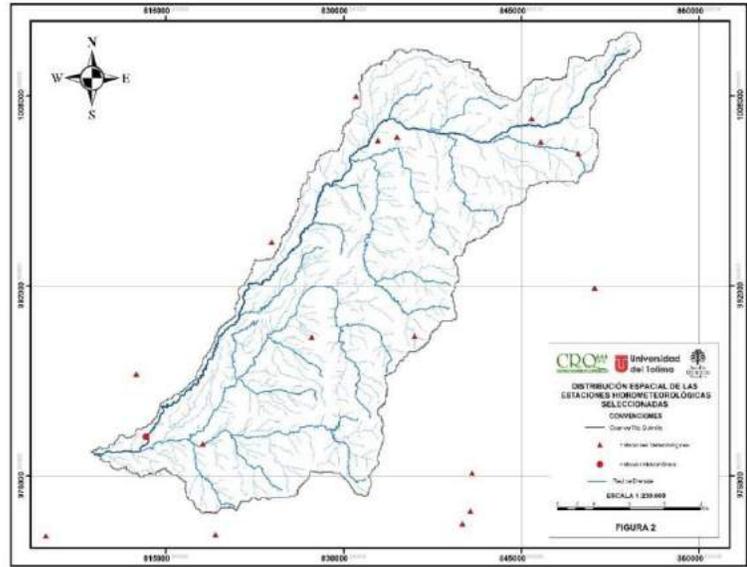


Figura 78. Distribución espacial de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas para la modelación hidrológica. Triángulos: estaciones meteorológicas. Círculo: estación hidrométrica

7.1.3 Geología

La unidad hidrográfica del río Quindío está geológicamente constituida por rocas ígneas, metamórficas, y sedimentarias de diferentes edades afectadas por procesos volcánicos y tectónicos, siendo las más antiguas originadas en el Paleozoico (IGAC, 2013). La constitución litológica de la unidad hidrográfica (Figura 79) se describe a continuación de manera sucinta con base en los estudios IGAC (2013) y CRQ (2008):

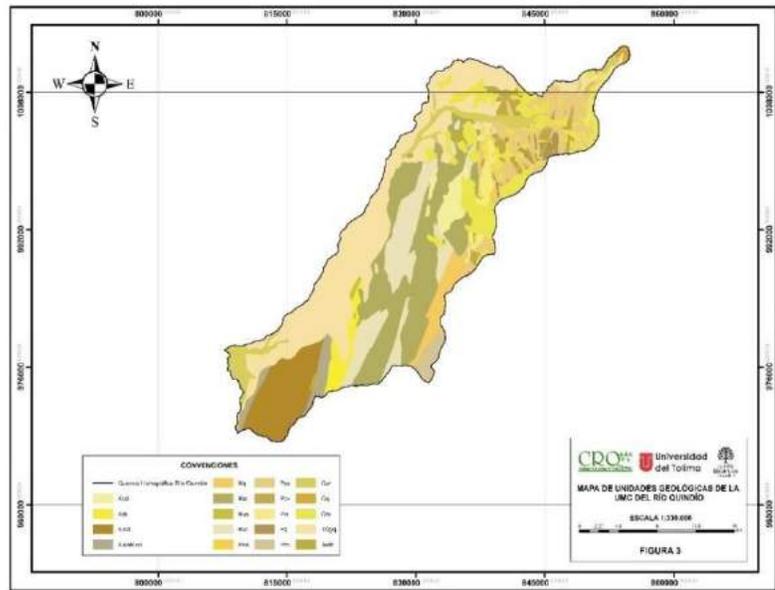


Figura 79. Mapa de unidades geológicas de la Unidad hidrográfica del río Quindío (Fuente SIG-Quindío, 2014)

Complejo Cajamarca. Agrupa un conjunto de rocas metamórficas constituido por esquistos cuarzo seríticos grafitosos, cloríticos, micáceos, filitas y pizarras, con presencia de venas de cuarzo.

Intrusivo Gneisico de la Línea. Rocas graníticas de estructura gnéisica, constituye rocas de grano medio a grueso y composición granodiorítica, presencia de tonalitas y anfibolitas.

Complejo Quebradagrande. Formado por productos de procesos volcánicos y sedimentarios, dentro de la que se destaca la presencia de basalto, limolitas, cuarcitas, grauvacas, calizas, cherts, rocas piroclásticas, y andesitas. Según el IGAC (2013), este complejo de puede subdividir en dos grupos, uno oriental compuesto por cuarzoarenita y conglomerado, con fragmentos de cuarcitas y rocas metamórficas; y un grupo occidental, constituido por arenitas feldespáticas y conglomerados de líticos volcánicos y presencia de basaltos.

Complejo Arquía. Conjunto de rocas metamórficas de origen ígneo y sedimentario, formado por anfibolitas, anfibolitas granatíferas, esquistos anfibólicos con granates y esquistos micáceos y grafitosos con granate y cloritoide.

Complejo Ígneo río Navarco. Unidad conformada principalmente por diorita y tonalita.

Complejo Ígneo de Córdoba. Formada por diorita y tonalita, caracterizada por rocas masivas de grano fino a grueso.

Depósitos del Abanico del Quindío. Materiales de origen fluviovolcánico, generados por depósitos piroclásticos, lahares, flujos de escombros e hiperconcentrados de origen glaciario e hidrometeorológico, y depósitos de sedimentos de origen fluvial.

7.1.4 Suelos

Según el IGAC (2013), existe una alta heterogeneidad espacial en cuanto a clases de suelos, lo cual se explica por la alta variedad de tipos de clima, relieves, geoformas, materiales litológicos y coberturas vegetales en la unidad hidrográfica en estudio. Los suelos más abundantes son los Inceptisoles representados por las clases Humudepts Típico y Dystrudepts Típico, y los Andisoles con las clases Hapludands Típico y Hapludands Acrudoxic. Los suelos de la unidad hidrográfica del río Quindío están clasificados en 23 consociaciones y un grupo indiferenciado de suelos (Figura 80). De acuerdo con el IGAC (2013), las principales características de estas unidades son las siguientes:

Consociación Frailejones (FR). Ubicada a una altitud entre 3600 y 4200 m, suelos principalmente originados a partir de cenizas volcánicas sobre esquistos, superficiales y limitados por contacto lítico, de buen drenaje, ácidos y baja fertilidad.

Consociación CHILI (CH). Ubicada en altitudes entre 3600 y 4200 m, principalmente derivados de cenizas volcánicas, moderadamente profundos, ácidos y baja fertilidad.

Consociación Juntas (JN). Ubicada en altitudes entre 3600 y 4200 m, suelos derivados de cenizas volcánicas sobre materiales fluvio-glaciáricos, superficiales y limitados por fragmentos de roca, con pobre drenaje, ácidos con disminución de acidez con la profundidad y de baja fertilidad.

Consociación San Juan (SJ). Ubicada en altitudes entre 3000 y 3600 m, principalmente derivados de cenizas volcánicas sobre materiales fluvio-glaciares, profundos, de buen drenaje, ácidos y baja fertilidad.

Consociación La Línea (LL). Ubicada en altitudes entre 3000 y 3600 m, principalmente originados a partir de cenizas volcánicas sobre esquistos, profundos, de buen drenaje, moderadamente ácidos con disminución de la acidez con la profundidad y de alta fertilidad.

Consociación el vergel (EV). Ubicada en altitudes entre 2000 y 3000 m, principalmente derivados de rocas vulcano-sedimentarias, son suelos profundos, de buen drenaje, fuertemente ácidos con disminución de la acidez con la profundidad, y moderada fertilidad.

Consociación el Escobal (EE). Ubicada en altitudes entre 2000 y 3000 m, principalmente derivados de cenizas volcánicas, superficiales, de buen drenaje, fuerte y moderadamente ácidos y de baja fertilidad.

Consociación Cumaral (CM). Ubicada en altitudes entre 2000 y 3000 m, derivados principalmente de depósitos aluviales moderadamente finos, profundos, de buen drenaje y baja fertilidad.

Consociación Cocora (CC). Ubicada en altitudes entre 2000 y 3000 m, principalmente derivados de depósitos aluviales gruesos, superficiales, de drenaje moderado, fuertemente ácidos y baja fertilidad.

Consociación Calicanto (CL). Ubicada en altitudes entre 1000 y 2000 m, principalmente derivados de depósitos torrenciales volcánicos con influencia de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, moderadamente ácidos y moderada fertilidad.

Consociación Guayaquil (GY). Ubicada en altitudes entre 1000 y 2000 m, principalmente derivados de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, muy ácidos en superficie con una ligera disminución de la acidez con la profundidad, y con moderada fertilidad.

Consociación Pedregales (PD). Ubicada en altitudes entre los 1000 y 2000 m, principalmente derivados de rocas vulcano-sedimentarias con influencia de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, fuerte y moderadamente ácidos y moderada fertilidad.

Consociación Los Tangos (LT). Ubicada en altitudes entre los 1000 y 2000 m, principalmente derivados de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, fuerte y moderadamente ácidos, y moderada fertilidad.

Consociación La Honda (LH). Ubicada en altitudes entre 1000 y 2000 m, principalmente derivados de depósitos aluviales gruesos, superficiales, limitados por fragmentos de roca, de buen drenaje, fuertemente ácidos y baja fertilidad.

Consociación Los Alpes (LA). Ubicada en altitudes entre 1000 y 2000 m, principalmente derivados de anfibolitas y esquistos, profundos, de buen drenaje, fuerte y moderadamente ácidos, y moderada fertilidad.

Consociación El Roble (ER). Ubicada aproximadamente a 2095 msnm, principalmente originados a partir de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, moderadamente ácidos y baja fertilidad.

Consociación La Esperanza (LE). Ubicada en altitudes entre 1461 y 1848 m, principalmente suelos derivados de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, muy ligeramente ácidos, y baja fertilidad.

Consociación Membrillar (MM). Ubicada en altitudes entre 1294 y 1895 m, principalmente derivados de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, fuertemente ácidos y baja fertilidad.

Consociación El Cafetal (EC). Ubicada aproximadamente a una altitud de 1211 m, principalmente derivados de cenizas volcánicas, profundos, de buen drenaje, ligera a moderadamente ácidos y moderada fertilidad.

Consociación Padilla (PL). Ubicada en altitudes entre 1075 y 2000 m, principalmente derivados de depósitos torrenciales volcánicos, profundos, de buen drenaje, ligeramente ácidos y moderada fertilidad.

Consociación Quindío (QN). Ubicada en altitudes entre 1000 y 2000 m, moderadamente profundos, imperfectamente drenados, moderadamente ácidos con aumento de la acidez con la profundidad y moderada fertilidad.

Grupo indiferenciado Pisamal (PS). Ubicado en altitudes entre 1000 y 2000 m, principalmente derivados de depósitos aluviales gruesos, superficiales, de drenaje excesivo, muy fuertemente ácidos y baja fertilidad.

Consociación Nuevo Horizonte (NH). Ubicada en altitudes entre 1000 y 2000 m, principalmente derivados de materiales aluviales medios y gruesos, de profundidad moderada, bien drenados, fuertemente ácidos con disminución de la acidez con la profundidad, y de moderada fertilidad.

Consociación La Rivera (LR). Ubicada en altitudes inferiores a 2000 m, principalmente derivados de depósitos aluviales finos y medios, superficiales, de drenaje pobre, fuertemente ácidos y alta fertilidad.

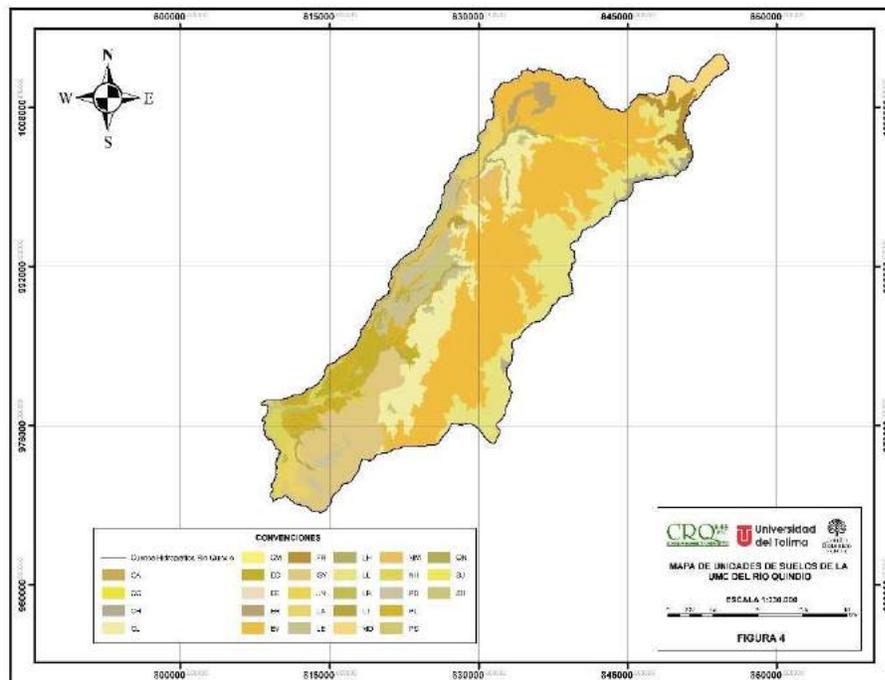


Figura 80. Mapa de unidades de suelos de la Unidad hidrográfica del río Quindío (Fuente SIG-Quindío, 2014)

7.1.5 Cobertura y Uso de la Tierra

Las coberturas y uso de la tierra de la unidad hidrográfica fueron caracterizadas por el IGAC (2010) aplicando la metodología Corine Land Cover sobre fotografías aéreas digitales.

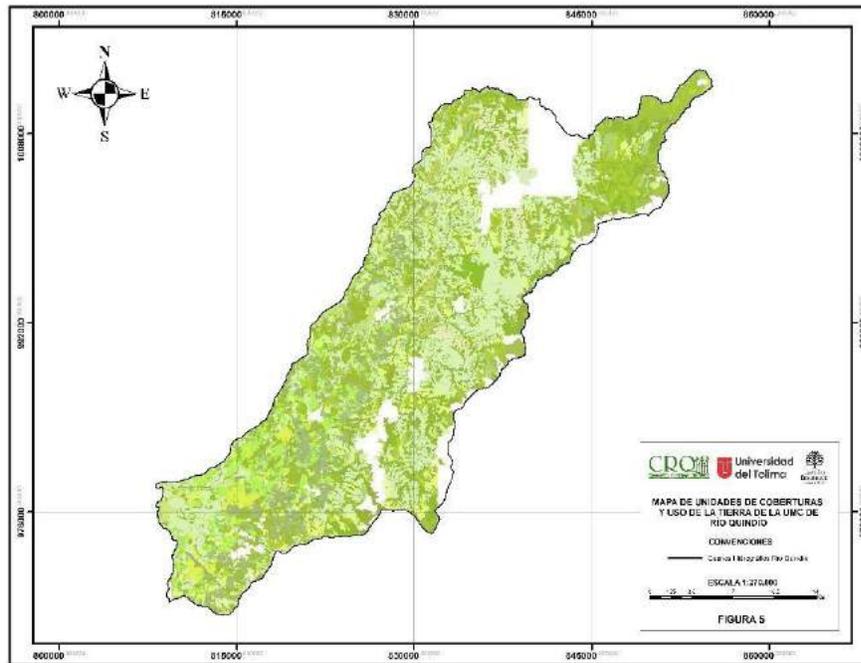


Figura 81. Mapa de unidades de cobertura y uso de la tierra de la Unidad Hidrográfica del río Quindío (Fuente SIG-Quindío, 2014)

El mapa de cobertura fue generado con una escala espacial 1:10.000 y un área mínima de mapeo de 1 ha en el área rural, y 0.5 ha en el área urbana con una anchura mínima de 5 m para elementos lineales como drenajes y vías. La clasificación consta de cinco categorías (territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y cuerpos de agua), algunas de las cuales llegan hasta el sexto nivel de detalle (Figura 81 y Tabla 119).

	1° Nivel	2° Nivel	Otros Niveles		
1	Territorios Artificializados	1.1	Zonas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	1.1.2 Tejido urbano discontinuo
		1.2	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1 Zonas industriales o comerciales 1.2.1.1 Zonas industriales 1.2.1.1.2 Avicultura 1.2.1.1.3 Piscicultura 1.2.1.2 Zonas comerciales	1.2.2.1.1 Vía Pavimentada 1.2.2.1.2 Vía sin pavimentar 1.2.2.1.2 Territorios asociados a la red vial 1.2.5 Obras hidráulicas
		1.3	Zonas de extracción minera y escombrera	1.3.1 Zonas de extracción minera 1.3.2 Zonas de disp. de residuos	
		1.4	Zonas verdes artificializadas no agrícolas	1.4.1.1 Otras zonas verdes urbanas 1.4.1.6 Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas 1.4.2.2 Áreas deportivas 1.4.2.2.3 Estadios	1.4.2.3 Áreas Turísticas 1.4.2.3.1 Condominios 1.4.2.3.2 Fincas recreativas 1.4.2.3.3 Centros Vacacionales
2	Territorios Agrícolas	2.1	Cultivos anuales o transitorios	2.1.2.2 Maíz 2.1.3.3 Frijol 2.1.3.4 Soya	2.1.3.6 Habichuela 2.1.5.1 Papa 2.1.5.2 Yuca
		2.2	Cultivos permanentes	2.2.1.10 Granadilla 2.2.1.3.1 Plátano 2.2.1.3.2 Banano 2.2.1.15.8 Baby blue 2.2.1.8 Piña 2.2.3.6 Aguacate 2.2.2.2.1 Café a plena exposición 2.2.2.2.2 Café con semisombra 2.2.2.2.3 Café con sombra	2.2.5.2 Flores 2.2.2.6 Tomate de árbol 2.2.2.7 Lulo 2.2.2.8 Mora 2.2.3.7 Macadamia 2.2.3.3.3 Mandarina 2.2.3.3.1 Naranja 2.2.4.1 Pastos y arboles plantados 2.2.5.2 Tomate
		2.3	Pastos	2.3.1 Pastos limpios 2.3.2 Pastos arbolados	2.3.3 Pastos enmalezados
		2.4	Áreas Agrícolas heterogéneas	2.4.1 Mosaico de cultivos 2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos 2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.4 Mosaico de pastos y espacios naturales 2.4.5 Mosaico de cultivos y espacios naturales
3	Bosques y Áreas Seminaturales	3.1	Bosques	3.1.2.1.1 Bosque abierto alto de tierra firme 3.1.2.2.1 Bosque abierto bajo de tierra firme 3.1.4.1 Bosque de galería y ripario de guadua 3.1.4.4 Bosque de galería y ripario mixto 3.1.5.2.1 Eucalipto	3.1.1.1.1 Bosque denso alto de tierra firme 3.1.1.2.1 Bosque denso bajo de tierra firme 3.1.1.2.1.1 Guadua 3.1.5.1.1 Pino 3.1.5.2 Latifoliadas arbolado 3.1.5.2.5 Nogal 3.1.2.1 Bosque abierto alto
		3.2	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2 Herbazal y arbustal 3.2.1.2 Herbazal abierto 3.2.1.1.1.1 Herbazal denso de tierra firme no arbolado 3.2.1.1.1.2 Herbazal denso de tierra firme arbolado	3.2.1.1.1.3 Herbazal denso de tierra firme con arbustos 3.2.2.1 Arbustal denso 3.2.2.2 Arbustal abierto 3.2.3.1 Vegetación secundaria alta 3.2.3.2 Vegetación secundaria baja
		3.3	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	3.3.2 Afloramientos rocosos 3.3.1.2 Arenales	3.3.2 Zonas nivales 3.3.3 Tierra desnuda y degradada
4	Áreas Húmedas	4.1	Áreas húmedas continentales	4.1.1 Zonas pantanosas 4.1.2 Turberas	
5	Superficies de Agua	5.1	Aguas Continentales	5.1.1 Ríos 5.1.3 Canales	5.1.4.3 Estanques para acuicultura continental

Tabla 119. Clases de cobertura y uso de la tierra presentes en la unidad hidrográfica del río Quindío

7.2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO

En esta sección se realiza la identificación de los parámetros que controlan los umbrales de flujo y almacenamiento en el modelo hidrológico, así como la propagación del flujo a través de la red de cauces. Inicialmente se describe la estimación de valores de referencia de los parámetros hidráulicos del suelo y el sustrato del suelo para cada unidad cartográfica, luego se presentan los parámetros estimados para transitar los caudales a través de la red de cauces, la estimación de la evapotranspiración de referencia, la capacidad de intercepción, y los parámetros derivados de la topografía.

7.2.1 Parámetros hidráulicos del suelo y sustrato

En la conceptualización del modelo hidrológico TETIS, el flujo de agua y el estado de humedad en el suelo están controlados por la capacidad de almacenamiento capilar H_u y por la conductividad hidráulica saturada del suelo k_s . Por otro lado, el flujo vertical a través del sustrato rocoso está regulado por la conductividad hidráulica saturada del sustrato k_p .

Valores modales de k_p

Un valor de referencia indica la magnitud más frecuente o representativa de una propiedad hidráulica del suelo o el sustrato rocoso en una unidad cartográfica determinada (Puricelli, 2003). Los valores de referencia del parámetro k_p se tomaron de los rangos presentados por Chapman (1996) en función del tipo de material parental que se encuentra bajo la capa de suelo, el valor de referencia se tomó como el valor medio de los rangos consultados en la literatura (Tabla 120). Los valores de referencia de k_p para cada unidad litológica de la unidad hidrográfica se presentan en la Tabla 121.

Tipo de roca	Valor modal (m/d)
Gravas finas a gruesas	10E4
Arena y Grava	10E2
Arenas gruesas	9E2
Arenas limosas	10E0
Arcillas	9E-6
Rocas masivas metamórficas e ígneas	9E-7
Esquistos	10E-4
Gneises y Granitos Fracturados	10E-1
Dolomitas	10E1
Basaltos Vesiculares	9E2

Tabla 120. Valores de referencia de k_p en función del tipo de roca, adoptados de Chapman (1996)

Unidad Litológica	Kp de referencia (mm/h)
Kcd	3.75E-005
Kdi	3.75E-005
Kiea	2.09E-002
KieaKies	2.09E-002
Kq	3.75E+004
Ksc	4.17E+002
Kus	3.75E-005
Kvc	3.75E-005
Pea	4.17E+001
Pes	4.17E-002
Pev	4.17E-002
Pin	4.17E+001
Pq	4.17E-002
Pzc	4.17E-002
Qar	4.17E+002
Qq	4.17E+002
Qto	3.75E-004
Tadh	4.17E+001
TQgq	4.17E+001

Tabla 121. Valores de referencia de k_p para cada unidad geológica en la unidad hidrográfica del río Quindío.

Además de tener en cuenta la litología para la estimación de los valores de referencia de la conductividad hidráulica saturada, se ha tenido en cuenta la geología estructural de la unidad hidrográfica (Figura 82). Según el IGAC (2013), La estructura de fallas de la unidad hidrográfica pertenece al sistema Romeral, las cuales tienen orientaciones Noreste-Suroeste con ángulos de 10 a 20 grados NE, Este-Oeste y Noroeste con ángulos de 40 a 70 grados NW.

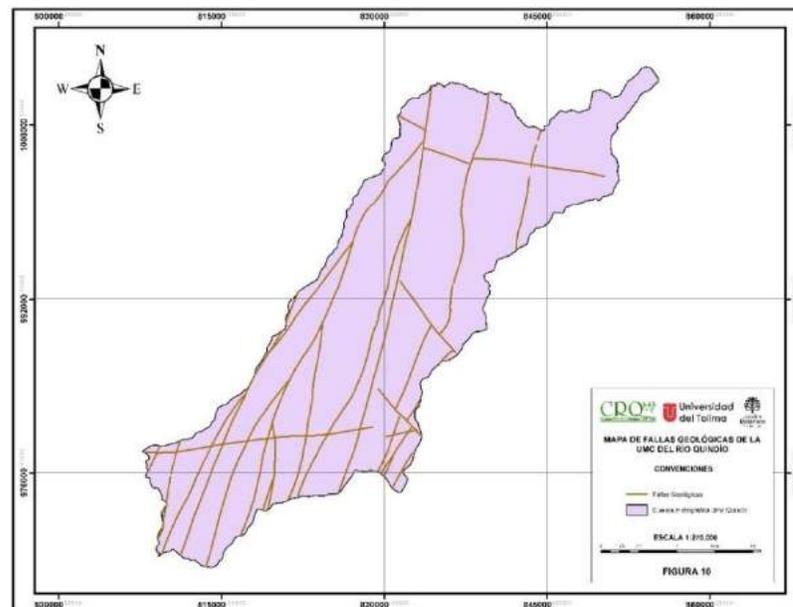


Figura 82. Mapa de fallas geológicas de la unidad hidrográfica del río Quindío (Fuente SIG-Quindío, 2014)

La conductividad hidráulica saturada horizontal se reduce en las zonas con presencia de fallas, debido a una reducción en el tamaño del grano, emergencia de capas impermeables, deposición de minerales en la zona de falla (Mayer et. al., 2007), Mayer et. al. (2007) encontraron valores estimados de conductividad hidráulica horizontal en zonas de fallas del orden de tres a cinco ordenes de magnitud inferiores a las conductividades hidráulicas estimadas para los materiales porosos en contacto con las fallas (Depósitos aluviales, de flujos de escombros y de flujos hiperconcentrados), los cuales son materiales similares a los presentes en la unidad hidrográfica del río Quindío en los sitios con presencia de fallas. Por otro lado, el flujo vertical generalmente se incrementa en las zonas de falla, generando direcciones preferenciales de flujo vertical en las fallas a diferencia del flujo que fluye a través de la matriz de la unidad litológica (Bense, v. et. al., 2003).

Para representar el efecto en el fracturamiento de la roca en la anisotropía del flujo subterráneo y definir un patrón de permeabilidad preferencial en sentido vertical y una reducción del flujo horizontal en la zona de fallas, se ha optado por asignar a la estructura de fallas una conductividad hidráulica vertical equivalente a un orden de magnitud mayor de la conductividad estimada para el material litológico adyacente a las mismas, y una reducción de la conductividad horizontal en un orden de magnitud con respecto a los valores estimados para la litología adyacente a las fallas.

Lo anterior se considera una asunción razonable para tener en cuenta el efecto anisótropo discutido por Bense, v. et. al. (2003) y Mayer et. al. (2007), teniendo en cuenta que en el momento de desarrollar este estudio no se cuenta con estimaciones de conductividades a partir de estudios hidrogeológicos de la unidad hidrográfica y los valores aquí propuestos serán ajustados en la fase de calibración del modelo hidrológico. Por lo que la estimación inicial de k_p vertical y horizontal tiene la distribución espacial presentada en la Figura 83 y Figura 84 respectivamente.

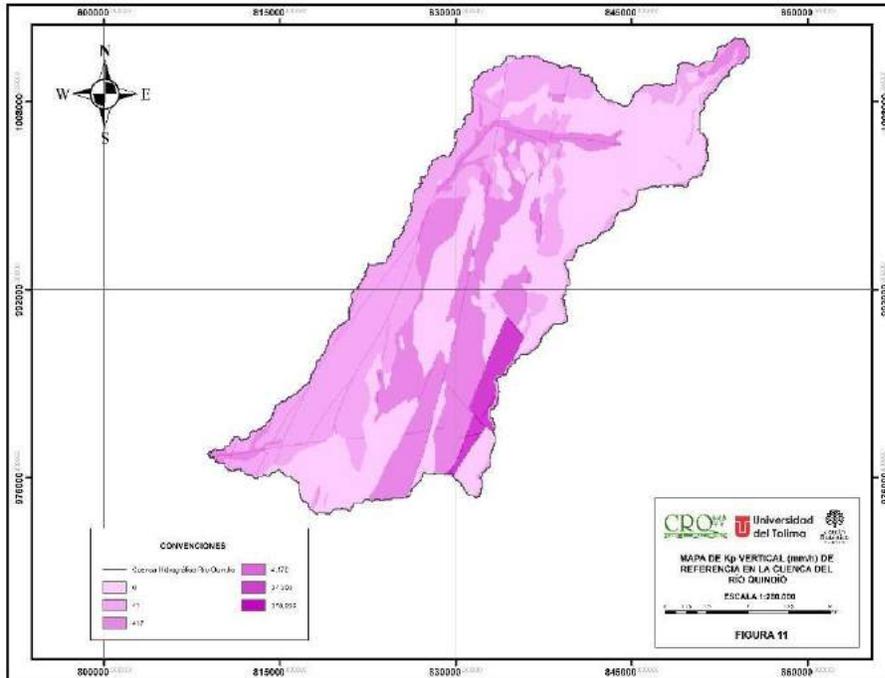


Figura 83. Mapa de k_p vertical de referencia en la unidad hidrográfica del río Quindío

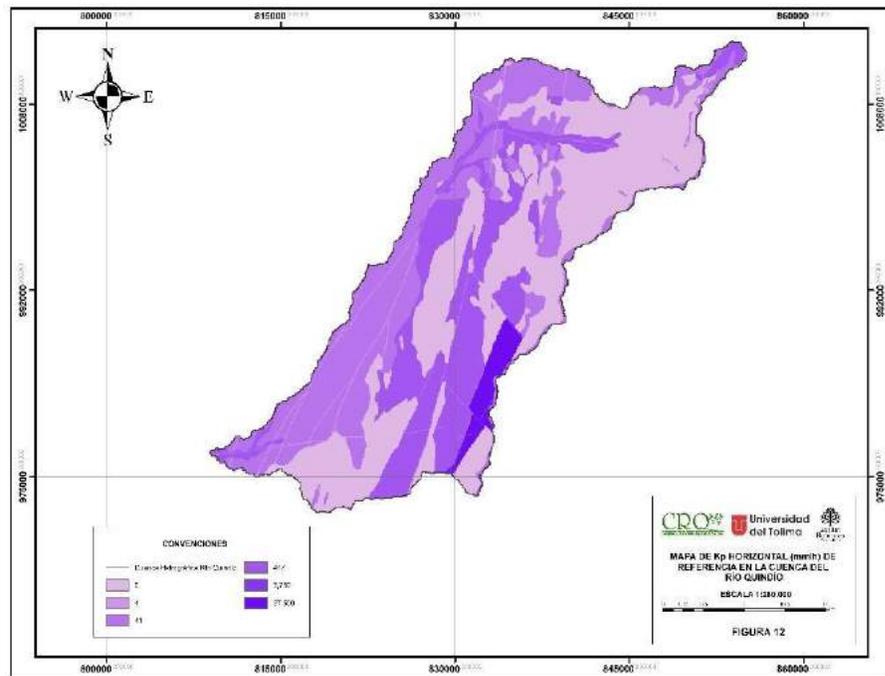


Figura 84. Mapa de k_p horizontal de referencia en la unidad hidrográfica del río Quindío

Valores modales de k_s

La conductividad hidráulica saturada del suelo presenta una elevada variabilidad espacial, y controla en cierta medida la infiltración gravitacional en el suelo, el cual es un proceso no lineal. Por lo anterior, es deseable involucrar en la modelación hidrológica el efecto de dicha variabilidad espacial. En la unidad hidrográfica del río Quindío no existe información detallada de la variabilidad horizontal y vertical de k_s , ni mediciones de dicha variable hidráulica del suelo en puntos de referencia. Por lo anterior, es necesario hacer una estimación indirecta a través del uso de funciones de pedotransferencia, las cuales relacionan propiedades físicas del suelo con sus respectivas propiedades hidráulicas.

En este caso de estudio se han empleado las funciones presentadas por Schaap (1999), quien propone un enfoque jerárquico para realizar la estimación, dependiendo del tipo de información física del suelo disponible. El estudio semidetallado de suelos del departamento del Quindío reporta la descripción de perfiles de suelo de referencia para las diferentes unidades cartográficas de suelo presentes en la unidad hidrográfica del río Quindío, por lo que se ha utilizado la información de textura del suelo y profundidad del mismo por cada horizonte y se ha estimado un valor de k_s ponderado para todo el perfil de suelo de referencia con base en sus valores estimados para cada horizonte. La Figura 85 presenta los valores de referencia de k_s vertical estimados para cada unidad cartográfica de suelos, y la Figura 86 los respectivos valores de k_s horizontal.

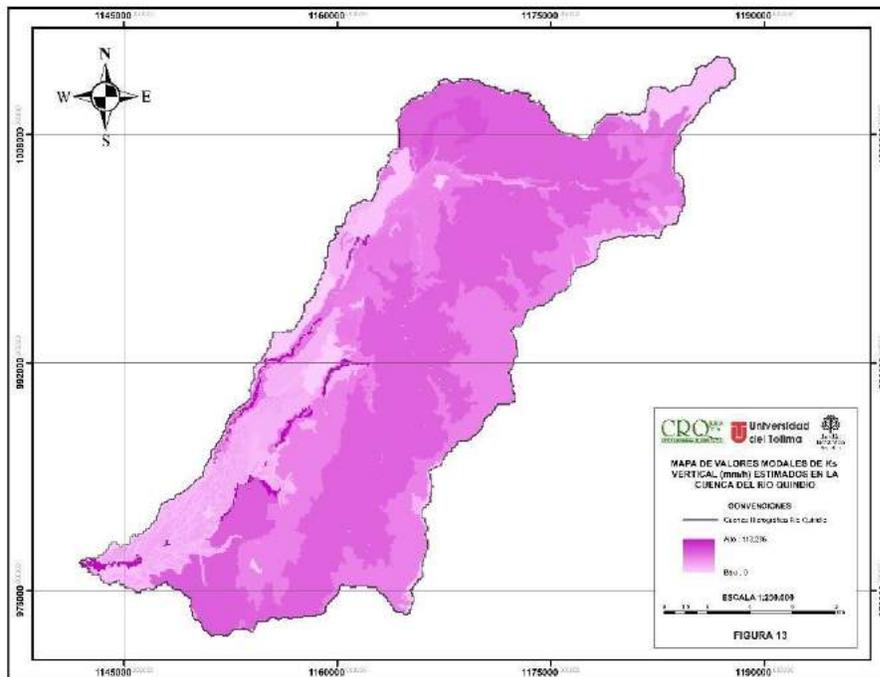


Figura 85. Mapa de valores modales de k_s vertical estimados en la unidad hidrográfica del río Quindío

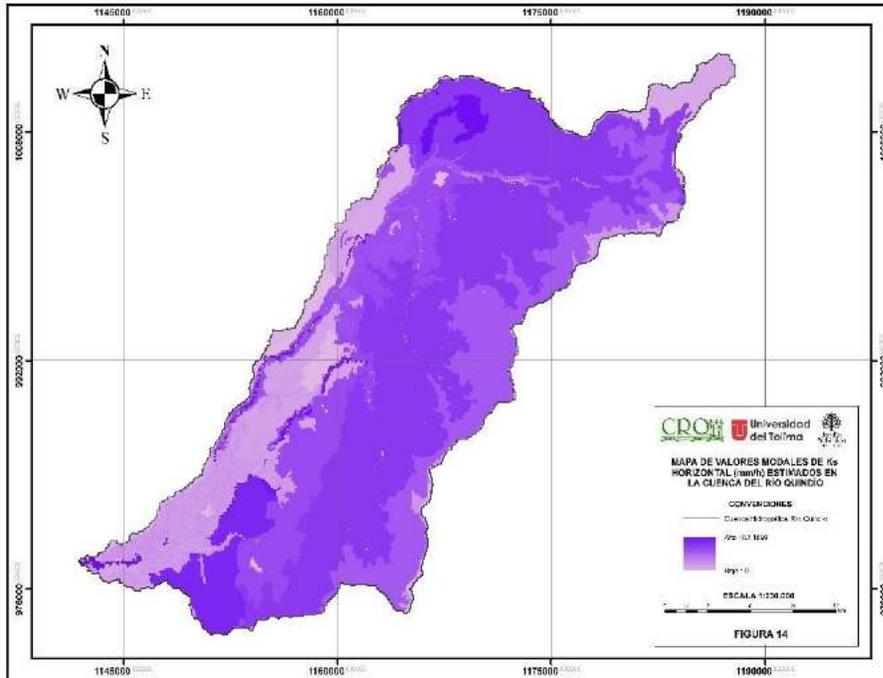


Figura 86. Mapa de valores modales de k_s horizontal estimados en la unidad hidrográfica del río Quindío

Valores modales de H_u

La capacidad de almacenamiento estático (H_u) representa la capacidad de almacenamiento capilar del suelo más el almacenamiento superficial por efecto de la rugosidad del terreno. El almacenamiento capilar máximo del suelo está en función del contenido de humedad a capacidad de campo, el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente, la densidad aparente del suelo y la profundidad del mismo, dicha variable se estimó para cada localización de referencia mediante el siguiente procedimiento:

Se ponderaron los valores de agua disponible para las plantas ($AW = H_{cc} - H_{pmp}$) en función de la profundidad de cada horizonte de suelo

Se calculó el almacenamiento estático (H_u) en mm mediante la siguiente expresión:

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

Donde,

H_u es el contenido de agua útil más el almacenamiento superficial (mm)

ρ_b es la densidad aparente del perfil de suelo (gr/cm^3)

ρ_w es la densidad del agua (gr/cm^3)

p es el valor mínimo entre el espesor del suelo y la profundidad efectiva de raíces (m)

AW es el agua disponible para las plantas en el perfil de suelo en %

H_{cc} es el contenido de humedad a capacidad de campo (%)

H_{pmp} es el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente (%)

A_s es el almacenamiento superficial de agua (mm)

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

$$A_s \text{ por pendiente} = -1.29*s_0+9.98$$

El almacenamiento superficial por el efecto de la rugosidad generada por la cobertura se ha estimado para los diferentes tipos de cobertura según la Tabla 122.

Clase de cobertura	Capacidad de almacenamiento (mm)
Bosque natural	4.5
Bosque plantado	3
Rastrojo	6
Suelo urbano	0.5
Suelo desnudo	0
Cultivo agrícola (monocultivo)	1
Cultivo agrícola (agroforestal)	2
Pastos	2

Tabla 122. Capacidad de almacenamiento superficial por efecto de la cobertura

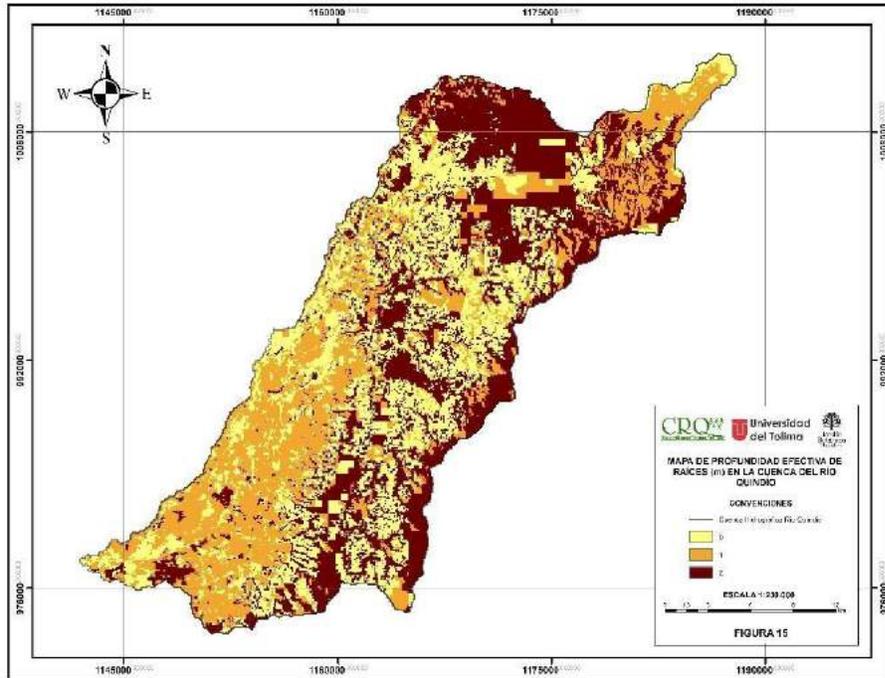


Figura 87. Mapa de profundidad efectiva de raíces (m)

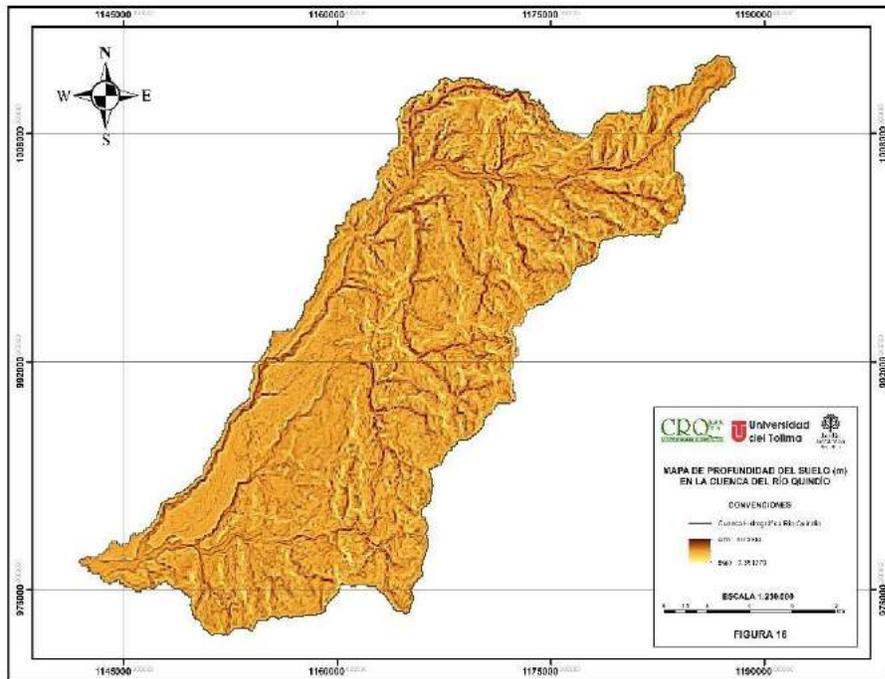


Figura 88. Mapa de profundidad del suelo (m)

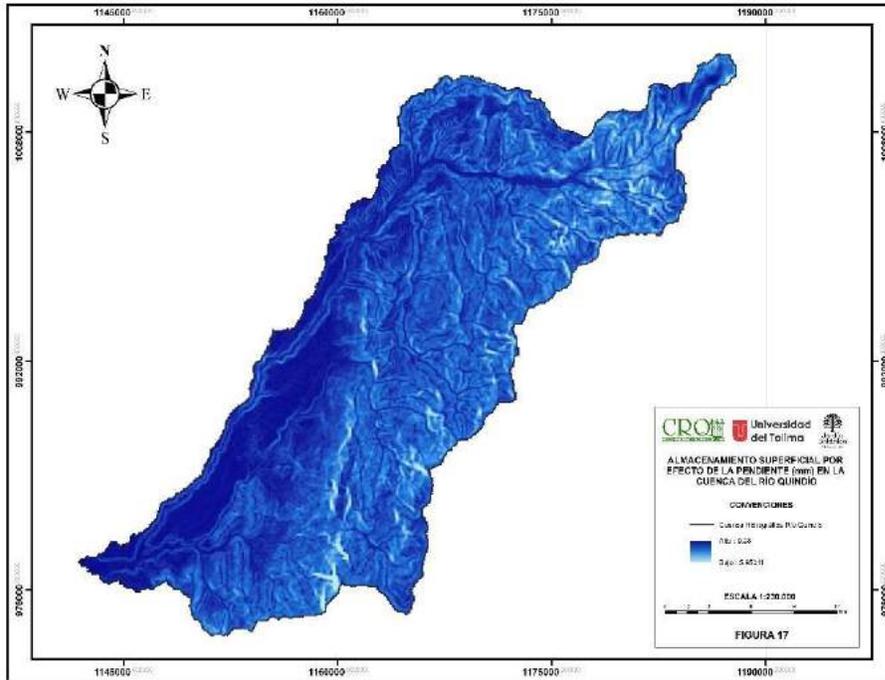


Figura 89. Mapa de almacenamiento superficial por efecto de la pendiente (mm)

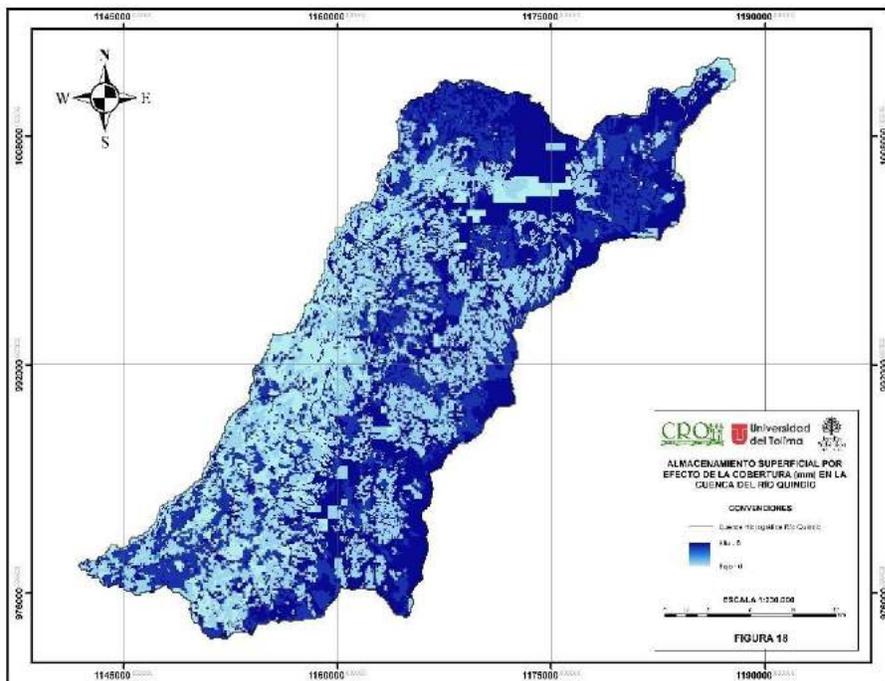


Figura 90. Mapa de almacenamiento superficial por efecto de la cobertura (mm)

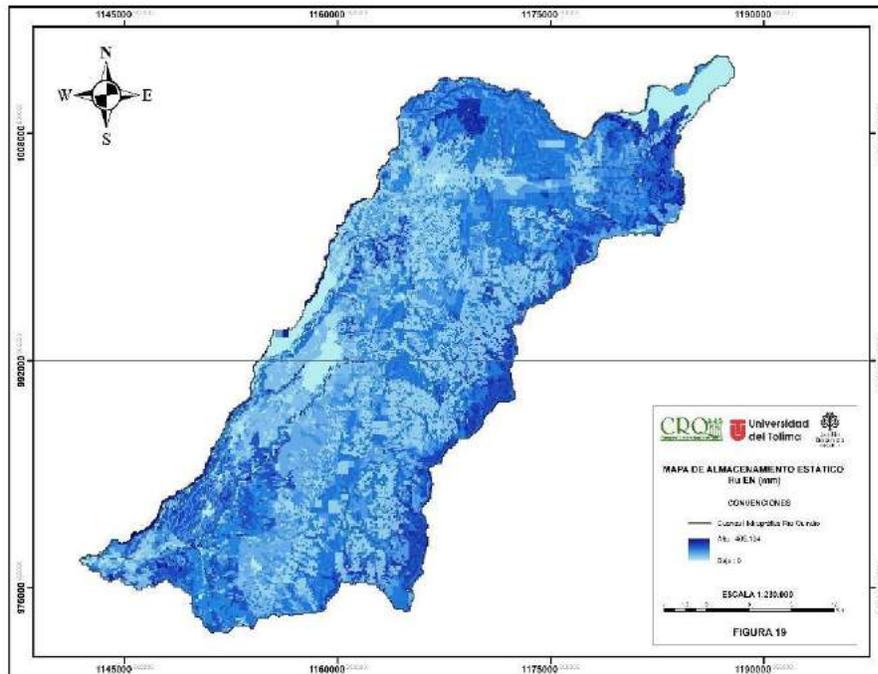


Figura 91. Mapa de almacenamiento estático (H_u) en mm

Representación de la variabilidad espacial

La estimación inicial de los parámetros hidráulicos k_p , k_s , y H_u corresponde a valores modales (de referencia) para cada unidad cartográfica geológica y de suelos, en el caso de H_u , sus valores se afectan por el efecto de la limitación de la profundidad efectiva de raíces y la profundidad del suelo. Sin embargo, dentro de cada unidad cartográfica existe una variabilidad espacial de cada parámetro, la cual es importante de cara a la eficiencia del modelo para representar la producción de escorrentía. Por lo anterior, en la modelación hidrológica distribuida se debe involucrar dicho nivel de variabilidad para obtener mejores desempeños del modelo en las fases de calibración y validación. Debido a limitaciones del alcance del presente proyecto, fue necesario renunciar a elaborar dicha estimación y aceptar la elaboración del modelo hidrológico de la unidad hidrográfica llegando hasta un nivel modal de representación de la variabilidad espacial de los parámetros hidráulicos k_p , k_s y H_u . Por lo que una mejora potencial del presente modelo para la unidad hidrográfica del río Quindío será afinar dicha estimación a un mayor nivel de detalle espacial.

7.2.2 Parámetros de propagación del flujo en cauces

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

$$\Lambda = \kappa \cdot Q_b^{\phi}$$

$$w_b = a_1 \cdot Q_b^{\alpha_1}$$

$$w = Q^{\alpha_2}$$

$$d = c_d \cdot (y_{s_0})^{\theta}$$

$$n = c_n \cdot d^{\xi}$$

Donde,

Λ es el área acumulada de la cuenca

Q_b es el caudal a sección llena

w_b es el ancho de la sección transversal a sección llena

w es el ancho de la sección transversal

Q es el caudal que circula por el cauce en un instante determinado

d es el diámetro de sedimentos

y la profundidad del flujo

s_0 la pendiente topográfica del cauce

Los valores de los coeficientes y exponentes de las anteriores expresiones se obtienen mediante un estudio geomorfológico de la red de cauces de la unidad hidrográfica. En el presente trabajo no se dispone de dicho estudio geomorfológico, por lo que Vélez (2001) recomienda que en estos casos se deben emplear parámetros geomorfológicos teóricos recomendados en la literatura técnica (Tabla 123).

Parámetro	Valor
Coefficiente κ	0.600
Exponente φ	0.750
Coefficiente a_1	3.260
Exponente α_1	0.500
Exponente α_2	0.200
Coefficiente c_d	20.000
Exponente θ	1.250
Coefficiente c_n	0.047
Exponente ξ	0.167

Tabla 123. Parámetros geomorfológicos

7.2.3 Parámetros de Evapotranspiración

Índices de vegetación

Para modelar el efecto de la dinámica del desarrollo de la vegetación en la variabilidad temporal de la evapotranspiración se definen índices de cobertura. Los cuales representan la variación mensual de la evaporación en un ciclo anual. Dichos índices relacionan la evapotranspiración potencial (ETP) con la evapotranspiración máxima para cada tipo de cobertura de la tierra.

En términos prácticos las coberturas se han dividido en categorías relevantes desde un punto de vista hidrológico, y a cada categoría se asigna un factor de evapotranspiración (Tabla 124).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bosque Natural	0.6	0.75	0.85	1	1	1	1	1	1	0.85	0.75	0.6
Rastrojos	0.48	0.6	0.75	0.85	0.87	0.9	0.9	0.87	0.85	0.8	0.65	0.6
Urbano	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque Plantado	0.6	0.75	0.85	1	1	1	1	1	1	0.85	0.75	0.6
Cultivo agrícola	0.3	0.35	0.5	0.6	0.77	0.9	0.98	1	1	0.98	0.9	0.78
Suelos desnudo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Pastos	0.48	0.6	0.75	0.85	0.87	0.9	0.9	0.87	0.85	0.8	0.65	0.6

Tabla 124. Índices de vegetación

Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial diaria (ETP) se estimó como el promedio diario a partir de la evapotranspiración mensual calculada de través de la aplicación del método de Turc, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$ETP_i = C K_i \left(\frac{t_i}{t_i + 15} \right) (R_i + 50)$$

Donde,

ETP_i es la evapotranspiración potencial del mes i (mm/mes)

t_i es la temperatura media en el mes i (°C)

R_i es la radiación global incidente (cal/cm2día)

K_i es un coeficiente igual a 0.4 para meses de 30 y 31 días, y 0.37 para febrero

C_i es un factor corrector para zonas áridas en función de la humedad relativa (HR), para valores de HR mayores a 50%, el valor de C_i es 1, en otro caso:

$$C_i = \left(\frac{1 + 50 - HR_i}{70} \right)$$

La radiación global incidente se calcula a partir de la radiación solar extraterrestre (Re) y la insolación (n/N) con la siguiente ecuación:

$$R_i = R_e \left(0.18 + 0.62 \frac{n}{N} \right)$$

La distribución espacial de la ETP se realizó generando campos continuos interpolados por el método del inverso de la distancia ponderada para cada mes, a partir de la estimación puntual de ETP en siete estaciones meteorológicas distribuidas en la zona de estudio (Tabla 125).

No.	Estación	X (m)	Y (m)
1	Bremen	1163951.851	1007967.969
2	CRQ	1156884.098	995664.0916
3	Estrella de agua	1182709.823	1003241.538
4	La playa	1165813.197	1004277.208
5	Centro guadua	1164023.9	1003389.3
6	26125060	1145526.524	984482.0589
7	21215130	1173063.476	972002.1671

Tabla 125. Estaciones meteorológicas usadas para estimar ETP

7.2.4 Capacidad de interceptación

Representa la cantidad máxima de agua precipitada en mm que puede retener el follaje de la vegetación, incluyendo el tipo de cobertura y su estratificación. Los valores adoptados para las diferentes clases de cobertura se presentan en la Tabla 126

Categoría de cobertura	Intercepción máxima (mm)
Bosque Natural	15
Rastrojo	4
Suelo urbano	0
Bosque Plantado	9
Cultivos agrícolas (monocultivo)	1
Cultivos agrícolas (agroforestal)	5
Suelo desnudo	0
Pastos	0

Tabla 126. Capacidad de intercepción de la cobertura

7.2.5 Parámetros derivados de la topografía

La calidad de la estimación de los parámetros calculados con base en la topografía del terreno depende de la calidad de la información topográfica de partida. En este estudio se ha utilizado como información de partida el modelo de elevación digital (DEM) generado por The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA), corregido con el mapa de drenajes en las zonas arreicas de la parte baja de la unidad hidrográfica. Con base en el DEM, se calculó la pendiente del terreno, la velocidad de flujo en laderas, las celdas acumuladas y las direcciones de flujo.

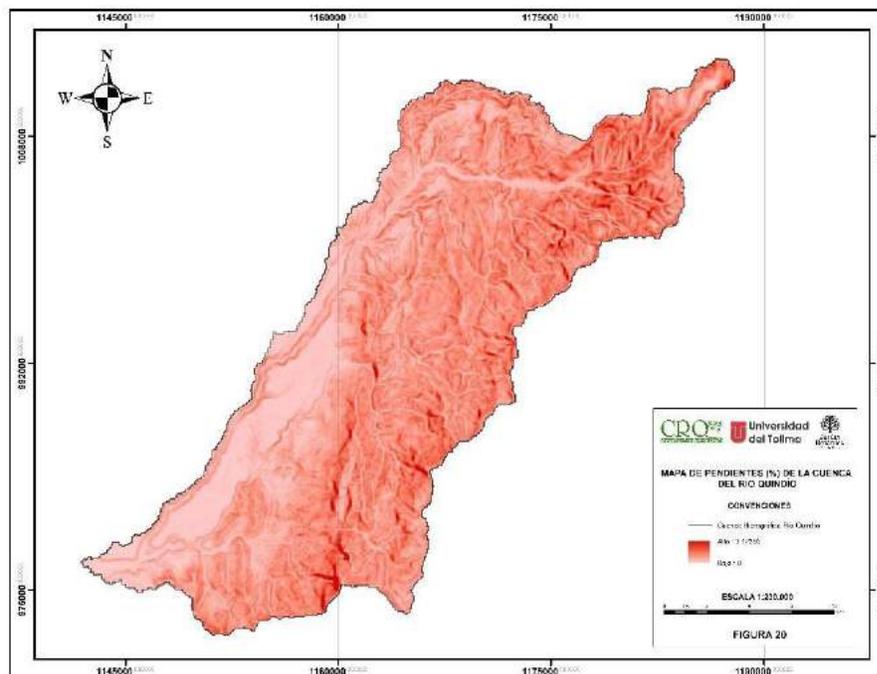


Figura 92. Mapa de pendientes de la unidad hidrográfica del río Quindío

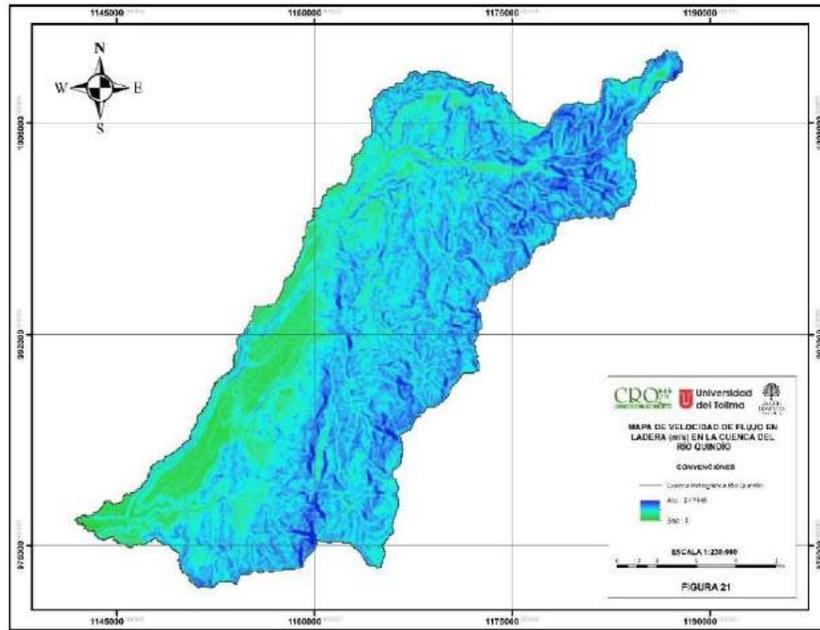


Figura 93. Mapa de velocidad de flujo en ladera

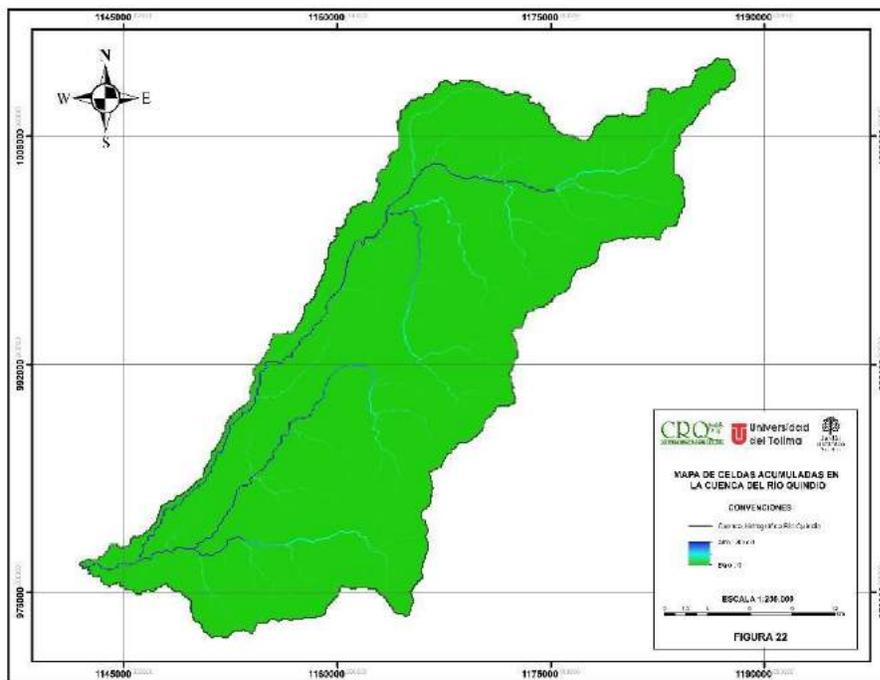


Figura 94. Mapa de celdas acumuladas

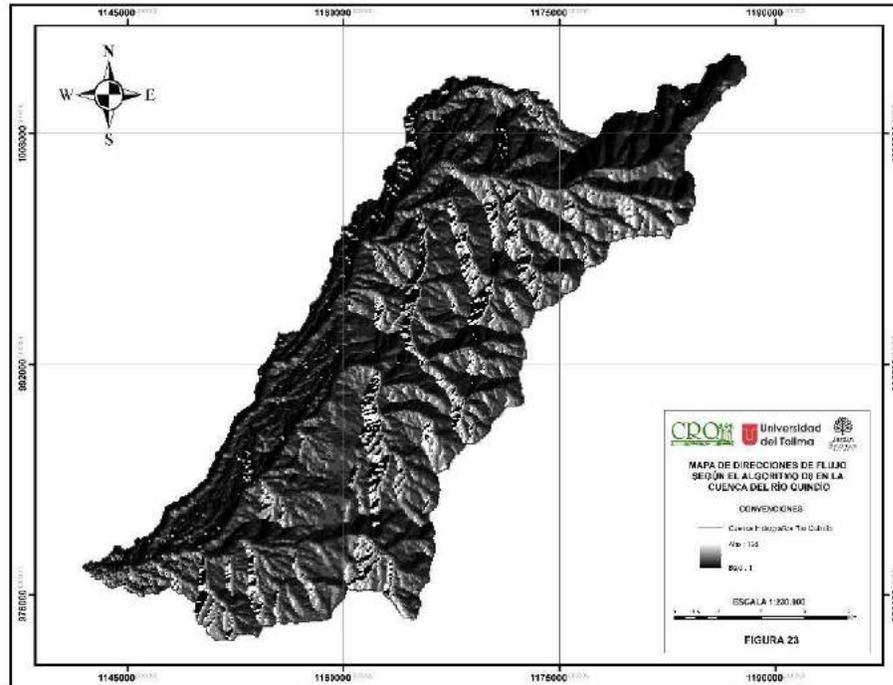


Figura 95. Mapa de direcciones de flujo según el algoritmo D8

73 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO

El periodo de datos seleccionado para calibrar el modelo hidrológico corresponde a un periodo continuo de información de caudales medios diarios del 7 de septiembre de 1994 hasta el 18 de septiembre de 1996 en la estación hidrométrica Calle Larga. Por fuera de este periodo se han observado abundantes datos faltantes desde un punto de vista de la modelación a escala diaria, lo cual introduciría importantes fuentes de error al proceso de estimación de parámetros hidrológicos. Además, dicho periodo de la serie temporal de caudales involucra periodos de caudales bajos así como eventos de crecida, por lo que se considera representativo de las diferentes condiciones hidrológicas (húmedas y secas) de la unidad hidrográfica.

La calibración a escala diaria se realizó tomando como condiciones iniciales de humedad los valores simulados al final del periodo analizado. Lo anterior se justifica en que tanto al comienzo como al final del periodo de calibración se presentan condiciones de estiaje en la estación Calle Larga. Para la calibración automática con el algoritmo SCE-UA se tomó como función objetivo la siguiente expresión, que se basa en el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (*NSE*):

$$\text{minimizar: } FO = 1 - NSE = 1 - 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_t - \hat{Q}_t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_t - \bar{Q})^2}$$

Donde, T es el número de intervalos que conforma el periodo de calibración, Q_t es el caudal observado en el tiempo t , \hat{Q}_t es el caudal simulado en el tiempo t , y \bar{Q} es el promedio de los caudales observados en el periodo de calibración. La Tabla 127 presenta los factores correctores calibrados y la Tabla 128 indica la eficiencia del modelo en los periodos de calibración y validación.

Factor corrector	Valor
FC-1	0.1393
FC-2	0.9000
FC-3	0.1090
FC-4	2.5380
FC-5	0.0004
FC-6	3.2019
FC-7	0.0060
FC-8	2.0000
FC-9	0.16160

Tabla 127. Factores correctores calibrados a escala diaria

Índice	Calibración	Validación
Error en volumen (%)	8.0520	7.1670
NSE	0.6642	0.6273
RMSE	4.8740	5.4000

Tabla 128. Eficiencia del modelo en los periodos de calibración y validación

De acuerdo con los índices de ajuste empleados y la representación gráfica de caudales observados y simulados, el modelo tiene un buen desempeño en el periodo de calibración a escala diaria (Figura 96), reproduce muy bien las recesiones de los hidrogramas aunque presenta algunas deficiencias para simular los picos de dos eventos de crecida del año 1996. Según las pruebas y análisis realizados en el proceso de calibración, esta incapacidad de simular dichos picos de caudal se atribuye principalmente a una falta de representatividad espacial de la lluvia, incertidumbre estructural del modelo y su representación del flujo subterráneo.

Como el modelo se requiere para simular efectos hidrológicos en caudales mínimos y bajos, la actual versión del modelo será empleado como herramienta de análisis en el proceso de ordenación del recurso hídrico de la unidad hidrográfica. Sin embargo, el equipo técnico continuará investigando el proceso de modelación lluvia-escorrentía de la unidad hidrográfica, incorporando estimaciones de campos de lluvia generados a partir de satélite (Proyecto TMPA), y evaluación de la incertidumbre estructural de la modelación lluvia-escorrentía.

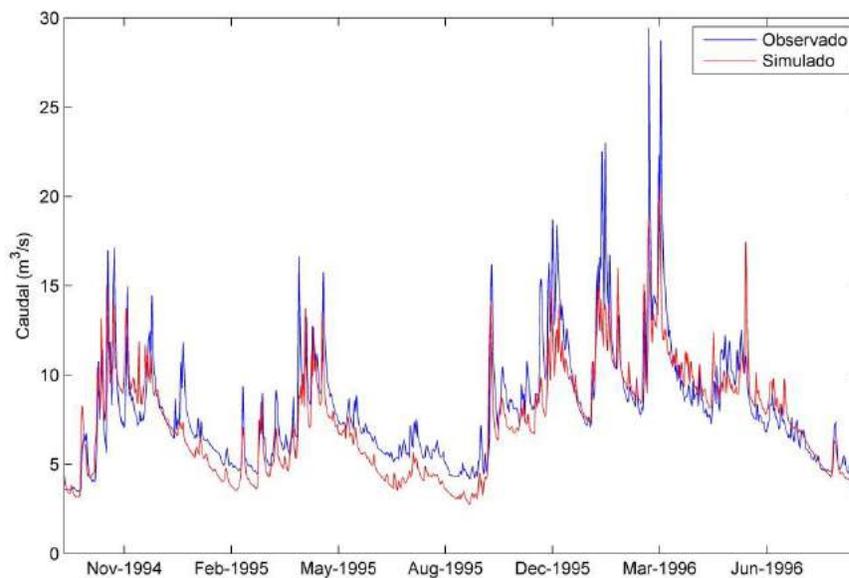


Figura 96. Caudal medio diario observado y simulado en el periodo de calibración

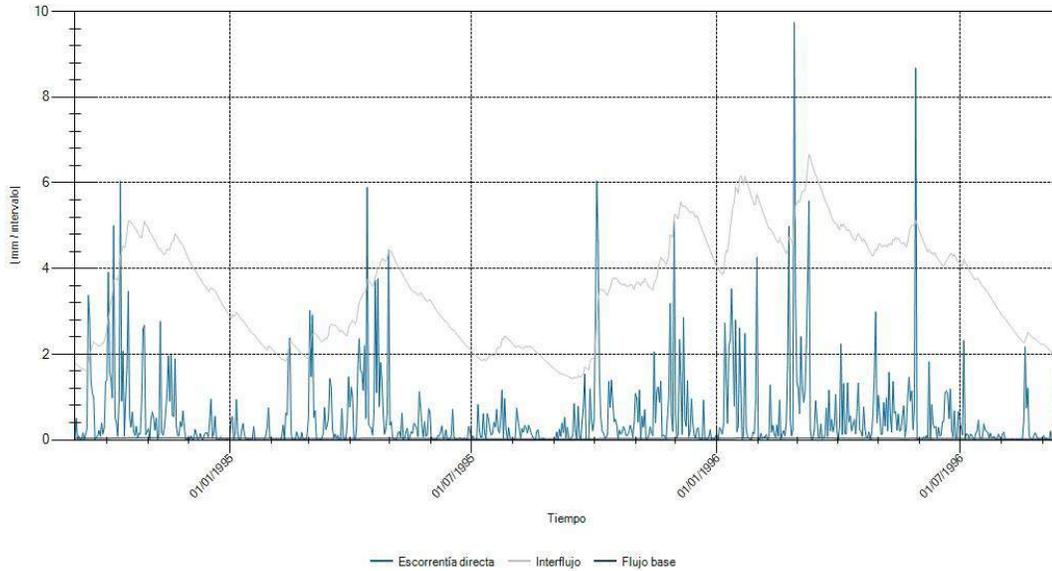


Figura 97. Distribución del caudal simulado en flujo base, flujo subsuperficial y escorrentía directa en el periodo de calibración

La validación del modelo se llevó a cabo utilizando una muestra de caudales independiente a la muestra utilizada en la fase de calibración, que corresponde al periodo comprendido entre el 1 de abril de 1998 al 28 de febrero de 2001. Como periodo de calentamiento se tomaron los primeros tres meses del año 1998 (del 1 de enero al 31 de marzo).

La validación del modelo generó resultados satisfactorios con un índice de Nash-Sutcliffe de 0.60 (Figura 98 y Tabla 128). Como era de esperarse, al igual que en la fase de calibración, los valores simulados tienden a subestimar el pico de caudal de finales del año 1998 y reproduce muy bien las recesiones de los hidrogramas y de manera satisfactoria los caudales mínimos y bajos, los cuales son el interés central del estudio.

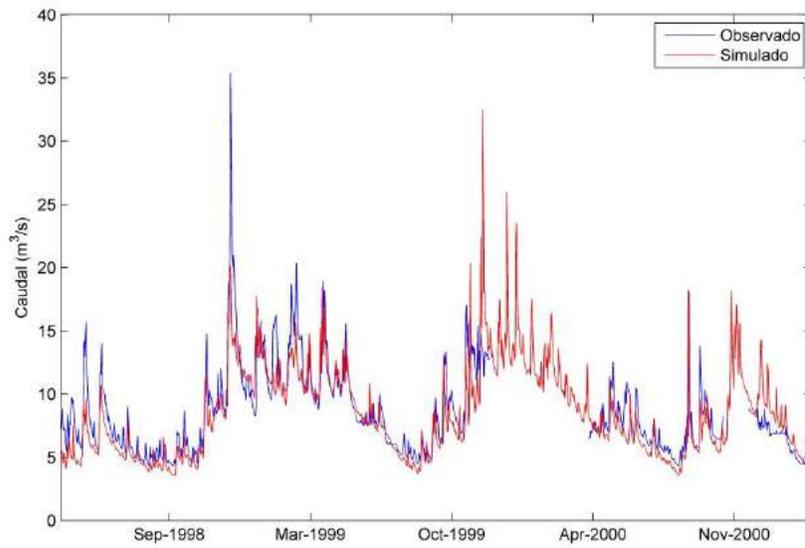


Figura 98. Caudal medio diario observado y simulado en el periodo de validación

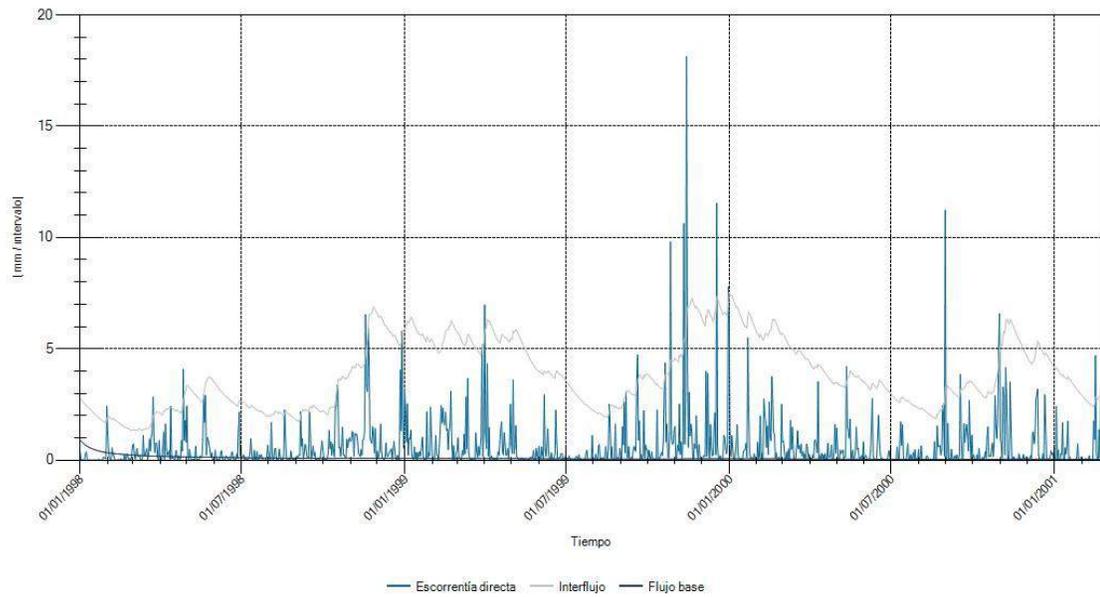


Figura 99. Distribución del caudal simulado en flujo base, flujo subsuperficial y escurrentía directa en el periodo de validación

74 CONSIDERACIONES SOBRE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO QUINDÍO

La Hidrología de la unidad hidrográfica del río Quindío es altamente compleja por tener concomitancia de una alta heterogeneidad de geoformas, tipos de suelos, unidades geológicas, diferentes condiciones climáticas y fuerte gradiente altitudinal. Lo cual implica la ocurrencia de complicados y diversos mecanismos de producción de escorrentía, que aunado a la no-linealidad intrínseca de los procesos hidrológicos hacen difícil la representación y simulación de la dinámica del ciclo hidrológico en dicha zona. A pesar de ello, la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS ha permitido obtener resultados que se consideran aceptables con base en las buenas eficiencias calculadas tanto en la fase de calibración como en la validación (NSE:0.66; 0.63, respectivamente).

Los componentes de la escorrentía que explican la respuesta hidrológica de la unidad hidrográfica en su respectivo orden de importancia son el flujo subsuperficial, la escorrentía directa y el flujo subterráneo. Dada la topografía escarpada en las partes altas de la unidad hidrográfica del río Quindío (principalmente en sus laderas de la margen derecha hacia aguas arriba) con una frecuente ocurrencia de suelos relativamente profundos se favorece el desarrollo y dominio del flujo subsuperficial lateral que contribuye a la regulación del flujo de agua en la red de cauces y a la recarga de acuíferos. Por otro lado, la escorrentía directa tiende a tener relativa importancia principalmente en los episodios de tormentas, representando una respuesta hidrológica muy rápida.

El modelo hidrológico implementado es recomendable para derivar análisis relacionados con la estimación de caudales bajos y mínimos para los diferentes escenarios de manejo de la unidad hidrográfica, los cuales son parte integral del plan de ordenación del recurso hídrico.

El modelo ha sido incapaz de simular los caudales pico de eventos extremos, lo cual se debe fundamentalmente a una inadecuada representación espacial de la variabilidad de la lluvia en la zona de estudio con base en la red actual de estaciones meteorológicas. Por lo que una mejora potencial del modelo será incorporar mejoras en la estimación de esta variable, a través de la instalación de nuevas estaciones pluviométricas y el uso de información generada a través de técnicas de percepción remota y evaluar la posibilidad de plantear mediciones con base en tecnología de radar.

75 OFERTA HÍDRICA TOTAL

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010), “*El conocimiento, la interpretación y el análisis de los procesos hidrológicos que se expresan en la ecuación del balance hídrico permiten caracterizar las condiciones del agua en los sistemas hidrológicos...*”. Y con base en la representación conceptual y matemática de los flujos y almacenamientos del ciclo hidrológico es posible estimar y cuantificar la oferta hídrica en unidades de análisis definidas. Por ello, en el presente estudio se ha utilizado el modelo hidrológico distribuido descrito en las subsecciones anteriores para la estimación de la oferta hídrica y los indicadores hídricos de oferta, tomando como período de análisis 41 años de registros hidrometeorológicos a escala diaria (Oct/1971-Sep/2012). El periodo de simulación entre el 1 de enero de 1970 al 30 de septiembre de 1971 ha sido empleado como periodo de calentamiento del modelo hidrológico para estabilizar las condiciones iniciales de humedad.

La oferta hídrica total en condiciones naturales se simuló a escala diaria para toda la unidad hidrográfica del río Quindío, para las principales corrientes aportantes, así como en cada uno de los puntos de monitoreo que funcionan como condición de contorno de los diferentes subtramos sobre el río Quindío en los que se calculan los índices de uso del agua. Para una presentación más sencilla del potencial de oferta de la unidad hidrográfica en dichos puntos de interés, la información se ha agregado a nivel mensual (Figura 100, Figura 101, Figura 102, Figura 103).

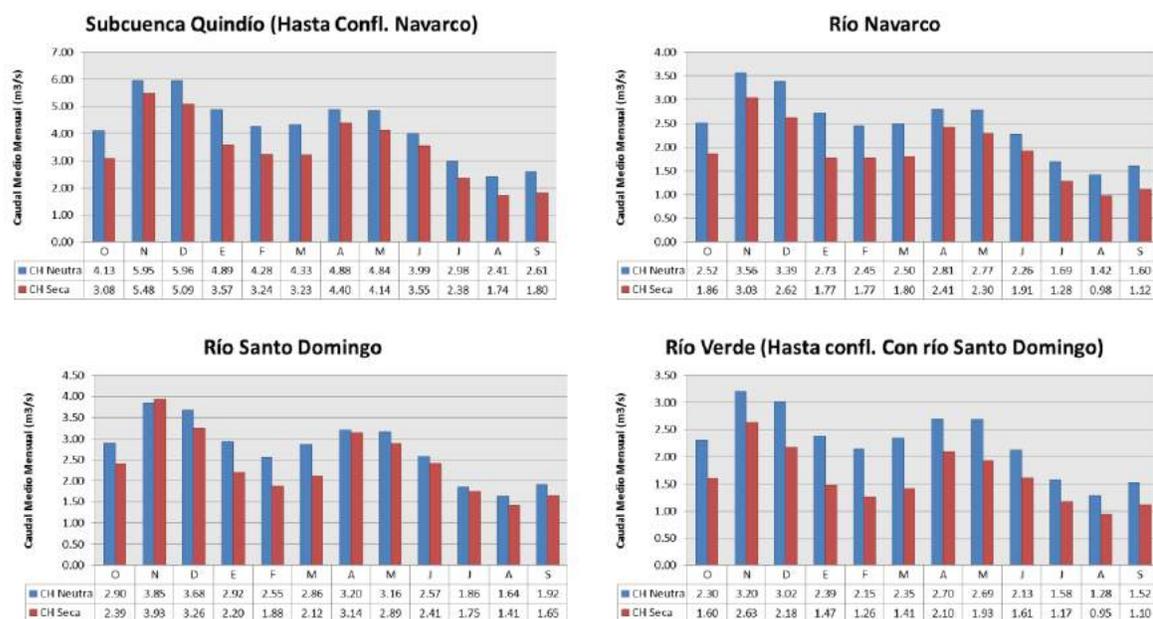


Figura 100. Oferta hídrica total de las principales unidades hidrográficas (afuentes) de la unidad hidrográfica del río Quindío

La oferta media mensual en las condiciones hidrológicas neutra y seca (ver sección 9.3.1 para definición de condición hidrológica neutra, seca y húmeda) alcanza su mínimo valoren

el mes de agosto en las cuatro unidades hidrográficas aportantes de la Figura 100, con valores en m³/s de [2.41; 1.74] para la unidad hidrográfica del río Quindío hasta su confluencia con el río Navarco, [1.42; 0.98] para el río Navarco, [1.64; 1.41] para el río Santo Domingo y [1.28; 0.95] para el río Verde hasta su confluencia con el río Santo Domingo. El año hidrológico más seco en toda la unidad hidrográfica del río Quindío corresponde a 1991/1992, cuando ocurrió una fase cálida muy severa del fenómeno ENSO. Los meses que presentaron una dramática disminución de los caudales medios mensuales (alrededor del 50% con respecto al promedio de los años secos) fueron abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Correspondiendo al escenario histórico más extremo en la unidad hidrográfica río Quindío en el periodo analizado.

Con respecto a los afluentes directos (Condiciones de contorno) al cauce principal del río Quindío desde el punto conocido como “El Escobal” hasta su confluencia con el río Barragán, se observó que los principales aportantes de caudal son la Quebrada Boquía, el Río Navarco y el río Verde, con caudales medios mensuales en el mes de agosto de 0.36, 1.42 y 3.3 m³/s respectivamente en condición hidrológica neutra y 0.23, 0.98 y 2.54 m³/s respectivamente en condición hidrológica seca (Figura 101).

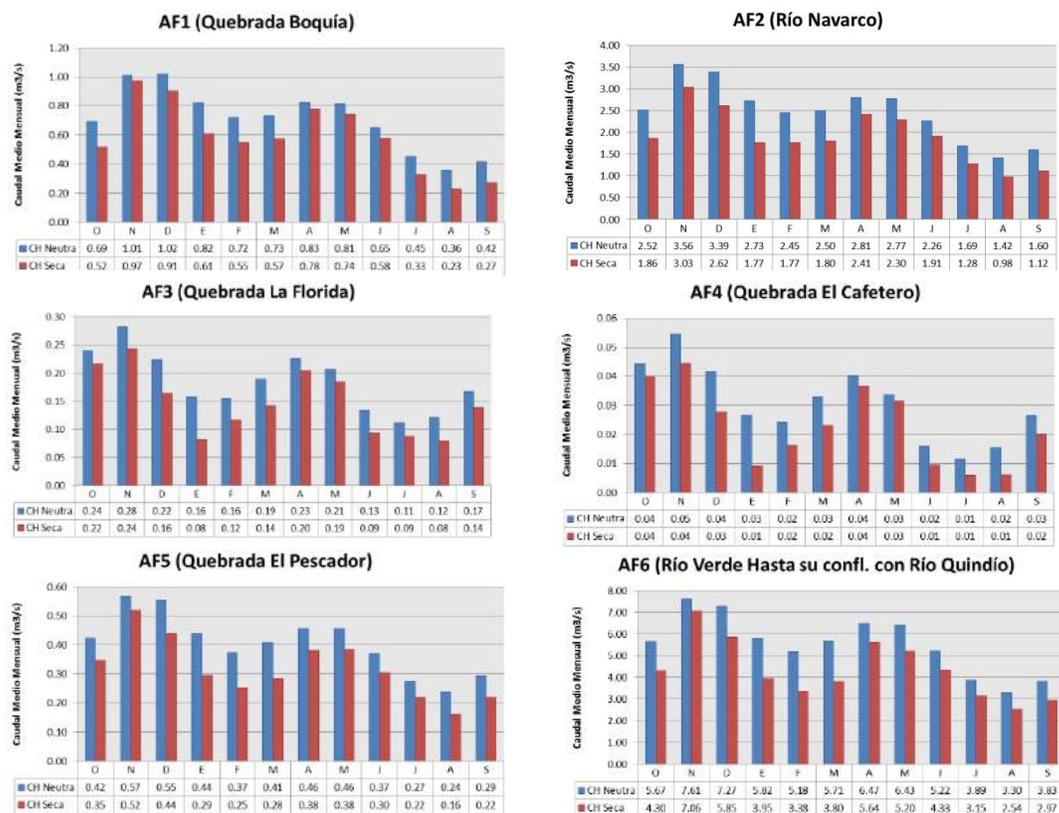


Figura 101. Oferta hídrica total de los principales aportes al cauce principal del río Quindío

La distribución mensual de los caudales medios en los puntos de simulación sobre el cauce principal del río Quindío es similar a la presentada en los puntos de simulación anteriores (periodos más secos del año en julio, agosto, septiembre y los más húmedos en noviembre y diciembre), como se puede observar en la Figura 102 y Figura 103. La Tabla 129 presenta los principales índices característicos de caudales diarios en los puntos de simulación de la oferta hídrica.

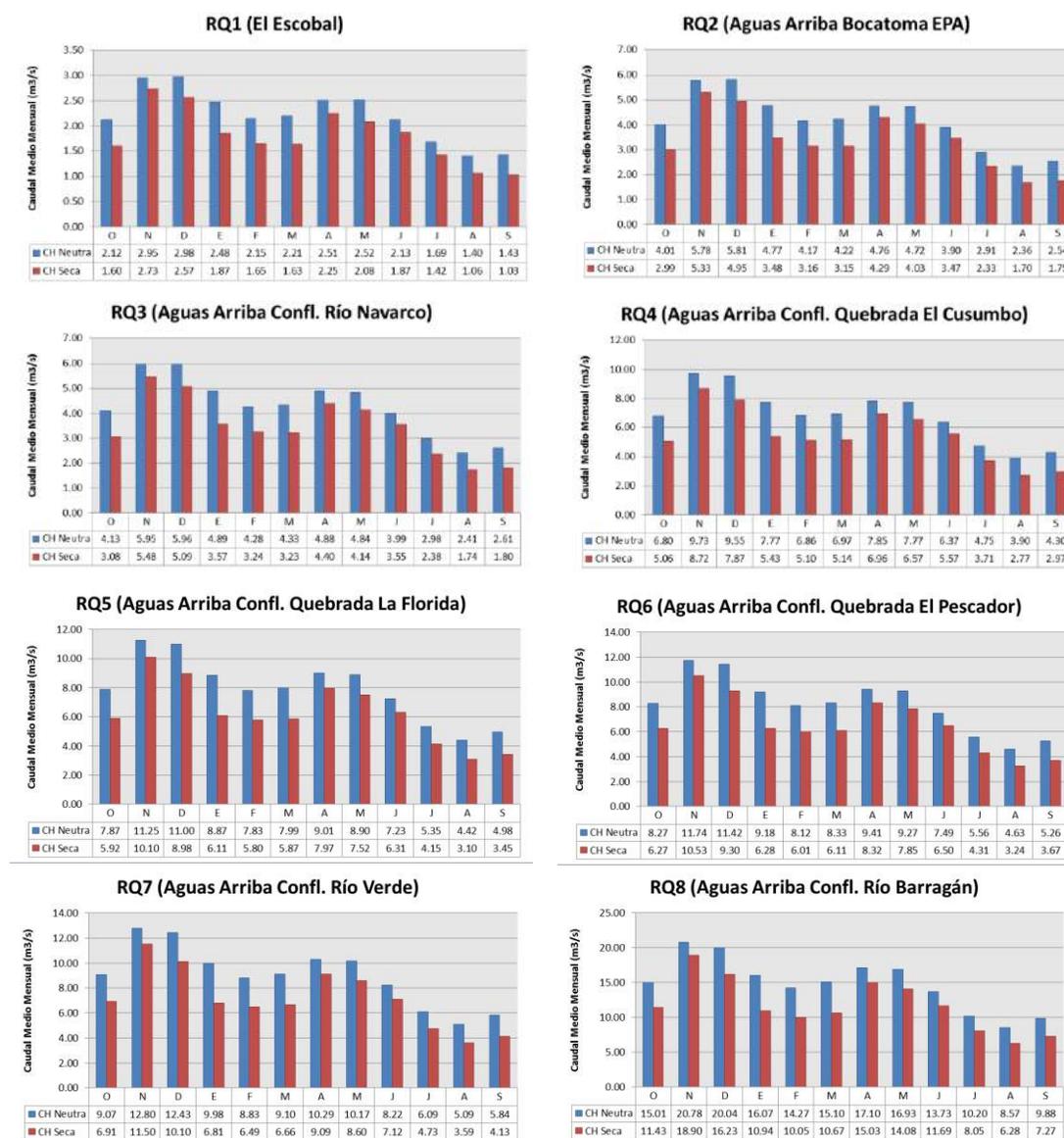


Figura 102. Oferta hídrica total en los puntos que definen subtramos sobre el cauce principal del río Quindío

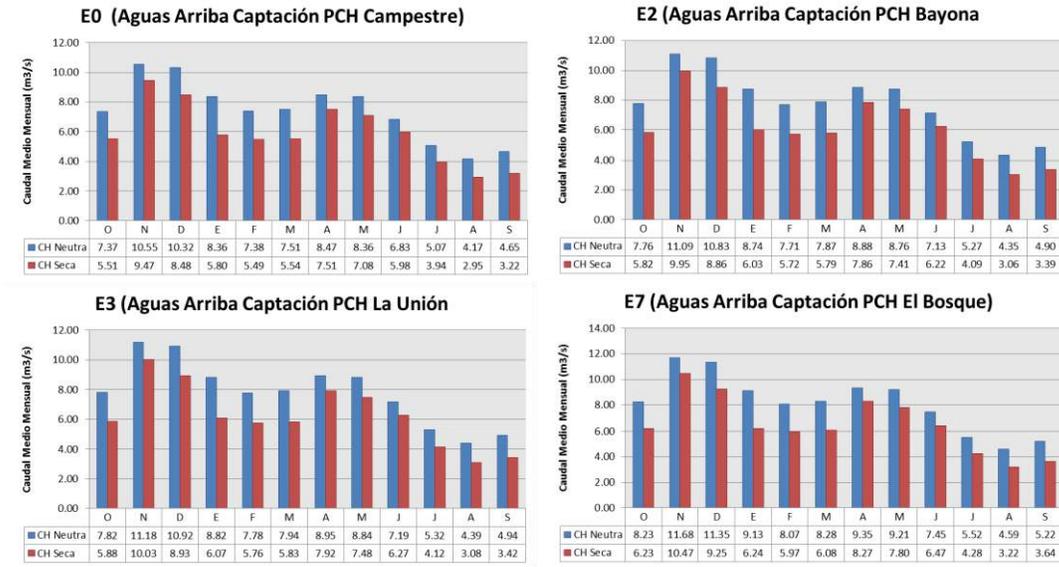


Figura 103. Oferta hídrica total aguas arriba de las captaciones de las PCHs en el cauce principal del río Quindío

	Periodo: 1-Oct-1971 a 30 sep-2012			Q maximos diarios (m3/s) para diferentes Periodos de Retorno					
	Q min diario	Q medio diario	Q maximo diario	2	5	10	20	50	100
AF1	0.033	0.454	2.906	1.21	1.77	2.15	2.65	3.04	3.43
AF2	0.149	2.058	13.180	5.50	8.02	9.76	12.03	13.77	15.56
AF3	0.021	0.288	1.841	0.77	1.12	1.36	1.68	1.92	2.17
AF4	0.005	0.070	0.451	0.19	0.27	0.33	0.41	0.47	0.53
AF5	0.023	0.318	2.037	0.85	1.24	1.51	1.86	2.13	2.41
AF6	0.372	5.138	32.901	13.74	20.01	24.35	30.03	34.39	38.84
RQ1	0.094	1.294	8.285	3.46	5.04	6.13	7.56	8.66	9.78
RQ2	0.195	2.690	17.225	7.19	10.48	12.75	15.72	18.00	20.33
RQ3	0.200	2.762	17.684	7.38	10.75	13.09	16.14	18.48	20.88
RQ4	0.356	4.915	31.473	13.14	19.14	23.30	28.73	32.89	37.15
RQ5	0.414	5.718	36.611	15.29	22.27	27.10	33.42	38.26	43.22
RQ6	0.434	5.987	38.337	16.01	23.32	28.38	34.99	40.07	45.26
RQ7	0.479	6.617	42.368	17.69	25.77	31.36	38.67	44.28	50.02
RQ8	0.870	12.012	76.913	32.12	46.78	56.93	70.21	80.39	90.80
E0	0.388	5.355	34.289	14.32	20.85	25.38	31.30	35.84	40.48
E2	0.409	5.640	36.111	15.08	21.96	26.73	32.96	37.74	42.63
E3	0.412	5.688	36.423	15.21	22.15	26.96	33.25	38.07	43.00
E7	0.431	5.950	38.099	15.91	23.17	28.20	34.78	39.82	44.98

Tabla 129. Caudales característicos diarios (m³/s) en los diferentes puntos de interés sobre el río Quindío

8 ÍNDICES ASOCIADOS A LA OFERTA

Los índices de aridez y retención y regulación hídrica se han calculado a escala mensual para las unidades hidrográficas aportantes más importantes de la unidad hidrográfica del río Quindío, 6 afluentes del cauce principal del río Quindío (condiciones de contorno del cauce principal) y en 12 puntos de interés sobre el cauce principal del río Quindío.

8.1 ÍNDICES DE ARIDEZ

Este indicador del régimen climático representa el déficit de humedad en la superficie del terreno a través de una relación entre el agua evapotranspirada y la capacidad de evapotranspiración:

$$IA_i = \frac{(ETP_i - ETR_i)}{ETP_i}$$

Donde,

ETP: Evapotranspiración potencial en el mes *i*

ETR: Evapotranspiración real en el mes *i*

Los afluentes AF3 y AF4 (Quebrada la Florida y Quebrada El Cafetero respectivamente) presentan las tasas más bajas de evapotranspiración real, con valores de 260.1 y 175.2 mm (Tabla 130), debido a que tienden a ser unidades hidrográficas pequeñas muy urbanizadas en donde la capacidad de interceptación y transpiración es mínima en comparación a las unidades hidrográficas rurales que presentan mayores tasas de evapotranspiración real, como los afluentes AF1 y AF2 (Quebrada Boquía y Río Navarco), cuyos valores son 538.4 y 500.7 mm respectivamente.

La evapotranspiración potencial aumenta a medida que disminuye la elevación, lo cual se evidencia en que el valor más bajo de ETP anual (533.7 mm) se presenta en el punto RQ1 (que representa el sitio conocido como “El Escobal” y es el punto de simulación de mayor altitud), y los valores más altos (714.3 mm) ocurren en la unidad hidrográfica del río verde (Tabla 131).

El índice de aridez se evalúa según la siguiente escala (IDEAM, 2010):

	Menor a 0.15: Altos Excedentes		0.15 a 0.19: Excedentes de agua		0.20 a 0.29: Moderado y excedentes de agua		0.30 a 0.39: Moderado
	0.40 a 0.49: Moderado y deficitario de agua		0.5 a 0.59: Deficitario de agua		Mayor a 0.60: Altamente deficitario de agua		

La Tabla 132 presenta los índices de aridez clasificados según la escala anterior para los 22 puntos de interés, las áreas drenantes a los puntos ubicados en la parte alta de la unidad hidrográfica del río Quindío (ej: RQ1, RQ2, RQ3, AF1) tienen la mayoría de sus meses (9 meses) clasificados con “altos excedentes de agua” y “excedentes de agua”, lo cual es consistente con la alta capacidad de retención de humedad en la unidad hidrográfica en su parte alta. En contraste, las unidades hidrográficas pequeñas más urbanizadas (AF3 y AF4) tienen una clasificación de “altamente deficitaria de agua” y “deficitaria de agua” en todos los meses del año. En el resto de puntos de simulación (que corresponden a la parte media y baja de la unidad hidrográfica) se presentan índices de aridez “moderado” y “moderado con excedentes de agua”. Lo que soporta la afirmación de que la unidad hidrográfica del río Quindío es fundamentalmente clasificable como una unidad hidrológica húmeda.

Área drenante	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
AF1	38.7	45.5	47.1	49.0	42.9	47.2	44.6	46.7	46.7	46.3	44.3	39.4	538.4
AF2	31.8	40.2	44.0	47.4	41.9	46.4	43.0	44.0	44.6	43.7	39.6	34.0	500.7
AF3	14.3	18.3	21.4	24.4	22.3	23.9	21.5	22.0	24.3	25.3	23.5	19.0	260.1
AF4	8.0	10.8	13.4	15.7	14.9	17.2	16.6	17.3	17.4	16.9	15.0	11.9	175.2
AF5	23.0	29.7	35.0	39.8	36.9	41.7	38.8	38.7	41.3	41.6	38.1	31.2	435.7
AF6	31.1	38.9	44.3	48.6	43.8	49.0	46.3	46.9	48.2	47.9	44.2	37.2	526.4
E0	31.5	39.0	42.3	45.1	40.0	44.3	41.1	42.5	43.0	42.2	39.1	33.8	483.8
E2	31.4	38.9	42.2	45.1	40.0	44.3	41.2	42.5	43.1	42.3	39.2	33.8	484.2
E3	31.4	38.8	42.2	45.1	40.0	44.3	41.2	42.5	43.1	42.3	39.2	33.8	483.9
E7	30.9	38.3	41.6	44.5	39.6	43.8	40.7	42.0	42.6	41.9	38.8	33.4	478.1
RQ1	28.6	35.5	38.6	41.0	36.4	40.4	37.7	39.2	39.3	38.2	35.9	31.1	441.9
RQ2	31.8	38.8	41.5	43.8	38.8	42.8	39.9	41.5	41.8	41.0	38.7	33.7	473.9
RQ3	31.7	38.7	41.5	43.9	38.8	42.9	40.0	41.5	41.8	41.1	38.7	33.7	474.2
RQ4	31.7	39.1	42.3	45.1	39.9	44.1	41.0	42.4	42.8	42.0	39.0	33.8	483.3
RQ5	31.3	38.8	42.1	45.1	40.0	44.3	41.2	42.5	43.1	42.3	39.2	33.8	483.6
RQ6	30.8	38.2	41.6	44.5	39.5	43.8	40.7	42.0	42.6	41.9	38.8	33.4	478.0
RQ7	30.3	37.7	41.2	44.3	39.5	43.8	40.8	42.1	42.8	42.0	38.9	33.4	476.9
RQ8	30.5	38.1	42.4	46.1	41.2	46.0	43.1	44.0	45.0	44.4	41.1	34.9	496.8
Unidad hidrográfica del río Quindío Hasta confluencia Río Navarco	31.7	38.7	41.5	43.9	38.8	42.9	40.0	41.5	41.8	41.1	38.7	33.7	474.2
Río Navarco	31.8	40.2	44.0	47.4	41.9	46.4	43.0	44.0	44.6	43.7	39.6	34.0	500.7
Río Santo Domingo	30.8	38.6	43.9	48.2	43.5	48.6	45.7	45.9	47.5	47.4	43.8	36.9	520.8
Río Verde Hasta Confluencia Río Santo Domingo	33.0	40.8	45.9	50.0	44.6	49.9	47.2	48.1	49.1	48.5	45.1	38.3	540.6

Tabla 130. Evapotranspiración real mensual promedio en 22 puntos de interés en la unidad hidrográfica del río Quindío.

Evapotranspiración potencial (Turc; 1971-2012)													
Area drenante	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
AF1	51.5	53.1	55.5	54.9	54.1	52.5	53.5	55.2	54.8	54.2	51.5	50.4	641.2
AF2	53.7	55.5	57.8	57.3	56.5	54.8	55.4	57.5	57.1	56.6	53.9	52.7	668.9
AF3	57.3	59.2	61.5	60.7	59.3	57.5	58.6	60.8	60.2	59.6	56.9	56.1	707.7
AF4	57.6	59.4	61.7	61.0	59.5	57.7	58.8	61.1	60.4	59.8	57.1	56.3	710.1
AF5	57.5	59.4	61.7	60.9	59.4	57.7	58.7	61.0	60.4	59.7	57.1	56.3	709.9
AF6	57.7	59.1	61.9	61.4	59.8	57.7	58.8	60.7	60.4	59.9	57.4	56.7	711.5
E0	48.9	50.9	53.5	52.8	52.3	51.0	51.5	53.2	52.8	51.8	49.2	48.2	616.2
E2	49.2	51.2	53.7	53.1	52.6	51.2	51.8	53.5	53.1	52.1	49.4	48.5	619.5
E3	49.2	51.2	53.8	53.2	52.6	51.3	51.8	53.5	53.1	52.2	49.5	48.6	620.1
E7	49.5	51.5	54.0	53.4	52.8	51.5	52.0	53.8	53.4	52.4	49.7	48.8	622.8
RQ1	41.3	43.8	46.6	45.8	45.8	45.3	45.4	46.4	46.1	44.3	41.7	41.2	533.7
RQ2	45.4	47.6	50.3	49.6	49.3	48.3	48.7	50.1	49.7	48.4	45.8	45.0	578.3
RQ3	45.6	47.7	50.4	49.7	49.4	48.4	48.8	50.2	49.9	48.6	45.9	45.2	579.9
RQ4	48.5	50.5	53.1	52.5	52.0	50.7	51.2	52.8	52.5	51.5	48.8	47.9	611.8
RQ5	49.3	51.3	53.8	53.2	52.7	51.3	51.9	53.6	53.2	52.2	49.5	48.6	620.5
RQ6	49.5	51.5	54.1	53.4	52.9	51.5	52.1	53.8	53.4	52.4	49.8	48.8	623.3
RQ7	50.1	52.1	54.7	54.0	53.4	52.0	52.6	54.3	53.9	53.0	50.3	49.4	630.0
RQ8	53.3	55.0	57.7	57.0	56.1	54.4	55.2	57.0	56.7	55.9	53.3	52.5	664.1
Unidad hidrográfica del río Quindío Hasta confluencia Río Navarco	45.6	47.7	50.4	49.7	49.4	48.4	48.8	50.2	49.9	48.6	45.9	45.2	579.9
Río Navarco	53.7	55.5	57.8	57.3	56.5	54.8	55.4	57.5	57.1	56.6	53.9	52.7	668.9
Río Santo Domingo	57.4	59.0	61.6	61.0	59.5	57.6	58.7	60.6	60.3	59.7	57.1	56.4	709.0
Río Verde Hasta Confluencia Río Santo Domingo	57.9	59.1	62.2	61.8	60.1	57.9	59.0	60.7	60.6	60.2	57.8	57.1	714.3

Tabla 131. Evapotranspiración potencial mensual promedio en 22 puntos de interés en la unidad hidrográfica del río Quindío

Índice de Aridez													
Area drenante	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
AF1	0.25	0.14	0.15	0.11	0.21	0.10	0.17	0.15	0.15	0.15	0.14	0.22	0.16
AF2	0.41	0.28	0.24	0.17	0.26	0.15	0.23	0.23	0.22	0.23	0.26	0.36	0.25
AF3	0.75	0.69	0.65	0.60	0.62	0.58	0.63	0.64	0.60	0.58	0.59	0.66	0.63
AF4	0.86	0.82	0.78	0.74	0.75	0.70	0.72	0.72	0.71	0.72	0.74	0.79	0.75
AF5	0.60	0.50	0.43	0.35	0.38	0.28	0.34	0.37	0.32	0.30	0.33	0.45	0.39
AF6	0.46	0.34	0.29	0.21	0.27	0.15	0.21	0.23	0.20	0.20	0.23	0.34	0.26
E0	0.36	0.23	0.21	0.15	0.24	0.13	0.20	0.20	0.19	0.19	0.20	0.30	0.21
E2	0.36	0.24	0.21	0.15	0.24	0.14	0.20	0.20	0.19	0.19	0.21	0.30	0.22
E3	0.36	0.24	0.22	0.15	0.24	0.14	0.20	0.21	0.19	0.19	0.21	0.30	0.22
E7	0.38	0.26	0.23	0.17	0.25	0.15	0.22	0.22	0.20	0.20	0.22	0.31	0.23
RQ1	0.31	0.19	0.17	0.11	0.21	0.11	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.25	0.17
RQ2	0.30	0.19	0.18	0.12	0.21	0.11	0.18	0.17	0.16	0.15	0.16	0.25	0.18
RQ3	0.30	0.19	0.18	0.12	0.22	0.11	0.18	0.17	0.16	0.15	0.16	0.25	0.18
RQ4	0.35	0.23	0.20	0.14	0.23	0.13	0.20	0.20	0.18	0.18	0.20	0.29	0.21
RQ5	0.36	0.24	0.22	0.15	0.24	0.14	0.21	0.21	0.19	0.19	0.21	0.30	0.22
RQ6	0.38	0.26	0.23	0.17	0.25	0.15	0.22	0.22	0.20	0.20	0.22	0.32	0.23
RQ7	0.40	0.28	0.25	0.18	0.26	0.16	0.22	0.23	0.21	0.21	0.23	0.32	0.24
RQ8	0.43	0.31	0.27	0.19	0.26	0.16	0.22	0.23	0.21	0.21	0.23	0.33	0.25
Unidad hidrográficadel río Quindío Hasta confluencia Río Navarco	0.30	0.19	0.18	0.12	0.22	0.11	0.18	0.17	0.16	0.15	0.16	0.25	0.18
Río Navarco	0.41	0.28	0.24	0.17	0.26	0.15	0.23	0.23	0.22	0.23	0.26	0.36	0.25
Río Santo Domingo	0.46	0.34	0.29	0.21	0.27	0.16	0.22	0.24	0.21	0.21	0.23	0.35	0.27
Río Verde Hasta Confluencia Río Santo Domingo	0.43	0.31	0.26	0.19	0.26	0.14	0.20	0.21	0.19	0.19	0.22	0.33	0.24

Tabla 132. Índice de Aridez mensual en 22 puntos de interés en la unidad hidrográfica del río Quindío

8.2 ÍNDICES DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA

Este indicador evalúa la capacidad de la unidad hidrográfica para mantener un régimen de caudales en función de las propiedades hidráulicas del suelo y su sustrato, y su interrelación con el tipo de cobertura del suelo, las características geológicas, geomorfológicas y climáticas de la unidad hidrográfica.

Este índice se calculó a partir de la elaboración de curvas de duración de caudales diarios para cada mes en los 22 puntos de simulación. El valor del índice representa la relación entre el área bajo la línea del caudal medio y el área total bajo la curva de duración de caudales respectiva:

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

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 la siguiente escala:

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 133. Clasificación del índice de retención y regulación hídrica (IDEAM, 2010)

En la condición hidrológica de año húmedo, durante la gran mayoría de los meses del año y en todos los puntos de simulación (excepto AF3 y AF4) se presenta una alta y moderada capacidad de retención y regulación de humedad (Tabla 134). Los afluentes AF3 (Quebrada La Florida) y AF4 (Quebrada El Cafetero) tienen baja y muy baja retención y regulación de humedad respectivamente, lo cual se debe a que son unidades hidrográficas pequeñas con un alto nivel de impermeabilización (urbanización). Sin embargo, estas unidades hidrográficas no tienen importancia como fuentes aportantes de caudal, pero sí como fuentes de polución sobre el cauce principal del río.

En las condiciones hidrológicas neutra y seca, la capacidad de retención y regulación hídrica disminuye a moderada en varios meses (Febrero, Julio y Agosto), y alcanza una categoría Baja en el periodo de Junio a Septiembre en algunos puntos de simulación (Tabla 135 y Tabla 136). En estas condiciones se hacen más críticos los valores del índice para los afluentes AF3 y AF4.

IRH (Condición Hidrológica Húmeda)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
AF1	0.80	0.78	0.77	0.73	0.76	0.75	0.79	0.75	0.74	0.83	0.79	0.75
AF2	0.75	0.73	0.72	0.69	0.71	0.73	0.76	0.74	0.69	0.77	0.75	0.77
AF3	0.52	0.52	0.50	0.50	0.52	0.48	0.56	0.54	0.51	0.58	0.58	0.56
AF4	0.38	0.39	0.38	0.38	0.37	0.29	0.30	0.33	0.37	0.42	0.46	0.41
AF5	0.78	0.73	0.70	0.71	0.71	0.67	0.75	0.73	0.72	0.74	0.74	0.77
AF6	0.78	0.75	0.74	0.71	0.74	0.69	0.74	0.71	0.72	0.72	0.76	0.78
E0	0.79	0.76	0.73	0.70	0.72	0.74	0.77	0.76	0.71	0.75	0.75	0.75
E2	0.79	0.76	0.74	0.70	0.72	0.75	0.77	0.75	0.72	0.75	0.75	0.75
E3	0.79	0.77	0.74	0.70	0.73	0.75	0.78	0.75	0.72	0.75	0.75	0.75
E7	0.78	0.76	0.74	0.70	0.73	0.74	0.78	0.75	0.71	0.75	0.75	0.75
RQ1	0.78	0.75	0.70	0.67	0.72	0.72	0.80	0.78	0.72	0.70	0.73	0.71
RQ2	0.79	0.77	0.73	0.69	0.73	0.74	0.79	0.77	0.72	0.73	0.76	0.73
RQ3	0.80	0.77	0.73	0.69	0.73	0.74	0.79	0.77	0.72	0.73	0.76	0.73
RQ4	0.79	0.76	0.73	0.69	0.72	0.74	0.78	0.76	0.71	0.75	0.75	0.74
RQ5	0.79	0.76	0.74	0.70	0.73	0.75	0.77	0.75	0.71	0.76	0.75	0.75
RQ6	0.78	0.76	0.74	0.70	0.73	0.74	0.78	0.75	0.71	0.75	0.74	0.75
RQ7	0.78	0.76	0.74	0.70	0.73	0.74	0.78	0.76	0.72	0.76	0.75	0.75
RQ8	0.77	0.76	0.75	0.70	0.72	0.73	0.77	0.76	0.73	0.76	0.75	0.77
Subcuenca Quindío Hasta confl. Río Navarco	0.80	0.77	0.73	0.69	0.73	0.74	0.79	0.77	0.72	0.73	0.76	0.73
Río Navarco	0.75	0.73	0.72	0.69	0.71	0.73	0.76	0.74	0.69	0.77	0.75	0.77
Río Santo Domingo	0.78	0.74	0.72	0.72	0.74	0.69	0.74	0.71	0.71	0.72	0.76	0.79
Río Verde Hasta Confl. Río Santo Domingo	0.77	0.75	0.74	0.70	0.74	0.71	0.73	0.70	0.71	0.75	0.76	0.76

Tabla 134. Índice de retención y regulación hídrica en 22 puntos de simulación en la unidad hidrográfica del río Quindío en condición hidrológica Húmeda

IRH (Condición Hidrológica Neutra)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
AF1	0.77	0.69	0.71	0.75	0.81	0.71	0.75	0.70	0.67	0.78	0.86	0.83
AF2	0.71	0.69	0.68	0.72	0.76	0.69	0.71	0.70	0.67	0.77	0.79	0.74
AF3	0.47	0.54	0.51	0.49	0.51	0.48	0.50	0.43	0.43	0.57	0.59	0.53
AF4	0.32	0.37	0.35	0.34	0.34	0.28	0.30	0.26	0.29	0.43	0.47	0.39
AF5	0.75	0.76	0.72	0.71	0.74	0.68	0.71	0.66	0.64	0.75	0.78	0.73
AF6	0.76	0.73	0.74	0.74	0.74	0.69	0.71	0.65	0.66	0.74	0.79	0.80
E0	0.71	0.68	0.72	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.66	0.76	0.82	0.78
E2	0.71	0.68	0.72	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.76	0.82	0.79
E3	0.72	0.68	0.72	0.74	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.76	0.82	0.79
E7	0.71	0.68	0.72	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.77	0.81	0.78
RQ1	0.72	0.72	0.72	0.70	0.75	0.70	0.73	0.73	0.65	0.72	0.81	0.73
RQ2	0.73	0.69	0.73	0.73	0.76	0.71	0.72	0.71	0.66	0.75	0.83	0.78
RQ3	0.73	0.69	0.73	0.73	0.76	0.71	0.72	0.70	0.66	0.75	0.83	0.78
RQ4	0.71	0.69	0.72	0.73	0.76	0.70	0.72	0.70	0.66	0.76	0.82	0.78
RQ5	0.72	0.68	0.72	0.74	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.77	0.81	0.79
RQ6	0.71	0.68	0.71	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.76	0.81	0.79
RQ7	0.73	0.68	0.70	0.73	0.74	0.71	0.71	0.70	0.67	0.77	0.81	0.79
RQ8	0.75	0.71	0.71	0.73	0.71	0.70	0.71	0.68	0.67	0.77	0.81	0.78
Subcuenca Quindío Hasta confl. Río Navarco	0.73	0.69	0.73	0.73	0.76	0.71	0.72	0.70	0.66	0.75	0.83	0.78
Río Navarco	0.71	0.69	0.68	0.72	0.76	0.69	0.71	0.70	0.67	0.77	0.79	0.74
Río Santo Domingo	0.76	0.72	0.74	0.73	0.74	0.66	0.70	0.64	0.65	0.73	0.80	0.77
Río Verde Hasta Confl. Río Santo Domingo	0.76	0.72	0.72	0.74	0.73	0.70	0.70	0.64	0.65	0.75	0.80	0.80

Tabla 135. Índice de retención y regulación hídrica en 22 puntos de simulación en la unidad hidrográfica del río Quindío en condición hidrológica Neutra

IRH (Condición Hidrológica Seca)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
AF1	0.79	0.77	0.75	0.72	0.75	0.66	0.70	0.68	0.69	0.75	0.84	0.83
AF2	0.73	0.66	0.70	0.66	0.70	0.65	0.71	0.68	0.64	0.74	0.82	0.77
AF3	0.41	0.40	0.43	0.49	0.50	0.44	0.59	0.54	0.46	0.50	0.55	0.46
AF4	0.29	0.30	0.30	0.37	0.36	0.27	0.38	0.35	0.28	0.37	0.42	0.32
AF5	0.75	0.68	0.69	0.68	0.69	0.66	0.71	0.74	0.66	0.73	0.80	0.78
AF6	0.72	0.69	0.70	0.66	0.67	0.64	0.70	0.68	0.67	0.79	0.80	0.78
E0	0.77	0.68	0.72	0.67	0.74	0.67	0.72	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
E2	0.77	0.69	0.72	0.67	0.73	0.67	0.71	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
E3	0.77	0.69	0.72	0.67	0.73	0.67	0.71	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
E7	0.77	0.68	0.72	0.67	0.73	0.67	0.71	0.68	0.66	0.74	0.82	0.82
RQ1	0.73	0.65	0.69	0.65	0.73	0.69	0.72	0.71	0.67	0.74	0.81	0.79
RQ2	0.79	0.68	0.71	0.69	0.74	0.68	0.72	0.68	0.66	0.76	0.84	0.83
RQ3	0.79	0.68	0.72	0.69	0.74	0.68	0.72	0.68	0.65	0.76	0.83	0.83
RQ4	0.77	0.69	0.71	0.67	0.73	0.68	0.71	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
RQ5	0.77	0.69	0.72	0.67	0.73	0.67	0.71	0.68	0.66	0.75	0.83	0.82
RQ6	0.77	0.68	0.72	0.67	0.73	0.67	0.71	0.68	0.66	0.74	0.83	0.82
RQ7	0.77	0.68	0.72	0.68	0.73	0.67	0.72	0.69	0.65	0.75	0.83	0.82
RQ8	0.74	0.69	0.72	0.66	0.70	0.66	0.72	0.69	0.66	0.77	0.83	0.79
Subcuenca Quindío Hasta confl. Río Navarco	0.79	0.68	0.72	0.69	0.74	0.68	0.72	0.68	0.65	0.76	0.83	0.83
Río Navarco	0.73	0.66	0.70	0.66	0.70	0.65	0.71	0.68	0.64	0.74	0.82	0.77
Río Santo Domingo	0.71	0.69	0.69	0.65	0.68	0.63	0.70	0.68	0.67	0.78	0.81	0.75
Río Verde Hasta Confl. Río Santo Domingo	0.74	0.68	0.71	0.65	0.66	0.64	0.69	0.64	0.66	0.82	0.78	0.80

Tabla 136. Índice de retención y regulación hídrica en 22 puntos de simulación en la unidad hidrográfica del río Quindío en condición hidrológica Seca

9 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL

El concepto de **caudal ambiental** fue introducido por primera vez en el Decreto 3930 de 2010 (Ordenamiento del Recurso Hídrico), donde fue definido como el “*Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas*”; De igual manera, en el Artículo 6 del citado Decreto, establece que es uno de los aspectos mínimos a tener en cuenta en el marco del Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH). Por lo tanto, la estimación del caudal ambiental en el PORH del río Quindío es imprescindible.

En el marco del Convenio de Cooperación No. 070 de noviembre 8 de 2013, celebrado entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío, Fundación Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe y la Universidad del Tolima para realizar el ordenamiento del recurso hídrico de la unidad hidrográfica del río Quindío, se presenta este documento que contiene la determinación del régimen de caudal ambiental en la unidad hidrográfica del río Quindío; en el cual se establece el enfoque metodológico y conceptual utilizado para su estimación, así como los resultados.

En la determinación del caudal ambiental se utilizó como referencia el marco conceptual de los Límites Ecológicos de Alteración Hidrológica (*ELOHA – Ecological Limits Of Hydrologic Alteration*), el cual de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada sobre el tema, es actualmente una de las metodologías más apropiadas para ser aplicada en sistemas fluviales con alto grado de complejidad productiva, social y ecosistémica, caso del río Quindío. En esta metodología a partir de un proceso de clasificación de tramos es posible plantear curvas de alteración hidrológica vs respuesta ecológica para cada tramo definido con las cuales se asignan caudales ambientales.

En la sección 9.1 se presenta un resumen del estado del conocimiento de caudal ambiental en el contexto Colombiano e internacional. En el Capítulo 2 se presenta la metodología empleada para la determinación del caudal ambiental, la cual tiene en cuenta los actuales lineamientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En el capítulo 3 se presenta la estimación hidrológica inicial del régimen de caudal ambiental; en el Capítulo 4 se presenta la validación del régimen de caudal ambiental con criterios ecohidrológicos; y finalmente en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones del documento.

9.1 ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE CAUDAL AMBIENTAL

En Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) expidió el Decreto 3930 de 2010, en donde se define el **caudal ambiental** como el “*Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas*”. Es pertinente indicar, que antes de la expedición del mencionado Decreto en Colombia se utilizaba el término Caudal Ecológico, el cual fue acogido en la Resolución No. 865 de 2004 del MAVDT (reglamentaria del Decreto 155 de 2004), la cual regula exclusivamente el índice de escasez para aguas superficiales requerido para el cálculo de las tasas por uso del agua. En este sentido, la definición de Caudal Ambiental establecida por el Decreto 3930 de 2010 se encuentra vigente y es la que se utilizará a lo largo del presente documento.

Por otro lado, en Colombia no existe una metodología adoptada y reglamentada jurídicamente por el MADS para la determinación del caudal ambiental; sin embargo, el MADS desde el año 2008 viene trabajando en una Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental, y para los proyectos relacionados con la planificación y el ordenamiento de corrientes de agua superficial y otros proyectos, obras o actividades que requieran permiso de concesión de aguas superficiales, la cual actualmente se encuentra en proceso de ajuste y validación. A nivel de Planificación de cuencas hidrográficas el MADS³ establece que se deberá estimar el caudal ambiental a nivel de cuenca, subcuenca (tributarios principales) y puntos de monitoreo dentro de los mismos, considerando las siguientes metodologías, las cuales son aplicables a los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH):

a) Metodología propuesta por la Resolución 865 del año 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy MADS); b) el valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración, este valor característico se aplica para un Índice de Retención Hídrica (IRH) superior a 0,7 (alta retención y regulación). Para valores de IRH inferiores a 0,7, se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios (Estudio Nacional de Agua, IDEAM, 2010); c) se debe estimar el índice 7Q10 utilizando toda la serie histórica sin discriminar por mes ni condición hidrológica (es decir, se deberá obtener un solo valor para este índice) y el Q95% discriminado por mes y, en caso de encontrar una fuerte correlación entre la hidrología de la corriente y fenómenos de variabilidad climática, para cada una de las tres condiciones hidrológicas (húmeda, promedio

³ Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico, 58 p.

y seca). El caudal ambiental resultará para cada uno de los 36 (3 condiciones hidrológicas x 12 meses) o 12 casos (en caso de no encontrar correlación) como el valor máximo entre el 7Q10 y el Q95% para el correspondiente mes y condición hidrológica (máx. (7Q10, Q95%)) (ANLA, 2013). Finalmente los caudales ambientales calculados deben expresarse como una fracción del caudal medio mensual multianual correspondiente.

Adicionalmente, el MADS indica que se podrá complementar el análisis con enfoques como el propuesto por Richter *et al.* (1996), Poff *et al.*, (2010) y Pahl - Wostl *et al.* (2013) u otros.

Para la estimación del caudal ambiental, actualmente el criterio más reconocido desde el punto de vista científico-técnico es el relacionado con la influencia del régimen hidrológico en el sostenimiento de la biodiversidad y la integridad ecológica de un río (Arthington *et al.*, 2010; Poff *et al.*, 2010; Poff and Zimmerman, 2010; Magdaleno, 2012); ya que se ha encontrado que los ciclos de vida de las especies acuáticas están programados para evitar o aprovechar los caudales de magnitudes variables (Poff *et al.*, 1997). En este sentido, el caudal es la principal variable que da forma a la dinámica de los sistemas fluviales (Poff and Zimmerman, 2010).

Está ampliamente demostrado y aceptado que: *i*) la distribución temporal de caudales mínimos, *ii*) la distribución temporal de caudales máximos admisibles, *iii*) la máxima tasa de cambio admisible, y *iv*) el régimen de crecidas (frecuencia, duración, caudal pico, época de ocurrencia) son características relevantes del régimen de caudales que deben garantizarse para un aceptable funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y regular los procesos geomorfológicos y ecológicos que allí tienen lugar (Poff *et al.*, 1997). La distribución temporal de caudales mínimos, por ejemplo, favorecen la existencia de condiciones propicias para la supervivencia de las poblaciones de peces y macroinvertebrados bentónicos, y caudales máximos temporalmente variables reducen la colonización de especies invasoras (Magdaleno, 2012). Por su parte, la tasa de cambio de los niveles de caudal puede influir en la persistencia y coexistencia de las comunidades hidrobiológicas (Poff *et al.*, 1997; García de Jalón *et al.*, 2007); y el retroceso acelerado de las avenidas afecta la conexión del cauce con las zonas ribereñas y desfavorece la dinámica sedimentaria, entre otros efectos perjudiciales para el sistema fluvial. En este contexto, el régimen hidrológico de un sistema fluvial puede entenderse como la agregación de un amplio y variado número de eventos hidrológicos, cuya ocurrencia viene determinada por las características hidrometeorológicas, físicas y ambientales de su cuenca de drenaje (Magdaleno, 2012).

Existe una bibliografía abundante sobre metodologías utilizadas para el cálculo de caudales ambientales, una revisión detallada puede encontrarse en Tharme (2003), Acreman y Dunbar (2004), con diferentes enfoques, pudiéndose clasificar los más representativos en 4 grupos según la aproximación técnica desarrollada:

- **Enfoque hidrológico.** El cálculo del caudal ambiental se basa en datos hidrológicos; comprende porcentajes fijos, series históricas e índices hidrológicos para establecer las recomendaciones de caudal. Son aplicables a distintas escalas desde la planificación hidrológica hasta la de tramos de río concretos; se realizan principalmente evaluación de escritorio y son rápidos, sencillos y poco costosos; pero requieren de datos de aforos disponibles y fiables. Se destacan tres métodos aplicados en nuestro país, índices hidrológicos 7Q10, Q95% y el método basado en el índice de retención Hídrica (Estudio Nacional de Agua, IDEAM, 2010), este último, se basa fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios diario. Actualmente los métodos hidrológicos son considerados poco integradores de las variables biológicas y funcionales de los ecosistemas fluviales (King *et al.*, 2003). Sin embargo, no debe descartarse para la estimación de caudales ambientales, ya que son muy útiles en ríos poco complejos o también para el establecimiento de caudales ambientales, como medida precautoria ante la ausencia de estudios más detallados (Pizarro, 2004).
- **Enfoque hidráulico.** El caudal ambiental se estima de la relación entre algún parámetro hidráulico (el perímetro mojado, la profundidad máxima, la velocidad media, etc.) y el caudal. Este enfoque únicamente admite aplicaciones locales, y son relativamente rápidos en su cálculo y se aplican en situaciones de baja a moderada intensidad de uso del recurso hídrico y poca complejidad en el manejo (Pizarro, 2004). El método hidráulico más difundido es el perímetro mojado, este método supone que la integridad río está directamente relacionado con la cantidad de perímetro mojado, y que la conservación de los mesohábitats garantizan una adecuada protección del hábitat en general (Tharme, 2003). Otro método muy conocidos y que se encuentra vigente, a pesar de haber sido desarrollado hace más de 35 años es el método R2Cross (Stalnaker, 1979). Este enfoque ha sido reemplazados por metodologías de simulación del hábitat o absorbidos dentro de las metodologías holísticas, pues aunque este enfoque suministra datos detallados de tramos de ríos, no tienen en cuenta aspectos biológicos y geomorfológicos del cauce, y en algunos casos establece un caudal invariable en el tiempo (Davis, 1999), lo que llevó al desarrollo de enfoques hidrobiológicos (King *et al.*, 2003).
- **Enfoque hidrobiológico o de simulación de hábitat.** El caudal ambiental se deduce a partir de una cuantificación previa del hábitat físico de una especie de referencia (normalmente peces, también se han utilizado macroinvertebrados bentónicos) y del análisis de su relación con el caudal mediante simulación hidráulica. Dentro de este grupo se encuentra la metodología “*Instream Flow Incremental Methodology -IFIM*” (Metodología Incremental para el cálculo del Caudal), siendo la metodología más acreditada y utilizada en Europa y Estados

Unidos, principalmente en proyectos hidroeléctricos. En los países latinoamericanos su aplicación ha sido mínima debido a su alto costo. IFIM marcó un hito en el desarrollo de metodologías de caudales ambientales, y fue visionario en su enfoque. No obstante, atrajo considerables críticas principalmente relacionadas con limitaciones severas en términos de datos y tiempo, lo que generó el desarrollo de enfoques holísticos (King *et al.*, 2003).

- **Enfoque holístico.** Las metodologías con enfoque holístico se caracterizan por su flexibilidad para integrar los diferentes enfoques existentes para la determinación del caudal ambiental, pues con frecuencia utiliza algunas de las herramientas del enfoque hidrológico, hidráulico e hidrobiológico. La finalidad de este enfoque es entender los procesos y funciones del régimen hidrológico para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y riparios, y asociarlos con una propuesta de régimen de caudal ambiental; para ello. Según King *et al* (2003) el resultado es una descripción de un régimen hidrológico de caudales necesario para mantener determinada condición del ecosistema.

Como metodologías representativas del enfoque holístico se pueden citar las siguientes: a) Building Block Methodology – BBM (Construcción por Bloques) (King and Louw, 1998), es una metodología holística que busca conservar la estructura y funcionamiento de todos los componentes del sistema fluvial, en vez de enfocarse en una o dos especies seleccionadas como suele hacerse en metodologías similares (Pizarro, 2004); b) DRIFT- Downstream Response to Imposed Flow Transformation (Respuesta a la Modificación del Flujo Aguas Abajo) (King *et al.*, 2003), esta metodología brinda un enfoque integral de las alteraciones que pueden ocurrir río abajo en diferentes escenarios de regímenes de caudal, tiene un fuerte componente socioeconómico; c) Límites Ecológicos de Alteración Hidrológica (ELOHA – Ecological Limits Of Hydrologic Alteration) (Poff *et al.*, 2010). ELOHA es un marco metodológico y conceptual, el cual reconoce que el régimen natural de caudales es el principal determinante en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y ribereños, y que su alteración es lo que ha ocasionado la degradación ambiental de estos ecosistemas (Poff *et al.*, 2010). Esta metodología se considera regional porque a partir de un proceso de clasificación y agrupación de corrientes es posible plantear curvas de alteración hidrológica vs respuesta ecológica para cada grupo de corrientes con las cuales se asignan los caudales ambientales, en vez de asignar este tipo de caudales a cada corriente de manera particular (González, 2012).

Actualmente, el enfoque holístico en la estimación de caudales ambientales, está más acorde con las nuevas tendencias de conservación y/o restauración de los sistemas fluviales;

puesto que la visión sectoriales o el enfoque de una parte del problema solo brindan soluciones parciales (King *et al.*, 2003). Por lo tanto, las metodologías holísticas son las más recomendables en el establecimiento de los caudales ambientales en ríos con alto grado de complejidad productiva, social y ambiental (Pizarro, 2004). De las metodologías que hacen parte de este enfoque, los Límites Ecológicos de Alteración Hidrológica (ELOHA – Ecological Limits Of Hydrologic Alteration) ha sido aplicada en Colombia con buenos resultados, por ejemplo, en el año 2010 el MAVDT suscribió un convenio con The Nature Conservancy (TNC) cuyo objeto fue elaborar una propuesta de metodología para la estimación de caudales ambientales, utilizando el marco de referencia de Límites Ecológicos de Alteración Hidrológica (ELOHA) considerando los diferentes usos de las corrientes principales de la cuenca Magdalena – Cauca.

En la siguiente tabla se realiza una comparación entre los diferentes enfoques, en donde se observa que el enfoque hidrobiológico o de simulación de hábitat y el holístico son los enfoques de mayor nivel de complejidad, debido principalmente a la información requerida y al trabajo intensivo en campo.

ENFOQUE	COMPONENTES CONSIDERADOS	NIVEL DE EXPERIENCIA	COMPLEJIDAD
Hidrológico	Todo el ecosistema- no específico	B-M (principalmente de gabinete) Registros históricos de caudales vírgenes o naturalizados Uso de datos ecológicos históricos B-M (gabinete y campo)	B-M
Hidráulico	Requerimientos hidráulicos genéricos del hábitat acuático para especies objetivo.	Registros históricos de caudales Variables de descarga hidráulica típicamente de secciones Variables hidráulicas relacionadas con las necesidades de hábitat-caudal a nivel genérico. M-A (gabinete y campo)	B-M
Simulación de hábitat	Principalmente hábitat para Especies objetivo. Algunos consideran: Forma del canal, transporte sedimentos, calidad del agua, vegetación de ribera, fauna silvestre	Registros históricos de caudales Numerosas secciones transversales con múltiples variables hidráulicas Datos de idoneidad del hábitat para las especies objeto. M-A (gabinete y campo)	M-A
Holístico	Todo el ecosistema. Algunos consideran: Acuíferos, zonas húmedas, estuarios, llanura de inundación, dependencia social del ecosistema, así como los componentes acuáticos y de la ribera	Registros de caudales Numerosas secciones transversales con múltiples variables hidráulicas. Datos biológicos sobre caudales y hábitat relacionados con todos los requerimientos de la biota y de los <u>componentes del ecosistema</u>	M-A

Tabla 137. Comparación de metodologías en el estudio de los caudales ambientales. (A: nivel alto; M: nivel medio; B: nivel bajo). Modificado de Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012)

Mediante el convenio interadministrativo N° 027 de noviembre 10 de 2010, la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) y la universidad del Quindío – Grupo de Investigación CIDERA, realizan el estudio titulado “*Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos e hidráulicos para la UMC río Quindío*”, cuyo objetivo fue

el de realizar un estudio sobre la determinación de Caudales Ecológicos en la UMC⁴ río Quindío, haciendo énfasis en métodos hidrológicos e hidráulicos para su estimación, como apoyo a la toma de decisiones en la Planificación y Gestión del Recurso Hídrico en dicha cuenca. Este estudio elaborado a partir de dos enfoques: el hidrológico e hidráulico, aporta información valiosa para la determinación de caudales ambientales para la cuenca del río Quindío; sin embargo, es necesario su complementación a partir de un enfoque holístico, que permita realizar una estimación de caudales ambientales utilizando herramientas del enfoque hidrológico e hidrobiológico.

92 METODOLOGÍA

De acuerdo con los actuales lineamientos del MADS, como criterio hidrológico de estimación de caudal ambiental semilla se consideraron dos metodologías. La primera consiste en asignar un caudal ambiental mensual correspondiente al Q85% de la curva de duración de caudales mensual en los casos en que el índice de regulación hídrica (IRH) sea superior a 0.7 y en caso contrario asignar el valor de Q75%. La segunda metodología considera el caudal ambiental mensual como el valor máximo entre el 7Q10 (sin discriminar por mes ni condición hidrológica) y el Q95% discriminado por mes y condición hidrológica en caso de encontrar una fuerte relación entre el caudal y las fases de fenómenos macroclimáticos.

Debido a que las anteriores estimaciones son puramente hidrológicas, en la propuesta de régimen de caudal ambiental para la unidad hidrográfica del río Quindío se incluye una validación de la estimación inicial (Caudal semilla) siguiendo algunos de los criterios esenciales del enfoque holístico planteado por Poff *et al.* (2010) mediante la definición y aplicación de relaciones entre la alteración hidrológica y cambios en la respuesta ecológica en cada tramo estudiado.

9.2.1 Información base para estimación del régimen de caudal ambiental

Información hidrológica

Dada la alta discontinuidad en la información hidrológica disponible sobre la unidad hidrográfica del río Quindío a escala diaria, la estimación del régimen de caudal ambiental se realizó con base en series de caudales simulados por el modelo hidrológico distribuido previamente implementado en el marco de este mismo estudio. Las series temporales de caudales simuladas con fines del cálculo del caudal ambiental cubren de manera continua y a escala diaria el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 1971 al 30 de septiembre de 2012 y han sido calculadas en los diferentes puntos de interés en los tramos definidos para estimación del caudal ambiental, el periodo de simulación comprendido entre el 1 de enero

⁴ UMC: Unidades de Manejo de Cuenca

de 1970 al 30 de septiembre de 1971 se ha utilizado como periodo de calentamiento del modelo hidrológico para partir de unas condiciones iniciales de humedad con mayor sentido físico (en términos de distribución espacial y magnitud).

Información hidrobiológica

Para caracterizar la estructura y composición del ecosistema acuático se elaboraron 5 campañas de monitoreo hidrobiológico (junio a octubre de 2014) sobre 6 puntos ubicados en el cauce principal del río Quindío, una estación de monitoreo sobre el río Navarco y un punto de monitoreo ubicado en la quebrada La Gata (para un total de 8 puntos de muestreo). Los resultados de los monitoreos y la descripción de cada punto se presentan en la sección 9.4.1.

9.2.2 Identificación de tramos

El ordenamiento de los tipos de uso y objetivos de calidad de aguas en el marco del Plan de ordenamiento del recurso hídrico de la unidad hidrográfica del río Quindío se realiza en el cauce principal, tomando como frontera aguas arriba el punto conocido como “El Escobal” y denotado como RQ1, y frontera aguas abajo antes de la confluencia del río Quindío con el río Barragán y denotado como RQ8. En el marco del análisis de los escenarios de uso del recurso hídrico en dicho tramo, es necesario tomar como restricción de uso un régimen de caudal ambiental, por lo que su determinación en la unidad hidrográfica del río Quindío se enfoca en ese tramo.

Para la definición de los tramos donde se determina el caudal ambiental ha sido necesario considerar los cambios de régimen hidrológico, aspectos de presión sobre el uso y calidad del recurso hídrico, y diferencias en la composición, estructura y función de los ecosistemas acuáticos a lo largo del eje longitudinal del río. Con base en estos criterios, se identificaron cuatro tramos diferentes (Figura 104):

Tramo 1 (CA1): definido entre el punto “El Escobal” hasta aguas arriba de la confluencia del río Navarco.

Tramo 2 (CA2): Definido entre aguas abajo de la confluencia del río Navarco y aguas arriba de la quebrada El Pescador.

Tramo 3 (CA3): Definido entre aguas abajo de la confluencia de la quebrada El Pescador y aguas arriba de la confluencia del río Verde.

Tramo 4 (CA4): Definido entre aguas abajo de la confluencia del río Verde y aguas arriba de la confluencia con el río Barragán.

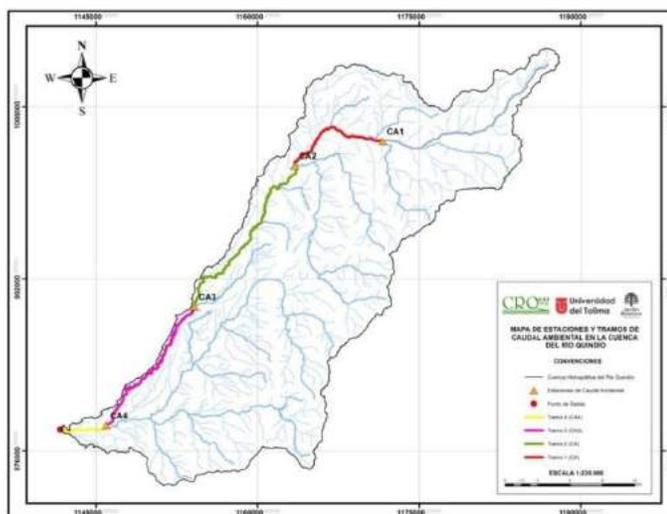


Figura 104. Tramos definidos para el cálculo del régimen de caudal ambiental en la unidad hidrográfica del río Quindío

9.2.3 Criterios Hidrológicos

Definición de condiciones hidrológicas húmeda, promedia y seca

Según Poveda (2004), la variabilidad temporal de los caudales en Colombia está relacionada con varias escalas temporales representativas de algunos fenómenos climáticos. La variabilidad interdecadal está principalmente controlada por la ocurrencia de tendencias en las series de variables climáticas; la variabilidad interanual está vinculada al fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO), la variabilidad anual e intranual están relacionadas con el desplazamiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical y ondas tropicales del este respectivamente (Poveda, 2004).

Es esperable que a escala interdecadal se genere un cambio de tendencia en la respuesta hidrológica de la unidad hidrográfica del río Quindío, dinamizado por el cambio climático. Los ecosistemas acuáticos y riparios de la unidda hidrográfica no están adaptados a la ocurrencia de este tipo de cambios, por lo que tras la ocurrencia de un cambio climático se genera un cambio en la composición y estructura de los ecosistemas, consecuentemente no tiene utilidad práctica incluir este nivel de variabilidad en la determinación del régimen de caudal ambiental para la unidad hidrográfica del río Quindío. Los ecosistemas acuáticos y riparios están adaptados a los otros niveles de variabilidad hidrológica (interanual, intranual, frecuencia de crecidas y frecuencia de caudales mínimos). Para tener en cuenta la variabilidad interanual se estudió la correlación entre la ocurrencia del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO) con la hidrología de la unidad hidrográfica río Quindío expresada a través del Índice de Escorrentía Estandarizado (SRI) (Shukla y Wood; 2008), y así determinar la necesidad de definir condiciones hidrológicas húmeda, neutra o promedio y seca a escala mensual entre los diferentes años. SRI fue desarrollado por Shukla y Wood (2008) para

caracterizar sequías hidrológicas con base en el análisis de serie temporal de caudales, su principio conceptual permite utilizarlo también para la identificación de periodos húmedos de baja ocurrencia en la serie temporal analizada. Este índice se expresa como una función de distribución de probabilidad ajustada a una serie temporal con resolución temporal t y transformada a una función de distribución normal estándar.

La identificación de una condición húmeda o seca no puede soportarse en caudales instantáneos o medios diarios, ya que éstos pueden representar la respuesta hidrológica de la unidad hidrográfica a una condición meteorológica súbita, por lo que es más acertado tomar una escala temporal que tenga memoria del comportamiento de la variable hidrológica. Las escalas temporales mensual, timestral, semestral y anual suelen utilizarse con fines de este tipo de estudios hidrológicos. Sin embargo, en este caso interesa que la escala de la definición de las condiciones húmeda, promedio y seca coincida con la escala de la estimación inicial del régimen de caudal ambiental para conservar la variabilidad intranual de las series, por lo que ha decidido realizarse el análisis a nivel mensual. Para calcular el SRI, las series temporales de caudales se transformaron a escorrentía total en milímetros por mes. Estas series se ajustaron a cinco funciones de distribución (Lognormal, Gamma, Exponencial, Pearson III y Logpearson III) utilizando el método de máxima verosimilitud en la estimación de parámetros. La función de distribución con el error estándar de ajuste más bajo fue seleccionada como la que mejor representa la distribución de cada muestra.

En este estudio, las condiciones hidrológicas húmeda, neutra y seca se definieron con base en la ocurrencia del fenómeno ENSO, coincidiendo la condición húmeda con el fenómeno en su fase Fría y la condición seca con base en su fase Cálida. Para definir la ocurrencia de cada una de estas fases se ha tomado el criterio operacional de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA), el cual expresa que un episodio climático se clasifica como Cálido si el Índice Oceánico del Niño (ONI) es mayor o igual a $+0.5^{\circ}\text{C}$ y Frio si su valor es menor o igual a -0.5°C (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml).

Estimación Hidrológica Inicial

El caudal ambiental semilla es un valor medio mensual para cada mes del año y para cada condición hidrológica (Húmeda, Neutra, Seca), obteniendo 36 valores. Dichos valores semilla fueron validados posteriormente con base en los criterios ecohidrológicos descritos en la sección 9.2.4. De acuerdo con los lineamientos del MADS, el caudal semilla se calculó mediante dos métodos diferentes (M1: Q85% (no se ha tenido en cuenta Q75% ya que es un valor muy restrictivo y su aplicación en la zona aun no tiene una justificación técnica); y M2: max [7Q10, Q95%]), seleccionando como caudal semilla definitivo el correspondiente al método que permita reproducir mejor el patrón de variabilidad y estacionalidad del caudal a través de todo el año hidrológico y condición hidrológica.

9.2.4 Criterios Ecohidrológicos

Aunque ELOHA es un marco regional para determinar caudales ambientales, es posible implementar los criterios esenciales de dicho enfoque a nivel de una unidad hidrográfica específica con el apoyo de estudios hidrológico, hidrobiológico y de calidad de agua (utilizando bioindicadores), lo que permite obtener un régimen de caudales ambientales mucho más ligados a las particularidades ecológicas de la unidad hidrográfica del río Quindío. A continuación se presentan los criterios que se han tenido en cuenta para validar la estimación inicial de caudales ambientales, con base en la propuesta de Poff *et al.*, (2011).

- **Construcción de un fundamento hidrológico.** En este paso se busca construir una base de datos de caudales mensuales, que representen las condiciones en régimen alterado de caudales para los tramos analizados en la unidad hidrográfica del río Quindío, durante un periodo de 43 años. Se tuvo en cuenta la variabilidad de este régimen de caudales en sitios donde se realizaron muestreo de comunidades hidrobiológicas. Se utilizó modelación hidrológica para extender los periodos de datos de caudales fluviales de sitios aforados y para sintetizar los datos de sitio no aforados. En este sentido, para el caso de la unidad hidrográfica del río Quindío, se ha implementado un modelo hidrológico distribuido de base física que permite simular series de caudales en puntos no aforados y extender la longitud de las series de caudales a una escala diaria. Los métodos específicos para elaborar el análisis hidrológico para el cálculo del régimen de caudal ambiental se presentó en la sección 9.2.3.
- **Clasificar la corriente en diferentes tipos de tramos.** De manera cualitativa se definieron cuatro tramos con características hidráulicas y/o calidad de aguas diferentes entre sí (sección 9.2.2). Tramos en los cuales se realizaron campañas de monitoreo hidrobiológico (junio a octubre de 2014).
- **Desarrollar relaciones entre la alteración de caudales y la respuesta de indicadores biológicos de la calidad del agua.** Se desarrollaron relaciones entre la alteración de caudales y la respuesta ecológica, elaborándose este tipo de relaciones para cada tramo, es decir, se estableció la relación entre índices bióticos e hidrológicos (caudal medio mensual, Q5%, Q85% y Q95%) para las dos zonas del río Quindío (Zona Alta – Media y baja). Se utilizaron condiciones de referencia para poder establecer el tipo de relación.

9.3 ESTIMACIÓN HIDROLÓGICA INICIAL DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL

9.3.1 Definición de condiciones hidrológicas húmeda, neutra y seca

El primer aspecto a tener en cuenta en la identificación de condiciones húmeda, neutra y seca es encontrar una relación de la respuesta hidrológica histórica de la unidad hidrográfica con indicadores climáticos de la variabilidad interanual. Para analizar y definir la existencia de dicha relación, se calculó el índice de escorrentía estandarizado (SRI) para cada uno de los puntos representativos de los 4 tramos donde se define el caudal ambiental sobre el río Quindío (CA1, CA2, CA3 y CA4) y se correlacionaron con 12 índices macroclimáticos (BEST, EP-EN, MEI, NAO, NINA1-2, NINA3, NINA3.4, NINA4, ONI, PDO, QBO, SOI) tomando desfases desde 0 hasta ± 20 meses. Con respecto al cálculo del SRI, se encontró que la función de distribución que mejor se ajusta a la muestra simulada en régimen natural en los cuatro tramos es la Gamma (Tabla 138). Por lo que el SRI se calculó como el valor estandarizado de la escorrentía mensual estimada con esta función de distribución.

Punto de cálculo	Función de Distribución	Parámetros	Error Estándar de Ajuste
CA1	Lognormal	$\mu=4.70; \sigma=0.43$	5.78
	Gamma	$\alpha=5.72; \beta=21.08$	3.74
	Exponencial	120.70	69.03
	Logpearson III	11.32 0.12 3.23	17.32
	Pearson III	4.41 24.26 13.51	3.79
CA2	Lognormal	4.88 0.44	11.24
	Gamma	5.71 25.24	4.14
	Exponencial	144.25	85.40
	Logpearson III	9.27 0.14 3.54	27.17
	Pearson III	9.15 19.60 -35.25	4.73
CA3	Lognormal	4.92 0.43	12.18
	Gamma	5.83 25.84	4.91
	Exponencial	150.86	90.36
	Logpearson III	9.46 0.14 3.58	28.21
	Pearson III	10.54 18.85 -48.01	5.67
CA4	Lognormal	4.90 0.42	11.23
	Gamma	6.16 23.69	4.67
	Exponencial	146.12	89.07
	Logpearson III	10.66 0.12 3.52	25.00
	Pearson III	12.03 16.65 -54.22	5.77

Tabla 138. Resultados del ajuste de 5 funciones de distribución a las series de escorrentía mensual en los cuatro puntos de cálculo del caudal ambiental sobre el río Quindío

Las correlaciones cruzadas entre SRI y los 12 índices macroclimáticos demuestran la estrecha relación de las fases del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO) con la

respuesta hidrológica de la unidad hidrográfica en los cuatro puntos analizados sobre el cauce principal del río Quindío. En los cuatro casos (Figura 105, Figura 106, Figura 107 y Figura 108) existen correlaciones del SRI menores a -0.4 con los índices BEST, MEI, ONI, NINA1-2 y NINA4, menores a -0.6 con el índice NINA3.4, y mayores a 0.4 con el índice SOI. En todos los casos las correlaciones más extremas se encontraron con desfases entre 1 y 3 meses, a excepción del índice SOI, en el que se encontró que la mayor correlación ocurre con un desfase de 0 meses.

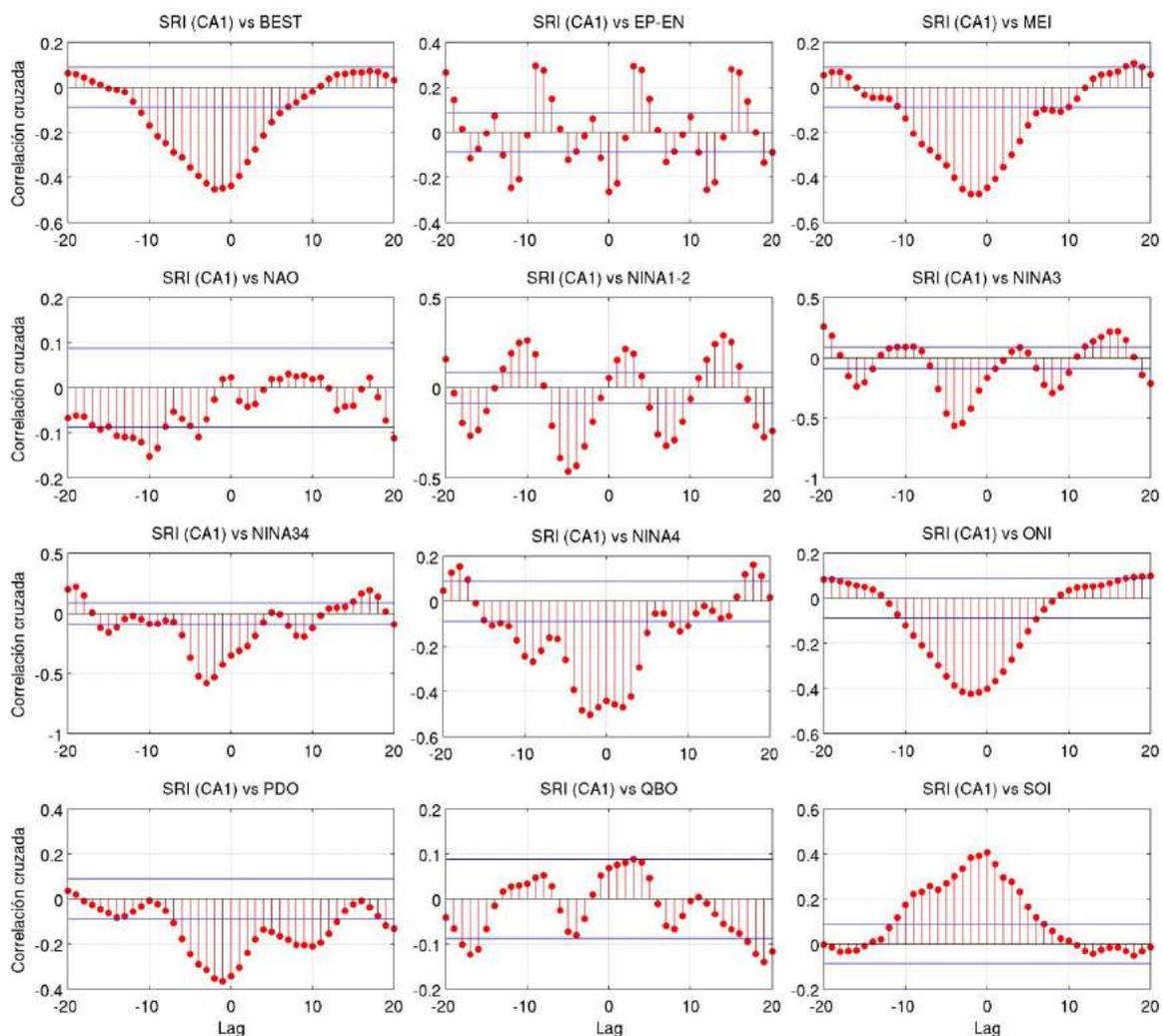


Figura 105. Correlación cruzada entre 12 índices macroclimáticos y el índice estandarizado de escorrentía en el punto de cálculo CA1

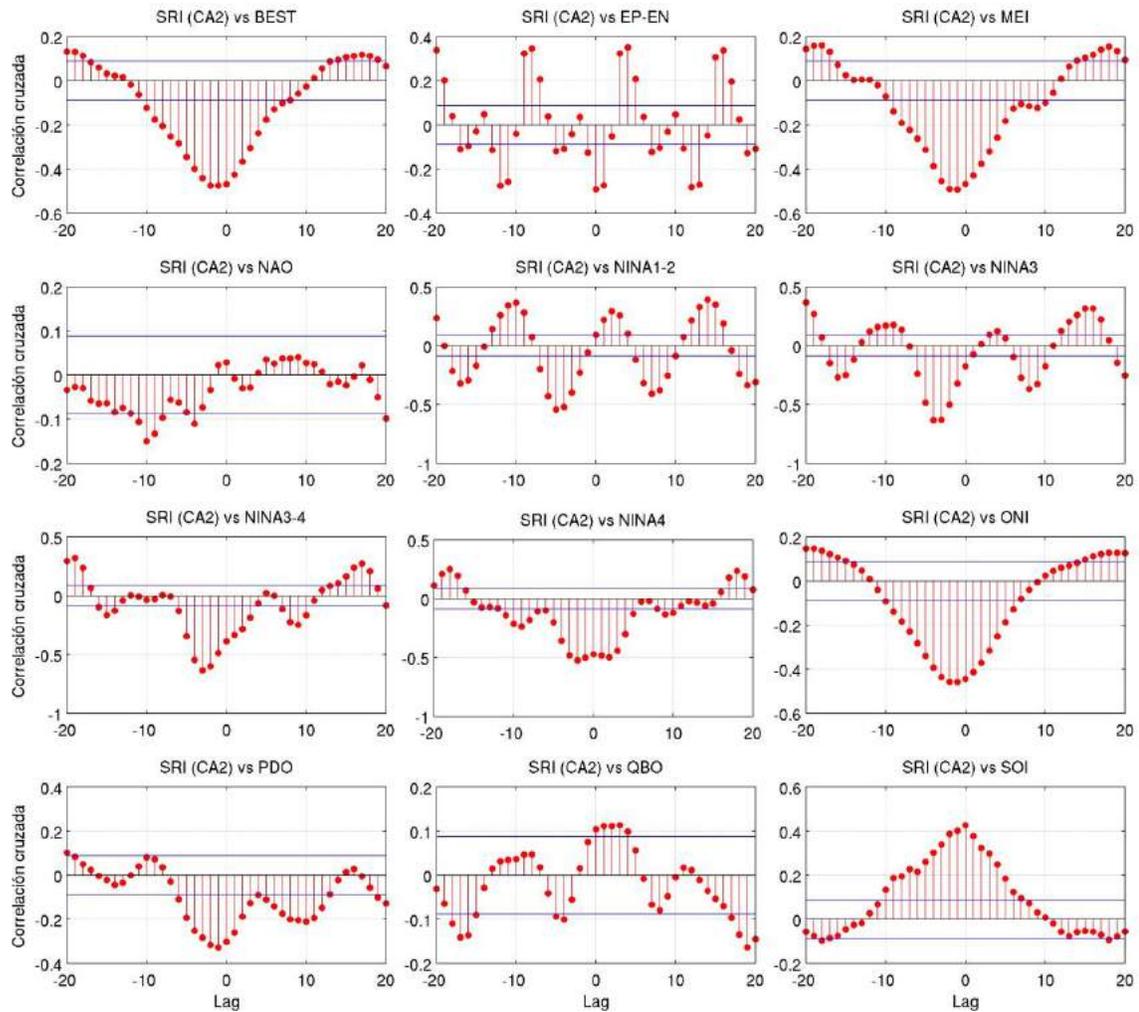


Figura 106. Correlación cruzada entre 12 índices macroclimáticos y el índice estandarizado de escorrentía en el punto de cálculo CA2

El índice ONI permite realizar la declaración operacional de la ocurrencia de las fases cálida y húmeda del fenómeno ENSO según el Centro de Predicción Climática (CPC) de la NOAA. Su mejor correlación con los SRI en la unidad hidrográfica del río Quindío ocurren con un desfase de 2 meses según los cálculos realizados en este estudio (Figura 105, Figura 106, Figura 107 y Figura 108).

Por lo anterior, se ha decidido definir las condiciones hidrológicas húmeda, neutra y seca respetando dicho desfase. Lo que quiere decir que si en el mes $t=1$ ocurre una fase cálida del fenómeno ENSO (según el criterio del CPC un valor igual o superior a $+0.5^{\circ}\text{C}$ en el índice ONI), la declaración de condición seca en la unidad hidrográfica del río Quindío se hace para el mes $t=1+2$, ya que el efecto del aumento en la temperatura del océano pacífico que ocurre en el mes $t=1$, será más probable que se observe en la unidad hidrográfica del río Quindío en

el mes $t=3$. Con respecto a la definición de la condición hidrológica seca se tiene en cuenta el mismo criterio.

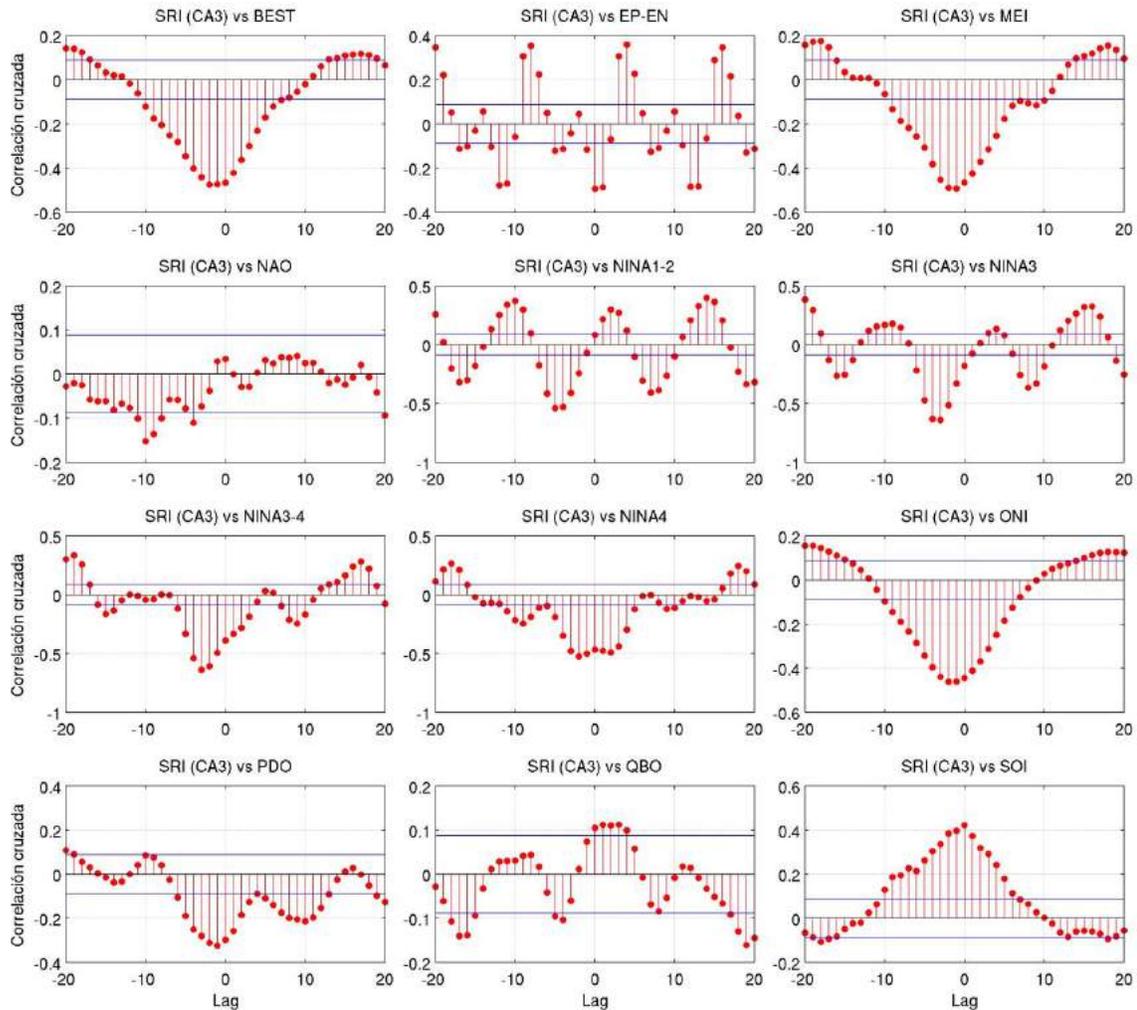


Figura 107. Correlación cruzada entre 12 índices macroclimáticos y el índice estandarizado de escorrentía en el punto de cálculo CA3

La Tabla 139 presenta los valores del índice ONI clasificados por cada fase del fenómeno ENSO para el periodo de análisis, con fondo rojo se representan los meses en fase cálida, con fondo azul los meses en fase fría y en fondo blanco los meses en fase neutra. Debido a que existe un desfase entre la ocurrencia de las diferentes fases del fenómeno (según el ONI) y su efecto en la hidrología de la unidad hidrográfica, las condiciones hidrológicas húmeda, neutra y seca por mes se han definido teniendo en cuenta esta particularidad.

La Tabla 140 indica la clasificación de los diferentes meses por condición hidrológica para los años gregorianos comprendidos en el periodo de 1970 a 2012.

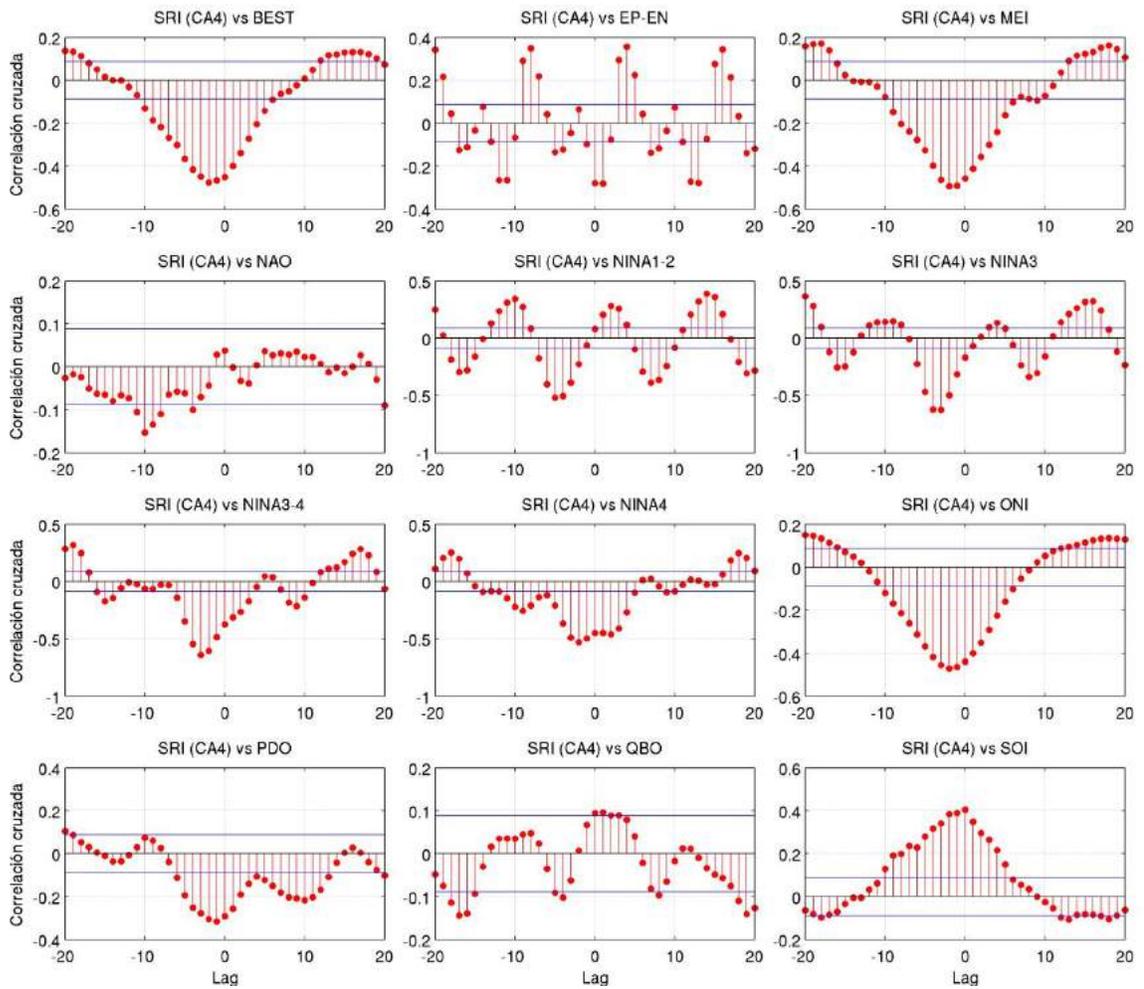


Figura 108. Correlación cruzada entre 12 índices macroclimáticos y el índice estandarizado de escorrentía en el punto de cálculo CA4

	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1970	0.61	0.4	0.35	0.28	0.11	-0.23	-0.54	-0.66	-0.71	-0.68	-0.79	-1.02
1971	-1.24	-1.27	-1.05	-0.81	-0.71	-0.71	-0.74	-0.69	-0.74	-0.8	-0.92	-0.84
1972	-0.64	-0.3	0.05	0.35	0.59	0.84	1.11	1.37	1.62	1.85	2.1	2.1
1973	1.82	1.24	0.55	-0.05	-0.47	-0.79	-1.01	-1.18	-1.32	-1.6	-1.88	-2.04
1974	-1.88	-1.6	-1.24	-0.98	-0.82	-0.71	-0.54	-0.4	-0.43	-0.64	-0.8	-0.69
1975	-0.54	-0.51	-0.58	-0.65	-0.8	-0.97	-1.14	-1.2	-1.41	-1.5	-1.63	-1.66
1976	-1.55	-1.14	-0.73	-0.47	-0.32	-0.08	0.16	0.36	0.59	0.74	0.79	0.76
1977	0.64	0.57	0.32	0.28	0.31	0.44	0.4	0.43	0.52	0.68	0.77	0.78
1978	0.71	0.46	0.1	-0.15	-0.28	-0.27	-0.34	-0.39	-0.37	-0.25	-0.12	-0.08
1979	-0.05	0.07	0.19	0.26	0.19	0.04	0.02	0.16	0.33	0.48	0.49	0.55
1980	0.5	0.39	0.27	0.28	0.38	0.4	0.25	0.05	-0.07	-0.03	0.01	-0.13
1981	-0.38	-0.57	-0.53	-0.41	-0.31	-0.34	-0.39	-0.37	-0.26	-0.17	-0.16	-0.11
1982	-0.08	0	0.06	0.32	0.54	0.65	0.73	0.98	1.48	1.87	2.14	2.21
1983	2.16	1.87	1.48	1.19	0.94	0.61	0.19	-0.22	-0.53	-0.82	-0.92	-0.81
1984	-0.49	-0.3	-0.25	-0.36	-0.49	-0.45	-0.32	-0.21	-0.28	-0.59	-0.92	-1.12
1985	-1.02	-0.85	-0.74	-0.73	-0.69	-0.6	-0.54	-0.52	-0.5	-0.43	-0.37	-0.4
1986	-0.47	-0.41	-0.24	-0.15	-0.06	0.03	0.26	0.46	0.69	0.89	1.07	1.17
1987	1.24	1.26	1.18	1.07	1.03	1.16	1.42	1.61	1.62	1.49	1.26	1.1
1988	0.75	0.48	0.13	-0.23	-0.75	-1.2	-1.27	-1.16	-1.28	-1.55	-1.86	-1.87
1989	-1.71	-1.45	-1.11	-0.84	-0.57	-0.4	-0.31	-0.29	-0.3	-0.3	-0.22	-0.08
1990	0.13	0.18	0.25	0.25	0.23	0.24	0.28	0.33	0.35	0.3	0.35	0.35
1991	0.34	0.22	0.2	0.27	0.5	0.69	0.79	0.73	0.69	0.81	1.15	1.44
1992	1.58	1.49	1.36	1.22	1.01	0.68	0.32	0.03	-0.21	-0.29	-0.23	-0.02
1993	0.16	0.29	0.47	0.63	0.64	0.5	0.26	0.22	0.17	0.18	0.11	0.07
1994	0.07	0.1	0.2	0.29	0.37	0.38	0.41	0.41	0.51	0.74	1.04	1.15
1995	1.03	0.8	0.58	0.3	0.16	0.01	-0.15	-0.41	-0.65	-0.81	-0.87	-0.89
1996	-0.85	-0.76	-0.61	-0.41	-0.28	-0.24	-0.21	-0.28	-0.29	-0.33	-0.39	-0.48
1997	-0.51	-0.38	-0.13	0.23	0.69	1.16	1.51	1.8	2.06	2.26	2.36	2.34
1998	2.18	1.84	1.35	0.92	0.38	-0.15	-0.67	-0.97	-1.17	-1.25	-1.38	-1.51
1999	-1.51	-1.28	-1.01	-0.89	-0.93	-0.97	-1.04	-1.05	-1.12	-1.26	-1.48	-1.68
2000	-1.7	-1.47	-1.15	-0.89	-0.78	-0.7	-0.59	-0.52	-0.55	-0.64	-0.75	-0.77
2001	-0.72	-0.58	-0.47	-0.35	-0.23	-0.06	0.02	0.02	-0.06	-0.16	-0.25	-0.27
2002	-0.18	-0.01	0.12	0.29	0.5	0.69	0.76	0.79	0.92	1.15	1.31	1.26
2003	1.07	0.77	0.42	-0.01	-0.22	-0.07	0.23	0.36	0.41	0.41	0.44	0.34
2004	0.29	0.19	0.14	0.11	0.16	0.32	0.53	0.69	0.75	0.72	0.71	0.67
2005	0.57	0.43	0.29	0.31	0.3	0.29	0.22	0.11	0.03	-0.24	-0.52	-0.83
2006	-0.86	-0.74	-0.49	-0.26	-0.04	0.08	0.19	0.31	0.51	0.76	0.99	0.99
2007	0.69	0.27	-0.05	-0.23	-0.25	-0.28	-0.37	-0.61	-0.84	-1.05	-1.2	-1.38
2008	-1.51	-1.46	-1.21	-0.9	-0.69	-0.51	-0.31	-0.17	-0.12	-0.22	-0.45	-0.72
2009	-0.83	-0.74	-0.48	-0.15	0.17	0.4	0.52	0.61	0.77	1.07	1.43	1.62
2010	1.55	1.29	0.98	0.57	0.09	-0.42	-0.88	-1.23	-1.44	-1.49	-1.45	-1.47
2011	-1.38	-1.23	-0.9	-0.6	-0.3	-0.16	-0.21	-0.41	-0.62	-0.83	-0.98	-0.99
2012	-0.86	-0.64	-0.45	-0.29	-0.15	-0.03	0.13	0.38	0.53	0.59	0.18	-0.26

Tabla 139. Clasificación del ONI según la fase de fenómeno ENSO. Fase cálida (Rojo), Fase fría (Azul), Fase neutra (Negro con fondo blanco).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1970	C	C	C	N	N	N	N	N	F	F	F	F
1971	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
1972	F	F	F	N	N	N	C	C	C	C	C	C
1973	C	C	C	C	C	N	N	F	F	F	F	F
1974	F	F	F	F	F	F	F	F	F	N	N	F
1975	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
1976	F	F	F	F	F	N	N	N	N	N	C	C
1977	C	C	C	C	N	N	N	N	N	N	C	C
1978	C	C	C	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1979	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1980	N	C	C	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1981	N	N	N	F	F	N	N	N	N	N	N	N
1982	N	N	N	N	N	N	C	C	C	C	C	C
1983	C	C	C	C	C	C	C	C	N	N	F	F
1984	F	F	N	N	N	N	N	N	N	N	N	F
1985	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	N
1986	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	C
1987	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1988	C	C	C	N	N	N	F	F	F	F	F	F
1989	F	F	F	F	F	F	F	N	N	N	N	N
1990	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1991	N	N	N	N	N	N	C	C	C	C	C	C
1992	C	C	C	C	C	C	C	C	N	N	N	N
1993	N	N	N	N	N	C	C	C	N	N	N	N
1994	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	C
1995	C	C	C	C	C	N	N	N	N	N	F	F
1996	F	F	F	F	F	N	N	N	N	N	N	N
1997	N	N	F	N	N	N	C	C	C	C	C	C
1998	C	C	C	C	C	C	N	N	F	F	F	F
1999	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
2000	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
2001	F	F	F	F	N	N	N	N	N	N	N	N
2002	N	N	N	N	N	N	C	C	C	C	C	C
2003	C	C	C	C	N	N	N	N	N	N	N	N
2004	N	N	N	N	N	N	N	N	C	C	C	C
2005	C	C	C	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2006	F	F	F	F	N	N	N	N	N	N	C	C
2007	C	C	C	N	N	N	N	N	N	F	F	F
2008	F	F	F	F	F	F	F	F	N	N	N	N
2009	N	F	F	F	N	N	N	N	C	C	C	C
2010	C	C	C	C	C	C	N	N	F	F	F	F
2011	F	F	F	F	F	F	N	N	N	N	F	F
2012	F	F	F	F	N	N	N	N	N	N	C	C

Tabla 140. Clasificación de los meses por condición hidrológica en la unidad hidrográfica del río Quindío según el desfase de 2 meses entre el SRI y el ONI. Condición Hidrológica Seca (Rojo), Condición Hidrológica Húmeda (Azul), Condición Hidrológica Neutra (Negro con fondo blanco).

9.3.2 Estimación de caudal ambiental semilla por condición hidrológica

Las series hidrológicas simuladas en los puntos CA1, CA2, CA3 y CA4 fueron clasificadas en condiciones Húmeda (H), Neutra (N) y Seca (S) según la definición operacional de las fases del fenómeno ENSO con criterios del CPC. Para cada condición hidrológica se calcularon a nivel mensual los índices Q85% y Q95%, y para toda la serie de caudales diarios en cada tramo el índice 7Q10, tomando como caudal semilla medio del respectivo mes el Q85% (M1), y el valor máximo entre 7Q10 y Q95% (M2). La Tabla 141 presenta los valores obtenidos por cada método para cada uno de los tramos definidos sobre el cauce principal del río Quindío.

Tramo		Método	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
CA1	H	Max(7Q10,Q95%)	1.29	1.61	1.82	1.34	0.95	1.04	1.03	1.33	1.10	0.75	0.83	0.97
		Q85%	1.41	1.79	1.96	1.66	1.35	1.47	1.42	1.66	1.38	0.98	1.03	1.13
	N	Max(7Q10,Q95%)	0.66	1.16	1.35	1.09	0.85	0.87	0.96	1.09	1.00	0.75	0.62	0.52
		Q85%	0.86	1.39	1.49	1.25	0.97	1.09	1.28	1.35	1.14	0.93	0.73	0.63
	S	Max(7Q10,Q95%)	0.66	1.16	1.29	0.96	0.77	0.75	0.96	1.08	0.94	0.74	0.60	0.52
		Q85%	0.86	1.39	1.40	0.99	0.78	0.76	0.90	0.92	0.70	0.77	0.61	0.55
CA2	H	Max(7Q10,Q95%)	4.48	6.05	6.90	5.88	4.11	4.44	4.74	5.80	4.09	2.71	3.06	3.61
		Q85%	5.52	7.27	7.82	6.73	5.69	5.88	6.02	6.61	5.44	3.88	3.63	4.46
	N	Max(7Q10,Q95%)	2.52	4.91	5.62	4.55	3.55	3.48	4.31	4.49	3.73	2.71	1.88	1.70
		Q85%	3.74	6.13	6.42	5.19	4.16	4.36	5.14	5.37	4.30	3.23	2.32	2.12
	S	Max(7Q10,Q95%)	2.04	4.91	5.04	3.17	2.61	2.56	3.27	2.68	2.22	1.86	1.71	1.46
		Q85%	3.17	6.13	5.78	3.56	3.01	3.28	3.95	3.57	2.81	2.56	1.88	1.71
CA3	H	Max(7Q10,Q95%)	5.90	7.86	8.74	7.64	5.48	6.10	6.43	7.82	5.30	3.52	3.93	4.76
		Q85%	7.29	9.55	10.1	8.70	7.47	7.68	8.06	8.71	7.06	4.86	4.62	5.96
	N	Max(7Q10,Q95%)	3.57	6.68	7.52	5.84	4.69	4.77	5.78	6.14	4.80	3.52	2.35	2.29
		Q85%	5.17	8.18	8.54	6.76	5.30	5.74	6.73	7.00	5.60	4.12	3.00	2.89
	S	Max(7Q10,Q95%)	2.86	6.68	6.59	3.95	3.34	3.36	4.45	3.78	2.95	2.43	2.18	1.98
		Q85%	4.26	8.18	7.47	4.46	3.80	4.39	5.13	4.87	3.65	3.28	2.41	2.38
CA4	H	Max(7Q10,Q95%)	10.4	13.7	14.8	13.7	10.5	11.1	11.4	14.2	10.0	7.1	7.1	8.4
		Q85%	13.0	16.6	17.7	15.6	13.1	14.0	13.9	15.7	12.1	8.5	8.6	10.5
	N	Max(7Q10,Q95%)	6.9	12.1	13.0	9.2	7.3	9.0	9.2	10.8	8.8	6.4	4.3	4.0
		Q85%	9.8	14.5	14.4	11.3	9.1	10.3	11.8	11.8	10.0	7.3	5.3	5.0
	S	Max(7Q10,Q95%)	4.9	12.1	10.4	6.4	5.5	5.6	7.6	6.7	5.2	4.4	3.7	3.9
		Q85%	8.0	14.2	12.1	7.6	6.2	7.2	8.8	8.2	6.2	5.7	4.4	4.4

Tabla 141. Caudal ambiental semilla (m^3/s) calculado por dos métodos (M1, M2) para los cuatro tramos en los que se define el régimen de caudal ambiental.

De las dos propuestas de caudal ambiental semilla (M1, M2), la definida mediante el Q85% (M1) es la que reproduce mejor el patrón de variabilidad del caudal medio mensual y representa la estimación más conservadora, lo cual se nota especialmente en la condición hidrológica seca y en los meses más secos (Figura 109). Por lo anterior, se considera que el caudal ambiental semilla para los cuatro tramos de estudio es el calculado mediante el índice Q85% (M1).

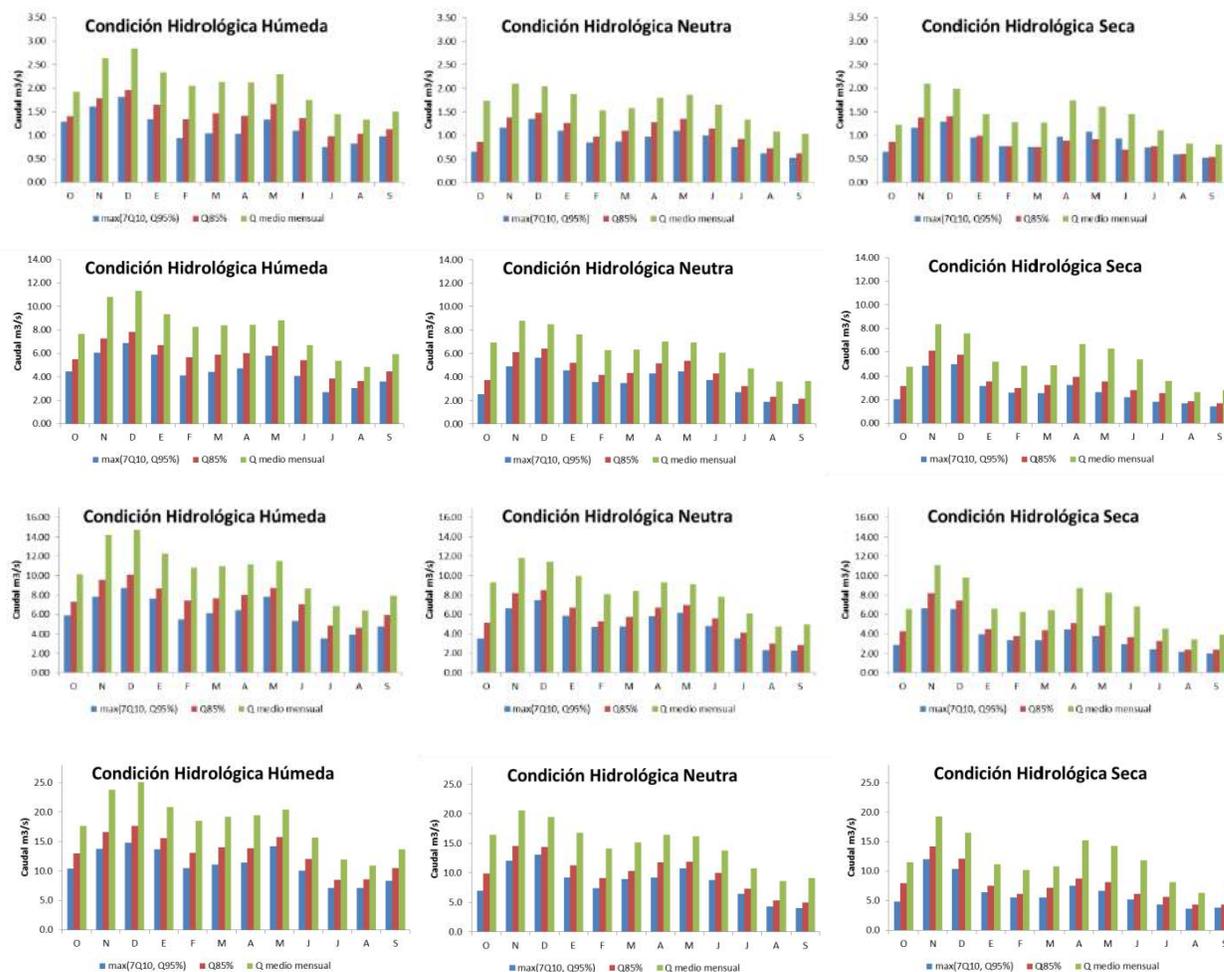


Figura 109. Distribución del Caudal medio mensual (verde) y el Caudal ambiental semilla (m^3/s) calculado por dos métodos (M1[rojo], M2[azul]) por condición hidrológica. Para los cuatro tramos (CA1, CA2, CA3, CA4, de arriba abajo)

Los valores semilla definidos mediante el enfoque hidrológico (Q85%: M1), permite conservar la variabilidad intra-anual de los caudales, manteniendo la ocurrencia de caudales altos (Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Noviembre, Diciembre) de transición (Junio, Octubre) y de caudales bajos (Julio, Agosto, Septiembre). Por otro lado se conserva la variabilidad inter-anual asociada al efecto del fenómeno ENSO en las condiciones hidrológicas Húmeda (H), Neutra (N) y Seca (S).

94 VALIDACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL CON CRITERIOS ECOHIDROLÓGICOS

9.4.1 Monitoreos Hidrobiológicos

Los ecosistemas acuáticos son altamente complejos y de suma importancia, ya que albergan una gran cantidad de organismos. En la actualidad estos ecosistemas se están deteriorando principalmente a causa de impactos de tipo antropogénico, como por ejemplo el uso irracional del agua y la descarga de residuos líquidos y sólidos provenientes de algunas actividades como la minería, generación de energía, canalización, entre otros (Goular *et al.* 2009), que afectan directamente las comunidades de organismos acuáticos. Por lo cual se hace necesaria la evaluación de estos cuerpos de agua y del recurso hidrobiológico que hace parte de ellos.

Dentro de los organismos que habitan este tipo de ecosistemas, se encuentra el perifiton, el cual debido a la gran complejidad de las comunidades que lo conforman, es difícil definir claramente; sin embargo, en las últimas décadas se ha considerado a este como una película o biopelícula, que resulta del proceso de colonización, crecimiento y metabolismo celular de una gran variedad de organismos unicelulares, multicelulares y materia orgánica como: algas, bacterias, hongos, insectos y detritus de tipo orgánico e inorgánico (Roldán y Ramírez 2008), que se adhieren a cualquier tipo de sustrato vivo o muerto, como por ejemplo; rocas, troncos y demás objetos sumergidos (Guevara *et al.* 2006).

Además del perifiton los macroinvertebrados se han utilizado como indicadores biológicos de la calidad de los ecosistemas y han demostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración del recurso (Alba-Tercedor 1996). El bajo costo de este método, la rapidez de su aplicación y su confiabilidad, los hacen idóneos para la vigilancia de las cuencas hidrográficas (Roldán 1996, Zúñiga y Cardona 2009), además que son considerados uno de los componentes más importantes de los ecosistemas dulceacuícolas en términos de abundancia y diversidad, cumplen un papel ecológico destacado en la descomposición y recirculación de nutrientes y contribuyen en la red trófica como alimento de otros invertebrados y vertebrados (Merritt *et al.* 2008).

A su vez, las comunidades de peces han emergido como indicadores para los programas de monitoreo biológico por muchas razones, entre las que se incluyen las siguientes: son organismos relativamente fáciles de capturar e identificar; existe una amplia información sobre las historias de vida de muchas especies; las comunidades generalmente comprenden una amplia variedad de especies que representan diferentes niveles tróficos (incluyendo especies que consumen alimentos tanto de origen acuático como terrestre); son los organismos mejor conocidos de estos hábitats, tanto por el público general como por los

científicos, y están presentes en los pequeños cuerpos de agua y aun en aquellos ecosistemas con ciertos niveles de contaminación (Velázquez-Velázquez y Vega-Cendejas, 2004).

Área de monitoreo

La unidad hidrográfica del río Quindío está ubicada en el lado oriental del departamento del Quindío, integrado por los municipios de Armenia, Calarcá y Salento. Constituye la mayor unidad hidrográfica en el departamento del Quindío dentro de la subzona hidrográfica del río La Vieja; suministrando agua a cuatro municipios del departamento del Quindío (CRQ, 2011). El río Quindío con un recorrido 65,35 Km, nace en el extremo nororiental del municipio de Salento en el páramo del Quindío (3780 msnm) y desemboca en el río Barragan.

El área de monitoreo incluye por un lado, seis puntos de monitoreo sobre el río Quindío, uno sobre el río Navarco, y un punto de monitoreo ubicado en la quebrada La Gata, los cuales fueron muestreados en los meses de junio a octubre de 2014. Cada tramo monitoreado, se referenció empleando un receptor GPS (Tabla 142, Figura 110).

Estación	Código	Coordenadas		Altura (m)
		Latitud N	Longitud O	
Quebrada Cárdenas	E1	4°38'38,2''	75°28'46,6''	2477
Río Quindío, Finca El Escobal	E2	4°38'16.18"	75°31'51.41"	2036
Río Quindío, Bocatoma acueducto Armenia	E3	4°37'40,2''	75°35'43,5''	1710
Río Navarco, Antes de la desembocadura en el río Quindío	E4	4°37'0.69"	75°36'17.29"	1667
Río Quindío, Vereda Chagualá	E5	4°34'22.59"	75°37'55.59"	1520
Río Quindío, sector Balboa	E6	4°29'11.96"	75°41'58.10"	1287
Río Quindío, aguas abajo de la desembocadura del río Verde.	E7	4°23'45,4''	75°45'46,8''	1083
Quebrada La Gata	E8	4°29'59,7''	75°34'33''	2452

Tabla 142. Información sobre la ubicación geográfica de los tramos monitoreados en el río Quindío y quebradas tributarias

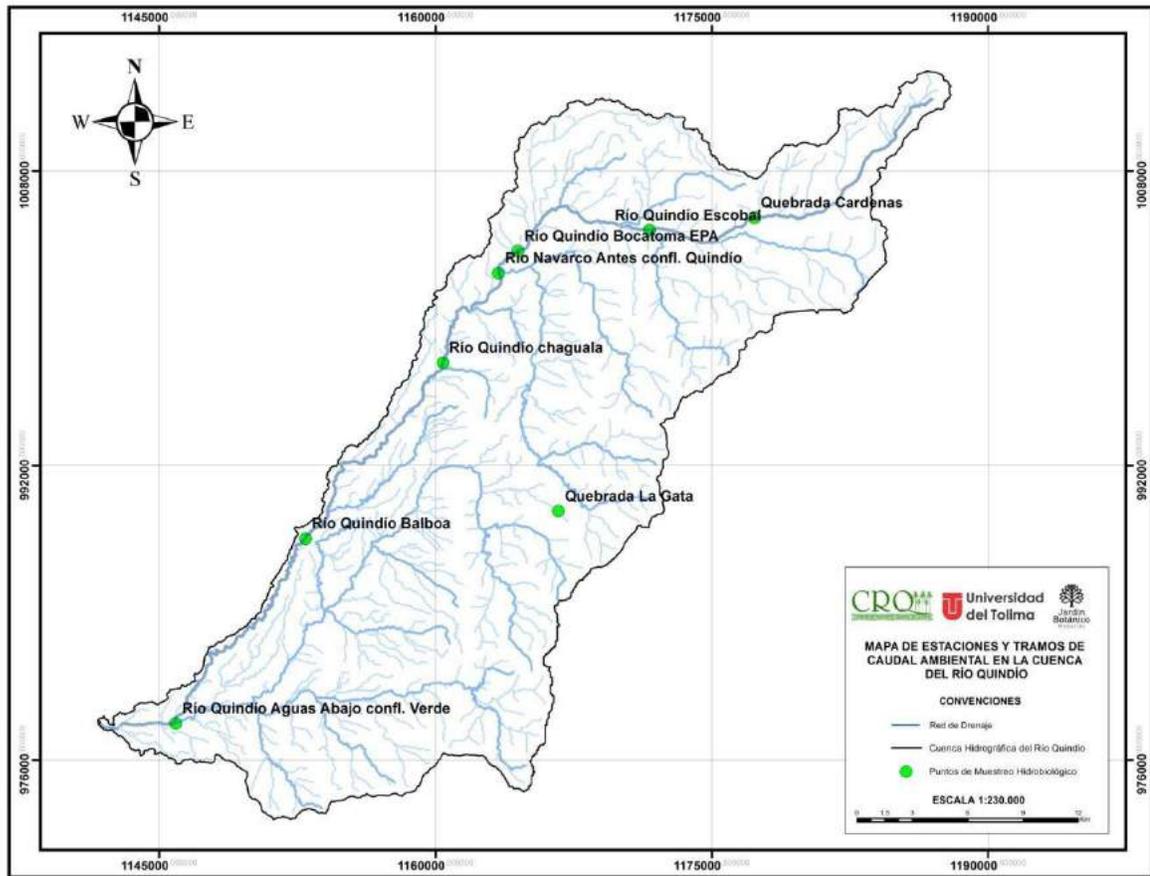


Figura 110. Mapa con la ubicación de las estaciones de muestreo para el monitoreo hidrobiológico.

Caracterización de las estaciones

- **Quebrada Cárdenas E1**

La quebrada Cárdenas se caracteriza por presentar fondos de guijarro y roca, márgenes abruptas, con una profundidad promedio de 30 cm y un flujo de agua rápido. Abundante vegetación ribereña, material alóctono y presencia de perifiton sobre las rocas. Aguas abajo de la estación el lecho del río está alterado para el paso de vehículos a motor y de semovientes (Figura 111).



Figura 111. Quebrada Cárdenas

- **Río Quindío, Finca El Escobal E2**

Predomina el fondo de guijarro, arena y roca. Las margenes son abruptas y suaves; y el flujo de agua es rápido, con una profundidad aproximada de 60 cm. Sobre la orilla derecha existe una potrerización de la zona, mientras que sobre la izquierda presenta vegetación ribereña. Se observa abundante perifiton sobre las rocas (Figura 112).



Figura 112. Río Quindío. Finca El Escobal

- **Río Quindío, Bocatoma acueducto Armenia E3**

En esta zona el canal del río ha sido alterado con fondos artificiales aguas abajo de la zona evaluada. El fondo es principalmente guijarro y roca. Aunque el flujo de agua es rápido, se observan algunas zonas de remanso. La margen izquierda es suave, mientras que la derecha es abrupta. La profundidad promedio es de 80 cm. No hay vegetación ribereña sobre la margen derecha y muy poca sobre la izquierda (Figura 113).



Figura 113. Río Quindío Bocatoma acueducto Armenia

- **Río Navarco E4**

Presenta un sustrato de arena y grava principalmente. La velocidad de la corriente es moderada y en algunas zonas es rápida. Las márgenes abruptas y suaves. Se observa poca vegetación ribereña, pero sobre la margen derecha se presenta vegetación sumergida. Cerca de la zona evaluada hay evidencia de remoción de material del río (Figura 114).



Figura 114. Río Navarco

- **Río Quindío, vereda Chagualá E5**

Aguas arriba de la zona evaluada se observa una modificación del caudal, por la construcción de una captación de agua que genera una barrera de aproximadamente tres metros de altura. El río en esta zona presenta una corriente moderada con un fondo compuesto principalmente de roca y guijarro. La margen derecha es abrupta y no presenta vegetación ribereña, mientras que la izquierda es suave y presenta material alóctono. No se evidencia abundancia de perifiton (Figura 115).



Figura 115. Río Quindío vereda Chagualá

- **Río Quindío, Balboa E6**

En este tramo del río se evidencia presencia de material residual doméstico e industrial, así como extracción de material del río. El fondo está compuesto por arena y guijarro; y el flujo de agua es moderado. La margen derecha es abrupta y la izquierda es suave. En las riberas de ambas orillas predomina la vegetación de tipo arbustiva, principalmente gramíneas de gran porte (Figura 116).



Figura 116. Río Quindío. Sector Balboa

- **Río Quindío, aguas abajo de la desembocadura del río Verde E7**

Es la estación más baja (altitudinalmente) sobre el río Quindío. En la este tramo del río predomina el fondo de guijarro y arena. El flujo de corriente es moderado cerca a la orilla y rápido en el centro del cauce. La margen izquierda es suave, con muy poca vegetación ribereña (Figura 117).



Figura 117. Río Quindío, aguas abajo de la desembocadura del río Verde

Actividades de campo y laboratorio

- **Perifiton**

En cada punto de muestreo se eligieron al azar rocas y troncos para el raspado del perifiton. Éste se realizó con un cepillo plástico en un área de 18,75 cm² tanto en la roca como en el tronco, con un área representativa total de 37,5 cm² por estación. Las muestras de roca y tronco fueron colocadas en un frasco plástico de 60 ml, y se adicionó inmediatamente una solución preservante de Lugol/Etanol (70%) (Figura 118).

Para determinaciones cuantitativas, se dejó sedimentar la muestra durante una hora (APHA 1992, Arcos-Pulido y Gómez-Prieto 2006). En el laboratorio se tomó un mililitro (1ml) de la muestra, para la determinación y conteo del perifiton con un microscopio y con la cámara de conteo Sedgwick-Rafter (SR) que limita el área y volumen y permite calcular las densidades poblacionales mediante cuantificación en bandas, después de un periodo de asentamiento. La identificación de algas e invertebrados se realizó siguiendo las claves de Prescott (1970), Streble y Krauter (1987), Lopretto y Tell (1995), Ramírez (2000) y Bellinger y Sigeo (2010). La densidad de células por unidad de área se calculó con la siguiente ecuación (APHA 1992, Ramírez 2000):

$$\frac{\text{Organismos}}{\text{mm}^2} = \frac{N \times A_t \times V_t}{A_c \times V_s \times A_s}$$

Donde:

N = número de organismos contados

A_t = Área total de la cámara (mm^2)

V_t = Volumen total de la muestra en suspensión

A_c = Área contada (bandas o campos) (mm^2)

V_s = Volumen usado en la cámara (ml)

A_s = Área del sustrato o superficie raspada (mm^2)

- **Macroinvertebrados bentónicos.**

Para la colecta se empleó el método cuantitativo con red Surber (Roldán y Ramírez 2008) con área de $930,25 \text{ cm}^2$ y ojo de malla de $560 \mu\text{m}$ sobre los diferentes tipos de sustrato (Usseglio-Polaterra et al. 2007). El material obtenido se preservó en un frasco plástico debidamente etiquetado por estación. Las muestras se fijaron en alcohol al 96%. En el laboratorio se realizó la separación de todos los macroinvertebrados presentes, para su identificación bajo estereomicroscopio (Figura 118). Para la determinación taxonómica, se emplearon las claves y descripciones de McCafferty (1981), Roldán (1988, 2003), Muñoz-Quesada (2004), Merritt y Cummins (2008), Domínguez y Fernández (2009).

- **Peces**

Para la colecta de los individuos se empleó un equipo de electropesca por las ventajas que representa frente a otros artes de pesca convencionales, en términos de volumen y talla de captura de los organismos. En cada uno de los puntos de muestreo se evaluó una sección longitudinal de 50m. Los peces capturados fueron colocados en bolsas plásticas de cierre hermético. La mayor parte de las especies fueron determinadas en campo y devueltas al cuerpo de agua. De aquellos individuos que no se logró determinar en campo, se tomó una muestra representativa para su confirmación taxonómica en el laboratorio. Estos individuos se dispusieron en bolsas de sello hermético y se fijaron en formol al 10% (Figura 118).



Figura 118. Toma de muestras de perifiton, macroinvertebrados y peces en las diferentes estaciones de muestreo.

Análisis de datos

- **Abundancia (AR) y Densidad relativa (DR %).** Para el análisis de los datos se calculó el porcentaje de abundancia o densidad relativa para los taxones o grupos taxonómicos (clases, órdenes, familias, géneros y/o especies) evaluados de cada componente (perifiton, macroinvertebrados y peces):

$$AR \text{ o } DR = (n_i / N) \times 100$$

Dónde:

AR o DR= Abundancia relativa del táxon 1

n_i = El número de individuos capturados u observados del táxon 1

N= El número total de individuos capturados u observados

- **Curvas de acumulación de taxones.** Con el fin de determinar la representatividad de los muestreos, se calcularon los estimadores de diversidad (CHAO 1, ACE y Cole), con el programa Stimates 6.0., utilizando cada una de las réplicas como una unidad de muestreo. Estos estimadores permiten establecer si la muestra es representativa del atributo medido (Villarreal et al. 2006).
- **Índices de Diversidad.** Para evaluar la diversidad de la estructura de perifiton (géneros), macroinvertebrados (familias) y peces (especies) se aplicaron los siguientes índices: Riqueza de Margalef (D), Diversidad de Shannon-Wiener (H'), Dominancia de Simpson (Diversidad Alfa) e Índice de similitud de Jaccard (Diversidad Beta) (Magurran 1998). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico PastProgram® 2013. El índice de similitud de Jaccard fue calculado a partir de matrices de presencia ausencia, este permite ver las especies que son compartidas por las estaciones.

Índice de Riqueza de Margalef (D) (A. Ramírez, 1999):

$$D = S - 1 / \ln(N)$$

Donde: D=Índice de riqueza

S=número de taxones o grupo taxonómico

N=tamaño de la muestra

Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'):

$$H' = \sum (p_i \ln p_i)$$

Donde: $p_i = n_i/N$

n_i = número de individuos del táxon i

N= número total de individuos en la muestra

Índice de Simpson. La dominancia de taxones se calculó por medio del índice de Simpson (A. Ramírez, 1999):

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

p_i = es el número de individuos del táxon i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Índice de similitud de Jaccard:

$$I_j = C / (a + b - c)$$

Dónde:

a = número de atributos presentes en la unidad taxonómica (OTU a)

b = un mero de atributos presentes en la unidad taxonómica (OTU b)

c = número de atributos presentes en ambos OTU's (a y b).

Indices bióticos particulares

Perifiton. Para evaluar la calidad del agua a partir del perifiton se utilizó el Índice Diatómico General.

Índice Diatómico Genérico (IDG) (Coste & Ayphassorho, 1991). Este índice viene determinado por tres variables:

- Sensibilidad a la polución de cada género (S), con valores entre 1 (más resistente) y 5 (más sensible).
- Amplitud ecológica (V), que va desde 1 (forma ubicua) hasta 3 (Forma característica).
- Abundancia (A).

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^j A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^n A_j V_j}$$

El índice Diatómico se calcula mediante la siguiente fórmula:

A_j = Abundancia (%)

S_j = Sensibilidad a la polución (1 a 5)

V_j = Valor indicativo del género (1 a 3)

Macroinvertebrados

BMWP. Para evaluar la calidad del agua se aplicó el método BMWP/Col (Roldán, 2003). La metodología BMWP (Biological Monitoring Working Party) consiste en asignar a cada familia de macroinvertebrados acuáticos un puntaje de 1 a 10 de acuerdo a la tolerancia a la contaminación. Las familias más sensibles reciben un puntaje de 10 y así gradualmente hasta llegar a un puntaje de 1 para las familias más tolerantes a la contaminación. La suma de todas las familias encontradas en el sitio de muestreo dará el puntaje total BMWP; a partir de estos puntajes se identificó la calidad del agua y su significado ecológico.

EPT. Este análisis se hace mediante el uso de tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de la calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes. Estos grupos son: Ephemeroptera o moscas de mayo, Plecoptera o moscas de piedra y Trichoptera (Carrera y Fierro, 2001).

9.4.2 Diversidad, composición y estructura del perifiton

Composición y estructura del perifiton

Durante los cinco monitoreos (junio a octubre de 2014) se registró una densidad total de 2267,91 organismos/mm² se colectaron siete filos, 11 clases, 29 órdenes, 41 familias y 52 géneros (Tabla 143).

Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Total	DR (%)			
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	<i>Pleurotaenium</i>	17,136	0,756			
			Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>	0,591	0,026		
					<i>Mougeotia</i>	0,591	0,026		
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Chaetophora</i>	13	0,573			
				<i>Stigeoclonium</i>	4,727	0,208			
				<i>Closterium</i>	7,091	0,313			
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Crucigenia</i>	0,591	0,026			
				<i>Coelastrum</i>	0,591	0,026			
					Selenastraceae	<i>Monoraphidium</i>	2,955	0,13	
					Microsporaceae	<i>Microspora</i>	0,591	0,026	
					Chlorococcales	Scenedesmaceae	<i>Actinastrum</i>	1,182	0,052
							Treubariaceae	<i>Treubaria</i>	1,773
					Chlamydomonadales		Chlamydomonadae	<i>Chlamydomonas</i>	0,591
			Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	<i>Oocystis</i>	39	1,72	
						<i>Botryococcus</i>	5,318	0,234	
Trebouxiales	Botryococcaceae								
	Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	<i>Cladophora</i>	96,318	4,247			
				Ulotrichales	Ulotrichaceae	<i>Ulothrix</i>	13,591	0,599	
		Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Stigonemataceae	<i>Stigonema</i>	6,500	0,287	
Nostocaceae	<i>Anabaena</i>					7,091	0,313		
Oscillatoriales	Oscillatoriaceae					<i>Oscillatoria</i>	40,773	1,798	
Chroococcales	Chroococcaceae			<i>Chroococcus</i>	2,364	0,104			
				Microcystaceae	<i>Microcystes</i>	1,182	0,052		
				Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>	59,091	2,606	
						<i>Pseudoanabaena</i>	0,591	0,026	
	Oscillatoriales	Pseudanabaenaceae	Pseudanabaenoideae						
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i>	2,364	0,104			
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	72,682	3,205			
				<i>Achnanthes</i>	18,909	0,834			
					407,72				
		Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	7	17,98			
				<i>Encyonema</i>	2,364	0,104			
			Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	7	5,081			
			Rhoicospheniaceae	<i>Rhoicosphenia</i>	433,72	19,12			

		Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	93,364	4,117
				<i>Hannaea</i>	10,045	0,443
				<i>Synedra</i>	28,364	1,251
				<i>Hantzschia</i>	0,591	0,026
		Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	65	2,866
		Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Diploneis</i>	56,136	2,475
				<i>Frustulia</i>	0,591	0,026
				<i>Amphipleura</i>	1,773	0,078
			Naviculaceae	<i>Navicula</i>	461,5	20,35
				<i>Neidium</i>	0,591	0,026
			Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	20,682	0,912
				<i>Rhopalodia</i>	1,182	0,052
			Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	27,773	1,225
		Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	46,682	2,058
		Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	72,682	3,205
		Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i>	0,591	0,026
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia</i>	0,591	0,026
	Xanthophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	<i>Tribonema</i>	1,182	0,052
Heterokontophyta	Coccinodiscophyceae	Triceratiales	Triceratiaceae	<i>Pleurosira</i>	0,591	0,026
Amoebozoa	Tubulinea	Arcellinida	Diffugiidae	<i>Diffugia</i>	1,182	0,052
Total					2267,9	1

Tabla 143. Composición, estructura y densidad de géneros del perifiton presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Densidad relativa (DR)

La clase que registró mayor densidad fue Bacillariophyceae (86,81%), seguida de Cyanophyceae (4,7%) y Ulvophyceae (4,29%) mientras que las demás clases registraron valores los menores al 2% (Figura 119). La estructura de la comunidad perifítica estuvo dominada por la clase Bacillariophyceae, tanto a nivel espacial como temporal. La gran abundancia y diversidad de esta clase, coincide con lo reportado en otros estudios realizados en ecosistemas lóticos colombianos como los de Ramírez y Viña (1998), Ramírez (2000) y Martínez y Donato (2003), quienes consideran que éste taxón es muy común en ecosistemas lóticos por su frecuencia y abundancia, y se relaciona con las adaptaciones ecológicas que les favorecen de la turbulencia del agua y otras perturbaciones del medio (Gualtero Leal y Trilleras Motha, 2001). Los organismos pertenecientes a esta clase se caracterizan principalmente por segregar estructuras mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua, de esta manera pueden soportar las fuertes corrientes, características de dichos ecosistemas (Pinilla, 1998). Además, se pueden encontrar en una gran variedad de sustratos: arena, grava, piedras, roca, madera y macrófitas (Bellinger y Sigeo 2010).

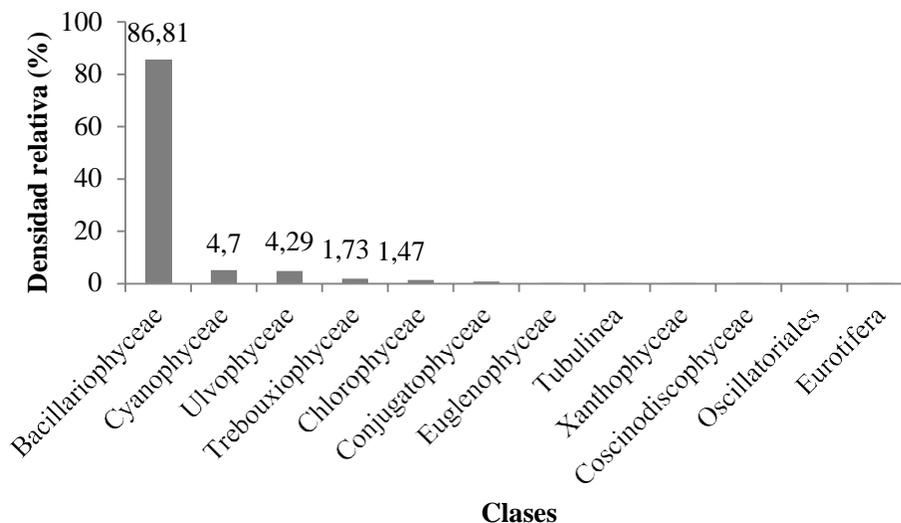


Figura 119. Densidad relativa de las clases del perifiton evaluadas en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

A nivel espacial y temporal se observaron diferencias en los patrones de distribución y dominancia de los géneros que componen la comunidad perifítica en las estaciones evaluadas, este comportamiento es normal en los ecosistemas lóticos debido a que cada una de las localidades registra características físicoquímicas y bióticas particulares. Con relación a los géneros encontrados *Navicula* (20%), *Rhoicosphenia* (19%) y *Cymbella* (18%) presentaron la mayor densidad y frecuencia durante el periodo de estudio. Se reportaron organismos presentes únicamente en algunas estaciones y durante ciertos periodos de tiempo, lo que permite catalogarlos como raros o poco frecuentes en el área evaluada (Tabla 144, Tabla 145), por lo que se podría pensar en géneros muy sensibles y que necesitan condiciones particulares para su desarrollo, como por ejemplo temperaturas más altas, mayor carga de nutrientes, corrientes lenticas o moderadas, etc. (Bellinger y Sigeo 2010).

Los géneros más abundantes y frecuentes pertenecen a la clase Bacillariophyceae (Figura 120) lo que puede estar relacionado con la alta capacidad de estos organismos para tolerar los cambios en las condiciones ambientales que se presentan a lo largo de la zona de estudio. Algunos autores como Bellinger y Sigeo (2010), consideran que estas especies, se distribuyen ampliamente en los ecosistemas acuáticos, principalmente en los cuerpos de agua con fuertes corrientes.

La abundancia de *Navicula* puede relacionarse con las estructuras de adhesión presentes en estos organismos, que les permiten soportar el estrés producido por la corriente, además este género presenta una superficie mucilaginosa que le ayuda a la motilidad (Bellinger & Sigeo 2010) y por consiguiente una rápida migración. La dominancia de este género es

congruente con lo reportado por otros autores (Bustamante-Toro *et al.*, 2008; Bustamante-Toro y Torres-Cohecha, 2009), para la unidad hidrográfica del río Quindío.

Género	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
<i>Achnanthes</i>		10,64	5,32	2,95		18,91
<i>Actinastrum</i>	0,59		0,59			1,18
<i>Amphipleura</i>		1,18		0,59		1,77
<i>Amphora</i>	2,95	20,68	9,45	7,68	5,91	46,68
<i>Anabaena</i>		0,59	4,14		2,36	7,09
<i>Aphanocapsa</i>					59,09	59,09
<i>Botryococcus</i>	5,32					5,32
<i>Chaetophora</i>	13,00					13,00
<i>Chlamydomonas</i>					0,59	0,59
<i>Chroococcus</i>		1,18		1,18		2,36
<i>Cladophora</i>			35,45	1,18	59,68	96,32
<i>Closterium</i>	1,18	1,18	2,95	1,18	0,59	7,09
<i>Cocconeis</i>	4,73	14,18	14,77	19,50	19,50	72,68
<i>Coelastrum</i>					0,59	0,59
<i>Crucigenia</i>	0,59					0,59
<i>Cymbella</i>	58,50	31,32	148,32	97,50	72,09	407,73
<i>Diffflugia</i>		1,18				1,18
<i>Diploneis</i>	15,95	7,09	23,64	5,32	4,14	56,14
<i>Encyonema</i>		0,59	1,77			2,36
<i>Epithemia</i>				0,59		0,59
<i>Eunotia</i>				0,59		0,59
<i>Fragilaria</i>	1,77	14,18	56,73	10,64	10,05	93,36
<i>Frustulia</i>		0,59				0,59
<i>Gomphonema</i>	1,18	33,09	23,64	37,82	19,50	115,23
<i>Hannaea</i>	1,18	1,18	0,59	2,36	4,73	10,05
<i>Hantzschia</i>			0,59			0,59
<i>Keratella</i>				0,59		0,59
<i>Melosira</i>	9,45	2,95	17,73	18,32	16,55	65,00
<i>Microcystes</i>			0,59	0,59		1,18
<i>Microspora</i>				0,59		0,59
<i>Monoraphidium</i>	1,18		1,18		0,59	2,95
<i>Mougeotia</i>					0,59	0,59
<i>Navicula</i>	45,50	106,36	46,09	69,73	193,82	461,50
<i>Neidium</i>				0,59		0,59
<i>Nitzschia</i>	3,55	28,95	11,82	14,18	14,18	72,68
<i>Oocystis</i>	14,18		6,50	0,59	17,73	39,00
<i>Oscillatoria</i>	13,00	7,68	3,55	4,73	11,82	40,77

<i>Pinnularia</i>		8,86	11,82			20,68
<i>Pleurosira</i>		0,59				0,59
<i>Pleurotaenium</i>	10,05	7,09				17,14
<i>Pseudoanabaena</i>		0,59				0,59
<i>Rhoicosphenia</i>	32,50	53,18	77,41	166,05	104,59	433,73
<i>Rhopalodia</i>	0,59		0,59			1,18
<i>Spirogyra</i>		0,59				0,59
<i>Spirulina</i>				0,59		0,59
<i>Stauroneis</i>		14,77	6,50	2,36	4,14	27,77
<i>Stigeoclonium</i>	1,18		1,77	0,59	1,18	4,73
<i>Stigonema</i>	2,95	2,95			0,59	6,50
<i>Synedra</i>	13,00	6,50	2,36	5,91	0,59	28,36
<i>Trachelomonas</i>	2,36					2,36
<i>Treubaria</i>		1,18		0,59		1,77
<i>Tribonema</i>					1,18	1,18
<i>Ulothrix</i>				1,18	12,41	13,59
Total	256,45	381,14	515,86	476,27	638,77	2268,50

Tabla 144. Densidades relativas de los géneros del perifiton a nivel temporal evaluadas en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Género	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Total general
<i>Achnanthes</i>	9,45	1,18	2,36	2,36	1,77	1,18	0,59	18,91
<i>Actinastrum</i>	0,59		0,59					1,18
<i>Amphipleura</i>	0,59	1,18						1,77
<i>Amphora</i>	12,41	3,55	9,45	1,77	11,82	6,50	1,18	46,68
<i>Anabaena</i>	1,18		1,18	3,55		1,18		7,09
<i>Aphanocapsa</i>							59,09	59,09
<i>Botryococcus</i>	2,95				2,36			5,32
<i>Chaetophora</i>			4,73		8,27			13,00
<i>Chlamydomonas</i>	0,59							0,59
<i>Chroococcus</i>	1,18						1,18	2,36
<i>Cladophora</i>			59,09	1,18	0,59		35,45	96,32
<i>Closterium</i>	2,36		2,36	0,59	1,77			7,09
<i>Cocconeis</i>	10,05	4,73	19,50	11,23	10,64	11,82	4,73	72,68
<i>Coelastrum</i>	0,59							0,59
<i>Crucigenia</i>					0,59			0,59
<i>Cymbella</i>	83,91	83,91	96,91	3,55	99,86	27,77	11,82	407,73
<i>Difflugia</i>	0,59					0,59		1,18
<i>Diploneis</i>	14,77	23,64	3,55	7,68	4,14	1,77	0,59	56,14
<i>Encyonema</i>	0,59		0,59		0,59	0,59		2,36
<i>Epithemia</i>						0,59		0,59

<i>Eunotia</i>		0,59						0,59
<i>Fragilaria</i>	8,27	2,36	53,18	3,55	14,18	6,50	5,32	93,36
<i>Frustulia</i>	0,59							0,59
<i>Gomphonema</i>	8,27	29,55	18,32	13,00	26,59	11,23	8,27	115,23
<i>Hannaea</i>	6,50	2,36			1,18			10,05
<i>Hantzschia</i>	0,59							0,59
<i>Keratella</i>					0,59			0,59
<i>Melosira</i>	8,86	5,91	18,32	8,27	15,36	7,09	1,18	65,00
<i>Microcystes</i>	0,59			0,59				1,18
<i>Microspora</i>				0,59				0,59
<i>Monoraphidium</i>	0,59				1,18		1,18	2,95
<i>Mougeotia</i>						0,59		0,59
<i>Navicula</i>	202,68	36,64	14,77	108,73	27,18	37,82	33,68	461,50
<i>Neidium</i>	0,59							0,59
<i>Nitzschia</i>	37,23	18,91	1,77	4,14	5,32	3,55	1,77	72,68
<i>Oocystis</i>	1,18			20,68	14,18	2,36	0,59	39,00
<i>Oscillatoria</i>	14,18	11,82	7,09	4,14	0,59	0,59	2,36	40,77
<i>Pinularia</i>	5,32	2,95	2,95	5,32	2,95	1,18		20,68
<i>Pleurosira</i>	0,59							0,59
<i>Pleurotaenium</i>	7,68	4,14	1,18	2,36		1,77		17,14
<i>Pseudoanabaena</i>							0,59	0,59
<i>Rhoicosphenia</i>	80,36	94,55	91,59	28,36	101,64	29,55	7,68	433,73
<i>Rhopalodia</i>				1,18				1,18
<i>Spirogyra</i>		0,59						0,59
<i>Spirulina</i>						0,59		0,59
<i>Stauroneis</i>	4,14	1,77	3,55	4,73	4,14	4,14	5,32	27,77
<i>Stigeoclonium</i>		0,59		2,95	1,18			4,73
<i>Stigonema</i>	2,36	1,77			1,18	0,59	0,59	6,50
<i>Synedra</i>	5,91	0,59	2,95	2,36	3,55	8,27	4,73	28,36
<i>Trachelomonas</i>				0,59		1,77		2,36
<i>Treubaria</i>				0,59		1,18		1,77
<i>Tribonema</i>	1,18							1,18
<i>Ulothrix</i>	13,00	0,59						13,59
Total general	552,50	333,86	416,00	244,05	363,41	170,77	187,91	2268,50

Tabla 145. Densidades relativas de los géneros del perifiton a nivel espacial evaluadas en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

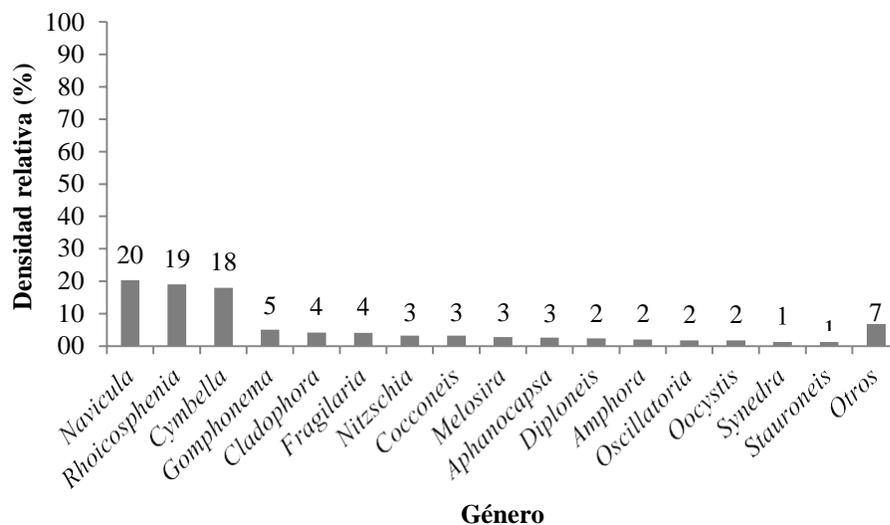


Figura 120. Densidades relativas de los géneros del perifiton evaluadas en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Variación espacial y temporal. Los ensamblajes perifíticos fluctúan en el espacio y tiempo, debido a que las comunidades pueden variar por diferentes factores como los ciclos hidrológicos, nutrientes y condiciones físicas y químicas de los cuerpos de agua, que favorecen a ciertos grupos de organismos en diferentes épocas; además los ecosistemas acuáticos neotropicales enfrentan las temporadas de lluvias y sequía, que les impiden ser estables y permanentes, de esta manera se mantiene en un constante proceso de sucesión con proliferación de organismos generalistas cada vez que se suceden cambios ambientales (Lopreto y Tell 1995, Bustamante, Torres, y Zapata, 2009). El comportamiento de los cuerpos mostró que la Quebrada Cárdenas (E1) presentó la mayor densidad, seguido por el río Quindío cerca a la bocatoma del acueducto de Armenia (E3) (Figura 121). Las estaciones ubicadas por debajo de los 1300 (E6 y E7) m.s.n.m, presentaron las menores densidades. La mayor densidad de la quebrada Cárdenas puede estar relacionada a que es el cuerpo de agua a mayor altura, por lo que podría presentar mayor cantidad de sustratos y con poca intervención, lo que puede disminuir el arrastre de sedimentos y la destrucción de los hábitats (Roldán y Ramírez, 2008). Además la alta densidad está relacionada con el aporte relevante del género *Navicula*, el cual se presentó ampliamente en los meses evaluados, especialmente durante el mes de octubre.

En la E3 el mayor aporte se presentó durante el mes de agosto, representado principalmente por el género *Cymbella*, junto con un número relevante del género *Cladophora*, la cual tuvo un afloramiento anormal durante el mes de octubre, relacionado con el aumento en el suministro de nutrientes en el agua y en consecuencia la eutrofización de la misma (Peña-Salamanca et al., 2005). Estos afloramientos, pueden causar degradación

en la calidad del agua, concentración de los nutrientes en el sedimento, pérdida de oxígeno y cambios en las cadenas alimenticias. *Cladophora* se adaptan a varios ambientes, y se distribuyen desde aguas oligotróficas hasta aguas eutróficas; en zonas con variaciones de temperatura, salinidad y profundidad (Dodds y Gudder 1992).

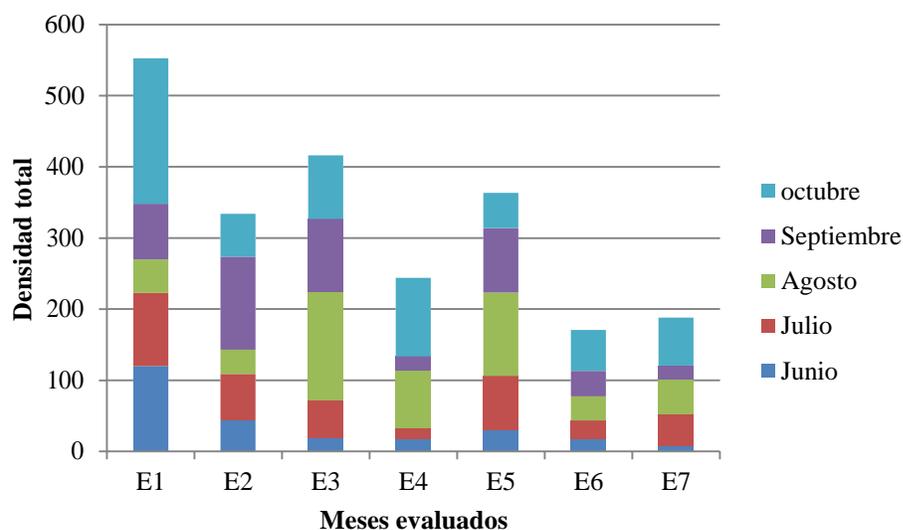


Figura 121. Densidad espacio-temporal de los géneros del perifiton presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Representatividad del muestreo

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 53 géneros observadas (Sobs) en las estaciones evaluadas que corresponden al 86% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE, al 71% con el estimador Chao 1 y al 100% con el estimador Cole (Figura 122); lo que indica un buen diseño de muestreo y una buena representatividad de géneros del perifiton durante los meses evaluados, por lo que es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua analizados (Villarreal *et al.* 2006). Sin embargo estos valores se deben considerar con precaución ya que dependen del tamaño de la muestra, asociado con la frecuencia de muestreo según el programa de monitoreo sugerido, además hay que tener en cuenta que los datos que se están trabajando son a nivel de género y no de especie.

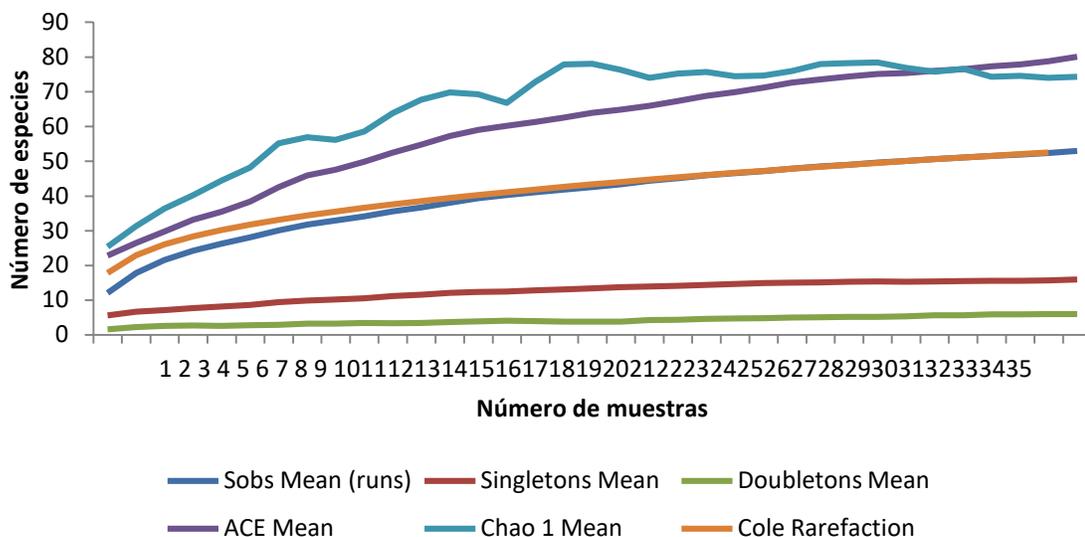


Figura 122. Estimadores de riqueza de géneros del Perifiton en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Índices de diversidad

Número de géneros. En términos generales el mayor número de géneros se presentó en la quebrada Cárdenas (E1), principalmente durante el mes de agosto con 22 géneros. Por otra parte el menor número de géneros se presentó durante el mes de junio en la estación de menor altura sobre el nivel de mar (E7). Temporalmente, las estaciones durante el mes de junio presentaron la mayor riqueza de géneros (Tabla 146).

Riqueza de Margalef. En términos generales existen fuertes variaciones entre los valores de Margalef entre estaciones y meses. El valor más alto de este índice al igual que el de riqueza absoluta, se presentó en la quebrada Cárdenas (E1) en el mes de agosto; mientras que el menor valor se presentó durante el mes de septiembre en la estación 7 (Tabla 146, Figura 123).

Dominancia de Simpson. Este índice oscila entre cero y uno, siendo cero lugares sin grupos dominantes y uno lugares que se caracterizan por la presencia de taxones dominantes (Magurran 1998). De manera general, la mayoría de las estaciones presentan valores inferiores a 0,6, por lo que se podría interpretar que temporal y espacialmente no existe dominancia de total de algunos géneros. Sin embargo la estación E7 durante el mes de octubre presentó el mayor valor (0,77), indicando la presencia de géneros dominantes. El menor valor del índice se presentó en la estación 1 en el mes de agosto (Tabla 146, Figura 123).

Diversidad de Shannon-Wiener. Los valores para este índice fueron inferiores a 2,6, con la mayor parte de valores entre 1,5 y 2,3. El mayor valor se presentó en la estación 1, durante el mes de agosto, mientras que el valor más bajo se presentó en el mes de octubre en la estación 7 (Tabla 146, Figura 123). A nivel espacial el índice mostró que la estación 6 presentó el mayor valor para el índice de Shannon-Wiener, y está corroborado con la prueba t en donde la estación 6 presentó diferencias significativas contra las demás estaciones (Figura 124, Tabla 147)

Meses	Parámetros	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Junio	Taxones	13	7	8	12	10	10	5
	Individuos/mm2	119,955	43,727	18,909	17,727	30,136	17,136	8,864
	Margalef DMg	2,507	1,588	2,381	3,826	2,643	3,168	1,833
	Simpson λ	0,209	0,258	0,191	0,124	0,308	0,141	0,342
	Shannon -Wiener H'	1,908	1,577	1,795	2,265	1,549	2,106	1,263
Julio	Taxones	18	15	16	13	18	15	13
	Individuos/mm2	102,818	65,000	52,591	14,773	76,227	26,591	43,136
	Margalef DMg	3,669	3,354	3,785	4,456	3,923	4,268	3,188
	Simpson λ	0,263	0,172	0,108	0,094	0,144	0,130	0,202
	Shannon -Wiener H'	1,861	2,181	2,394	2,456	2,304	2,328	1,973
Agosto	Taxones	22	12	14	17	13	15	10
	Individuos/mm2	47,273	34,273	153,045	80,955	117,000	33,682	49,636
	Margalef DMg	5,446	3,112	2,584	3,641	2,520	3,981	2,305
	Simpson λ	0,114	0,385	0,285	0,176	0,331	0,168	0,529
	Shannon -Wiener H'	2,553	1,537	1,633	2,131	1,559	2,157	1,110
Septiembre	Taxones	19	12	12	14	13	13	5
	Individuos/mm2	78	130,591	102,227	20,091	90,409	36,045	18,909
	Margalef DMg	4,132	2,258	2,377	4,333	2,664	3,347	1,361
	Simpson λ	0,175	0,308	0,398	0,130	0,277	0,172	0,367
	Shannon -Wiener H'	2,224	1,473	1,427	2,326	1,722	2,080	1,199
Octubre	Taxones	19	9	11	10	9	13	7
	Individuos/mm2	204,455	60,273	89,227	110,5	49,636	57,318	67,364
	Margalef DMg	3,383	1,952	2,227	1,913	2,049	2,964	1,425
	Simpson λ	0,221	0,322	0,453	0,550	0,196	0,208	0,773
	Shannon -Wiener H'	1,935	1,557	1,366	0,993	1,814	1,894	0,561

Tabla 146. Variaciones temporales y espaciales en los parámetros de diversidad de los géneros del Perifiton en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

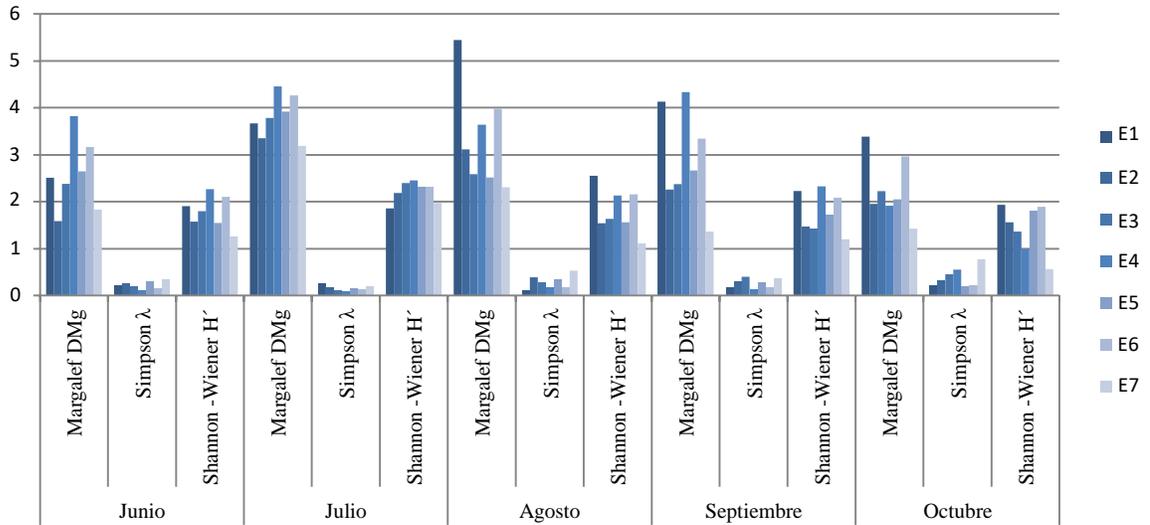


Figura 123. Variaciones temporales y espaciales en los índices de diversidad de los géneros del Perifiton en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

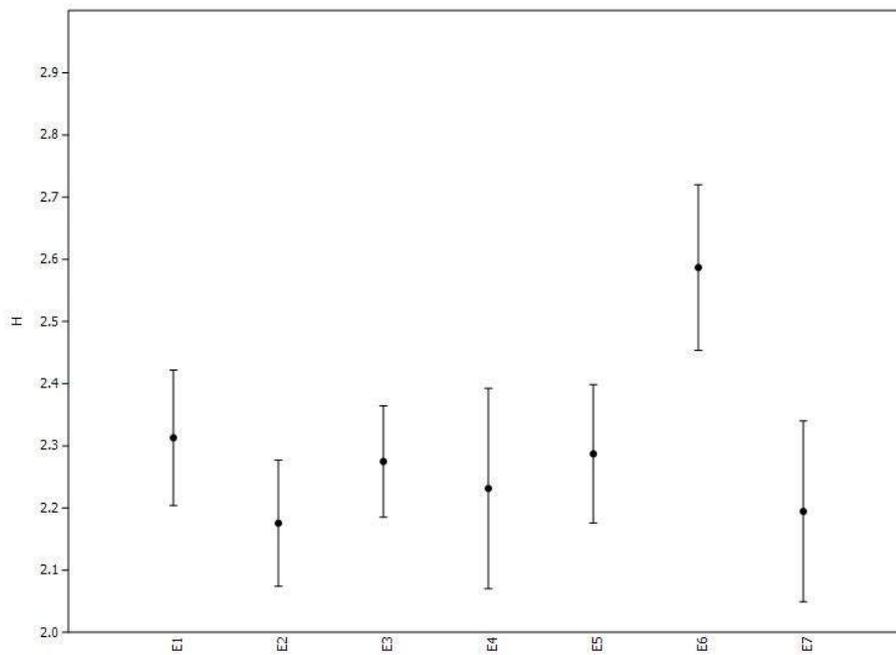


Figura 124. Valores del índice de Shannon-Wiener para los géneros del perifiton en las estaciones evaluadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Estación	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	
E1	--		0,093	0,699	0,361	0,75	0,054	0,177
E2	--	--		0,156	0,690	0,197	0,001	0,960
E3	--	--	--		0,508	0,978	0,021	0,271
E4	--	--	--	--		0,524	0,017	0,755
E5	--	--	--	--	--		0,034	0,298
E6	--	--	--	--	--	--		0,005
E7	--	--	--	--	--	--	--	

Tabla 147. Valores *p* de la prueba *t* aplicada al índice de Shannon, relacionando las estaciones evaluadas entre sí, sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Índice de similitud de Jaccard. Este índice permite agrupar las estaciones de acuerdo a su composición y estructura, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de los géneros. Durante los cinco meses de monitoreo no se observa una patrón de composición claro que agrupe las estaciones evaluadas, indicando que no existen estaciones con géneros particulares (Figura 125). No obstante, la mayor similitud se presentó entre la estación 3 y 5, relacionado por la presencia de nueve géneros como *Navicula*, *Rhoicosphenia*, *Cymbella* entre otras.

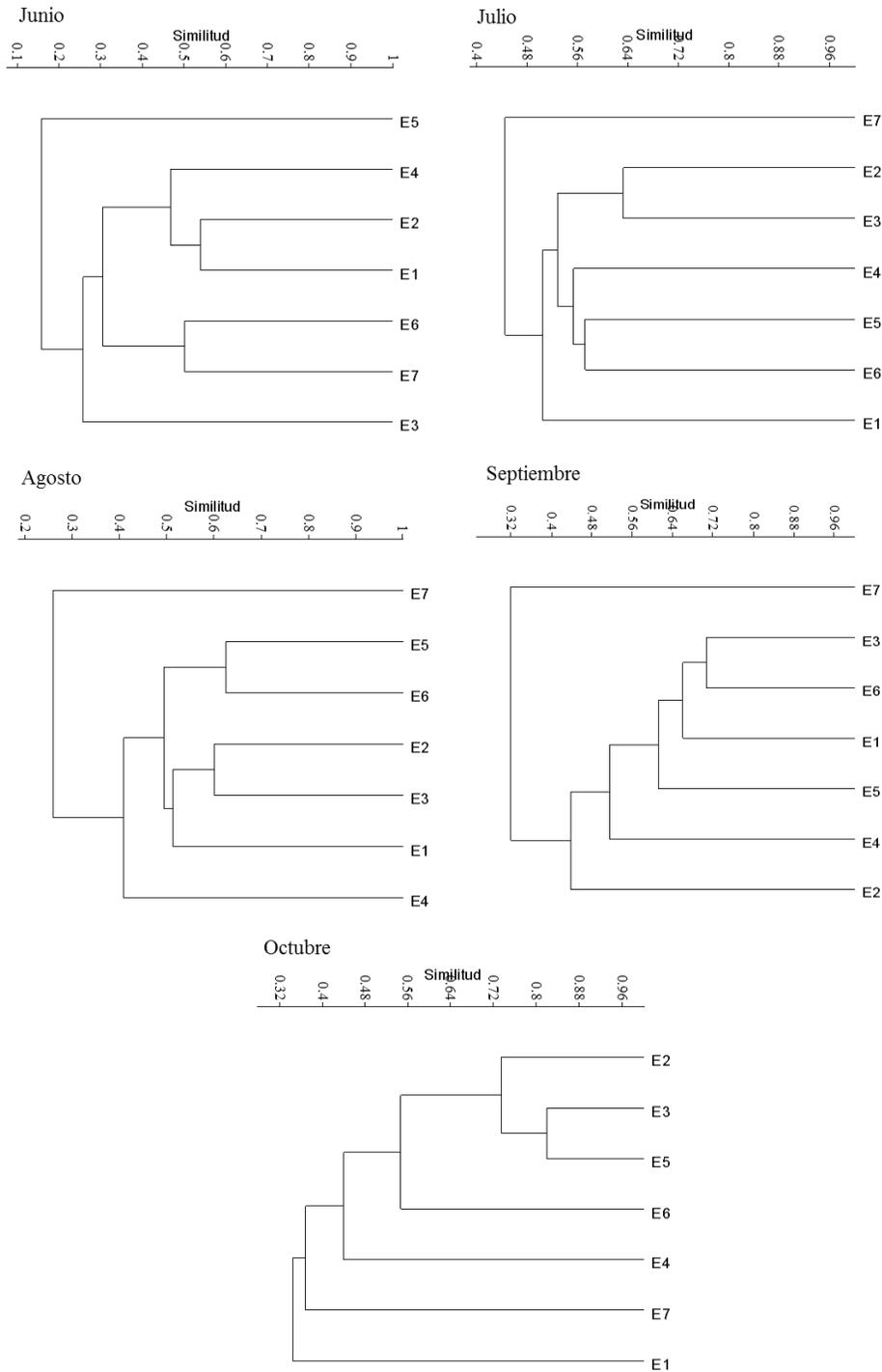


Figura 125. Índice de similitud de Jaccard de la comunidad periférica en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Los ecosistemas altoandinos se caracterizan principalmente por aguas pobres en nutrientes (oligotróficas), hecho que limita la distribución y el ensamblaje de las comunidades perifíticas (Martínez y Donato 2003). Sin embargo, para el área evaluada la quebrada Cárdenas durante el mes de agosto presentó los valores más altos de los índices de riqueza y de diversidad de Shannon-Wiener. A su vez el bajo valor del índice de dominancia indica que en esta estación no se presentaron géneros dominantes. Este comportamiento puede ser atribuido a una carga de nutrientes y una mayor oferta de hábitat que posibilita el establecimiento de las poblaciones en abundancias más o menos homogéneas. En zonas altas la comunidad perifítica está representada principalmente por diatomeas (Bacillariophyceae), ya que estos organismos tienen la capacidad para desarrollarse en gran número y diversidad en este tipo de ecosistemas (Ramírez y Viña 1998). En contraste la estación 7, presentó los valores más bajos de riqueza y diversidad, pero también el valor más alto de dominancia, asociado con la prevalencia del género *Aphanocapsa*. Este género pertenece a la clase Cyanophyceae, y su dominancia puede asociarse con el hecho de que estos organismos se presentan fundamentalmente cuando las condiciones ambientales se desvían de manera notable de las condiciones habituales (Ramírez, 2000), dichos cambios son comunes en los ecosistemas lóticos y se generan por las modificaciones naturales que ocurren en la dinámica fisicoquímica del agua en cada uno de los periodos de precipitación.

Los índices ecológicos permiten determinar el estado de los ecosistemas, aquellos lugares con valores altos en 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, hábitat heterogéneos y buenas condiciones físicas y químicas. De esta manera se podría proponer que la quebrada Cárdenas en términos de los índices de diversidad podría considerarse en “buen estado”, sin embargo se debe tener en cuenta que en el caso de la comunidad perifítica, la diversidad más alta de organismos se registra en ecosistemas con mayores contenidos de nutrientes (Lopreto y Tell 1995).

Índice Diatómico Genérico (IDG). De acuerdo con este índice en términos generales se puede mencionar que las estaciones presentan una polución moderada con algún grado de eutrofización. Si se observa los resultados de la quebrada Cárdenas existe una tendencia a la eutrofización que puede estar relacionada con los valores de los índices de diversidad. La estación 2 (Río Quindío, sector El Escobal), presentó en los meses de junio, agosto y septiembre una calidad normal y una polución débil (Tabla 148).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Total
Junio	3,9	4,3	4,0	3,6	3,3	3,7	3,6	3,9
Julio	3,3	3,3	3,7	3,8	3,6	3,8	3,5	3,5
Agosto	3,3	4,3	4,3	3,5	4,3	3,9	4,1	4,0
Septiembre	3,3	4,0	3,9	4,0	3,9	3,4	3,4	3,8
octubre	3,6	3,7	3,8	3,1	3,8	3,7	3,7	3,6
Total	3,5	3,9	4,0	3,4	3,9	3,7	3,6	3,7

VALOR	SIGNIFICADO
IDG > 4.5	Calidad biológica óptima.
4 < IDG < 4.5	Calidad normal. Polución débil.
3.5 < IDG < 4	Polución moderada. Eutrofización.
3 < IDG < 3.5	Polución media. Eutrofización acentuada.
2 < IDG < 3	Desaparición de especies sensibles. Polución fuerte.
1 < IDG < 2	Polución muy fuerte.
IDG = 0	La población es considerada como inexistente (polución tóxica). Por debajo de 10 individuos. Por mm ² .

Tabla 148. Valores espacio-temporales del índice diatómico genérico y su significado en la calidad de agua.

9.4.3 Diversidad, composición y estructura de Macroinvertebrados

Composición y estructura de los macroinvertebrados

En los cinco monitoreos (junio a octubre de 2014) se registraron 4734 organismos y representados en cuatro filos, seis clases, 12 órdenes y 36 familias (Tabla 149).

Filo	Clase	Orden	Familia	Abundancia	Abundancia relativa (%)	
Annelida	Citellata	Haplotaxida	Naididae	58	1,23	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	49	1,04	
			Scirtidae	1	0,02	
			Tenebrionidae	1	0,02	
			Psephenidae	5	0,11	
			Lampyridae	1	0,02	
			Ptilodactylidae	2	0,04	
			Diptera	Blephariceridae	37	0,78
				Chironomidae	844	17,83
				Simuliidae	339	7,16
				Tipulidae	4	0,08
				Athericidae	2	0,04
				Ceratopogonidae	1	0,02
				Tabanidae	1	0,02
				Stratyomidae	1	0,02
		Empididae		2	0,04	
		Ephemeroptera		Baetidae	1165	24,61
			Leptohyphidae	665	14,05	
			Leptophlebiidae	365	7,71	
		Megaloptera		Corydalidae	11	0,23
		Odonata	Calopterygidae	3	0,06	
			Libellulidae	16	0,34	
			Polythoridae	1	0,02	
		Plecoptera		Perlidae	38	0,80
		Trichoptera	Hydropsychidae	792	16,73	
			Hydroptilidae	12	0,25	
			Leptoceridae	14	0,30	
			Helicopsychidae	4	0,08	
			Glossosomatidae	150	3,17	
			Phyllopotamidae	3	0,06	
			Hydrobioscidae	47	0,99	
			Polycentropodidae	1	0,02	
			Lepidoptera	Crambidae	1	0,02
				Diplopoda		1
	Arachnida		Trombidiformes	Hydrachnidiae	2	0,04
Platelmintos	Turbellaria		Seriata	Planariidae	76	1,61
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Physidae	19	0,40	
Total				4734		

Tabla 149. Composición, estructura y densidad de macroinvertebrados presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Abundancia relativa (AR)

El orden que presentó la mayor abundancia fue Ephemeroptera (46,38%), seguida de Díptera (26,01%) y Trichoptera (21,61%) mientras que los demás órdenes registraron valores menores al 2% (Figura 126). Esto coincide con lo encontrado por Guerrero-Bolaño et al. (2003) en ecosistemas dulceacuícolas en Colombia, y por otros autores en Centro y Suramérica (Paredes et al. 2004; Rivera, 2004; Springer, 2008) donde estos órdenes presentan una mayor abundancia. Roldán (1999) menciona que en ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes y bien oxigenadas es común encontrar una mayor riqueza en estos grupos. La estructura de la comunidad de macroinvertebrados estuvo dominada por el orden Ephemeroptera tanto a nivel espacial como temporal.

La gran abundancia de este orden está relacionada a que las ninfas se encuentran en casi todo tipo de cuerpos de agua, aunque en mayor abundancia y diversidad en ríos y arroyos de fondos rocosos (Bouchard, 2004; Flowers & De La Rosa, 2010), en donde aprovecha casi todos los hábitats disponibles y la proporción de individuos por géneros parece permanecer más o menos invariable a lo largo del ciclo anual (Perez & Segnini, 2005). La abundancia de dípteros se puede explicar por las adaptaciones morfológicas, alimentarias y reproductivas de sus estados larvales. Entre las adaptaciones morfológicas está tener sifones y espiráculos que les permite tomar el oxígeno del aire. Así mismo, la mayor parte de los dípteros son colectores y filtradores de materia orgánica fina, alimento que es bastante abundante como producto de la fragmentación de la hojarasca (Ospina-Bautista et al., 2004). La abundancia de Trichopteros puede estar relacionada a que las larvas viven en diversos ambientes acuáticos y construyen refugios fijados al sustrato de una variedad de formas y materiales. La gran mayoría de las especies de tricópteros habitan ríos y quebradas de aguas limpias y bien oxigenadas, y es uno de los órdenes de insectos acuáticos más diversos (Springer 2010).

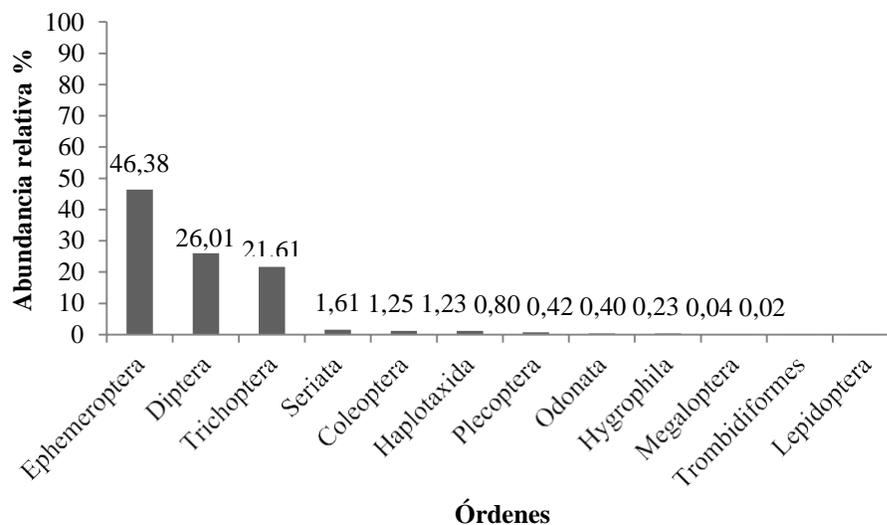


Figura 126. Abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Con relación a las familias de macroinvertebrados, Baetidae (25%), Chironomidae (18%) y Hydropsychidae (17%) presentaron la mayor abundancia y frecuencia durante el periodo de estudio (Figura 127). Así mismo existen algunas familias raras y poco frecuentes en el área evaluada con porcentajes menores al 1%. Estos resultados coinciden con lo encontrado por diversos autores en estudios similares, como Guerrero-Bolaño *et al.* (2003) quienes argumentan que la abundancia de estas familias se debe a que estas pueden encontrarse en aguas desde calidad aceptable a óptima. Así mismo, Feld *et al.* (2002), Carvalho y Uieda (2004), Ribeiro y Uieda (2005), Callisto *et al.* (2007) y Thomazi *et al.* (2008) explican que la capacidad de estos organismos para colonizar ambientes lóticos, se debe a su tolerancia a diversas condiciones, a su capacidad competitiva y a sus adaptaciones morfológicas. Adicionalmente, Gallardo-Mayenco (2003) explica que Baetidae es una de las familias que posee mayor número de especies con amplio espectro de posibilidades de adaptación, ya que se encuentra en muchos hábitats y pueden ser comunes en ambientes con algún grado de contaminación (Bouchard 2004; Flowers y De La Rosa, 2010).

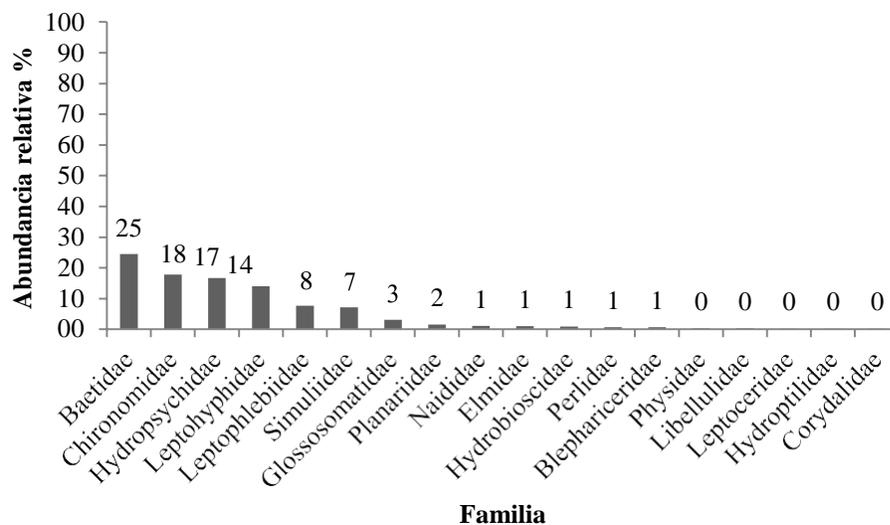


Figura 127. Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Familia	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
Naididae	2	23	12	16	5	58
Hydrachnidae	0	0	0	1	1	2
Diplopoda*	0	1	0	0	0	1
Elmidae	9	12	16	8	4	49
Scirtidae	1	0	0	0	0	1
Tenebrionidae	1	0	0	0	0	1
Psephenidae	0	0	2	1	2	5
Lampyridae	0	0	0	1	0	1
Ptilodactylidae	0	0	0	0	2	2
Blephariceridae	2	14	15	2	4	37
Chironomidae	54	311	142	162	175	844
Simuliidae	9	155	160	8	7	339
Tipulidae	2	0	0	1	1	4
Athericidae	0	2	0	0	0	2
Ceratopogonidae	0	1	0	0	0	1
Tabanidae	0	1	0	0	0	1
Empididae	0	0	1	1	0	2
Stratiomyidae	0	0	1	0	0	1
Baetidae	168	397	191	229	180	1165
Leptohyphidae	47	159	167	155	137	665
Leptophlebiidae	62	71	91	76	65	365
Crambidae	0	0	1	0	0	1

Corydalidae	1	6	4	0	0	11
Libellulidae	6	2	0	7	1	16
Polythoridae	1	0	0	0	0	1
Calopterygidae	1	0	0	2	0	3
Perlidae	11	11	9	6	1	38
Hydropsychidae	25	156	67	345	199	792
Hydroptilidae	1	4	3	2	2	12
Leptoceridae	2	2	2	3	5	14
Helicopsychidae	0	1	1	1	1	4
Glossosomatidae	0	23	120	5	2	150
Polycentropodidae	0	0	0	0	1	1
Philopotamidae	0	3	0	0	0	3
Hydrobiosidae	0	14	15	7	11	47
Physidae	0	0	2	11	6	19
Planariidae	1	4	13	47	11	76
Total	406	1373	1035	1097	823	4734

Tabla 150. Abundancia temporal de las familias de macroinvertebrados presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Familia	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Total
Naididae	18	18	1	0	1	17	3	58
Hydrachnidiae	0	1	0	0	1	0	0	2
Diplopoda*	0	1	0	0	0	0	0	1
Elmidae	7	19	5	3	4	1	10	49
Scirtidae	0	0	0	1	0	0	0	1
Tenebrionidae	0	0	1	0	0	0	0	1
Psephenidae	0	4	0	1	0	0	0	5
Lampyridae	0	0	0	0	0	0	1	1
Ptilodactylidae	1	0	0	0	0	0	1	2
Blephariceridae	3	14	10	9	1	0	0	37
Chironomidae	205	52	52	24	289	147	75	844
Simuliidae	1	9	27	11	2	289	0	339
Tipulidae	4	0	0	0	0	0	0	4
Athericidae	2	0	0	0	0	0	0	2
Ceratopogonidae	1	0	0	0	0	0	0	1
Tabanidae	0	1	0	0	0	0	0	1
Empididae	0	0	1	1	0	0	0	2
Stratiomyidae	0	1	0	0	0	0	0	1
Baetidae	127	310	177	120	265	75	91	1165
Leptohyphidae	37	193	49	28	112	18	228	665
Leptophlebiidae	2	146	84	57	59	5	12	365

Crambidae	0	0	1	0	0	0	0	1
Corydalidae	0	6	1	1	2	1	0	11
Libellulidae	0	0	6	3	2	1	4	16
Polythoridae	0	0	0	1	0	0	0	1
Calopterygidae	0	0	0	2	0	0	1	3
Perlidae	1	29	1	5	2	0	0	38
Hydropsychidae	0	66	12	10	16	503	185	792
Hydroptilidae	1	7	1	2	1	0	0	12
Leptoceridae	4	4	1	1	3	0	1	14
Helicopsychidae	1	2	0	1	0	0	0	4
Glossosomatidae	0	8	28	69	8	6	31	150
Polycentropodidae	0	1	0	0	0	0	0	1
Philopotamidae	0	2	0	0	0	0	1	3
Hydrobiosidae	0	7	14	11	5	3	7	47
Physidae	0	0	2	8	4	4	1	19
Planariidae	16	8	6	0	0	43	3	76
Total	431	909	480	369	777	1113	655	4734

*Clase

Tabla 151. Abundancia espacial de las familias de macroinvertebrados presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Variación espacial y temporal. Al igual que la comunidad de perifiton, las familias de macroinvertebrados fluctúan en el espacio y tiempo. A nivel temporal la mayor abundancia se presentó en el mes de julio, representado principalmente por las familias Baetidae y Chironomidae (Tabla 150, Figura 128). Como se mencionó anteriormente, los efemerópteros son organismos diversos y abundantes en ríos y quebradas en periodos de precipitaciones altas y bajas (Pérez y Segnini, 2005), así mismo los quironómidos son particularmente importantes en ríos y quebradas con aportes importantes de materia orgánica, donde pueden soportar cambios abruptos en la disponibilidad de oxígeno (Marques, Barbosa, y Callisto, 1999), producto de las diferencias temporales en los cuerpos de agua.

Especialmente la abundancia de macroinvertebrados acuáticos se presentó en el río Quindío sector Balboa (E6) (Tabla 151, Figura 128), relacionado con la presencia de las familias Hydropsychidae y Simuliidae. Hydropsychidae es una familia de Tricópteros bien diversificada a nivel mundial, que constituye un elemento frecuente y abundante en todo tipo de corrientes de agua, desde ríos pequeños y arroyos hasta grandes cauces (Valladolid et al. 2007). Por su parte Simuliidae es usualmente abundante en ecosistemas acuáticos lóticos y particularmente muy importante en la transferencia de energía debido a que procesan el material orgánico particulado fino, permitiendo así la disponibilidad de nutrientes para otros insectos y sus predadores (peces) (Alencar, Ludwig, Soares, y Hamada, 2001). La abundancia

de estas familias en la estación E6 está relacionada con la disponibilidad de hábitats (sustratos rocosos) presentes en la zona del río, así como de la oferta de alimento para estas familias.

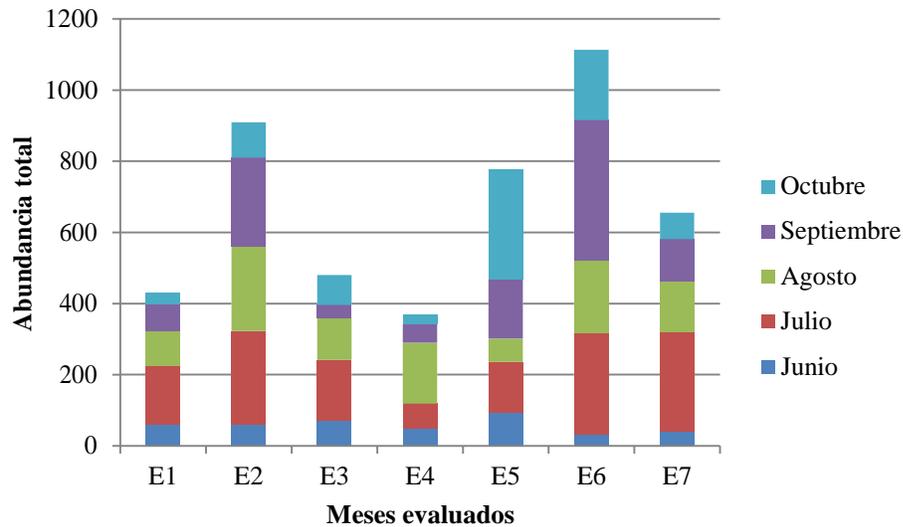


Figura 128. Abundancia espacio-temporal de las familias de macroinvertebrados presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Representatividad del muestreo

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 37 familias observadas (Sobs) en las estaciones evaluadas que corresponden al 78% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE, al 75% con el estimador Chao 1 y al 100% con el estimador Cole (Figura 129); lo que indica un buen diseño de muestreo y una buena representatividad de las familias de macroinvertebrados durante los meses evaluados, por lo que es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua analizados (Villarreal *et al.* 2006). Sin embargo estos valores se deben considerar con precaución ya que dependen del tamaño de la muestra, asociado con la frecuencia de muestreo según el programa de monitoreo sugerido, además hay que tener en cuenta que los datos que se están trabajando son a nivel de familia y no de especie.

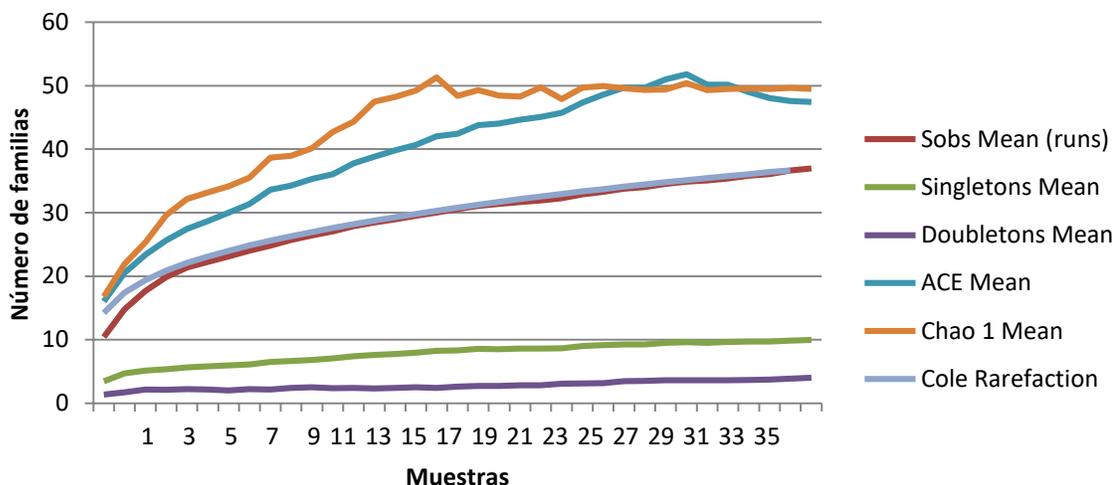


Figura 129. Estimadores de riqueza para las familias de macroinvertebrados en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Índices de diversidad

Número de familias. En términos generales el mayor número de familias se presentó en la estación río Quindío sector El Escobal (E2), en casi todos los meses a excepción del mes de junio esta estación presentó el mayor número de familias principalmente durante los meses de julio y agosto con 17 grupos taxonómicos en cada mes. Por otra parte el menor número de familias se presentó durante el mes de junio en la estación 7 (Tabla 152).

Riqueza de Margalef. En términos generales existen variaciones entre los valores de Margalef a nivel espacial y temporal. El valor más alto de este índice se presentó en el río Quindío sector Bocatoma (E3), en el mes de agosto; mientras que el menor valor se presentó durante el mes de septiembre en la estación 7 (Tabla 152, Figura 130).

Dominancia de Simpson. De manera general, la mayoría de las estaciones presentan valores inferiores a 0,6, por lo que se podría interpretar que temporal y espacialmente no existe dominancia de total de algunas familias en particular. Sin embargo la estación E7 durante el mes de octubre presentó el mayor valor (0,7), indicando la presencia de familias dominantes. El menor valor del índice se presentó en la estación 3 en el mes de agosto (Tabla 152, Figura 130).

Diversidad de Shannon-Wiener. Los valores para este índice fueron inferiores a 2,1. El mayor valor se presentó en la estación 4, durante el mes de agosto, mientras que el valor más bajo se presentó en el mes de octubre en la estación 7 (Tabla 152, Figura 130). A nivel espacial el índice mostró que la estación 4 presentó el mayor valor para el índice de Shannon-Wiener, sin embargo no muestra diferencias significativas con las estaciones 2 y 3. Las demás

estaciones presentaron valores del índice muy bajos con claras diferencias significativas (Figura 131, Tabla 153).

Meses	Parámetros	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Junio	Taxones	10	9	10	11	9	6	5
	Individuos	59	61	72	47	94	32	41
	Margalef DMg	2,207	1,946	2,104	2,597	1,761	1,443	1,077
	Simpson λ	0,269	0,378	0,251	0,354	0,336	0,273	0,271
	Shannon -Wiener H'	1,596	1,383	1,680	1,597	1,390	1,486	1,397
Julio	Taxones	10	17	12	9	8	12	10
	Individuos	164	262	169	72	142	285	279
	Margalef DMg	1,765	2,873	2,144	1,871	1,412	1,946	1,598
	Simpson λ	0,380	0,189	0,461	0,302	0,597	0,340	0,265
	Shannon -Wiener H'	1,220	2,088	1,167	1,641	0,897	1,443	1,544
Agosto	Taxones	9	17	13	12	6	8	9
	Individuos	98	238	118	171	65	203	142
	Margalef DMg	1,745	2,924	2,515	2,139	1,198	1,317	1,614
	Simpson λ	0,306	0,192	0,149	0,219	0,271	0,468	0,215
	Shannon -Wiener H'	1,468	2,030	2,111	1,836	1,445	1,153	1,751
Septiembre	Taxones	6	14	12	12	13	9	12
	Individuos	78	249	37	51	167	396	119
	Margalef DMg	1,148	2,356	3,046	2,798	2,345	1,337	2,302
	Simpson λ	0,408	0,261	0,205	0,219	0,328	0,587	0,355
	Shannon -Wiener H'	1,169	1,629	2,021	1,845	1,451	0,924	1,532
Octubre	Taxones	10	13	11	10	10	7	7
	Individuos	32	99	84	28	309	197	74
	Margalef DMg	2,597	2,611	2,257	2,701	1,570	1,136	1,394
	Simpson λ	0,262	0,275	0,239	0,151	0,325	0,709	0,383
	Shannon -Wiener H'	1,774	1,646	1,814	2,063	1,280	0,681	1,209

Tabla 152. Variaciones temporales y espaciales en los parámetros de diversidad de las familias de macroinvertebrados en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

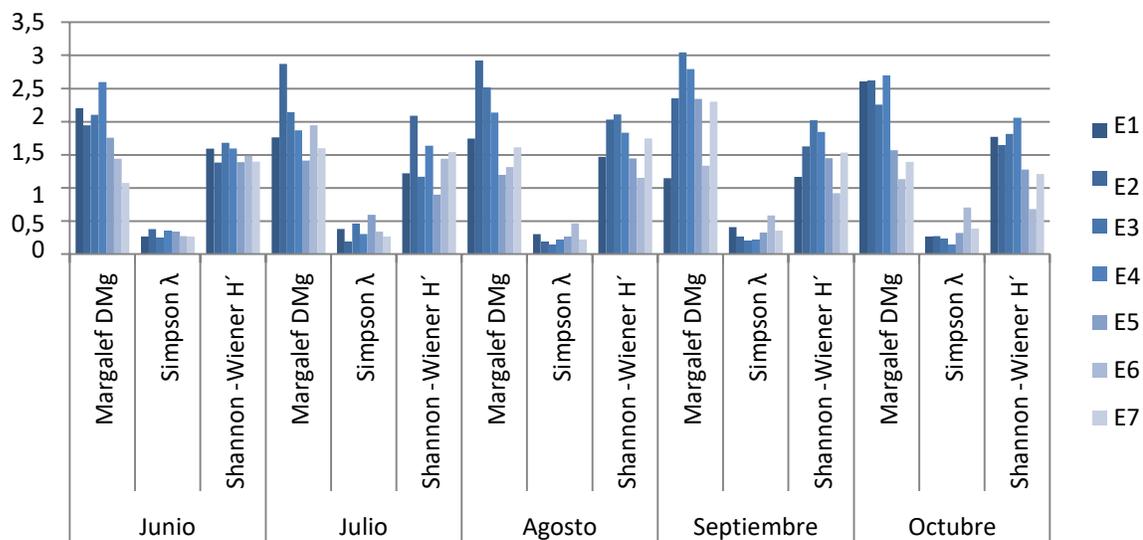


Figura 130. Variaciones temporales y espaciales en los índices de diversidad de las familias de macroinvertebrados en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

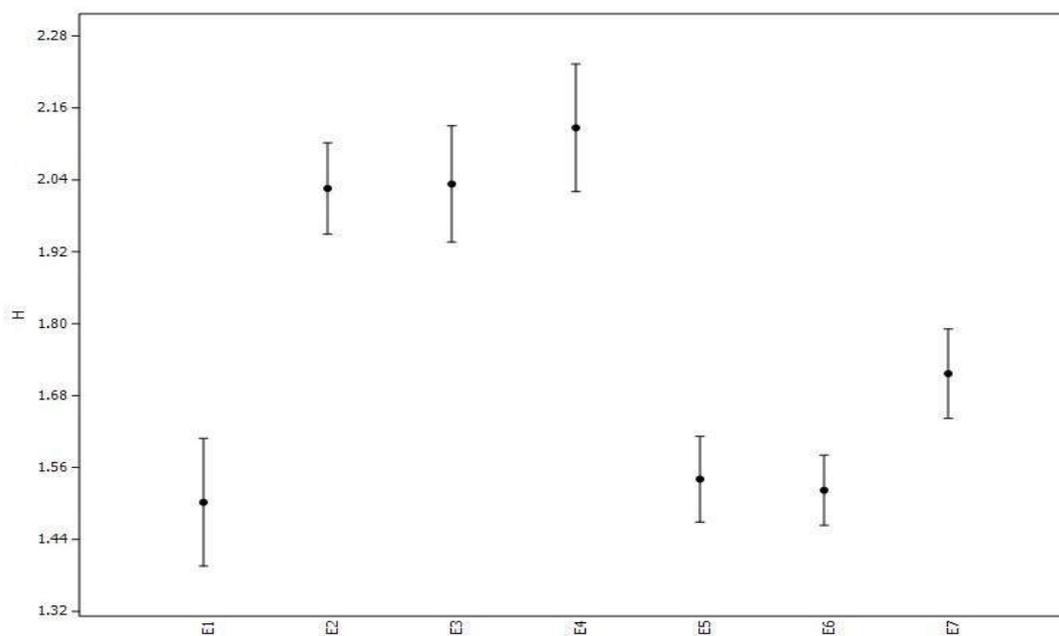


Figura 131. Valores del índice de Shannon-Wiener para las familias de macroinvertebrados en las estaciones evaluadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	--	1,67E-09	1,20E-07	1,25E-09	0,576	0,758	0,002199
E2	--	--	0,909	0,155	1,89E-15	2,00E-19	3,15E-04
E3	--	--	--	0,232	3,28E-10	5,92E-13	1,16E-02
E4	--	--	--	--	5,07E-12	2,06E-14	1,25E-04
E5	--	--	--	--	--	0,704	1,34E-03
E6	--	--	--	--	--	--	1,00E-05
E7	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 153. Valores p de la prueba t aplicada al índice de Shannon para las familias de macroinvertebrados, relacionando las estaciones evaluadas entre sí, sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Índice de similitud de Jaccard. Este índice permite agrupar las estaciones de acuerdo a su composición y estructura, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de familias. Durante los cinco meses de monitoreo no se observa una patrón de composición claro que agrupe las estaciones evaluadas (Figura 132), indicando que no existen estaciones con familias particulares, dado que en casi todos los sistemas acuáticos continentales existen representantes de las familias encontradas.

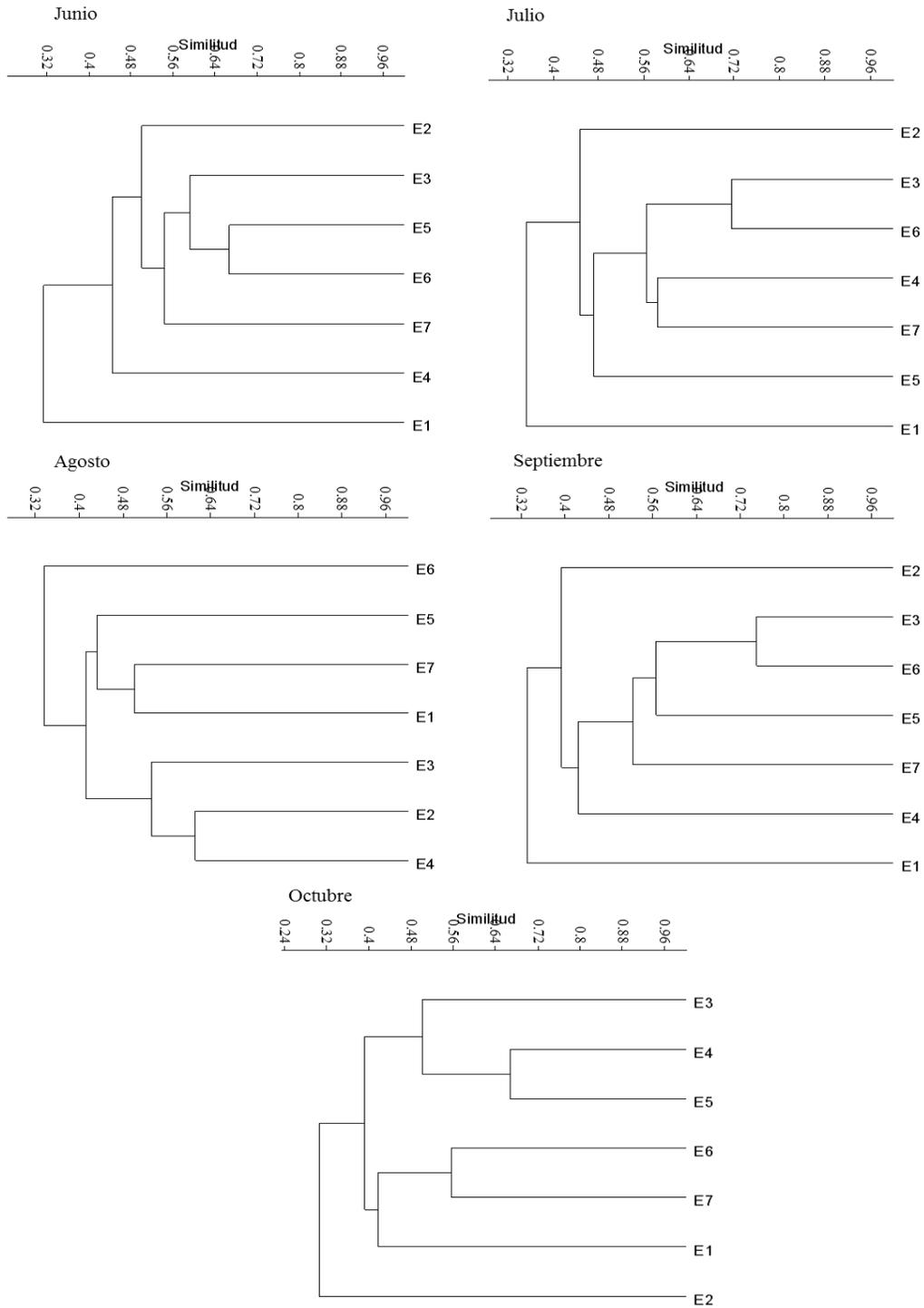


Figura 132. Índice de similitud de Jaccard de la comunidad de macroinvertebrados en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

En general las estaciones presentaron valores similares temporalmente con el paso de los muestreos, donde se demostró que la diversidad para estos ecosistemas se encuentra en un rango medio (0,6 a 3) según Magurran (2004) y se presenta poca dominancia. Diversos trabajos (Bernal *et al.* 2005; Castellanos y Serrato 2008; Pino *et al.* 2003; Rivera-Usme *et al.* 2008) presentaron valores entre el rango mencionado anteriormente y nunca sobrepasando el valor de 2.9, lo cual nos puede estar indicando que la comunidad no está siendo afectada por tensores ambientales diferentes a los de origen natural. No obstante estos valores pueden cambiar con un análisis a nivel genérico o específico, ya que se está evaluando a nivel de familia y se podría subestimar el número de taxones.

La mayor diversidad de la estación 4 puede estar relacionada a la disponibilidad permanente de sustratos como roca, guijarro y grava, lo que cambia la oferta de recursos (Pickett & White 1985) que permiten el establecimiento y colonización de una fauna béntica abundante y diversa (Bispo *et al.*, 2006; Buss, Baptista, Nessimian, y Egler, 2004). Así mismo, estas características posibilitan la acumulación de materia orgánica en forma de hojarasca, que constituye la principal fuente de energía y nutrientes en los ríos (Graça 2001), importantes para los macroinvertebrados acuáticos.

BMWP. De acuerdo con este índice en términos generales se puede mencionar que las estaciones pueden ser catalogadas como en buenas condiciones, con excepción de la al río Quindío sector Balboa E6 que presentó una condición aceptable, asociado a la fuerte intervención antropogénica que se presenta en esta zona del río. A nivel espacio temporal, la estación 2 en los meses de julio y agosto presentó una buena condición, mientras que la estación 1 en el mes de septiembre y la estación 7 en el mes de junio pueden ser catalogadas como en condiciones críticas (Tabla 154). Las diferencias en la calidad de los cuerpos de agua pueden estar relacionadas a los cambios temporales, que generan que en algunos cuerpos de agua, exista una mayor disponibilidad de hábitats para el establecimiento de la fauna de macroinvertebrados acuáticos que en otros. Además algunas características como el aumento de la temperatura del agua, con la consecuente disminución del oxígeno disuelto, disminución de la velocidad de la corriente, aumento de la profundidad y alta turbidez, entre otros, pueden estar limitando el establecimiento de la fauna béntica.

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
E1	60	52	56	26	58	105
E2	64	108	114	100	96	155
E3	62	80	87	71	79	123
E4	84	66	89	75	68	158
E5	62	54	47	72	66	112
E6	40	75	41	48	36	84
E7	29	63	62	71	48	114

Buena	>101
Aceptable	61-100
Dudosa	36-60
Crítica	16-35
Muy Crítica	<15

Tabla 154. Valores del índice BMWP/Col de las siete estaciones de muestreo ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

EPT. De acuerdo con este índice en términos generales la calidad de agua varió en las estaciones evaluadas desde muy buena hasta regular, como en el caso de la estación 1 (quebrada Cárdenas). Al parecer en esta quebrada la abundancia de estos grupos no es relevante, siendo más importantes otros órdenes como Díptera. A nivel temporal, la estación 6 (río Quindío sector Balboa), durante los meses de julio y agosto presentó una mala calidad de agua (Tabla 155), relacionada con la abundancia de la familia Simuliidae la cual no hace parte del EPT.

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total
E1	54	45	43	21	28	40
E2	74	81	80	96	89	85
E3	83	95	52	41	83	76
E4	81	85	85	84	61	82
E5	93	21	98	68	57	61
E6	69	24	17	79	88	55
E7	78	84	90	78	93	85

Muy buena	>74
Buena	50-74
Regular	25-49
Mala	<25

Tabla 155. Valores del índice EPT de las siete estaciones de muestreo ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

9.4.4 Diversidad, composición y estructura de Peces

Composición y estructura de la comunidad de Peces

Durante los dos meses evaluados (junio a octubre de 2014) se capturaron 552 individuos pertenecientes a cinco órdenes, nueve familias y 19 especies, que corresponde al 22% de las especies reportada en el alto Cauca (Ortega-Lara et al. 2006) (Tabla 156).

Orden	Familia	Especie	Total	Abundancia relativa (%)
Characiformes	Characidae	<i>Bryconamericus</i> cf. <i>caucanus</i>	2	0,36
		<i>Carlastyanax aurocaudatus</i>	3	0,54
		<i>Creagrutus</i> aff. <i>brevipinnis</i>	20	3,62
		<i>Hemibrycon boquillae</i>	37	6,70
		<i>Brycon</i> aff. <i>henni</i>	59	10,69
		<i>Argopleura</i> cf. <i>magadalenensis</i>	1	0,18
Siluriformes	Crenuchidae	<i>Characidium</i> aff. <i>phoxocephalum</i>	2	0,36
	Astroblepidae	<i>Astroblepus</i> aff. <i>chapmani</i>	17	3,08
		<i>Astroblepus</i> cf. <i>grixalvii</i>	17	3,08
	Heptapteridae	<i>Cetopsorhamdia boquillae</i>	78	14,13
		Heptapteridae gen. Nuevo	7	1,27
	Loricariidae	<i>Chaetostoma</i> aff. <i>leucomelas</i>	81	14,67
		<i>Hypostomus hondae</i>	4	0,72
	Trichomycteridae	<i>Trichomycterus chapmani</i>	140	25,36
		<i>Trichomycterus</i> sp.	16	2,90
	Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	1
Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Poecilia reticulata</i>	3	0,54
		<i>Poecilia caucana</i>	2	0,36
Salmoniformes	Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	62	11,23
Total			552	

Tabla 156. Composición, estructura y abundancia de los peces presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Abundancia relativa (AR)

Siluriformes (65,2%) fue el orden más abundante, seguido por Characiformes (22,5%) y Salmoniformes (11,2%), mientras que los menores valores los presentaron los Cyprinodontiformes y Cypriniformes (Figura 133). La composición y estructura de los órdenes de peces en los cuerpos de agua evaluados, es similar a lo reportado en Colombia y específicamente en los departamentos de Tolima y Quindío (Villa-Navarro et al. 2003, 2005, 2006, 2007; Ortega-Lara et al. 2006, Mojica et al. 2006, García-Álzate et al. 2009). De acuerdo con Cordiviola et al. (2009), los Siluriformes es el orden más diverso y el de más

amplia distribución de todos los Ostariophysi, con la mayor diversidad en la regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica, África y el sudeste asiático. Ecológicamente se han adaptado a una diversidad de condiciones reflejadas en su morfología que les permite colonizar hábitats variados (Cala, 2001), y explorar una gran diversidad de fuentes alimenticias, desde fondos rocosos, hasta raspadores de algas (Provenzano, 2011).

La abundancia del orden Characiformes se atribuye a que constituye el principal grupo de peces dulceacuícolas de la región neotropical (Buckup, 2005); se encuentran en una amplia variedad de hábitats y su distribución está restringida principalmente por la altitud. Esa mayor diversidad es debida a la variedad morfológica de sus especies, lo que les permite colonizar ambientes con corrientes lentas, rápidas, en quebradas y ríos, con abundante vegetación riparia (Castro-Roa, 2006; Buckup, 2005; Nelson, 2006).

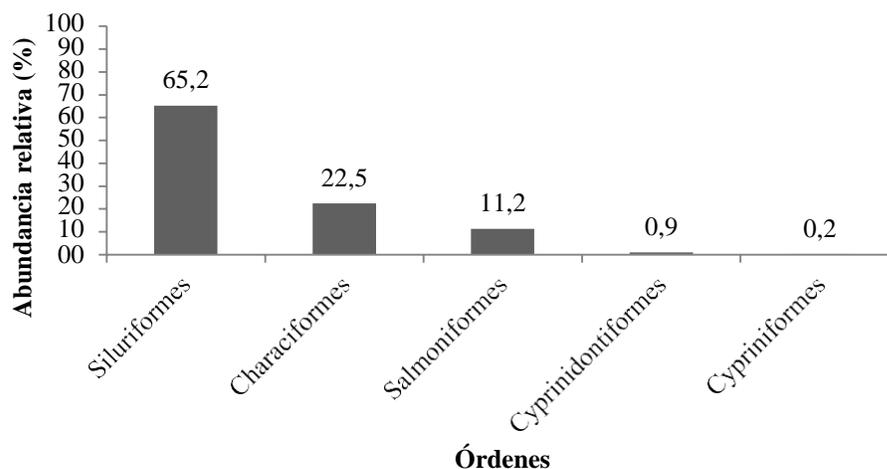


Figura 133. Abundancia relativa de los órdenes de peces evaluados en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Las familias Trichomycteridae Characidae, Heptapteridae y Loricariidae registraron el mayor número de organismos durante todo el estudio (Figura 134), posiblemente se debe a que estas algunas de estas familias son las más diversas dentro de sus órdenes (Maldonado-Ocampo et al., 2008); Characidae por ejemplo, habitan desde pantanos hasta pequeñas quebradas, tal vez dentro de los Characiformes es el que más nichos ocupa, presentando hábitos omnívoros y depredadores principalmente (Castro-Roa, 2006). Aunque la familia Trichomycteridae se distribuye prácticamente en todo Suramérica y en el sur de Centroamérica (Royero, 1987), y en Colombia la familia se encuentra distribuida en casi todas las cuencas de las principales vertientes hidrográficas (Mojica 1999); la abundancia de Trichomycteridae en

el presente estudio está relacionada con la abundancia de una especie (*Trichomycterus chapmani*).

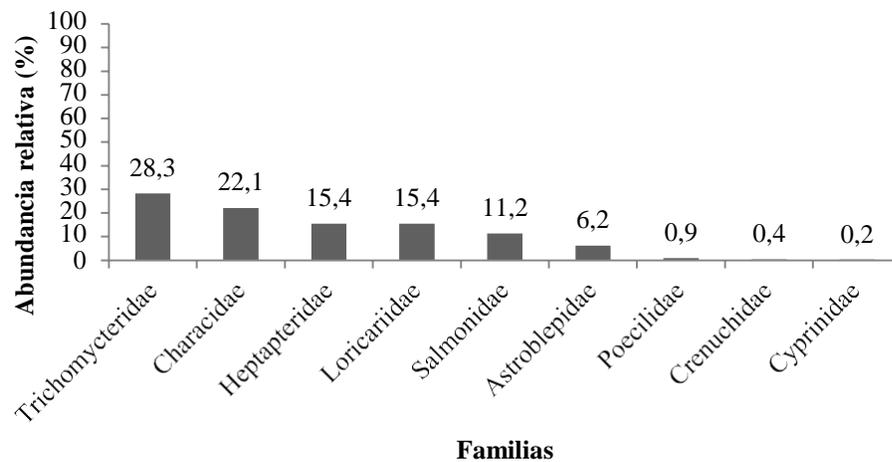


Figura 134. Abundancia relativa de las familias de peces evaluados en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Con relación a las especies encontradas *Trichomycterus chapmani* (25,4%) presentó la mayor abundancia, seguida de *Chaetostoma aff. leucomelas* (14,7%) y *Cetopsorhamdia boquillae* (14,1%) (Figura 135). Se reportaron organismos presentes únicamente en algunas estaciones y durante ciertos periodos de tiempo, lo que permite catalogarlos como raros o poco frecuentes, como es el caso de *Argopleura magdalenensis* (Tabla 3 y 4), por lo que se podrían catalogar como géneros muy sensibles y/o que necesitan condiciones particulares para su desarrollo.

Según Maldonado- Ocampo et al. (2005) la presencia de los peces que se encuentran en las cordilleras por encima de los 500 m.s.n.m. está relacionada a tres razones: peces de charcas aisladas, peces fusiformes y peces torrentícolas. Estos últimos presentan adaptaciones especiales tales como: posesión de odontodes operculares (*Trichomycteridae*) y ventosas bucales que les permiten adherirse a las rocas y remontar los cauces (*Loricariidae* y *Astroblepidae*).

Las especie más abundantes y frecuentes pertenecen a los Siluriformes, lo que explica la mayor abundancia del orden, lo que puede estar relacionado con la capacidad de estos organismos para tolerar cambios en las condiciones ambientales y para sobrevivir en diferentes ambientes. La abundancia de *Trichomycterus chapmani*, puede estar relacionada a que es una especie ampliamente distribuida en la zona, además de sus hábitos nocturnos y permanece oculta en la vegetación sumergida, rocas y gravas; así mismo puede encontrarse en aguas correntosas o remansos tanto de quebradas como de ríos (Ortega-Lara et al. 2002). Según Maldonado-Ocampo et al. (2006) presenta un amplio rango altitudinal, desde los 1085

hasta los 1900 m.s.n.m., en el área evaluada se registró desde los 1083 hasta los 1710 m.s.n.m., lo que podría indicar que la especie tolera variaciones en la temperatura y posiblemente otras variables ambientales.

Por su parte *Chaetostoma* aff. *leucomelas* es una especie ampliamente distribuida en Colombia (Maldonado-Ocampo et al. 2006). Habita en ríos de aguas rápidas y de buena calidad. De acuerdo con Ortega-Lara et al. (1999, 2000), se considera una especie sensible a las alteraciones del hábitat producidas principalmente por la sedimentación excesiva, la cual afecta el perifiton, su principal fuente de alimento. La abundancia de *Cetopsorhamdia boquillae* puede estar relacionada a que esta especie es endémica de la zona de estudio y a que se oculta entre las rocas y la vegetación sumergida cerca de las orillas de los ríos pequeños poco profundos Ortega-Lara et al. (1999, 2002), estos hábitats son comunes en las zonas evaluadas lo que puede explicar su abundancia.

Especie	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total general
<i>Argopleura</i> cf. <i>magadalenensis</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Brycon</i> aff. <i>henni</i>	1	4	19	13	22	59
<i>Bryconamericus</i> cf. <i>caucanus</i>	2	0	0	0	0	2
<i>Carlastyanax aurocaudatus</i>	2	0	0	1	0	3
<i>Creagrutus</i> aff. <i>brevipinnis</i>	6	4	7	0	3	20
<i>Hemibrycon boquillae</i>	1	1	8	9	18	37
<i>Characidium</i> aff. <i>phoxocephalum</i>	0	0	0	1	1	2
<i>Astroblepus</i> aff. <i>chapmani</i>	3	4	5	2	3	17
<i>Astroblepus</i> cf. <i>grixalvii</i>	3	3	2	3	6	17
<i>Cetopsorhamdia boquillae</i>	8	16	13	13	28	78
Heptapteridae gen. Nuevo	0	3	3	0	1	7
<i>Chaetostoma</i> aff. <i>leucomelas</i>	6	12	24	19	20	81
<i>Hypostomus hondae</i>	0	0	3	1	0	4
<i>Trichomycterus chapmani</i>	9	28	25	41	37	140
<i>Trichomycterus</i> sp.	1	1	5	5	4	16
<i>Cyprinus carpio</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Poecilia caucana</i>	0	0	0	2	0	2
<i>Poecilia reticulata</i>	0	0	0	2	1	3
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	9	11	10	19	13	62
Total	51	87	124	132	158	552

Tabla 157. Abundancia de las especies de peces a nivel temporal en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Especie	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Total
<i>Argopleura</i> cf. <i>magadalenensis</i>							1	1
<i>Brycon</i> aff. <i>henni</i>				4	7	6	42	59
<i>Bryconamericus</i> cf. <i>caucanus</i>					2			2
<i>Carlastyanax aurocaudatus</i>			2	1				3
<i>Creagrutus</i> aff. <i>brevipinnis</i>							20	20
<i>Hemibrycon boquillae</i>		2	8	11	16			37
<i>Characidium</i> aff. <i>phoxocephalum</i>							2	2
<i>Astroblepus</i> aff. <i>chapmani</i>		14		1	2			17
<i>Astroblepus</i> cf. <i>grixalvii</i>			3	4	8	2		17
<i>Cetopsorhamdia boquillae</i>				45	22	7	4	78
Heptapteridae gen. Nuevo							7	7
<i>Chaetostoma</i> aff. <i>leucomelas</i>			1	2	8	21	49	81
<i>Hypostomus hondae</i>							4	4
<i>Trichomycterus chapmani</i>			18	4	7	60	51	140
<i>Trichomycterus</i> sp.					2	6	8	16
<i>Cyprinus carpio</i>			1					1
<i>Poecilia caucana</i>							2	2
<i>Poecilia reticulata</i>						3		3
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	62							62
Total	62	16	33	72	74	105	190	552

Tabla 158. Abundancia de las especies de peces a nivel espacial evaluadas en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

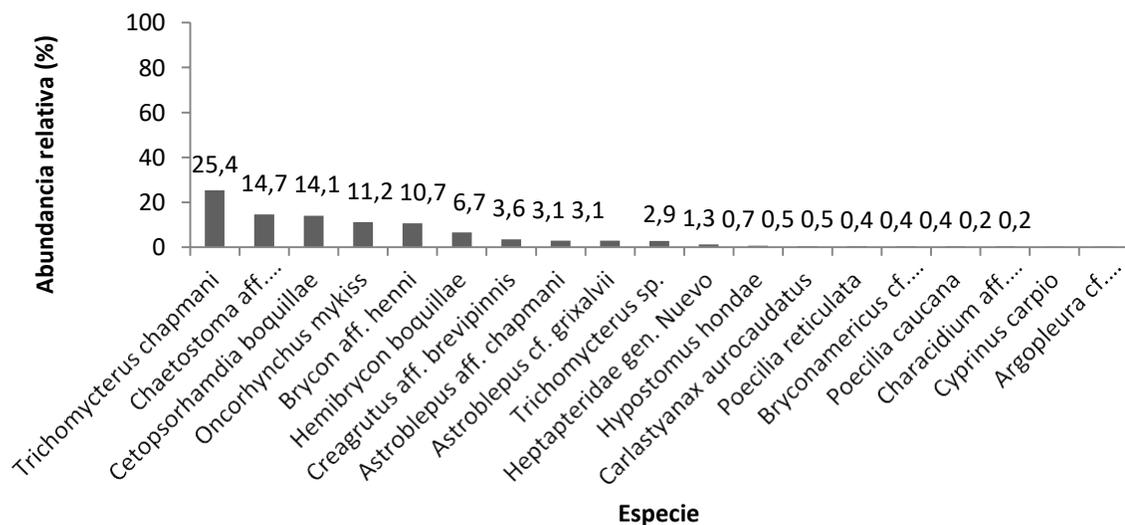


Figura 135. Abundancia relativa de las especies de peces en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Variación espacial y temporal. El comportamiento espacial de los cuerpos de agua mostró que la estación 7 presentó la mayor abundancia, seguido por la estación 6, relacionado con la presencia y abundancia de *T. chapmani* en ambas estaciones principalmente en los meses de septiembre y octubre (Tabla 158, Figura 136). Temporalmente el mes de octubre presentó la mayor abundancia asociado con la presencia y dominancia de las especies más abundantes en el periodo evaluado (Tabla 157, Figura 136).

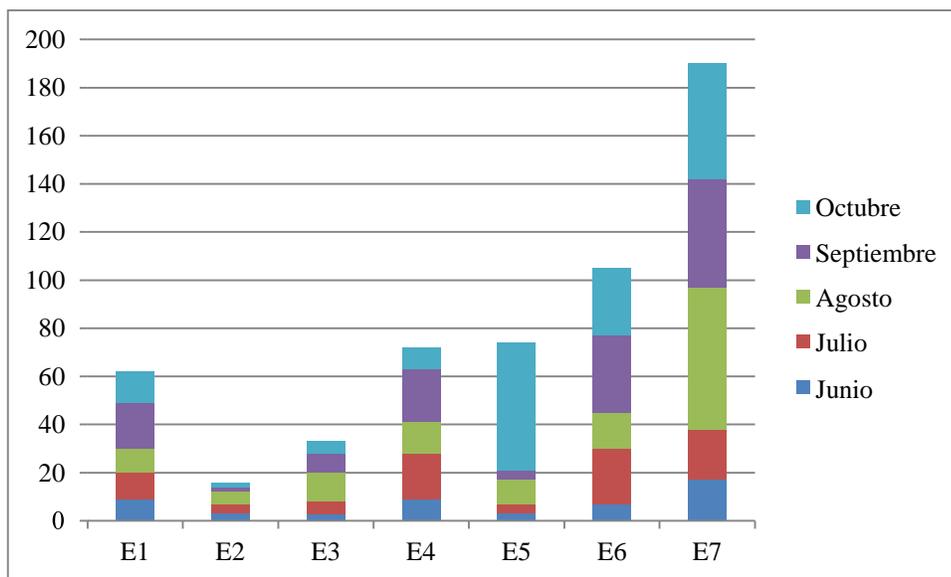


Figura 136. Abundancia espacio-temporal de las especies de peces presentes en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Representatividad del muestreo

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 19 especies observadas (Sobs) en las estaciones evaluadas que corresponden al 94% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE, al 97% con el estimador Chao 1 y al 100% con el estimador Cole (Figura 137); lo que indica un buen diseño de muestreo y una buena representatividad de la ictiofauna durante los meses evaluados, por lo que es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua analizados (Villarreal *et al.* 2006).

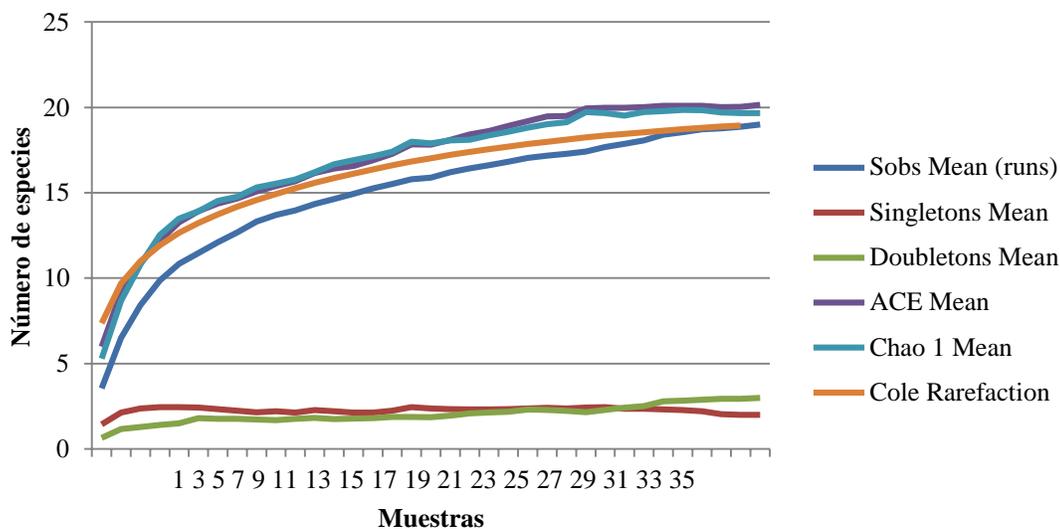


Figura 137. Estimadores de riqueza de las especies de peces en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Índices de diversidad

Número de especies. En términos generales el mayor número de especies se presentó en la estación más baja del río Quindío (E7), principalmente durante el mes de octubre con 9 especies. Por otra parte el menor número de especies se presentó en la quebrada Cárdenas, representada por sólo una especie (*Oncorhynchus mykiss*) en todos los meses evaluados. Temporalmente, las estaciones durante el mes de octubre presentaron el mayor número de especies (Tabla 159).

Riqueza de Margalef. En términos generales existen fuertes variaciones entre los valores de Margalef entre estaciones y meses. El valor más alto de este índice al igual que el de riqueza absoluta, se presentó en la estación 7 durante el mes de octubre; mientras que el menor valor se presentó durante el mes de agosto en la estación 3 (Tabla 159, Figura 138).

Dominancia de Simpson. Este índice oscila entre cero y uno, siendo cero lugares sin grupos dominantes y uno lugares que se caracterizan por la presencia de taxones dominantes (Magurran 1998). Es de esperar que en las estaciones donde sólo se presentó una especie el valor de este índice sea 1, por lo que en las demás estaciones con más de una especie, el mayor valor se registró en la estación 6 durante el mes de junio, relacionado con la dominancia del *T. chapmani*. El menor valor del índice se presentó en la estación 7 en el mes de octubre (Tabla 159, Figura 138).

Diversidad de Shannon-Wiener. Los valores para este índice fueron muy bajos inferiores a 1,8. El mayor valor se presentó en la estación 7, durante el mes de octubre, mientras que el valor más bajo se presentó en el mes de junio en la estación 6 (Tabla 159, Figura 138).

A nivel espacial el índice mostró que la estación 2 presentó el menor valor para el índice de Shannon-Wiener y presentó diferencias significativas con las demás estaciones. Por su parte las estaciones 5 y 7 presentaron diferencias significativas con las estaciones 3, 4 y 6 (Figura 139, Tabla 160).

Meses	Parámetros	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Junio	Taxones	1	1	2	3	2	2	5
	Individuos	9	3	3	9	3	7	17
	Margalef DMg			0,910	0,910	0,910	0,514	1,412
	Simpson λ			0,556	0,630	0,556	0,755	0,287
	Shannon -Wiener H'			0,637	0,684	0,637	0,410	1,375
Julio	Taxones	1	1	1	4	2	6	5
	Individuos	11	4	5	19	4	23	21
	Margalef DMg				1,019	0,721	1,595	1,314
	Simpson λ				0,568	0,500	0,456	0,224
	Shannon -Wiener H'				0,854	0,693	1,166	1,554
Agosto	Taxones	1	2	2	5	5	4	8
	Individuos	10	5	12	13	10	15	59
	Margalef DMg		0,621	0,402	1,559	1,737	1,108	1,717
	Simpson λ		0,52	0,5	0,503	0,24	0,307	0,219
	Shannon -Wiener H'		0,673	0,693	1,044	1,505	1,252	1,702
Septiembre	Taxones	1	1	5	5	3	6	8
	Individuos	19	2	8	22	4	32	45
	Margalef DMg			1,924	1,294	1,443	1,443	1,839
	Simpson λ			0,25	0,351	0,375	0,316	0,319
	Shannon -Wiener H'			1,494	1,225	1,040	1,389	1,491
Octubre	Taxones	1	1	2	5	8	6	9
	Individuos	13	2	5	9	53	28	48
	Margalef DMg			0,621	1,820	1,763	1,501	2,067
	Simpson λ			0,68	0,358	0,248	0,454	0,209
	Shannon -Wiener H'			0,500	1,303	1,628	1,137	1,768

Tabla 159. Variaciones temporales y espaciales en los parámetros de diversidad de las especies de peces en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

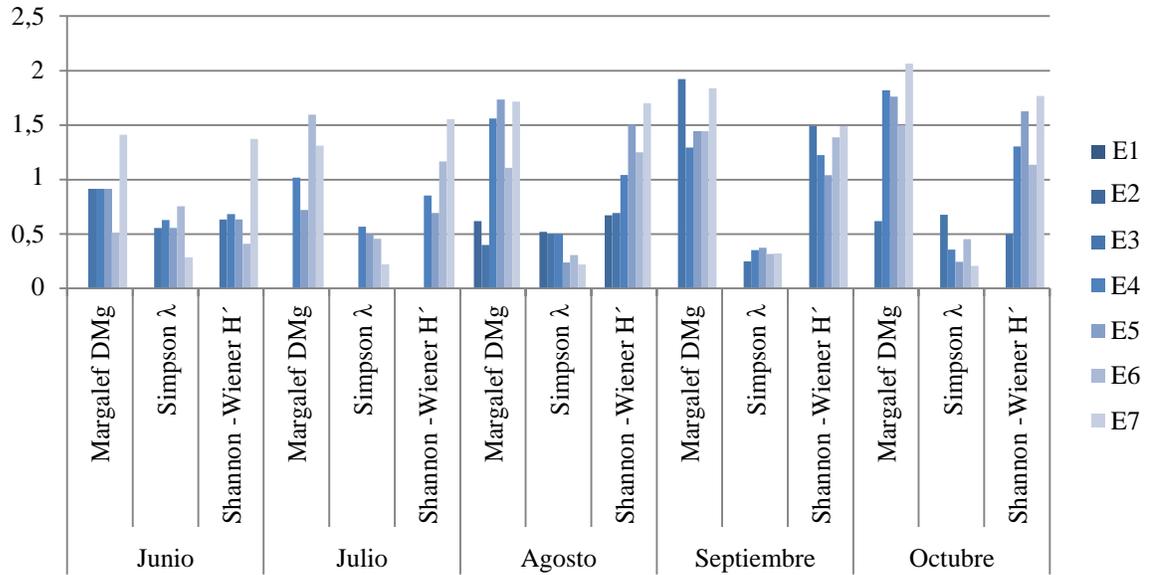


Figura 138. Variaciones temporales y espaciales en los índices de diversidad de las especies de peces en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

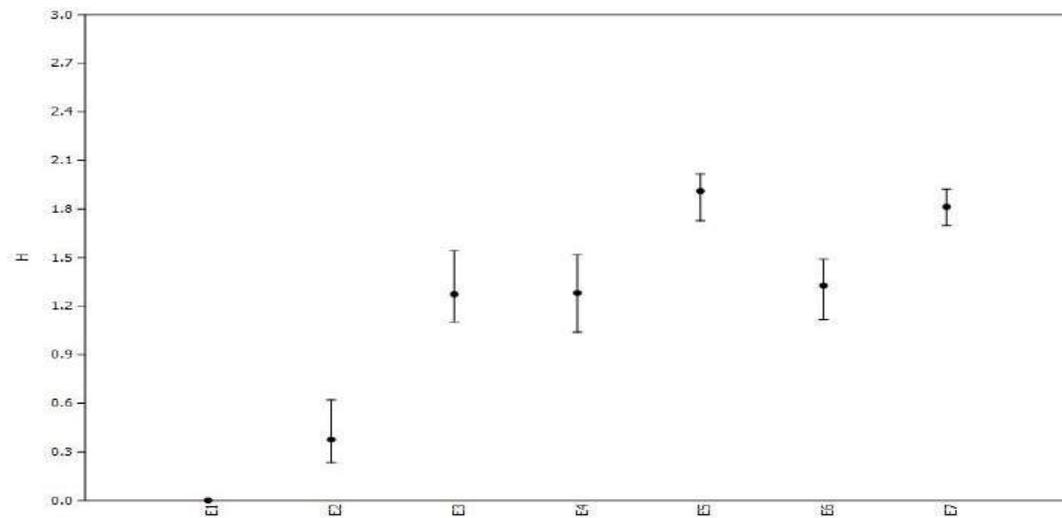


Figura 139. Valores del índice de Shannon-Wiener para las especies de peces en las estaciones evaluadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	--	0,038	5,45E-09	4,11E-14	4,13E-35	3,74E-24	1,02E-71
E2	--	--	4,01E-04	1,45E-04	1,53E-08	3,53E-05	7,78E-08
E3	--	--	--	0,974	0,001	0,785	0,003
E4	--	--	--	--	1,41E-04	0,789	5,79E-04
E5	--	--	--	--	--	1,34E-05	0,354
E6	--	--	--	--	--	--	5,37E-05
E7	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 160. Valores *p* de la prueba *t* aplicada al índice de Shannon, relacionando las estaciones evaluadas entre sí, sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Índice de similitud de Jaccard. Este índice permite agrupar las estaciones de acuerdo a su composición y estructura, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de especies. Durante los cinco meses de monitoreo se observó que la estación 1 (quebrada Cárdenas), se separó completamente de las demás estaciones, relacionado con la única presencia de *Oncorhynchus mykiss* (Figura 140). Las demás estaciones no presentaron un patrón claro de similitud temporalmente.

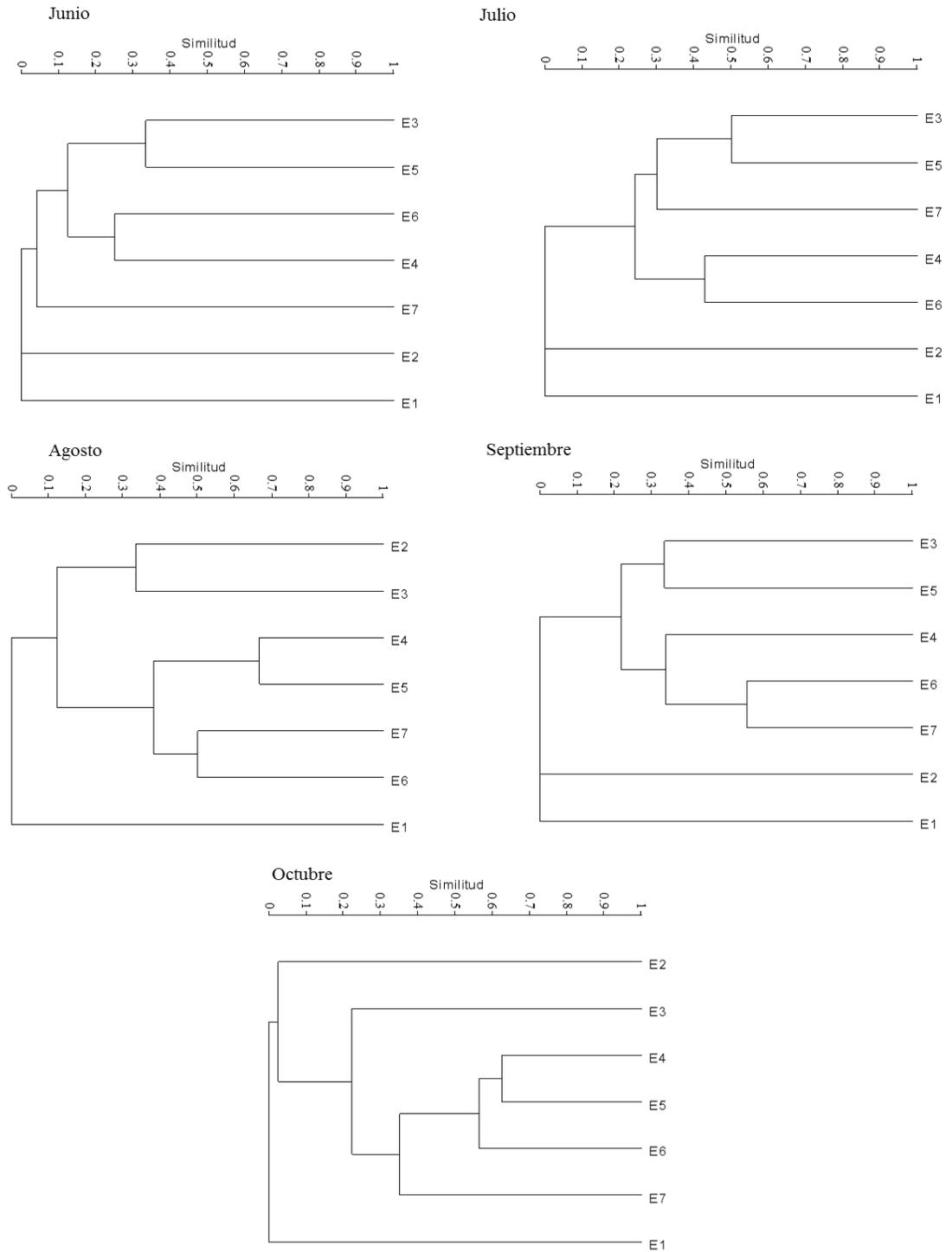


Figura 140. Índice de similitud de Jaccard de las especies de peces en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

En los sistemas acuáticos procedentes de las cordilleras colombianas, la diversidad de peces está determinada principalmente por el gradiente altitudinal, es así como en zonas por debajo de los 1000 m existe la mayor diversidad (Characidae, Loricariidae, Synbranchidae, Parodontidae, Pimelodidae, Cichlidae, Poeciliidae, Trichomycteridae), la cual va disminuyendo continuamente a medida que se asciende (Astroblepidae, Salmonidae). Sin embargo en los valles longitudinales paralelos al eje de la cordillera, en los cuales la pendiente suele ser menor, esta norma no se aplica en su totalidad. El levantamiento de esos valles aislaron a una mayor altura la fauna, tal como ocurrió con el valle alto del río Cauca a 1000 m.s.n.m y posee por lo menos 15 endemismos. Este valle está compuesto por extensos sistemas lénticos, que incrementa el número de especies de la región andina, que en otras cuencas del país se encuentran a altitudes inferiores a 500 m.s.n.m (Maldonado- Ocampo et al. 2005). De acuerdo con lo anterior la mayor diversidad de la estación 7, puede estar relacionada con la oferta de microhábitats (roca, arena, hojarasca y lodo), lo que sugiere más refugios para las especies, lo cual facilita la colonización de un mayor número de ellas (Cala, 2001).

En general los índices ecológicos mostraron diversidad media en las estaciones evaluadas durante los meses monitoreados, ya que según Magurran (1988), el índice de Shannon oscila entre 1,5 y 3,5 en la mayoría de los ecosistemas. Los menores valores del índice de Shannon están asociados con la dominancia de algunas especies, ya que como cualquier índice de equidad está fuertemente influenciado por la homogeneidad en las abundancias de las especies. El análisis temporal de los índices ecológicos, se correlaciona con la estructura y composición de la fauna íctica, en el cual las variaciones en la diversidad alfa están determinadas por los cambios estacionales, que estarían limitando la abundancia de algunas especies.

Distribución

La distribución de un grupo taxonómico está asociada a dos factores principales que permiten su establecimiento. Por una parte los organismos deben poseer características fisiológicas y morfológicas especiales que les permitan su permanencia y por otra un ambiente que ofrezca los recursos mínimos para la existencia del mismo (Villa-Navarro *et al.*, 2007). La distribución de especies corresponde con lo reportado para las especies del alto cauca (Ortega-Lara *et al.* 2006). Las especies con el mayor rango altitudinal fueron *Trichomycterus chapmani* y *Chaetostoma aff. leucomelas*, reportadas desde los 1083 m.s.n.m hasta los 1710 m.s.n.m. La amplia distribución de *Trichomycterus chapmani* es bien conocida en el alto Cauca (Maldonado-Ocampo *et al.*, 2005) y pueda estar relacionado con características morfológicas y fisiológicas que les permiten el establecimiento en varios tipos de hábitats y así como una amplia escala de tolerancia a la contaminación y cambios en las variables fisicoquímicas. De acuerdo con Ortega-Lara *et al.* (2000), *Chaetostoma aff. leucomelas* puede alcanzar altitudes hasta los 1800 m.s.n.m. Entre las especies con rangos de

distribución restringidos o puntuales están: *Argopleura* cf. *magdalenensis*, *Creagrutus* cf. *brevipinnis*, *Characidium* aff. *phoxocephalum*, *Hypostomus hondae* y *Poecilia caucana* todas encontradas a una altura de 1083 m.s.n.m (Figura 141).

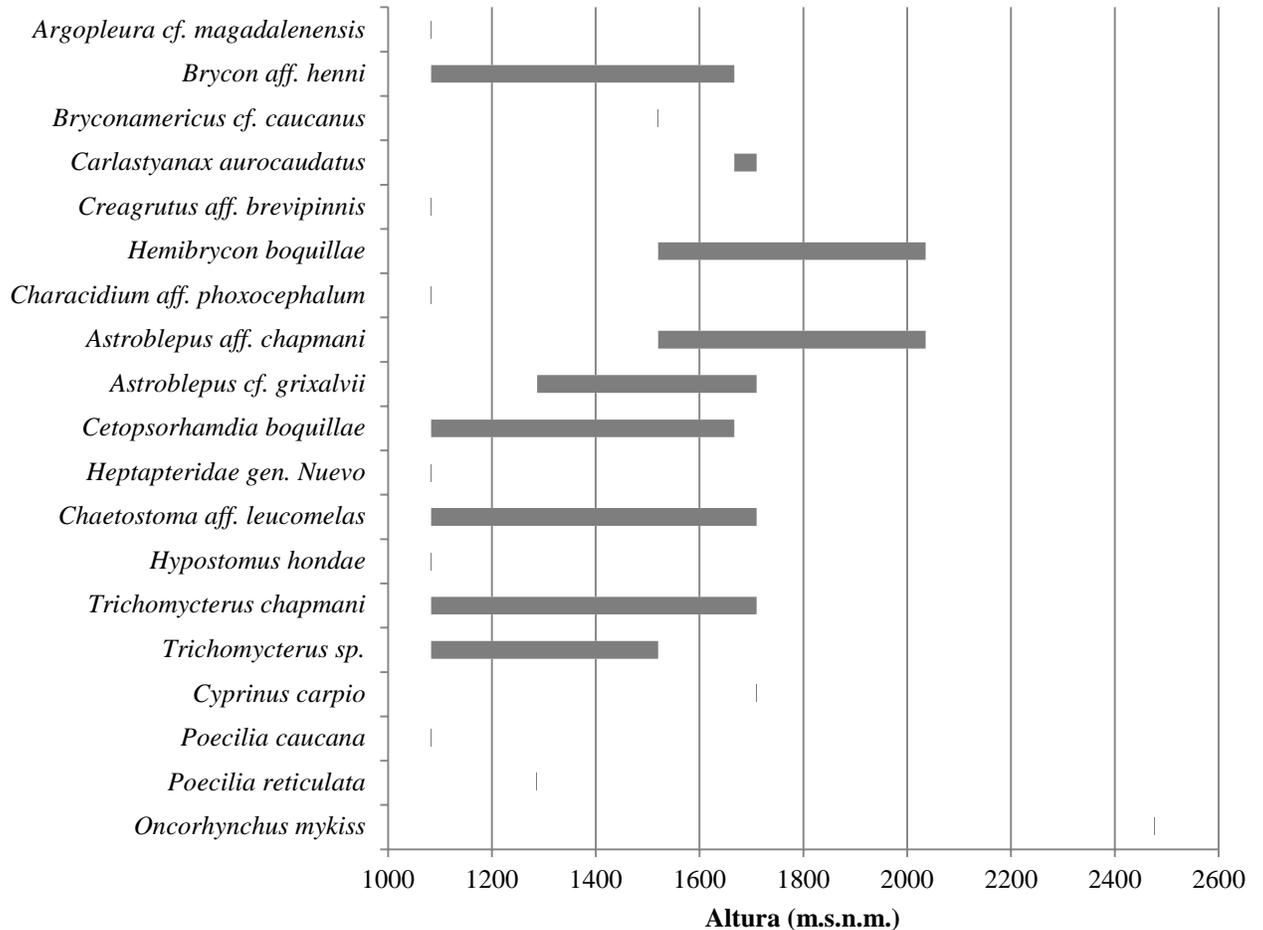


Figura 141. Distribución espacial (altitudinal) de las especies de peces colectados en siete estaciones ubicadas sobre la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014.

Especies categorizadas en el libro rojo de peces, migratorias, endémicas y/o raras

Entre las especies con algún grado de amenaza registradas en la unidad hidrográfica del río Quindío entre junio y octubre de 2014, se incluyen: *Characidium* aff. *phoxocephalum* como vulnerable (VU) e *Hypostomus hondae* y *Carlastyanax aurocaudatus* como casi amenazadas (NT) (Mojica *et al.* 2012). Hasta el momento se puede considerar como especies endémicas para la cuenca del Cauca a *Carlastyanax aurocaudatus*, *Hemibrycon boquillae*, *Cetopsorhamdia boquillae* y *Trichomycterus chapmani*. Además hay cuatro especies (*Carlastyanax aurocaudatus*, *Hemibrycon boquillae*, *Cetopsorhamdia boquillae*,

Trichomycterus chapmani) descritas para la unidad hidrográfica del río Quindío que tienen su localidad tipo cerca a la vereda Boquia en la vía Armenia- Salento (Maldonado-Ocampo et al. 2005). Como especies raras están *Argopleura* cf. *magadalenensis*, *Bryconamericus* cf. *caucanus*, *Carlastyanax aurocaudatus*, *Characidium* aff. *phoxocephalum*, *Poecilia caucana* y *Poecilia reticulata*. No se registraron especies migratorias (Usma et al. 2009).

En la categoría vulnerable se encuentra *Characidium* aff. *phoxocephalum*, la cual es una especie endémica de Colombia, en la cuenca Magdalena-Cauca (Maldonado-Ocampo et al. 2008). De acuerdo con Mojica et al. (2012), se requieren estudios poblacionales de la especie, además de programas de protección y programas de recuperación de los hábitats.

En la categoría “Casi Amenazada” se encuentra *Hypostomus hondae*, una especie de amplia distribución aunque poco abundante. Se alimenta principalmente de material vegetal y madera, mediante el raspado de troncos. En la cuenca del río Ranchería se reporta como Vulnerable (Mojica et al. 2012). En la cuenca del río Catatumbo solo se registró un individuo en un periodo de seis años, entre 1989- 1995 (ECOPETROL 1996).

También en la categoría de amenaza se encuentra *Carlastyanax aurocaudatus*, es una especie pequeña que no supera los 10 cm. Al ser una especie endémica a una porción del alto cauca, y con poblaciones fragmentadas entre Cauca y Quindío, se encuentra en sitios con características bióticas particulares, con un hábitat reducido y por tanto susceptible de perturbación antrópica, especialmente deforestación y contaminación (Mojica et al. 2012, Maldonado-Ocampo et al. 2005).

Especies introducidas

El éxito de una especie exótica viene determinado por el binomio colonización-extinción (nicho vacío-ocupado, nicho fundamental-realizado y cambio ontogénico del nicho). La introducción de una especie puede desencadenar distintas situaciones en el ecosistema: desaparición de una o varias especies, con o sin efecto en el nicho de especies nativas similares, desaparición de una o varias especies por alteración de la cadena trófica o del ecosistema, y finalmente, el fracaso en el establecimiento de la especie invasora (Granado-Lorenzo 1996).

Sarpa (1995) menciona que los problemas de especies exóticas invasoras inician con la introducción de cultivo de peces exóticos en aguas continentales, siendo la siembra de trucha arco iris y la trucha de arroyo introducidas en 1937, de las especies que más afectan los ecosistemas Andinos. Además, se siembran alevines para mantener y mejorar la diversidad genética de las poblaciones (Coche, 1995).

De acuerdo con Gutiérrez et al. (2012) han sido capturadas dos especies introducidas, *Oncorhynchus mykiss* y *Cyprinus carpio*. *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris) fue

introducida en 1939 (Brenner 1994) y pertenece a la categoría de especies exóticas con capacidad invasora debido a que es introducida en los ambientes acuáticos en programas de seguridad alimentaria, siendo nativa de Norte América pero en la actualidad es cosmopolita, ya que se reproduce con facilidad y se adapta fácilmente a nuevos ambientes. La introducción de esta se dio con el fin de repoblar de peces los ecosistemas altoandinos, primero en el lago de Tota (Boyacá) y luego en el embalse de Neusa. Actualmente se cultiva en las zonas altas de los departamentos de Quindío, Caldas, Antioquia, Cundinamarca, Santander, Boyacá y Risaralda. La trucha es un organismo de alta montaña, su distribución comprende desde 1.500 a 4.500 m.s.n.m. y se desarrolla en aguas limpias y bien oxigenadas con temperaturas medias de 10°C pero tolera un rango de 12 a 24°C. Se encuentra entre las 100 especies exóticas más perjudiciales del mundo siendo la segunda causa de extinción de organismos, sólo superado por la destrucción de hábitat, es por esto, que en 1992 en la Convención de Biodiversidad celebrada en Río de Janeiro se establece que debe ser erradicada y tratada de manera especial (Diavanera, 2004). *Oncorhynchus mykiss* es reconocida como una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe et al. 2004, citado por Gutiérrez *et al.* 2012)

Cyprinus carpio es nativa de Europa en ríos alrededor del Mar Negro y la cuenca del Danubio (Berra 2001 citado por Gutiérrez). Su amplia distribución global posee una antiquísima razón y explicación, pues las carpas fueron alimento de lujo en el período romano medio y consumida en la Edad Media durante periodos de ayuno. En Colombia se distribuye en: la Cuenca del río Magdalena, río Sogamoso, subcuenca del río Cauca, en los ríos Gris, Lejos y Santo Domingo. Es cultivada en 20 de los 32 departamentos (Amazonas, Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Casanare, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Guajira, Huila, Meta, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Santander, Tolima y Valle del Cauca) y por diversas circunstancias han pasado a ecosistemas naturales (Alvarado y Gutiérrez 2002 citado por Gutiérrez *et al.* 2012). Es de aguas templadas y habita las corrientes medias y bajas de los ríos, en áreas inundadas y en aguas confinadas poco profundas como lagos, meandros y embalses. Con preferencia por mayor profundidad, aunque también utiliza las capas media y superior de los cuerpos de agua. Soporta condiciones ambientales extremas. Tolerancia de temperaturas entre los 0°C y los 40 °C, pudiendo reproducirse a los 20 °C. Reduce su crecimiento por debajo de los 13 °C, mientras que a los 5 °C deja de alimentarse (Bard *et al.* 1970, citado por Gutiérrez *et al.* 2012). Su temperatura óptima es de 18 a 30 °C.

95 RELACIONES DE ÍNDICES HIDROLÓGICOS VS RESPUESTA ECOLÓGICA DE ÍNDICES BIÓTICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Con los resultados de los monitoreos hidrobiológicos de las comunidades de perifiton, macroinvertebrados y de peces, que fueron realizados en ocho estaciones en temporadas de aguas bajas, altas y de transición, se estableció la relación entre índices bióticos e hidrológicos (caudal medio mensual, Q5%, Q85% y Q95%) para las dos zonas del río Quindío (Zona Alta – Media y baja).

En el establecimiento de las estaciones de muestreo, se tuvo en cuenta el perfil longitudinal del río Quindío, y atributos como la pendiente, altitud y condiciones de funcionamiento fluvial, específicamente el gradiente de condiciones físicas y químicas y sus respuestas bióticas resultantes desde zonas de cabecera hasta desembocadura.

Zona	Estación	Código	Altura (m)
Zona Alta-medio del río Quindío	Quebrada Cárdenas	E1	2477
	Río Quindío, Finca El Escobal	E2	2036
	Río Quindío, Bocatoma acueducto Armenia	E3	1710
	Río Navarco, Antes de la desembocadura en el río Quindío	E4	1667
	Río Quindío, Vereda Chagualá	E5	1520
	Quebrada La Gata	E8	2452
Zona Baja del río Quindío	Río Quindío, sector Balboa	E6	1287
	Río Quindío, aguas abajo de la desembocadura del río Verde.	E7	1083

Tabla 161. Sectores en donde se realizó el análisis de relación entre índices ecológicos e hidrológicos en el río Quindío

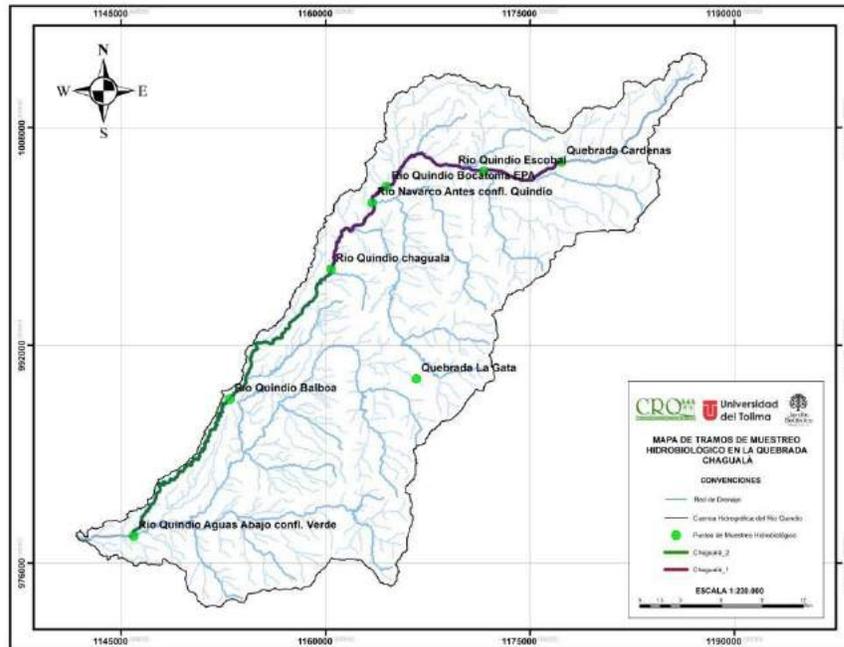


Figura 142. Ubicación espacial de las zonas homogéneas con respecto a las relaciones de alteración hidrológica y respuesta ecológica en el río Quindío

Se identificó la estación E1, E2 y E7 como sitios de referencia o situación natural del río (Tabla 162), lo cual se hizo teniendo en cuenta el perfil longitudinal del río (zona alta-media y zona baja del río) y definiendo los tramos del río Quindío que en la actualidad presentan un mejor estado de conservación.

Sector	Estación	Código	Altitud (m)
Alta - Media	Quebrada Cárdenas	E1	2477
	Río Quindío, Finca El Escobal	E2	2036
Bajo	Río Quindío, aguas abajo de la desembocadura del río Verde.	E7	1083

Tabla 162. Sitios de referencia

A continuación se presentan la relación entre índices ecológicos e hidrológicos (caudal medio mensual, Q5%, Q85% y Q95%) para las dos zonas del río Quindío (Zona Alta – Media y baja); se utilizaron índices bióticos para evaluar la calidad del agua, en el caso del Perifiton se utilizó el Índice Diatómico Genérico (IDG) (Coste y Ayphassorho, 1991) y para los macroinvertebrados se empleó el índice BMWP/Col (Roldán, 2003). En cuanto a los peces es preciso indicar que no se calcularon índices bióticos, debido a que en el río Quindío existen numerosas especies endémicas del Alto Cauca, de las cuales el grado de conocimiento de los

aspectos biológicos y ecológicos es limitado, y dicha información es necesaria para estimarlos.

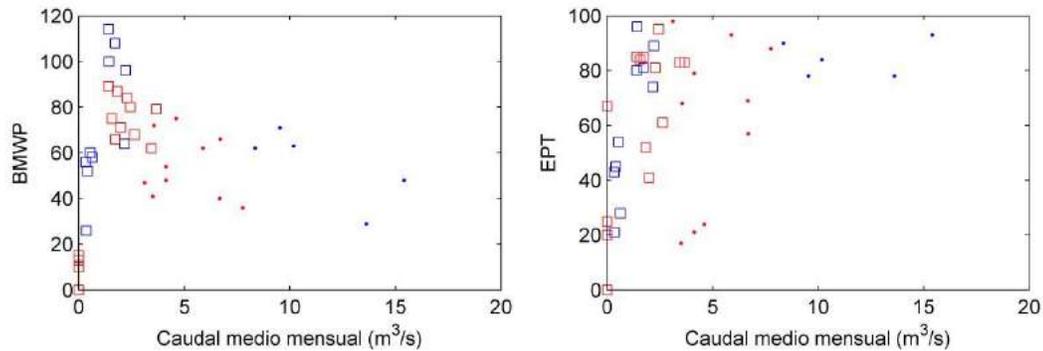


Figura 143. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, macroinvertebrados vs. caudal medio mensual (m^3/s). Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De las gráficas de respuesta ecológica de macroinvertebrados vs el caudal medio mensual (m^3/s) en condición alterada se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
BMWP vs Q medio mensual (m^3/s)	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, de acuerdo con los sitios de referencia (cuadros azules) un aumento leve en la magnitud del caudal medio mensual (año promedio) generaría un aumento en el índice BMWP.
	Por lo tanto, una alteración de la magnitud del caudal medio mensual (m^3/s) afectaría la riqueza de las familias de macroinvertebrados, entre ellas las más sensibles a los cambios en la calidad del agua.
EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) vs Q medio mensual (m^3/s)	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, una alteración de la magnitud del caudal medio mensual (m^3/s) (año promedio) produciría disminución en la riqueza de las familias de macroinvertebrados.
	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, la abundancia de organismos reófilos como Efemerópteros, Plecópteros y Tricópteros aumenta con el incremento del caudal medio mensual (m^3/s) (año promedio). Por consiguiente, una alteración de la magnitud del caudal medio mensual (m^3/s) afectaría la abundancia de estos organismos y se crearía condiciones propicias para el establecimiento de organismos con estrategias para resistir las nuevas condiciones.

	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, caudales medio mensual (m^3/s) bajos, disminuye la abundancia de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, siendo los órdenes Odonata y Coleóptera (organismos propios de lagunas y caudales lentos) los que se incrementarían.
--	--

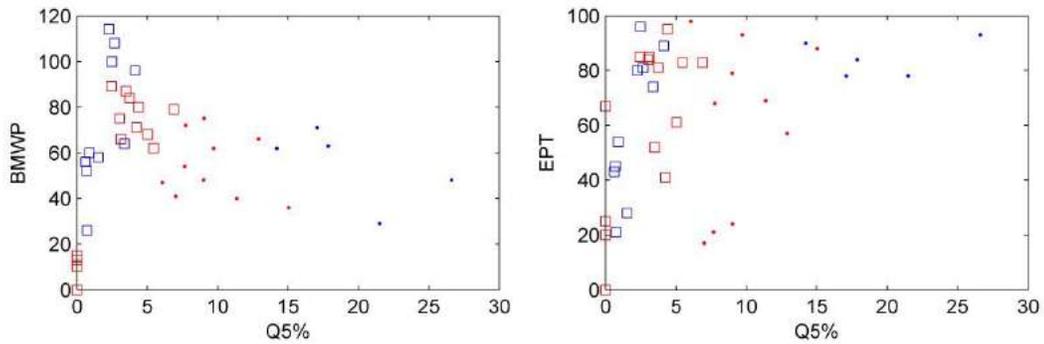


Figura 144. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, macroinvertebrados vs Q5%. Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De las gráficas de respuesta ecológica de macroinvertebrados vs índice Q5%, se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
BMWP vs Q5% (Q5%=Caudal característico de una crecida habitual)	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, se tiene que una disminución en las crecidas habituales afectaría la riqueza de las familias de macroinvertebrados.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, una alteración de las crecidas habituales produciría disminución en la riqueza de las familias de macroinvertebrados.
EPT vs Q5%	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, la reducción en la magnitud de las crecidas ordinarias conllevaría a la disminución en la abundancia de organismos reófilos como Ephemeropteros, Plecópteros y Tricópteros.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, la reducción en la magnitud de las crecidas ordinarias disminuye la abundancia de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.

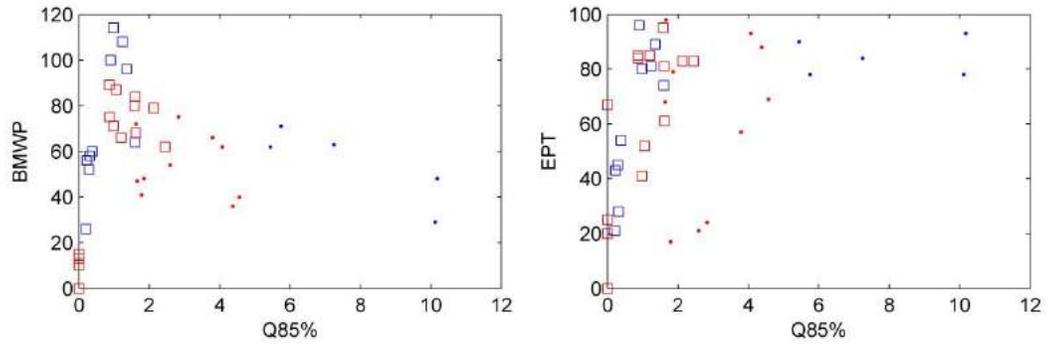


Figura 145. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, macroinvertebrados macroinvertebrados vs Q85%. Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De las gráficas de respuesta ecológica de macroinvertebrados vs índice Q85%, se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
BMWP vs Q85% (Q85%=Caudal igualado o superado el 85% del tiempo)	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, se tiene que una disminución en la magnitud de los caudales asociados al índice Q85% afectaría la riqueza de las familias de macroinvertebrados.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, una disminución en la magnitud de los caudales asociados al índice Q85% produciría una disminución en la riqueza de las familias de macroinvertebrados.
EPT vs Q85%	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, la reducción en la magnitud de los caudales asociados al índice Q85% conllevaría a la disminución en la abundancia de organismos reófilos como Ephemeropteros, Plecópteros y Tricópteros.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, la reducción en la magnitud de los caudales asociados al índice Q85% conllevaría a una disminución en la abundancia de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.

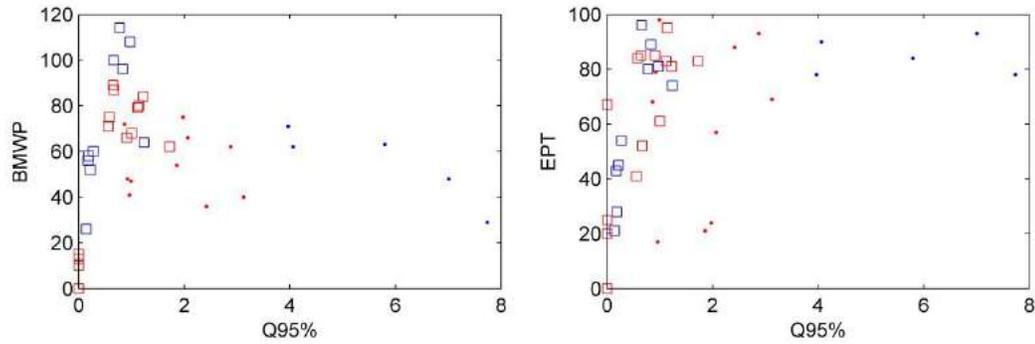


Figura 146. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, macroinvertebrados vs Q95%. Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De las gráficas anteriores, se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
BMWP vs Q95% (Q95%=Caudal igualado o superado el 95% del tiempo)	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, se tiene que una disminución en la magnitud de los caudales asociados al índice Q95% afectaría la riqueza de las familias de macroinvertebrados.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, una disminución en la magnitud de los caudales asociados al índice Q95% produciría disminución en la riqueza de las familias de macroinvertebrados.
EPT vs 95%	Para los tramos ubicados en la zona alta-media del río Quindío, la reducción en la magnitud de los caudales asociados al índice Q95% conllevaría a la disminución en la abundancia de organismos reófilos como Ephemeropteros, Plecópteros y Tricópteros.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, la reducción en la magnitud de los caudales asociados al índice Q95% conllevaría a una disminución en la abundancia de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.

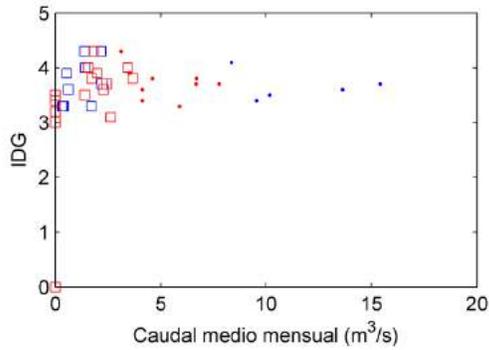


Figura 147. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, para perifiton (IDG) vs Caudal medio mensual (m^3/s). Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De las gráficas anteriores, se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
Índice Diatómico Genérico (IDG) vs Caudal medio mensual (m^3/s)	Para los datos correspondientes a la zona alta de la unidad hidrográfica del río Quindío (Punto de muestreo Quebrada La Gata y Punto de muestreo Quebrada Cárdenas), se tiene que una aumento en la magnitud del caudal medio mensual (m^3/s) conllevaría a un declive en la densidad de perifiton.
	En la parte media se observa una disminución del índice Diatómico Genérico, lo cual es de esperarse ya que las condiciones de calidad del agua en los tramos estudiados en esta parte del río no presentan una buena calidad del agua. Por lo tanto, aunque se presente un aumento en la dilución del agua por un incremento en el caudal medio esta condición no es suficiente para disminuir el grado de alteración por contaminación.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, no se observa una alteración del índice al cambiar las condiciones de magnitud del caudal medio mensual hacia aguas abajo del río.

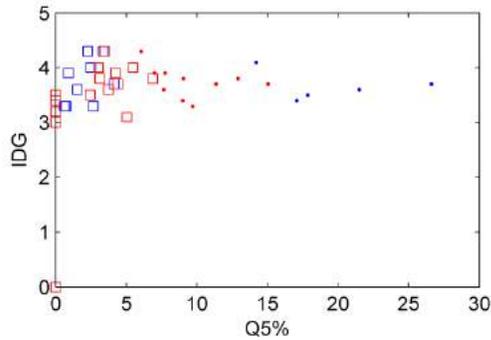


Figura 148. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, para perifiton (IDG) vs Q5%. Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De las gráficas anteriores, se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
Índice Diatómico Genérico (IDG) vs Q5%	Para los datos correspondientes a la zona alta de la unidad hidrográfica del río Quindío (Punto de muestreo Quebrada La Gata y Punto de muestreo Quebrada Cárdenas), se tiene que una aumento en la magnitud del caudal medio mensual (m^3/s) conllevaría a un declive en la densidad de perifiton. En la parte media se observa una disminución del índice, lo cual es de esperarse ya que las condiciones de calidad del agua en los tramos estudiados en esta parte del río no presentan una buena calidad del agua. En este sentido, aunque se presente un aumento en la dilución del agua por un incremento en el caudal medio esta condición no es suficiente para disminuir el grado de alteración por contaminación.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, no se observa una alteración del índice al cambiar las condiciones de magnitud del caudal medio mensual hacia aguas abajo.

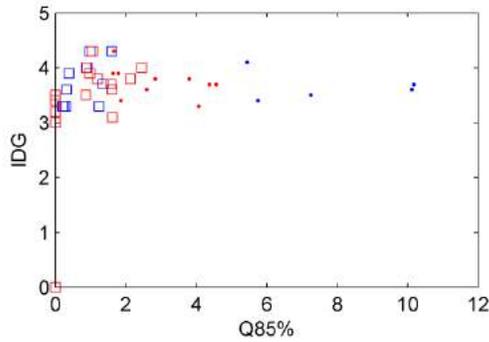


Figura 149. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, para perifiton (IDG) vs Q85%. Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De las gráficas anteriores, se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
Índice Diatómico Genérico (IDG) vs Q85%	Para los datos correspondientes a la zona alta de la unidad hidrográfica del río Quindío (Punto de muestreo Quebrada La Gata y Punto de muestreo Quebrada Cárdenas), se tiene que una aumento en la magnitud del caudal medio mensual (m^3/s) conllevaría a un declive en la densidad de perifiton. En la parte media se observa una disminución del índice al aumentar el caudal, lo cual se explica en la disminución de sustrato óptimo y las condiciones de calidad de agua para su desarrollo. Es decir, aunque se presente un aumento en la dilución del agua por un incremento en el caudal medio esta condición no es suficiente para disminuir el grado de alteración por contaminación.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, no se observa una alteración del índice al cambiar las condiciones de magnitud del caudal medio mensual hacia aguas abajo del río.

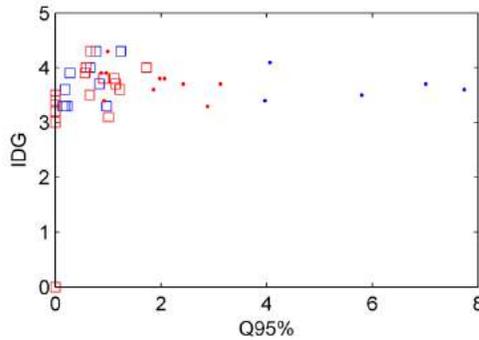


Figura 150. Relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, para perifiton (IDG) vs Q95%. Los cuadros y puntos de color azul representan los muestreos hidrobiológicos en condición de referencia y los de color rojo la condición alterada. Los cuadros indican la zona alta-media de la unidad hidrográfica y los puntos la parte baja.

De la gráfica anterior, se tiene para la zona alta-media y baja del río Quindío las siguientes relaciones:

Relación	Relación índices hidrológicos vs índices bióticos
Índice Diatómico Genérico (IDG) vs Q95%	Para los datos correspondientes a la zona alta de la unidad hidrográfica del río Quindío (Punto de muestreo Quebrada La Gata y Punto de muestreo Quebrada Cárdenas), se tiene que una aumento en la magnitud del caudal medio mensual (m^3/s) conllevaría a un declive en la densidad de perifiton. En la parte media se observa una disminución del índice al aumentar el caudal, lo cual se explica en la disminución de sustrato óptimo para su desarrollo y por las condiciones de calidad de agua que tiene esta parte del río Quindío, las cuales aunque se presente un aumento en la dilución del agua por un incremento en el caudal medio esta condición no es suficiente para disminuir el grado de alteración por contaminación.
	Para los tramos ubicados en la zona baja del río Quindío, no se observa una alteración del índice al cambiar las condiciones de magnitud del caudal medio mensual hacia aguas abajo del río.

Es preciso indicar que en este estudio la relación entre alteración hidrológica vs respuesta ecológica para las dos zonas del río Quindío (Zona Alta – Media y baja), se constituye en una primera aproximación, ya que para poder tener resultados con un mayor grado de precisión es necesario continuar con los monitoreo hidrobiológico en los diferentes tramos de estudio, con el fin de tener una mayor representatividad de los muestreos. Por otro lado, es pertinente indicar que los índices hidrológicos (caudal medio mensual, Q5%, Q85% y Q95%) utilizados para establecer la relación entre alteración hidrológica vs respuesta

ecológica fueron los únicos que permitieron observar tendencias, pues se probaron varios índices.

96 RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES

Las relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica establecidas en este estudio, permitieron validar la propuesta inicial de caudales ambientales, calculado a partir de un enfoque hidrológico, el cual logra incorporar la variabilidad intra-anual de los caudales, manteniendo la ocurrencia de caudales altos (enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre) de transición (junio, octubre) y de caudales bajos (julio, agosto y septiembre), lo que permite garantizar mantener los hábitats necesarios para el desarrollo y sostenimiento de las comunidades hidrobiológicas del río Quindío.

Además, de conservar la variabilidad inter-anual asociada al efecto del fenómeno ENSO en las condiciones hidrológicas Húmeda, Neutra y Seca, que según la literatura científica son necesarios para mantener la integridad y la sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce (Baron and Poff, 2004). En la siguiente tabla se observa el régimen de caudales para los cuatro tramos establecidos para el río Quindío.

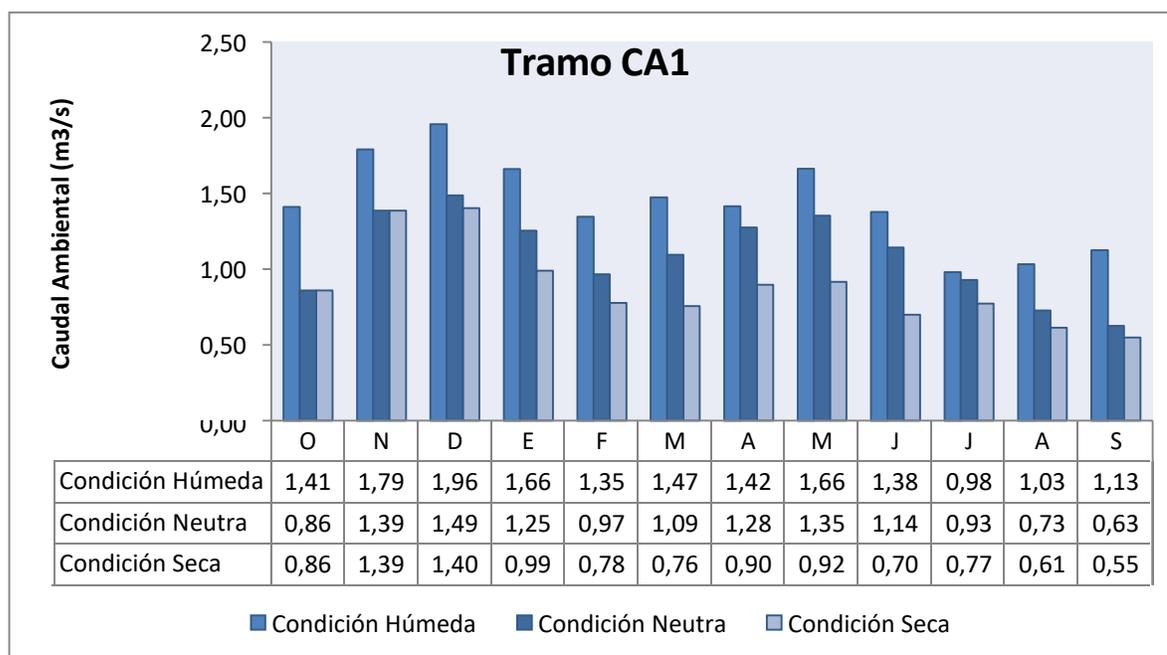


Figura 151. Régimen de caudal ambiental (m³/s) para el tramo CA1

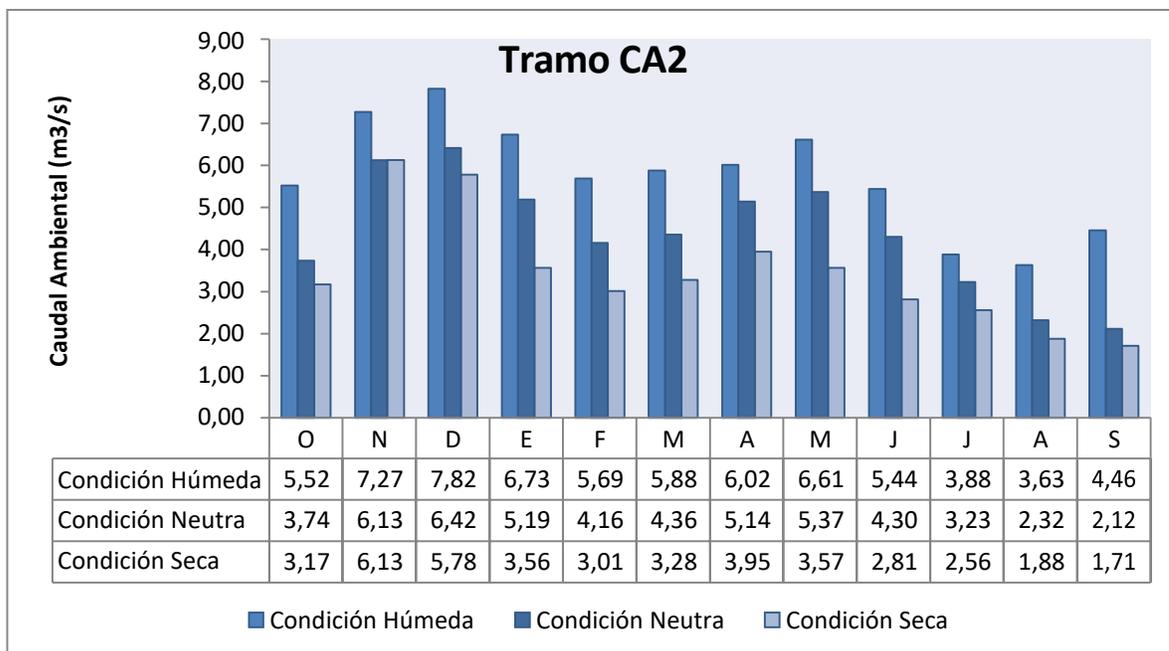


Figura 152. Régimen de caudal ambiental (m3/s) para el tramo CA2

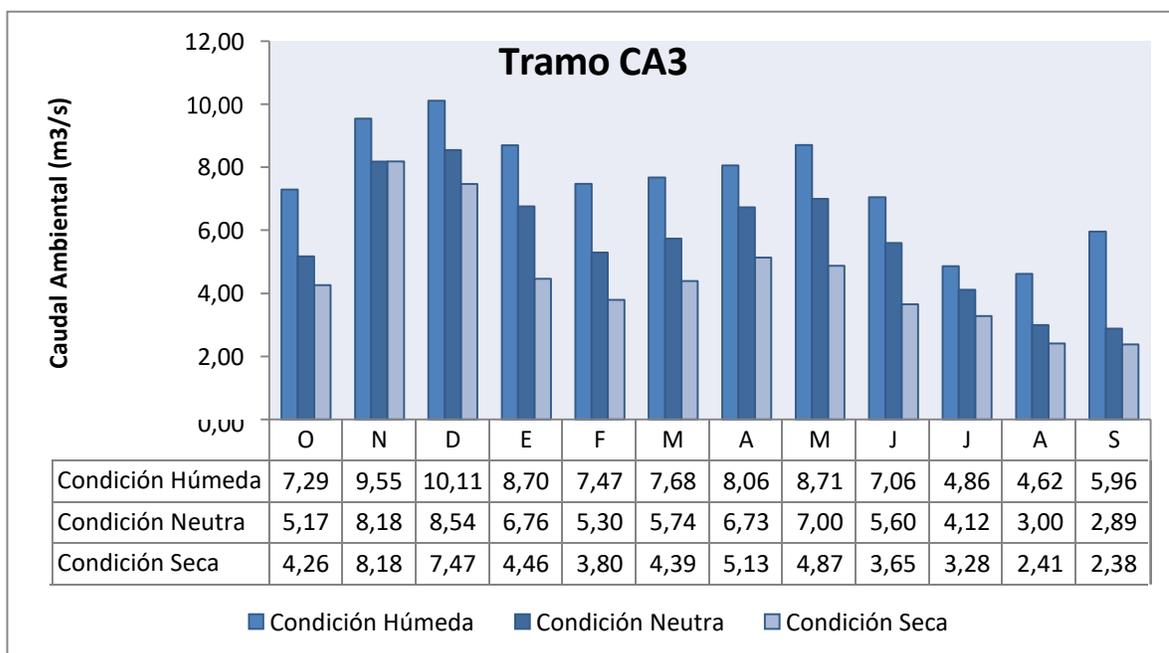


Figura 153. Régimen de caudal ambiental (m3/s) para el tramo CA3

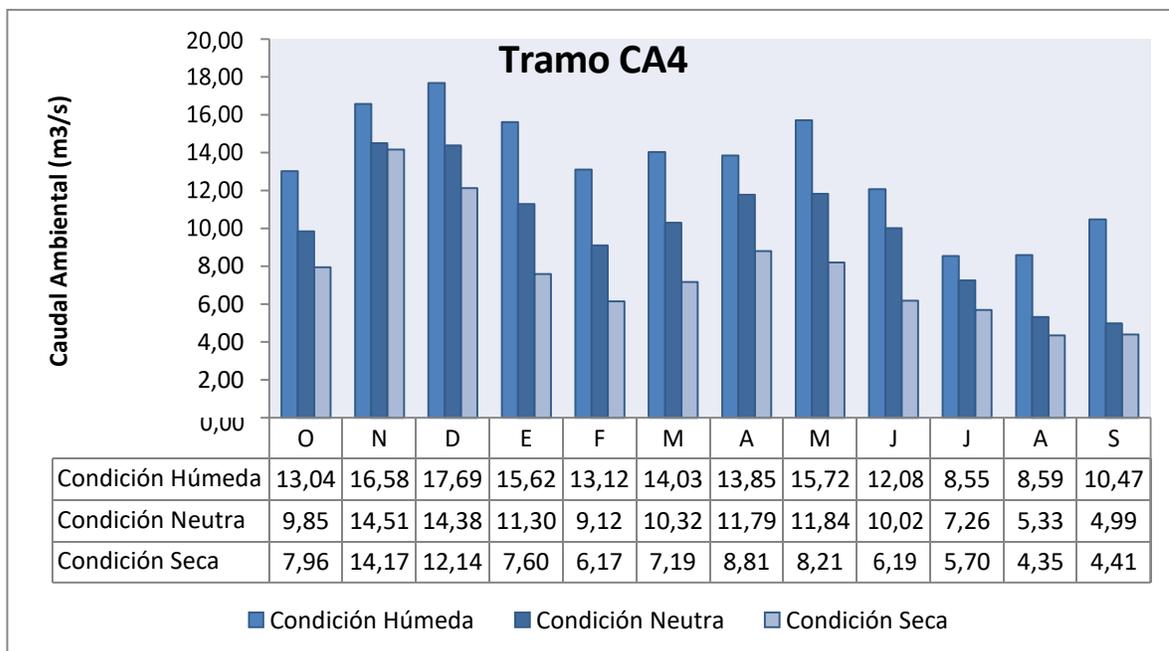


Figura 154. Régimen de caudal ambiental (m³/s) para el tramo CA4

97 CONSIDERACIONES SOBRE LA ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL

- Los caudales ambientales para el río Quindío, definidos mediante un enfoque hidrológico y validado a partir del análisis de relaciones de Alteración Hidrológica vs Respuesta Ecológica, conservan el régimen hidrológico natural de la corriente, pues se mantiene la variabilidad intra-anual de los caudales, conservando la ocurrencia de caudales altos (Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Noviembre, Diciembre) de transición (Junio, Octubre) y de caudales bajos (Julio, Agosto, Septiembre); y también, se mantiene la variabilidad inter-anual asociada al efecto del fenómeno ENSO en las condiciones hidrológicas Húmeda, Neutra y Seca, de gran importancia para conservar la integridad y sustentabilidad de los ecosistemas acuáticos.
- Las relaciones entre alteración hidrológica vs respuesta ecológica elaboradas en este estudio para el río Quindío, se constituye en una primera aproximación, ya que para un análisis más preciso se requieren registros mensuales del comportamiento (Estructura y dinámica del ecosistema acuático) por un periodo de varios años (representativos de la variabilidad interanual). Por lo que es necesario mantener los monitoreo hidrobiológico en los diferentes tramos de estudio y así obtener una mayor representatividad de los muestreos.

- La clase Bacillariophyceae es un componente importante en la comunidad perifítica de las estaciones evaluadas debido a la presencia de adaptaciones para desarrollarse en los ecosistemas lóticos. Los géneros encontrados *Navicula*, *Rhoicosphenia* y *Cymbella* todas pertenecientes a la clase Bacillariophyceae, presentaron altas densidades y altas frecuencias de ocurrencia lo que puede estar relacionado con la alta capacidad de estos organismos para tolerar los cambios en las condiciones ambientales.
- Los patrones de distribución de la comunidad perifítica a nivel espacial y temporal, en el área de estudio, obedecieron a la capacidad de estos organismos para responder a los cambios en los factores ambientales y a la cantidad de nutrientes que puede tener el cuerpo de agua, producto de procesos naturales y/o a intervenciones externas de origen antrópico. En el caso de la quebrada Cárdenas su alta diversidad puede estar relacionada con la carga de nutrientes de esta zona y a la oferta de sustratos que presenta. Por otro lado, de acuerdo con el índice Diatómico Genérico, en la mayoría de las estaciones se presentó una calidad de agua con contaminación moderada y con algún grado de eutrofización.
- La composición y estructura de la fauna de macroinvertebrados coincide con lo reportado con otros estudios, en donde los órdenes Ephemeroptera, Díptera y Trichoptera son diversos y abundantes. La abundancia de las familias Baetidae y Chironomidae está relacionada con la tolerancia que tienen las especies de estas familias en adaptarse en aguas desde mala calidad hasta calidades óptimas.

En el área de estudio, la distribución y abundancia espacio-temporal presentó variaciones, relacionadas probablemente con las fluctuaciones en los regímenes de precipitaciones, así como en la disponibilidad y calidad de hábitats ofertados en las estaciones evaluadas. La diversidad de macroinvertebrados estuvo relacionada con la abundancia de algunas familias como Baetidae y Chironomidae, que al ser dominantes disminuyen los valores de los índices ecológicos, en estaciones con una alta riqueza de familias. De acuerdo con los índices de biológicos de calidad (BMWP y EPT), en términos generales las estaciones presentaron una buena calidad de agua, sin embargo la quebrada Cárdenas en la cual se esperaba una buena calidad en los meses evaluados, presentó una calidad regular.

- La composición y estructura de la fauna íctica de los cuerpos de agua evaluados, es similar al reportado por otros estudios en la cuenca del río Cauca. La distribución y abundancia de las familias y especies se corresponde con lo reportado para otras cuencas andinas de Colombia. Al igual que en la mayoría de los ecosistemas acuáticos neotropicales, los Siluriformes y Characiformes constituyen los órdenes más representativos, dentro de los cuales la familia Trichomycteridae y Characidae son abundantes en diferentes rangos altitudinales de estos ambientes.

Los estimadores de diversidad indican que el esfuerzo de muestreo realizado ha sido eficiente, indicando un buen diseño de muestreo y una buena representatividad de la ictiofauna de la unidad hidrográfica del río Quindío. Por otra parte, los índices ecológicos mostraron una baja diversidad en las estaciones durante los meses evaluados, relacionado con la presencia de especies dominantes.

El río Quindío exhibe grados de perturbación por intervención antropogénica que se evidencian en extracción de material de arrastre descargas industriales y domésticas, e introducción de especies; las cuales pueden limitar el establecimiento de algunas especies nativas. Se registraron tres especies categorizadas en el libro rojo de peces, cuatro especies endémicas y dos introducidas en la unidad hidrográfica del río Quindío.

En este sentido, es necesario la recuperación de hábitats de las especies nativas, especialmente las que se encuentran en alguna categoría de amenaza, esto permitirá por un lado, aumentar la resiliencia del ecosistema acuático y a la vez crear condiciones de hábitat para el desarrollo y establecimiento de estas especies.

10 INDICADORES DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

La presión sobre el recurso hídrico se evalúa mediante el Índice de Uso del Agua (IUA) y el Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH). Estos indicadores se calculan asumiendo que debe respetarse el caudal ambiental necesario para la sostenibilidad de los ecosistemas asociados al cuerpo de agua. En el caso de la unidad hidrográfica del río Quindío, el IUA y el IVH se han determinado a nivel mensual para las dos condiciones hidrológicas más críticas (neutra y seca).

10.1 OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE

El índice de uso del agua se estima considerando la oferta hídrica disponible, la cual se define como la cantidad de agua aprovechable para las actividades humanas, corresponde a un caudal remanente después de aplicar una restricción de caudal ambiental sobre la oferta hídrica total en un punto o tramo de interés. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Oh_{d,t,ch} = Oh_{T,t,ch} - CA_{t,ch}$$

Donde,

$Oh_{d,ch}$: Es la oferta hídrica disponible en el intervalo de tiempo t para la condición hidrológica ch

$Oh_{T,ch}$: Es la oferta hídrica total en el intervalo de tiempo t para la condición hidrológica ch

$CA_{t,h}$: Es el caudal ambiental definido en el intervalo de tiempo t para la condición hidrológica ch .

10.2 ÍNDICE DE USO DEL AGUA

Expresa la relación porcentual entre la cantidad de agua neta demandada por los diferentes usuarios y la oferta hídrica disponible en un intervalo de tiempo y espacio determinado:

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

Donde,

IUA_t : es el índice de uso del agua en el intervalo de tiempo t

Dhn_t : es la demanda hídrica neta en el intervalo de tiempo t

O_{hd_i} : es la oferta hídrica disponible en el intervalo de tiempo t

La escala de valoración de la presión de la demanda sobre el recurso hídrico de acuerdo con este índice es la siguiente (IDEAM, 2010):

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
1 a 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

En el caso de la unidad hidrográfica del río Quindío, este índice se calculó a escala mensual tomando de manera agregada toda la unidad hidrográfica, también en las principales unidades hidrográficas (Río Quindío hasta su confluencia con el río Navarco, Río Navarco, Río Santo Domingo hasta su confluencia con el río verde, y el río verde hasta su confluencia con el río Santo Domingo) y en 12 tramos sobre el cauce principal del río Quindío, que se describen a continuación:

Tramo Nacimiento-RQ1: comprendido entre el nacimiento del río Quindío hasta el punto “El Escobal”

Tramo RQ1-RQ2: Comprendido entre el punto “El Escobal” hasta aguas arriba de la Bocatoma del Municipio de Armenia

Tramo RQ2-RQ3: desde aguas arriba de la Bocatoma del Municipio de Armenia hasta aguas arriba de la confluencia del río Navarco

Tramo RQ3-RQ4: desde aguas arriba de la confluencia del río Navarco hasta aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Cusumbo

Tramo RQ4-E0: desde aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Cusumbo hasta la aguas arriba de la captación de la PCH Campestre

Tramo E0-E2: desde aguas arriba de la captación de la PCH Campestre hasta aguas arriba de la captación de la PCH Bayona

Tramo E2-E3: desde aguas arriba de la captación de la PCH Bayona hasta aguas arriba de la captación de la PCH La Unión

Tramo E3-RQ5: desde aguas arriba de la captación de la PCH La Unión hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada La Florida

Tramo RQ5-E7: desde aguas arriba de la confluencia de la Quebrada La Florida hasta aguas arriba de la captación de la PCH El Bosque

Tramo E7-RQ6: desde aguas arriba de la captación de la PCH El Bosque hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada El Pescador

Tramo RQ6-RQ7: desde aguas arriba de la confluencia de la Quebrada El Pescador hasta aguas arriba de la confluencia del río Verde

Tramo RQ7-RQ8: desde aguas arriba de la confluencia del río Verde hasta aguas arriba de la confluencia con el río Barragán

Al analizar de manera agregada toda la unidad hidrográfica del río Quindío, se encontró que existe una presión muy alta de la demanda en los meses de Junio, Julio y Agosto, y alta el resto de meses del año en condición hidrológica neutra. La presión de la demanda es “muy alta” en la unidad hidrográfica hasta su confluencia con el río Navarco durante todos los meses del año (Tabla 163). Esta condición se hace más evidente en temporada de año hidrológico seco (Tabla 167).

Las unidades hidrográficas de los ríos Navarco y Santo Domingo presentan una presión de la demanda baja y muy baja tanto en condición hidrológica neutra (Tabla 163) como seca (Tabla 167).

La unidad hidrográfica del río verde (hasta su confluencia con el río Santo Domingo), presenta una moderada presión de la demanda sobre la oferta disponible y llega a ser alta en algunos meses en ambas condiciones hidrológicas (Tabla 163, Tabla 167), notándose un aumento en la ocurrencia de IUA altos en la condición hidrológica seca.

Con respecto a los tramos analizados sobre el cauce principal del río, se observa que los tramos más sensibles por alta presión de la demanda sobre el caudal disponible son RQ2-RQ3, E0-E2, E2-E3, E3-RQ5, E7-RQ6 (Tabla 164, Tabla 165). En estos tramos (excepto RQ2-RQ3) existe una presión de la demanda “muy alta” en todos los meses del año, los meses más críticos en el tramo RQ2-RQ3 son Marzo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre en condición hidrológica neutra (Tabla 165). Hacia los tramos finales (RQ6-RQ7 y RQ7-RQ8) la presión disminuye significativamente hasta niveles “muy bajo” y “bajo” respectivamente (Tabla 166).

En condición hidrológica seca se presenta una situación crítica de presión (muy alta) en los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre en el tramo RQ2-RQ3 (Tabla 168), lo cual configura una potencial situación de alta vulnerabilidad debido a que en este tramo se localiza una captación para uso doméstico (Bocatoma EPA).

En los tramos E0-E2, E2-E3, E3-RQ5, E7-RQ6 se mantiene una presión “muy alta” de la demanda en condición hidrológica seca (Tabla 169) y se intensifica debido al aumento del valor del índice de uso del agua. En los tramos RQ3-RQ4 y RQ4-E0, se presenta un déficit de agua, representado en que el caudal circulante por los tramos es inferior al caudal ambiental.

A pesar de que se presente la condición hidrológica seca, los tramos finales (RQ6-RQ7 y RQ7-RQ8) mantienen una presión moderada, baja y muy baja de la demanda sobre la oferta hídrica disponible (Tabla 170).

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca del Río Quindío	Demandas netas (m ³ /s)	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187
	Oferta total (m ³ /s)	16.074	14.268	15.099	17.097	16.928	13.725	10.196	8.573	9.878	15.013	20.776	20.045
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	11.090	9.026	10.181	11.699	11.646	9.845	7.164	5.259	4.937	9.763	14.339	14.106
	Caudal Disponible (m ³ /s)	4.984	5.242	4.918	5.399	5.282	3.880	3.032	3.313	4.941	5.250	6.437	5.939
	IUA (%)	43.89	41.73	44.48	40.52	41.41	56.37	72.15	66.02	44.27	41.67	33.98	36.83
Subcuenca río Quindío hasta su confl. Con río Navarco	Demandas netas (m ³ /s)	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790
	Oferta total (m ³ /s)	4.894	4.277	4.330	4.884	4.842	3.992	2.978	2.413	2.611	4.129	5.954	5.964
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.469	2.722	2.778	3.356	3.482	2.817	2.082	1.517	1.363	2.274	3.787	4.192
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.425	1.555	1.552	1.527	1.360	1.175	0.896	0.896	1.249	1.855	2.167	1.772
	IUA (%)	125.56	115.10	115.33	117.19	131.57	152.36	199.76	199.74	143.33	96.50	82.59	101.02
Río Navarco	Demandas netas (m ³ /s)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	Oferta total (m ³ /s)	2.732	2.449	2.499	2.808	2.775	2.264	1.694	1.416	1.604	2.521	3.560	3.394
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	1.787	1.428	1.571	1.889	1.889	1.509	1.149	0.833	0.788	1.505	2.170	2.274
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.945	1.022	0.928	0.919	0.885	0.755	0.545	0.583	0.816	1.016	1.390	1.119
	IUA (%)	0.24	0.22	0.24	0.24	0.25	0.30	0.41	0.38	0.27	0.22	0.16	0.20
Río Santo Domingo	Demandas netas (m ³ /s)	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
	Oferta total (m ³ /s)	3.238	2.882	3.178	3.600	3.577	2.905	2.165	1.837	2.131	3.153	4.236	4.044
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	2.019	1.791	2.085	2.265	2.313	1.933	1.365	1.004	0.956	1.982	2.875	2.681
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.219	1.091	1.093	1.335	1.263	0.972	0.800	0.833	1.176	1.171	1.361	1.363
	IUA (%)	4.91	5.49	5.48	4.49	4.74	6.16	7.49	7.19	5.09	5.11	4.40	4.39
Río Verde Hasta su Confl. Con Río Santo Domingo	Demandas netas (m ³ /s)	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149
	Oferta total (m ³ /s)	2.164	1.927	2.124	2.406	2.391	1.942	1.447	1.228	1.425	2.108	2.831	2.703
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	1.349	1.197	1.393	1.514	1.546	1.292	0.912	0.671	0.639	1.325	1.922	1.792
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.815	0.729	0.731	0.892	0.844	0.650	0.535	0.557	0.786	0.783	0.910	0.911
	IUA (%)	18.31	20.47	20.42	16.73	17.68	22.96	27.92	26.82	19.00	19.07	16.41	16.38

Tabla 163. Índice de uso del agua en la unidad hidrográfica del río Quindío y sus principales unidades hidrográficas afluentes en condición hidrológica neutra

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: Nacimiento a RQ1	Demandas netas (m ³ /s)	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
	Oferta total (m ³ /s)	2.477	2.149	2.205	2.507	2.524	2.130	1.690	1.399	1.429	2.121	2.952	2.977
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	1.254	0.967	1.093	1.275	1.352	1.143	0.927	0.727	0.626	0.860	1.386	1.488
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.223	1.183	1.112	1.232	1.172	0.986	0.763	0.672	0.803	1.261	1.566	1.490
	IUA (%)	16.56	17.13	18.22	16.44	17.28	20.54	26.56	30.14	25.24	16.06	12.94	13.60
Tramo: RQ1 a RQ2	Demandas netas (m ³ /s)	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081
	Oferta total (m ³ /s)	4.569	3.968	4.016	4.555	4.520	3.696	2.711	2.156	2.341	3.806	5.582	5.606
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	1.254	0.967	1.093	1.275	1.352	1.143	0.927	0.727	0.626	0.860	1.386	1.488
	Caudal Disponible (m ³ /s)	3.315	3.001	2.923	3.280	3.169	2.553	1.783	1.429	1.715	2.946	4.195	4.118
	IUA (%)	2.45	2.71	2.78	2.48	2.56	3.18	4.55	5.68	4.74	2.76	1.94	1.97
Tramo RQ2 a RQ3	Demandas netas (m ³ /s)	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508
	Oferta total (m ³ /s)	4.611	3.993	4.046	4.600	4.559	3.708	2.694	2.130	2.328	3.845	5.671	5.680
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	1.254	0.967	1.093	1.275	1.352	1.143	0.927	0.727	0.626	0.860	1.386	1.488
	Caudal Disponible (m ³ /s)	3.356	3.027	2.953	3.325	3.207	2.565	1.767	1.403	1.701	2.985	4.284	4.192
	IUA (%)	44.93	49.82	51.07	45.36	47.02	58.80	85.35	107.49	88.64	50.51	35.20	35.97
Tramo: RQ3 a RQ4	Demandas netas (m ³ /s)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
	Oferta total (m ³ /s)	5.983	5.065	5.175	6.058	5.975	4.577	2.957	2.105	2.511	5.013	7.942	7.760
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	5.193	4.164	4.360	5.142	5.375	4.302	3.234	2.322	2.123	3.739	6.128	6.416
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.790	0.901	0.815	0.916	0.600	0.275	0.000	0.000	0.388	1.274	1.814	1.344
	IUA (%)	0.61	0.54	0.59	0.53	0.80	1.76			1.24	0.38	0.27	0.36
Tramo: RQ4 a E0	Demandas netas (m ³ /s)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	Oferta total (m ³ /s)	6.567	5.586	5.717	6.672	6.567	5.035	3.272	2.375	2.857	5.575	8.758	8.527
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	5.193	4.164	4.360	5.142	5.375	4.302	3.234	2.322	2.123	3.739	6.128	6.416
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.374	1.421	1.357	1.530	1.192	0.733	0.037	0.053	0.734	1.836	2.630	2.111
	IUA (%)	0.31	0.30	0.32	0.28	0.36	0.59	11.59	8.11	0.59	0.24	0.16	0.20

Tabla 164. Índice de uso del agua en los tramos desde Nacimiento-RQ1 hasta RQ4-E0 en condición hidrológica neutra

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: E0 a E2	Demandas netas (m ³ /s)	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
	Oferta total (m ³ /s)	6.943	5.913	6.070	7.075	6.961	5.327	3.472	2.552	3.096	5.955	9.289	9.030
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	5.193	4.164	4.360	5.142	5.375	4.302	3.234	2.322	2.123	3.739	6.128	6.416
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.750	1.749	1.710	1.932	1.586	1.024	0.238	0.231	0.974	2.217	3.161	2.613
	IUA (%)	154.74	154.84	158.41	140.15	170.74	264.33	1139.97	1173.75	278.08	122.17	85.67	103.62
Tramo: E2 a E3	Demandas netas (m ³ /s)	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701
	Oferta total (m ³ /s)	7.007	5.968	6.127	7.141	7.029	5.378	3.506	2.736	3.135	6.014	9.374	9.115
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	5.193	4.164	4.360	5.142	5.375	4.302	3.234	2.322	2.123	3.739	6.128	6.416
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.813	1.803	1.767	1.999	1.654	1.076	0.272	0.415	1.013	2.275	3.246	2.699
	IUA (%)	148.96	149.80	152.87	135.14	163.28	250.99	993.23	651.47	266.74	118.72	83.22	100.08
Tramo: E3 a RQ5	Demandas netas (m ³ /s)	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853
	Oferta total (m ³ /s)	7.062	6.016	6.178	7.198	7.087	5.425	3.539	2.764	3.170	6.064	9.445	9.186
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	5.193	4.164	4.360	5.142	5.375	4.302	3.234	2.322	2.123	3.739	6.128	6.416
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.868	1.851	1.817	2.056	1.712	1.123	0.305	0.442	1.047	2.325	3.316	2.770
	IUA (%)	152.70	154.11	157.00	138.78	166.64	254.13	935.82	644.98	272.46	122.71	86.03	103.01
Tramo: RQ5 a E7	Demandas netas (m ³ /s)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Oferta total (m ³ /s)	7.164	6.106	6.314	7.387	7.250	5.482	3.554	2.876	3.259	6.264	9.720	9.389
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	5.193	4.164	4.360	5.142	5.375	4.302	3.234	2.322	2.123	3.739	6.128	6.416
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.971	1.941	1.954	2.245	1.876	1.180	0.320	0.555	1.137	2.525	3.592	2.973
	IUA (%)	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.10	0.37	0.22	0.11	0.05	0.03	0.04
Tramo: E7 a RQ6	Demandas netas (m ³ /s)	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
	Oferta total (m ³ /s)	7.218	6.154	6.365	7.441	7.304	5.530	3.592	2.909	3.295	6.309	9.780	9.451
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	5.193	4.164	4.360	5.142	5.375	4.302	3.234	2.322	2.123	3.739	6.128	6.416
	Caudal Disponible (m ³ /s)	2.024	1.989	2.004	2.298	1.930	1.227	0.358	0.587	1.173	2.570	3.652	3.035
	IUA (%)	172.92	175.94	174.64	152.28	181.38	285.19	978.65	596.28	298.44	136.17	95.84	115.33

Tabla 165. Índice de uso del agua en los tramos desde E0-E2 hasta E7-RQ6 en condición hidrológica neutra

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: RQ6 a RQ7	Demandas netas (m ³ /s)	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
	Oferta total (m ³ /s)	8.012	6.862	7.141	8.331	8.201	6.260	4.126	3.964	4.079	7.105	10.838	10.468
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	6.760	5.298	5.738	6.730	6.998	5.602	4.119	3.003	2.886	5.173	8.184	8.543
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.253	1.564	1.402	1.600	1.203	0.657	0.007	0.961	1.193	1.931	2.654	1.924
	IUA (%)	0.69	0.56	0.62	0.54	0.72	1.32	119.92	0.91	0.73	0.45	0.33	0.45
Tramo: RQ7 a RQ8	Demandas netas (m ³ /s)	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214
	Oferta total (m ³ /s)	14.101	12.295	13.126	15.124	14.955	11.753	8.223	7.436	8.110	13.040	18.803	18.072
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	11.296	9.116	10.316	11.792	11.840	10.018	7.262	5.328	4.992	9.849	14.509	14.385
	Caudal Disponible (m ³ /s)	2.804	3.179	2.810	3.332	3.114	1.735	0.960	2.108	3.118	3.191	4.294	3.688
	IUA (%)	7.65	6.75	7.63	6.44	6.89	12.36	22.33	10.17	6.88	6.72	4.99	5.82

Tabla 166. Índice de uso del agua en los tramos RQ6-RQ7 y RQ7-RQ8 en condición hidrológica neutra

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca del Río Quindío	Demandas netas (m ³ /s)	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187	2.187
	Oferta total (m ³ /s)	10.943	10.045	10.667	15.035	14.081	11.691	8.052	6.280	7.274	11.433	18.901	16.230
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	7.460	6.075	7.083	8.670	8.164	6.117	5.638	4.298	4.342	7.885	13.900	11.879
	Caudal Disponible (m ³ /s)	3.483	3.971	3.583	6.365	5.918	5.574	2.414	1.982	2.932	3.548	5.001	4.350
	IUA (%)	62.81	55.09	61.04	34.37	36.96	39.24	90.62	110.37	74.60	61.65	43.74	50.28
Subcuenca río Quindío hasta su confl. Con río Navarco	Demandas netas (m ³ /s)	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790	1.790
	Oferta total (m ³ /s)	3.565	3.238	3.234	4.403	4.141	3.550	2.378	1.736	1.796	3.080	5.482	5.087
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	2.504	2.105	2.210	2.716	2.389	1.712	1.714	1.221	1.161	2.090	4.109	3.985
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.061	1.132	1.024	1.686	1.752	1.838	0.664	0.514	0.635	0.990	1.373	1.102
	IUA (%)	168.70	158.05	174.72	106.13	102.18	97.36	269.71	348.04	281.85	180.73	130.33	162.47
Río Navarco	Demandas netas (m ³ /s)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	Oferta total (m ³ /s)	1.769	1.767	1.802	2.415	2.295	1.914	1.278	0.985	1.118	1.862	3.035	2.622
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	1.103	0.966	1.104	1.424	1.333	1.042	0.873	0.673	0.613	1.122	2.149	1.827
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.666	0.802	0.698	0.991	0.962	0.872	0.405	0.312	0.505	0.739	0.886	0.794
	IUA (%)	0.33	0.28	0.32	0.23	0.23	0.26	0.55	0.72	0.44	0.30	0.25	0.28
Río Santo Domingo	Demandas netas (m ³ /s)	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
	Oferta total (m ³ /s)	2.195	1.880	2.117	3.137	2.891	2.406	1.753	1.414	1.653	2.394	3.928	3.256
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	1.391	1.111	1.327	1.647	1.580	1.186	1.141	0.882	0.984	1.521	2.662	2.221
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.805	0.769	0.790	1.490	1.312	1.220	0.612	0.532	0.669	0.872	1.266	1.034
	IUA (%)	7.44	7.79	7.58	4.02	4.57	4.91	9.79	11.25	8.95	6.87	4.73	5.79
Río Verde Hasta su Confl. Con Río Santo Domingo	Demandas netas (m ³ /s)	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149
	Oferta total (m ³ /s)	1.467	1.257	1.415	2.097	1.933	1.609	1.171	0.945	1.105	1.600	2.626	2.176
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	0.930	0.743	0.887	1.101	1.056	0.793	0.762	0.589	0.658	1.017	1.779	1.485
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.538	0.514	0.528	0.996	0.877	0.816	0.409	0.356	0.447	0.583	0.847	0.691
	IUA (%)	27.76	29.04	28.26	14.99	17.02	18.30	36.50	41.96	33.39	25.61	17.63	21.59

Tabla 167. Índice de uso del agua en la unidad hidrográfica del río Quindío y sus principales unidades hidrográficas afluentes en condición hidrológica seca

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: Nacimiento a RQ1	Demandas netas (m ³ /s)	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
	Oferta total (m ³ /s)	1.867	1.645	1.633	2.246	2.078	1.872	1.422	1.064	1.032	1.599	2.735	2.565
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	0.990	0.778	0.756	0.896	0.915	0.699	0.772	0.614	0.548	0.860	1.386	1.404
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.877	0.868	0.877	1.351	1.162	1.173	0.650	0.450	0.484	0.739	1.349	1.162
	IUA (%)	23.09	23.35	23.11	15.00	17.43	17.28	31.18	44.98	41.82	27.42	15.02	17.44
Tramo: RQ1 a RQ2	Demandas netas (m ³ /s)	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081
	Oferta total (m ³ /s)	3.277	2.953	2.948	4.083	3.828	3.263	2.126	1.495	1.546	2.786	5.123	4.751
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	0.990	0.778	0.756	0.896	0.915	0.699	0.772	0.614	0.548	0.860	1.386	1.404
	Caudal Disponible (m ³ /s)	2.287	2.175	2.192	3.187	2.913	2.564	1.355	0.881	0.998	1.926	3.737	3.347
	IUA (%)	3.55	3.73	3.71	2.55	2.79	3.17	6.00	9.21	8.14	4.22	2.17	2.43
Tramo RQ2 a RQ3	Demandas netas (m ³ /s)	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508
	Oferta total (m ³ /s)	3.282	2.954	2.950	4.119	3.857	3.266	2.094	1.452	1.512	2.796	5.199	4.803
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	0.990	0.778	0.756	0.896	0.915	0.699	0.772	0.614	0.548	0.860	1.386	1.404
	Caudal Disponible (m ³ /s)	2.292	2.176	2.194	3.223	2.942	2.567	1.322	0.838	0.964	1.936	3.812	3.399
	IUA (%)	65.81	69.29	68.73	46.79	51.26	58.74	114.05	179.93	156.39	77.88	39.56	44.36
Tramo: RQ3 a RQ4	Demandas netas (m ³ /s)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
	Oferta total (m ³ /s)	3.637	3.313	3.346	5.171	4.780	3.775	1.919	1.029	1.183	3.269	6.924	6.077
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.565	3.011	3.277	3.954	3.567	2.814	2.558	1.877	1.715	3.174	6.128	5.784
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.072	0.302	0.069	1.217	1.213	0.961	0.000	0.000	0.000	0.095	0.796	0.293
	IUA (%)	6.66	1.60	7.00	0.40	0.40	0.50	Def	Def	Def	5.05	0.61	1.65
Tramo: RQ4 a E0	Demandas netas (m ³ /s)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	Oferta total (m ³ /s)	4.006	3.692	3.744	5.714	5.284	4.181	2.146	1.207	1.420	3.713	7.670	6.680
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.565	3.011	3.277	3.954	3.567	2.814	2.558	1.877	1.715	3.174	6.128	5.784
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.441	0.681	0.467	1.760	1.717	1.367	0.000	0.000	0.000	0.540	1.542	0.896
	IUA (%)	0.98	0.63	0.92	0.25	0.25	0.32	Def	Def	Def	0.80	0.28	0.48

Tabla 168. Índice de uso del agua en los tramos desde Nacimiento-RQ1 hasta RQ4-E0 en condición hidrológica seca

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: E0 a E2	Demandas netas (m ³ /s)	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
	Oferta total (m ³ /s)	4.225	3.920	3.986	6.057	5.613	4.422	2.290	1.314	1.586	4.020	8.145	7.056
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.565	3.011	3.277	3.954	3.567	2.814	2.558	1.877	1.715	3.174	6.128	5.784
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.660	0.909	0.709	2.104	2.047	1.609	0.000	0.000	0.000	0.846	2.017	1.272
	IUA (%)	410.15	297.92	381.86	128.73	132.32	168.32	Def	Def	Def	319.95	134.28	212.94
Tramo: E2 a E3	Demandas netas (m ³ /s)	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701
	Oferta total (m ³ /s)	4.260	3.954	4.022	6.111	5.668	4.464	2.732	2.724	2.734	4.068	8.222	7.119
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.565	3.011	3.277	3.954	3.567	2.814	2.558	1.877	1.715	3.174	6.128	5.784
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.695	0.943	0.745	2.158	2.101	1.650	0.174	0.847	1.019	0.895	2.094	1.335
	IUA (%)	388.43	286.37	362.64	125.19	128.53	163.68	1552.88	318.88	265.06	301.89	128.97	202.36
Tramo: E3 a RQ5	Demandas netas (m ³ /s)	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853
	Oferta total (m ³ /s)	4.296	3.987	4.056	6.159	5.715	4.502	2.757	2.743	2.758	4.108	8.288	7.175
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.565	3.011	3.277	3.954	3.567	2.814	2.558	1.877	1.715	3.174	6.128	5.784
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.731	0.977	0.779	2.205	2.148	1.689	0.199	0.866	1.044	0.935	2.160	1.390
	IUA (%)	390.19	292.17	366.34	129.38	132.82	168.96	1435.36	329.34	273.39	305.24	132.08	205.19
Tramo: RQ5 a E7	Demandas netas (m ³ /s)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Oferta total (m ³ /s)	4.281	4.010	4.113	6.310	5.842	4.503	2.829	2.813	2.896	4.266	8.506	7.285
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.565	3.011	3.277	3.954	3.567	2.814	2.558	1.877	1.715	3.174	6.128	5.784
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.716	1.000	0.836	2.356	2.275	1.689	0.271	0.936	1.182	1.092	2.378	1.501
	IUA (%)	0.17	0.12	0.14	0.05	0.05	0.07	0.44	0.13	0.10	0.11	0.05	0.08
Tramo: E7 a RQ6	Demandas netas (m ³ /s)	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
	Oferta total (m ³ /s)	4.319	4.045	4.148	6.353	5.884	4.541	2.861	2.838	2.925	4.303	8.561	7.335
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	3.565	3.011	3.277	3.954	3.567	2.814	2.558	1.877	1.715	3.174	6.128	5.784
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.754	1.034	0.871	2.399	2.318	1.727	0.303	0.961	1.210	1.130	2.433	1.551
	IUA (%)	464.17	338.37	401.73	145.89	151.02	202.66	1157.04	364.14	289.23	309.85	143.84	225.68

Tabla 169. Índice de uso del agua en los tramos desde E0-E2 hasta E7-RQ6 en condición hidrológica seca

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: RQ6 a RQ7	Demandas netas (m ³ /s)	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
	Oferta total (m ³ /s)	4.843	4.524	4.694	7.130	6.641	5.154	3.918	3.843	3.955	4.945	9.538	8.138
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	4.462	3.795	4.391	5.134	4.873	3.652	3.279	2.411	2.382	4.262	8.184	7.469
	Caudal Disponible (m ³ /s)	0.381	0.729	0.303	1.996	1.768	1.502	0.639	1.431	1.573	0.683	1.355	0.669
	IUA (%)	2.28	1.19	2.88	0.44	0.49	0.58	1.36	0.61	0.55	1.27	0.64	1.30
Tramo: RQ7 a RQ8	Demandas netas (m ³ /s)	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214
	Oferta total (m ³ /s)	8.970	8.073	8.694	13.062	12.109	9.718	7.232	6.528	7.094	9.460	16.928	14.257
	Caudal Ambiental (m ³ /s)	7.596	6.165	7.188	8.811	8.208	6.187	5.700	4.354	4.406	7.963	14.169	12.135
	Caudal Disponible (m ³ /s)	1.374	1.908	1.506	4.251	3.900	3.531	1.533	2.174	2.688	1.498	2.760	2.122
	IUA (%)	15.61	11.24	14.25	5.05	5.50	6.07	14.00	9.87	7.98	14.32	7.77	10.11

Tabla 170. Índice de uso del agua en los tramos RQ6-RQ7 y RQ7-RQ8 en condición hidrológica seca

103 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA

El índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) busca expresar la susceptibilidad del sistema de recursos hídricos para garantizar una oferta para los diferentes usos involucrando el efecto de la distribución de caudales diarios teniendo en cuenta en su cálculo el índice de retención y regulación hídrica (IRH), el cual es una medida indirecta de la frecuencia diaria de la ocurrencia del caudal medio (en este caso caudal medio mensual).

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 relación se presenta a continuación (IDEAM, 2010):

Índice de uso del agua	Índice de regulación	Categoría de Vulnerabilidad	Cód
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

Las unidades hidrográficas de los ríos Navarco y Santo Domingo tienen media, baja y muy baja vulnerabilidad frente al desabastecimiento para garantizar el suministro de caudal a las demandas netas en ambas condiciones hidrológicas (Tabla 171, Tabla 174). Mientras que la unidad hidrográfica del río Quindío hasta la confluencia del río Navarco presenta una vulnerabilidad alta gran parte del año en las dos condiciones hidrológicas (Tabla 171, Tabla 174). Al observar el índice para toda la unidad hidrográfica del río Quindío de manera agregada, se encontró que de enero a septiembre se presenta un alto riesgo de desabastecimiento en ambas condiciones hidrológicas.

Bajo una condición hidrológica neutra, el tramo RQ2-RQ3 presenta alto grado de vulnerabilidad hídrica en los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto y septiembre (Tabla 172). En estas mismas condiciones, los tramos E0-E2, E2-E3, E3-RQ5, y E7-RQ6 poseen alta vulnerabilidad durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto y septiembre (Tabla 172, Tabla 173).

En los periodos de años secos, la alta vulnerabilidad al desabastecimiento en el tramo RQ2-RQ3 se presenta en los meses de febrero a septiembre (Tabla 175). En los tramos E0-E2, E2-E3, E3-RQ5, y E7-RQ6 la alta susceptibilidad al desabastecimiento ocurre en los meses de febrero a octubre, debido principalmente a la reducción en el valor del índice de retención y regulación hídrica (Tabla 175, Tabla 176).

En los tramos RQ5-E7, RQ6-RQ7, y RQ7-RQ8 tanto en condiciones medias de humedad como en condiciones de sequía la vulnerabilidad al desabastecimiento tiende a ser media, baja y muy baja (Tabla 173, Tabla 176).

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca del Río Quindío	IUA	43.89	41.73	44.48	40.52	41.41	56.37	72.15	66.02	44.27	41.67	33.98	36.83
	IRH	0.75	0.71	0.71	0.73	0.71	0.70	0.71	0.68	0.67	0.77	0.81	0.78
	IV	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Subcuenca río Quindío hasta su confl. Con río Navarco	IUA	125.56	115.10	115.33	117.19	131.57	152.36	199.76	199.74	143.33	96.50	82.59	101.02
	IRH	0.73	0.69	0.73	0.73	0.76	0.71	0.72	0.70	0.66	0.75	0.83	0.78
	IV	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3
Río Navarco	IUA	0.24	0.22	0.24	0.24	0.25	0.30	0.41	0.38	0.27	0.22	0.16	0.20
	IRH	0.73	0.69	0.73	0.73	0.76	0.71	0.72	0.70	0.66	0.75	0.83	0.78
	IV	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1
Río Santo Domingo	IUA	4.91	5.49	5.48	4.49	4.74	6.16	7.49	7.19	5.09	5.11	4.40	4.39
	IRH	0.76	0.72	0.74	0.73	0.74	0.66	0.70	0.64	0.65	0.73	0.80	0.77
	IV	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Río Verde Hasta su Confl. Con Río Santo Domingo	IUA	18.31	20.47	20.42	16.73	17.68	22.96	27.92	26.82	19.00	19.07	16.41	16.38
	IRH	0.76	0.72	0.72	0.74	0.73	0.70	0.70	0.64	0.65	0.75	0.80	0.80
	IV	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3

Tabla 171. Índice de Vulnerabilidad Hídrica en la unidad hidrográfica del río Quindío y sus principales unidades hidrográficas en condición hidrológica neutra

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: Nacimiento a RQ1	IUA	16.56	17.13	18.22	16.44	17.28	20.54	26.56	30.14	25.24	16.06	12.94	13.60
	IRH	0.72	0.72	0.72	0.70	0.75	0.70	0.73	0.73	0.65	0.72	0.81	0.73
	IV	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3
Tramo: RQ1 a RQ2	IUA	2.45	2.71	2.78	2.48	2.56	3.18	4.55	5.68	4.74	2.76	1.94	1.97
	IRH	0.73	0.69	0.73	0.73	0.76	0.71	0.72	0.71	0.66	0.75	0.83	0.78
	IV	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tramo RQ2 a RQ3	IUA	44.93	49.82	51.07	45.36	47.02	58.80	85.35	107.49	88.64	50.51	35.20	35.97
	IRH	0.73	0.69	0.73	0.73	0.76	0.71	0.72	0.70	0.66	0.75	0.83	0.78
	IV	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3
Tramo: RQ3 a RQ4	IUA	0.61	0.54	0.59	0.53	0.80	1.76	100.00	100.00	1.24	0.38	0.27	0.36
	IRH	0.71	0.69	0.72	0.73	0.76	0.70	0.72	0.70	0.66	0.76	0.82	0.78
	IV	2	2	2	2	1	2	4	4	2	1	1	1
Tramo: RQ4 a E0	IUA	0.31	0.30	0.32	0.28	0.36	0.59	11.59	8.11	0.59	0.24	0.16	0.20
	IRH	0.71	0.68	0.72	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.66	0.76	0.82	0.78
	IV	2	2	2	2	1	2	3	2	2	1	1	1
Tramo: E0 a E2	IUA	154.74	154.84	158.41	140.15	170.74	264.33	1139.97	1173.75	278.08	122.17	85.67	103.62
	IRH	0.71	0.68	0.72	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.76	0.82	0.79
	IV	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3

Tabla 172. Índice de Vulnerabilidad Hídrica en los tramos desde Nacimiento-RQ1 hasta E0-E2 en condición hidrológica neutra

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: E2 a E3	IUA	148.96	149.80	152.87	135.14	163.28	250.99	993.23	651.47	266.74	118.72	83.22	100.08
	IRH	0.72	0.68	0.72	0.74	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.76	0.82	0.79
	IV	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3
Tramo: E3 a RQ5	IUA	152.70	154.11	157.00	138.78	166.64	254.13	935.82	644.98	272.46	122.71	86.03	103.01
	IRH	0.72	0.68	0.72	0.74	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.77	0.81	0.79
	IV	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3
Tramo: RQ5 a E7	IUA	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.10	0.37	0.22	0.11	0.05	0.03	0.04
	IRH	0.71	0.68	0.72	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.77	0.81	0.78
	IV	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1
Tramo: E7 a RQ6	IUA	172.92	175.94	174.64	152.28	181.38	285.19	978.65	596.28	298.44	136.17	95.84	115.33
	IRH	0.71	0.68	0.71	0.73	0.75	0.70	0.71	0.70	0.67	0.76	0.81	0.79
	IV	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Tramo: RQ6 a RQ7	IUA	0.69	0.56	0.62	0.54	0.72	1.32	119.92	0.91	0.73	0.45	0.33	0.45
	IRH	0.73	0.68	0.70	0.73	0.74	0.71	0.71	0.70	0.67	0.77	0.81	0.79
	IV	2	2	2	2	2	2	4	2	2	1	1	1
Tramo: RQ7 a RQ8	IUA	7.65	6.75	7.63	6.44	6.89	12.36	22.33	10.17	6.88	6.72	4.99	5.82
	IRH	0.75	0.71	0.71	0.73	0.71	0.70	0.71	0.68	0.67	0.77	0.81	0.78
	IV	2	2	2	2	2	3	4	3	2	2	2	2

Tabla 173. Índice de Vulnerabilidad Hídrica en los tramos desde E2-E3 hasta RQ7-RQ8 en condición hidrológica neutra

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca del Río Quindío	IUA	62.81	55.09	61.04	34.37	36.96	39.24	90.62	110.37	74.60	61.65	43.74	50.28
	IRH	0.74	0.69	0.72	0.66	0.70	0.66	0.79	0.69	0.66	0.77	0.83	0.79
	IV	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Subcuenca río Quindío hasta su confl. Con río Navarco	IUA	168.70	158.05	174.72	106.13	102.18	97.36	269.71	348.04	281.85	180.73	130.33	162.47
	IRH	0.79	0.68	0.72	0.69	0.74	0.68	0.79	0.68	0.65	0.76	0.83	0.83
	IV	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3
Río Navarco	IUA	0.33	0.28	0.32	0.23	0.23	0.26	0.55	0.72	0.44	0.30	0.25	0.28
	IRH	0.73	0.66	0.70	0.66	0.70	0.65	0.78	0.68	0.64	0.74	0.82	0.77
	IV	2	2	2	2	2	3	1	2	3	2	1	1
Río Santo Domingo	IUA	7.44	7.79	7.58	4.02	4.57	4.91	9.79	11.25	8.95	6.87	4.73	5.79
	IRH	0.71	0.69	0.69	0.65	0.68	0.63	0.77	0.68	0.67	0.78	0.81	0.75
	IV	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2
Río Verde Hasta su Confl. Con Río Santo Domingo	IUA	27.76	29.04	28.26	14.99	17.02	18.30	36.50	41.96	33.39	25.61	17.63	21.59
	IRH	0.74	0.68	0.71	0.65	0.66	0.64	0.76	0.64	0.66	0.82	0.78	0.80
	IV	4	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3

Tabla 174. Índice de Vulnerabilidad Hídrica en la unidad hidrográfica del río Quindío y sus principales unidades hidrográficas aportantes en condición hidrológica seca

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: Nacimiento a RQ1	IUA	23.09	23.35	23.11	15.00	17.43	17.28	31.18	44.98	41.82	27.42	15.02	17.44
	IRH	0.73	0.65	0.69	0.65	0.73	0.69	0.79	0.71	0.67	0.74	0.81	0.79
	IV	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3
Tramo: RQ1 a RQ2	IUA	3.55	3.73	3.71	2.55	2.79	3.17	6.00	9.21	8.14	4.22	2.17	2.43
	IRH	0.79	0.68	0.71	0.69	0.74	0.68	0.79	0.68	0.66	0.76	0.84	0.83
	IV	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tramo RQ2 a RQ3	IUA	65.81	69.29	68.73	46.79	51.26	58.74	114.05	179.93	156.39	77.88	39.56	44.36
	IRH	0.79	0.68	0.72	0.69	0.74	0.68	0.79	0.68	0.65	0.76	0.83	0.83
	IV	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Tramo: RQ3 a RQ4	IUA	6.66	1.60	7.00	0.40	0.40	0.50	100.00	100.00	100.00	5.05	0.61	1.65
	IRH	0.77	0.69	0.71	0.67	0.73	0.68	0.78	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
	IV	2	2	2	2	2	2	3	4	4	2	1	2
Tramo: RQ4 a E0	IUA	0.98	0.63	0.92	0.25	0.25	0.32	100.00	100.00	100.00	0.80	0.28	0.48
	IRH	0.77	0.68	0.72	0.67	0.74	0.67	0.79	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
	IV	1	2	2	2	2	2	3	4	4	2	1	1
Tramo: E0 a E2	IUA	410.15	297.92	381.86	128.73	132.32	168.32	100.00	100.00	100.00	319.95	134.28	212.94
	IRH	0.77	0.69	0.72	0.67	0.73	0.67	0.78	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
	IV	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3

Tabla 175. Índice de Vulnerabilidad Hídrica en los tramos desde Nacimiento-RQ1 hasta E0-E2 en condición hidrológica seca

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo: E2 a E3	IUA	388.43	286.37	362.64	125.19	128.53	163.68	1552.88	318.88	265.06	301.89	128.97	202.36
	IRH	0.77	0.69	0.72	0.67	0.73	0.67	0.78	0.68	0.65	0.75	0.83	0.82
	IV	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Tramo: E3 a RQ5	IUA	390.19	292.17	366.34	129.38	132.82	168.96	1435.36	329.34	273.39	305.24	132.08	205.19
	IRH	0.77	0.69	0.72	0.67	0.73	0.67	0.78	0.68	0.66	0.75	0.83	0.82
	IV	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Tramo: RQ5 a E7	IUA	0.17	0.12	0.14	0.05	0.05	0.07	0.44	0.13	0.10	0.11	0.05	0.08
	IRH	0.77	0.68	0.72	0.67	0.73	0.67	0.78	0.68	0.66	0.74	0.82	0.82
	IV	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1
Tramo: E7 a RQ6	IUA	464.17	338.37	401.73	145.89	151.02	202.66	1157.04	364.14	289.23	309.85	143.84	225.68
	IRH	0.77	0.68	0.72	0.67	0.73	0.67	0.78	0.68	0.66	0.74	0.83	0.82
	IV	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Tramo: RQ6 a RQ7	IUA	2.28	1.19	2.88	0.44	0.49	0.58	1.36	0.61	0.55	1.27	0.64	1.30
	IRH	0.77	0.68	0.72	0.68	0.73	0.67	0.79	0.69	0.65	0.75	0.83	0.82
	IV	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
Tramo: RQ7 a RQ8	IUA	15.61	11.24	14.25	5.05	5.50	6.07	14.00	9.87	7.98	14.32	7.77	10.11
	IRH	0.74	0.69	0.72	0.66	0.70	0.66	0.79	0.69	0.66	0.77	0.83	0.79
	IV	3	3	3	2	2	2	3	2	2	3	2	3

Tabla 176. Índice de Vulnerabilidad Hídrica en los tramos desde E2-E3 hasta RQ7-RQ8 en condición hidrológica seca

11 RIESGOS ASOCIADOS A LA REDUCCIÓN DE OFERTA DEL RECURSO HÍDRICO

11.1 RIESGO ASOCIADO A LA REDUCCIÓN DE LA OFERTA

El riesgo es producto de la interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad. En términos estrictos, el concepto de riesgo implica considerar una probabilidad de ocurrencia de daños asociada a la relación funcional entre la susceptibilidad de los elementos expuestos y la magnitud (y energía) del fenómeno que potencialmente podría generar los referidos daños.

En el caso de la oferta, la amenaza de reducción de la oferta se ha valorado en función del índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento (Tabla 177) en condición hidrológica neutra y seca.

IVH	Grado de Amenaza
Muy bajo	Baja
Bajo	Baja
Medio	Media
Alto	Alta
Muy alto	Alta

Tabla 177. Matriz de Evaluación de la Amenaza a la reducción de la Oferta Hídrica

La vulnerabilidad se evaluó asumiendo que las captaciones para abastecimiento doméstico son las más susceptibles a se afectadas por una potencial reducción de la oferta, en segundo lugar el uso agrícola y piscícola, y el nivel más bajo de susceptibilidad para el resto de usos (Tabla 178).

Tipo de Uso	Grado de Vulnerabilidad
Doméstico	Alta
Agrícola y/o Piscícola	Media
Otros tipos de uso	Baja

Tabla 178. Matriz de Evaluación de la Vulnerabilidad del Sistema de Recursos Hídricos a la Reducción de la Oferta Hídrica

El riesgo se evaluó como 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, y el riesgo medio se consideró en casos cuya vulnerabilidad y amenaza son medias o alguna de las dos media y la otra baja (Tabla 179).

Vulnerabilidad \ Amenaza	Alta	Media	Baja
	Alta	Alto	Alto
Media	Alto	Medio	Bajo
Baja	Medio	Bajo	Bajo

Tabla 179. Niveles de Riesgo del Sistema de Recursos Hídricos a la Reducción de la Oferta Hídrica

La mayoría de los tramos tiene concesionado caudal destinado para uso doméstico, o un uso mixto incluyendo el doméstico, por lo que la vulnerabilidad se considera alta en esos tramos en ambas condiciones hidrológicas (Tabla 180 y Tabla 181). En cuanto a la amenaza por una reducción en la oferta hídrica, los tramos más sensibles son RQ2-RQ3, E0-E2, E2-E3, E3-E5, y E7-RQ6, ya que en las dos condiciones hidrológicas en todos los meses se presenta una amenaza alta o media (Tabla 180 y Tabla 181).

Tramo	Vulnerabilidad	Amenaza (CH Neutra)											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RQ1 a RQ2	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
RQ2 a RQ3	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media	Media
RQ3 a RQ4	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja
RQ4 a E0	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
E0 a E2	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
E2 a E3	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
E3 a RQ5	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
RQ5 a E7	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
E7 a RQ6	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
RQ6 a RQ7	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja
RQ7 a RQ8	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

Tabla 180. Amenaza y Vulnerabilidad de Reducción de la Oferta Hídrica en Condición Hidrológica Neutra

El análisis de riesgo evidencia que la parte alta y media de la unidad hidrográfica presenta un alto potencial a sufrir crisis de desabastecimiento del recurso hídrico, ya que desde el tramo RQ1-RQ2 (sector de “El Escobal” en el municipio de Salento) hasta E3-RQ5, el riesgo por reducción de la oferta es “Alto” o “Medio” indistintamente de que la condición hidrológica sea neutra o seca (Tabla 182 y Tabla 183). Los tramos más críticos con relación a este riesgo son RQ2-RQ3, E0-E2, E2-E3, y E3-RQ5, los cuales tienen un riesgo alto por reducción de la oferta en todos los meses del año.

Tramo	Vulnerabilidad	Amenaza (CH Seca)											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RQ1 a RQ2	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
RQ2 a RQ3	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Media	Media	Media
RQ3 a RQ4	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja
RQ4 a E0	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja
E0 a E2	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Media	Media
E2 a E3	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Alta	Media	Media	Media
E3 a RQ5	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Media	Media
RQ5 a E7	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
E7 a RQ6	Baja	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Media	Media
RQ6 a RQ7	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
RQ7 a RQ8	Baja	Media	Media	Media	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja	Media	Baja	Media

Tabla 181. Amenaza y Vulnerabilidad de Reducción de la Oferta Hídrica en Condición Hidrológica Seca

Tramo	Riesgo (CH Neutra)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RQ1 a RQ2	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
RQ2 a RQ3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
RQ3 a RQ4	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
RQ4 a E0	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio
E0 a E2	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
E2 a E3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
E3 a RQ5	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
RQ5 a E7	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
E7 a RQ6	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Bajo
RQ6 a RQ7	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio
RQ7 a RQ8	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Tabla 182. Riesgo de Reducción de la Oferta Hídrica en Condición Hidrológica Neutra

Tramo	Riesgo (CH Seca)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RQ1 a RQ2	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
RQ2 a RQ3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
RQ3 a RQ4	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
RQ4 a E0	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
E0 a E2	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
E2 a E3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
E3 a RQ5	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
RQ5 a E7	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
E7 a RQ6	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo	Bajo
RQ6 a RQ7	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
RQ7 a RQ8	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Tabla 183. Riesgo de Reducción de la Oferta Hídrica en Condición Hidrológica Seca

12 FASE DE PROSPECTIVA

En el contexto del PORH, la prospectiva parte del postulado que los actores que intervienen un territorio solamente pueden transformar el futuro del mismo, por lo que mediante el uso de técnicas y métodos de ingeniería y participativos en el contexto social se construyen anticipadamente futuros posibles del estado de calidad del cuerpo de agua en ordenamiento. A continuación se presentan los resultados de los talleres prospectivos, la formulación de escenarios de calidad del agua y los resultados de la implementación del modelo de calidad del agua del río Quindío, desde el sitio conocido como El Escobal, hasta aguas arriba de su confluencia con el río Barragán.

12.1 TALLERES DE PROSPECTIVA

De acuerdo al Decreto 3930 de 2010, la fase de prospectiva permite identificar los usos potenciales del recurso hídrico en el río Quindío, 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 mismo que tiene la sociedad sobre el recurso natural. Como resultado se podrán establecer que corrientes podrán o no recibir vertimientos, se definirán objetivos de calidad para lograr los usos deseados en conformidad con las medidas de control sobre el recurso hídrico, límites a las descargas de aguas residuales, entre otros.

12.1.1 Metodología

Se desarrollaron dos talleres de prospectiva, uno en el municipio de Salento y otro en el municipio de Armenia. En cada uno de ellos se presentaron los principales resultados y conclusiones identificados en la fase de diagnóstico en relación con la oferta y demanda de agua, caudal ambiental, y calidad del agua, enfatizando en las problemáticas asociadas al recurso hídrico en el río Quindío.

En cada taller implementaron mesas de trabajo de los actores participantes en grupos de hasta 8 integrantes con el fin de definir los usos potenciales del recurso hídrico por tramos, así como la identificación de acciones necesarias para poder alcanzar dichos usos potenciales.

La determinación de los usos potenciales del recurso hídrico en el marco del plan de ordenamiento del recurso hídrico de la unidad hidrográfica del río Quindío se realiza en el cauce principal, tomando como frontera agua arriba el punto de monitoreo conocido como “El Escobal” y localizado en el municipio de Salento, y frontera aguas abajo el punto ubicado antes de la confluencia del río Quindío con el río Barragán.

Para el caso de la identificación de dichos usos en el marco de los talleres realizados, se han tomado los cuatro tramos del río Quindío considerados para determinar su caudal ambiental (Figura 155), en los que se han considerado los cambios de régimen hidrológico, aspectos de presión sobre el uso y calidad del recurso hídrico, y diferencias en la composición, estructura y función de los ecosistemas acuáticos a lo largo del eje longitudinal del río. Sobre cada uno de estos tramos, los miembros de las mesas de trabajo concertaron y propusieron los usos potenciales del agua según sus criterios, así como la identificación de las acciones necesarias para lograr alcanzarlos. Dichos tramos son los siguientes:

Tramo 1 (CA 1): Definido ente el punto “El Escobal” hasta aguas arriba de la confluencia del río Navarco.

Tramo 2 (CA 2): Definido entre aguas debajo de la confluencia del río Navarco y aguas arriba de la quebrada El Pescador.

Tramo 3 (CA 3): Definido ente aguas debajo de la confluencia de la quebrada El Pescador y aguas arriba de la confluencia del río Verde.

Tramo 4 (CA 4): Definido entre aguas debajo de la confluencia del río Verde y aguas arriba de la confluencia con el río Barragán.

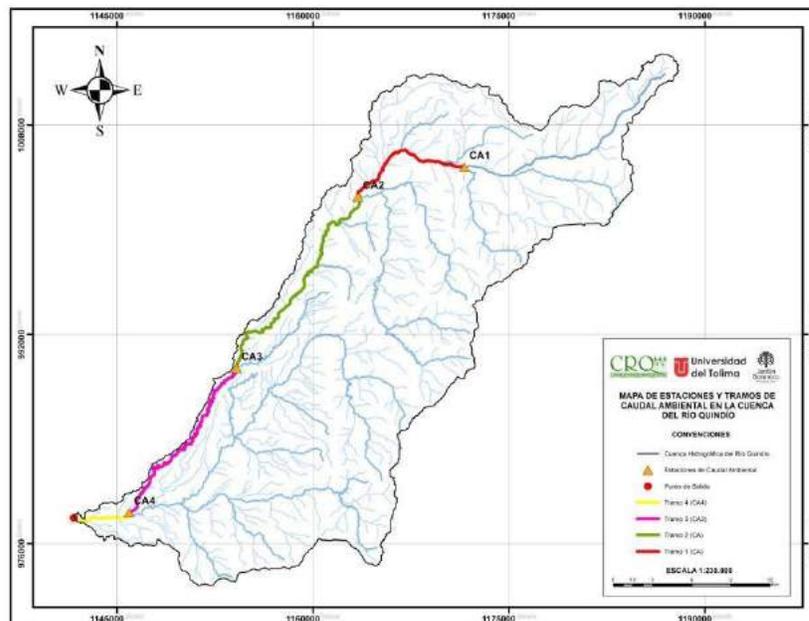


Figura 155 Tramos definidos para los talleres

Las categorías de uso potencial utilizadas en los talleres se presentan a continuación (decreto 3930 de 2010):

- **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.

En cada mesa de trabajo, los participantes construyeron una matriz de dos dimensiones en la que plantearon de manera concertada los usos potenciales, su justificación y las acciones necesarias para alcanzar dichos usos en cada tramo.

12.1.2 Resultados de los talleres

12.1.2.1 Taller Prospectivo Municipio de Salento

TRAMO 1		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
Consumo Humano	Mesa 1:	Mesa 1:

TRAMO 1		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
	<p>Porque es un agua de buena calidad Salento, armenia Circasia y Tebaida, y población rural circundante.</p> <p>Mesa 2: Inherente a la población actual, Realidad que no cambiara en el tiempo. Riqueza por Cta. Poblacional.</p> <p>Mesa 3: Comunidades asentadas. Viviendas tradicionales. Establecimientos comerciales.</p>	<p>Reparación de manantiales, afluentes y en general fuentes hídricos (descontaminación). Restringir la aplicación de agroquímicos, liberación de espacios o áreas (adquisición estatal de tierras), implementar programas de pastoreo amables al medio ambiente.</p> <p>Mesa 2: Instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales acorde a los usuarios. Conservación de Recursos Naturales actuales. Implementación de proyectos silvopastoril. Aislamiento de cuerpos de agua.</p> <p>Mesa 3: Mantener las actividades económicas. Lineación y regulación de la construcción en cercanías al río.</p>
Preservación de flora y fauna	<p>Mesa 1: Por la presencia de especies de flora y fauna que cumplen una función importante para los ecosistemas en general.</p> <p>Mesa 2: Conservación de áreas de protección y sostenimiento de áreas de amortiguamiento. De Parque Nacional Natural Adaptación al cambio climático.</p> <p>Mesa 3: Garantizar humedales Paramos Parques Naturales.</p>	<p>Mesa 1: Reparación y restauración de áreas de importancia ecológica. Apoyar e incentivar las áreas protegidas (sociedad civil). Fortalecer los procesos de formación, organización comunitaria para defender territorio.</p> <p>Mesa 2: Realización de estudios de fauna y flora en Salento. Campañas de educación ambiental. Pago a particulares por áreas de protección.</p> <p>Mesa 3: Vigilancia constante – control y vigilancia. Regular ganadería, turismo y agricultura regulada.</p>
Pesca Piscicultura artesanal	<p>Mesa 1: El aprovechamiento del recurso para la alimentación familiar: Aprovechamiento del recurso para la alimentación familiar.</p>	<p>Mesa 1: Capacitación a campesinos y propietarios.</p>

TRAMO 1			
Tipo de Potencial	Uso	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
Agrícola Pecuario	y	Mesa 1: Para riego de cultivos y potreros. Mesa 2: Sostenibilidad alimentaria. Alternativa económica Mesa 3: Actividad económica de Salento. Afectación mínima del recurso. Cuidado por especie invasora.	Mesa 1 : Prohibir las actividades que atentan contra el entorno y el medio ambiente. Mesa 2: Uso de buenas prácticas de manejo pecuario. Uso de captación de aguas lluvias. Mesa 3: Garantiza la calidad del recurso. Mantenerlo y regularlo periódicamente. Medición antes y después.
Estético		Mesa 2: Realidad del uso del paisaje. Turismo Alternativa económica. Mesa 3: Ecoturismo de forma sostenible.	Mesa 2: IDEM uso doméstico. Identificar y respetar capacidad carga turística. Realización de senderos ecológicos. Mesa 3: Conservar y regular siembra y manejo de la palma de cera.

TRAMO DOS			
Tipo de Potencial	Uso	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
Consumo Humano		Mesa 3: Uso por Turismo Regular la expansión urbana	Mesa 3: Regulación y vigilancia Manejo sostenible del recurso en Armenia. Regular cuencas para la región
Preservación de flora y fauna			
Pesca		Mesa 2: IDEM Mesa 3: Reserva regulación recreativa.	Mesa 2: IDEM Mesa 3 Manejo regulado.
Agrícola Pecuario	y	Mesa 2: Alternativa económica. Seguridad Alimentaria.	Mesa 2: Control de Vertimientos. Campaña Ambiental. Programa sancionatorio.

TRAMO DOS		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
	Mesa 3: Aprovechar los beneficios del suelo.	Incentivo estudio para el establecimiento de estos programas Mesa 3: Acorde a la vocación de los suelos Estudio del suelo.
Industrial	Mesa 3: A la oferta de empleo.	Mesa 3: No a la minería. Desarrollar las actividades económicas propias de la región.

TRAMO TRES		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
Consumo Humano	Mesa 3: Motivar las actividades de la región	Mesa 3: Regulación. Aumentar el tratamiento a los municipios.
Preservación de Flora y Fauna	Mesa 3: Mantener la diversidad.	Mesa 3: Mantener Reforestación.
Pesca	Mesa 3: Mantener la oferta de la región.	Mesa 3: Regular el manejo del recurso.
Agrícola y Pecuario	Mesa 3: Cuidar la oferta económica en la región	Mesa 3: Vigilancia y control.

TRAMO CUATRO		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
Consumo Humano y Doméstico	Mesa 3: Mantener a la población	Mesa 3: Tratamiento de aguas residuales.
Preservación de Flora y Fauna	Mesa 3: Mantener la naturalidad de la corriente	Mesa 3: Vigilancia
Piscicultura Artesanal	Mesa 3: Mantener las actividades económicas de la región.	Mesa 3: Control y vigilancia.
Agrícola y Pecuario	Mesa 3: Cuidar la oferta económica en la región.	Mesa 3: Vigilancia y control.

12.1.2.2 Taller Prospectivo Municipio de Armenia

Por la diversidad de actores que participaron en el municipio de Armenia, se organizaron tres mesas de trabajo, cada una con representantes de un mismo municipio. La mesa 1 integrada por actores de Armenia y La Tebaida, la mesa 2 integrada por actores de Calarcá, y la Mesa 3 Integrada por actores de Salento.

Mesa Uno (Armenia y La Tebaida):

TRAMO UNO		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones Necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
Áreas de Conservación (Para ampliar hacia el recurso humano y uso doméstico aguas abajo)	Abastecimiento de agua y cumplimiento del artículo 111 (ley 99/93) y DRMI	Adquisición de terrenos y pago de servicios ambientales. Implementación de herramientas del paisaje Planificación sobre recurso hídrico Educación ambiental Generar Fondo del Agua
Gestión en el campo amigable con el ambiente	Uso actual del tramo potenciando lo positivo y revisando los aspectos que afectan o impactan negativamente el recurso hídrico (Dcto 3930/10)	Saneamiento básico en los predios del tramo. Armonizar los planes de ordenamiento e instrumentos de planificación. Regular el territorio a través del recurso hídrico. Educación ambiental.
Estético	Declaratoria del Quindío como patrimonio cultural de la humanidad (paisaje natural cafetero) Zona amortiguadora de Parques. Art. 2372/2010	Regulación de los usos del paisaje (turismo y visitantes) Vertimientos y mayor control ambiental Educación Ambiental.

TRAMO DOS		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
1,2,3,4,5,6,7 y 9	Existen ya. Baja disponibilidad de oferta hídrica. Recurso hídrico demasiado impactado. Aumento población	Regulación: Ordenamiento del territorio Modernización de plantas de tratamiento de agua. Cumplimiento de la ley 373/97 Uso eficiente y ahorro del agua. PGIRS y plan de saneamiento básico Educación ambiental.

TRAMO TRES		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
1,2,3,4,5,6,7 y 9		Regular minería u turismo en este tramo y el uso de agroquímicos. Educación ambiental
Generar Fondo del el uso de Agua		

TRAMO CUATRO		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del Tipo de uso propuesto	Acciones necesarias para alcanzar dicho tipo de uso
Conservación de la zona protectora. Mayor control de lo que existe No ampliar frontera agrícola		Generar fondo del agua

Mesa dos (Calarcá):

GENERAL PARA TODOS LOS TRAMOS		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del Tipo de Uso Propuesto	Acciones Necesarias para Alcanzar Dicho Tipo de Uso
Humano y Doméstico		Articulación de proyectos y procesos interinstitucional y transinstitucional. Cultura ciudadana ambiental permanente. Creación de veedurías ciudadana local. Generar plantas de tratamiento para todos los municipios. Exigirle a las empresas que tengan plantas de tratamiento de aguas residuales (vertimientos). Biodigestores – área agrícola. Corredores biológicos. Fortalecer distritos de manejo ambiental.
Protección de Flora y Fauna		
Agrícola e Industrial		
Recreativo		
Estético		

Mesa Tres (Salento):

TRAMO UNO		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del Tipo de Uso Propuesto	Acciones Necesarias para Alcanzar Dicho Tipo de Uso
Consumo Humano y Doméstico	Recurso natural indispensable para la vida humana.	Implementar sistemas de tratamiento en los predios aledaños a la bocatomía (vcrh/domésticos).

TRAMO UNO		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del Tipo de Uso Propuesto	Acciones Necesarias para Alcanzar Dicho Tipo de Uso
		Promoción en la comunidad e programas de transferencia a la cultura del agua. Restricción de uso de suelo y vocación de uso de suelo. Desarrollo de programas de protección y conservación con participación conjunta de la academia – comunidad y entes de control.
Preservación de Fauna y Flora	Evitar la migración de especies Brindar condiciones necesarias para garantizar el bienestar de la flora y fauna.	Implementar actividades de limpieza en los senderos. Evitar la deforestación. Programas de reforestación de palma de cera.
Pesca	Mantener un control sobre la explotación y consumo de especies acuáticas en el homo.	Llegar acuerdo con pescadores para el desarrollo de programas sostenibles. Seguimiento por los entes de control para actividades de pesca.
Escobal – Uso Estético	Lograr financiación y ayuda por parte del gobierno para dejar zonas de conservación. Promover turismo de naturaleza.	Control sobre actividades turísticas. Sensibilización comunidad educación ambiental. Control sobre actividad agropecuaria.

TRAMO DOS		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del Tipo de Uso Propuesto	Acciones Necesarias para Alcanzar Dicho Tipo de Uso
Consumo Humano y Doméstico	Recurso natural indispensable para la vida humana.	Vigilancia y control por la autoridad ambiental en impactos negativos por presencia de asentamientos. Implementación de PTAR para vertimientos de zona rural del municipio de Armenia. Educación a la comunidad en programas de uso eficiente y ahorro del agua.
Uso Agrícola	Garantizar programas de seguridad alimentaria. Base de la economía del departamento.	Promoción de buenas prácticas agrícolas en la comunidad. Actividades productivas que generen bajo impacto ambiental.

TRAMO DOS		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del Tipo de Uso Propuesto	Acciones Necesarias para Alcanzar Dicho Tipo de Uso
	Conservar paisaje cultural cafetero.	
Uso Estético	Promoción y conservación paisajística en la región.	Preservación de flora y fauna. Desarrollo de programas de gobierno para conservación paisajística (malecón de la Secreta).

TRAMO TRES		
Tipo de Uso Potencial	Justificación del Tipo de Uso Propuesto	Acciones Necesarias para Alcanzar Dicho Tipo de Uso
Preservación de Flora y Fauna	Mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres.	Acciones de conservación. Sensibilizar y educar a la comunidad.
Uso Agrícola	Garantizar programas de seguridad alimentaria y nutricional.	Promoción de buenas prácticas agrícolas. Actividades agrícolas generen bajo impacto ambiental. Cumplimiento en la normatividad para conservación de fuentes hídricas.
Estético	Armonización y embellecimiento del paisaje.	Acciones de conservación, restauración, mantenimiento silvicultura.

La mesa tres prefirió no opinar sobre los tipos de uso potencial en el tramo 4 por desconocimiento de esa parte del territorio.

En los talleres de prospectiva realizados en los municipios de Salento y Armenia se evidenció un gran interés de los actores participantes para identificar alternativas de solución a las problemáticas de contaminación y disponibilidad de agua en el río Quindío, lo que les permitió tener un alto nivel de compromiso con las actividades realizadas en las jornadas de trabajo para realizar un análisis prospectivo proyectado a la identificación de los posibles usos del recurso hídrico. La presentación de las problemáticas encontradas en el diagnóstico sensibilizó a los participantes motivándolos a cuestionar y a avalar la información presentada.

En Salento fue evidente el descontento de la comunidad por el servicio de agua y con el manejo que se da a las aguas residuales del municipio y por la ausencia de las empresas prestadoras de servicio, a pesar de haberlas convocado a las jornadas de trabajo. Sin embargo,

es importante resaltar que dichas empresas participaron en los talleres realizados en la ciudad de Armenia.

A continuación se resumen las posibles acciones identificadas por los actores para contribuir a la conservación del recurso hídrico del río Quindío:

- Implementación de los PGIRS en toda el área de la unidad hidrográfica.
- Establecer la Veeduría ciudadana para los procesos que se establezcan en torno al uso del Río Quindío
- Generar fondo de agua.
- Vigilancia y control por la autoridad ambiental en impactos negativos por presencia de asentamientos.
- Implementación de PTAR para vertimientos de zona rural y urbana del municipio de Armenia.
- Educación a la comunidad en programas de uso eficiente y ahorro del agua.
- Promoción de buenas prácticas agrícolas.
- Actividades agrícolas que generen bajo impacto ambiental.
- Cumplimiento en la normatividad para conservación de fuentes hídricas.
- Preservación de flora y fauna.
- Desarrollo de programas de gobierno para conservación paisajística (malecón de la Secreta).
- Articulación de proyectos y procesos interinstitucional y transinstitucional.
- Cultura ciudadana ambiental permanente.
- Creación de veedurías ciudadana local.
- Generar plantas de tratamiento para todos los municipios.
- Exigirle a las empresas que tengan plantas de tratamiento de aguas residuales (vertimientos).
- Biodigestores – área agrícola.
- Corredores biológicos.

- Fortalecer distritos de manejo ambiental.

122 FORMULACIÓN DE ESCENARIOS

Los escenarios de simulación se formularon con el propósito de evaluar y ajustar los objetivos de calidad para el cuerpo de agua objeto de ordenamiento en el corto, mediano y largo plazo; en este orden de ideas, se partió de un escenario base con condiciones de carga máxima en los tributarios y vertimientos, y caudal mínimo sobre el cuerpo receptor. Los escenarios en el corto, mediano y largo plazo se formularon tomando como referencia los valores definidos para el escenario base.

La carga máxima en condiciones de aguas bajas en los principales tributarios del río Quindío (quebrada La Boquía, río Navarco, quebrada La Florida, quebrada El Pescador y río Verde) se obtuvo seleccionando un caudal característico de condiciones mínimas en el afluente (índice 7Q10 mensual mínimo) y la máxima concentración registrada en las campañas de monitoreo, adelantadas en el marco del presente estudio, y de registros en estudios anteriores.

A manera de ilustración, en la Tabla 184 se presenta el consolidado de datos obtenidos para algunos determinantes de la calidad del agua en el río Navarco, así como los valores de concentración establecidos para el escenario base.

ID	Año	Fuente	Temperatura*	Conductividad	SST*	Oxígeno Disuelto**	DQO	DBO ₅
			°C	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	2009	MODELACIÓN 2009	15.3	-	6.1	7.7	-	2.9
2	2011	POMCA LA VIEJA	15.0	-	6.5	8.0	-	7.6
3	2011		16.0	100.0	27.0	5.5	11.0	3.6
4	2011		17.0	109.0	34.8	8.1	18.8	5.6
5	2012	MODELACIÓN 2012	17.2	-	59.1	8.6	-	<5.7
6	2014	PORH río Quindío	22.3	154.8	5.0	6.8	<20	<5
7	2014		17.0	103.8	132.0	8.2	<20	<5

Escenario base (2015)	17.1	154.8	38.6	5.5	18.80	7.57
-----------------------	------	-------	------	-----	-------	------

Notas:

* Los SST, la temperatura y, en algunos casos, la alcalinidad para el escenario base, se tomaron como el promedio de los datos disponibles. Con respecto a los SST, se hizo así teniendo en cuenta que el valor máximo de concentración suele presentarse en época de altas precipitaciones y no bajo condiciones de mínima dilución.

** El valor crítico de concentración de oxígeno disuelto corresponde al valor mínimo de los registrados.

*** En ciertos casos, se tomó el valor mínimo de pH, teniendo en cuenta si el vertimiento o afluente tiende hacia condiciones ácidas o alcalinas.

**** En algunos casos, se descartaron valores extremadamente altos o bajos para algunos aportantes y determinantes de la calidad del agua

Tabla 184 Ejemplo de consolidado de datos para asignar valores de concentración en el río Navarco

La condición de frontera asignada en la cabecera del cuerpo de agua principal (i.e. El Escobal) se definió de acuerdo con los valores obtenidos en la primera campaña de medición del año 2014, la cual presentó condiciones de aguas bajas, que se pueden consultar en el documento de diagnóstico de este PORH y que se presentan en la Tabla 185 de la forma como fueron ingresados en la herramienta de modelación QUAL2Kw v.5.1.

Caudal en la cabecera	1.73	m³/s
¿Condición de frontera prescrita aguas abajo?	No	
<i>Calidad del agua en la cabecera</i>	<i>Unidades</i>	
Temperatura	C	20.30
Conductividad	umhos	151.30
Sólidos Inorgánicos	mgD/L	5.00
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.30
DBOC lenta	mgO₂/L	0.00
DBOC rápida	mgO₂/L	5.00
Nitrógeno orgánico	µgN/L	3390.00
NH₄-Nitrógeno	µgN/L	1000.00
NO₃-Nitrógeno	µgN/L	267.80
Fósforo orgánico	µgP/L	114.00
Fósforo inorgánico (FRS)	µgP/L	31.00
Fitoplancton	µgA/L	0.00
Detritos (MOP)	mgD/L	0.00
Patógenos	NMP /100 mL	6300.00
Constituyente genérico	[-]	
Alcalinidad	mgCaCO₃/L	54.65
pH	s.u.	7.36

Tabla 185 Valores de concentración en la cabecera del río Quindío (RQ1: El Escobal) asignados como condición de frontera en los 5 escenarios formulados

El caudal seleccionado en la cabecera corresponde a un valor característico de flujo mínimo (el índice 7Q10 mensual más bajo igual a 1.73 m³/s, ligeramente superior al caudal medido directamente en campo en la campaña mencionada igual a 1.44 m³/s), al igual que para los afluentes naturales (con excepción de la quebrada El Cafetero (San Nicolás), en donde se optó por un valor representativo medido en campo ya que el índice 7Q10 encontrado es muy inferior al medido durante el monitoreo; ver Tabla 186). Con dichos caudales se garantiza un estado de mínima capacidad de dilución, el cual se considera como la condición más crítica para la mayoría de los determinantes convencionales de la calidad del agua. Se debe resaltar que los valores de 7Q10 generados, se obtuvieron a partir de los resultados del modelo hidrológico descrito en el documento de diagnóstico del PORH del río Quindío.

Tributario	ID	7Q10 (m³/s)
Quebrada Boquía	AF1	0.33
Río Navarco	AF2	1.48
Quebrada La Florida	AF3	0.09
Quebrada El Cafetero (San Nicolás)	AF4	1x10 ⁻⁴
Quebrada El Pescador	AF5	0.28
Río Verde	AF6	3.65

Tabla 186 Índice 7Q10 mensual mínimo en cada afluente natural

Para el caso de los dos vertimientos directos al río Quindío (Frigocafé y Curtiembres La María), la carga máxima se definió seleccionando el máximo caudal registrado entre las campañas disponibles de medición, así como las máximas concentraciones (al igual que para los afluentes naturales, según el caso). En relación con las abstracciones de caudal a lo largo de la corriente (bocatomas para abastecimiento de agua potable EPA y La Tebaida, y las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas El Campestre, La Unión, Bayona y El Bosque) se seleccionó el caudal máximo concesionado de acuerdo con la información disponible en ejercicios anteriores de modelación (Monsalve y Bustamante, 2009; CRQ, 2012; ver Tabla 187).

Punto de captación	Caudal asignado (m³/s)
Bocatoma EPA	1.50
Bocatoma Tebaida	0.15
PCH El Campestre	2.70
PCH La Unión	2.70
PCH Bayona	2.70
PCH El Campestre	3.50

Tabla 187 Caudales asignados en las abstracciones existentes sobre el río Quindío

Todas las condiciones descritas anteriormente representan el estado más crítico que se puede esperar en el río Quindío, dada la realidad actual de la administración de sus aguas; por lo tanto, los resultados derivados del ejercicio de simulación parten del escenario actual más desfavorable y tienen como propósito ilustrar a la Autoridad Ambiental competente un momento extremo posible para el río Quindío de acuerdo con las reglas establecidas actualmente y las proyecciones trazadas en un horizonte de 10 años.

12.2.1 Proyección de cargas contaminantes

De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional del Quindío – CRQ, el 70% de la contaminación hídrica en el Departamento del Quindío es generada por las aguas residuales municipales, un 25% por aguas residuales industriales y pecuarias y el 5% restante por aguas residuales domésticas.

El río Quindío es la fuente hídrica principal del departamento, la cual recibe los vertimientos de agua residual municipal de Salento, Armenia, Calarcá, Córdoba y Buenavista; estos municipios cuentan con Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento – PSMV, los cuales están actualmente en proceso de actualización.

Con el fin de proyectar la carga contaminante aportada por cada uno de los municipios anteriormente nombrados, se realizó la proyección de la población de cada uno de estos centros urbanos a través de los métodos de cálculo propuestos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000.

12.2.1.1 Método Aritmético

Este método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente

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

[11]

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

12.2.1.2 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 ecuación que se emplea es

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

[12]

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

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

[13]

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

12.2.1.3 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. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

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

[14]

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:

$$k = \frac{\ln P_{ep} - \ln P_{ea}}{T_{ep} - T_{ea}}$$

[15]

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

Para obtener las proyecciones de los municipios que pertenecen a la unidad hidrográfica del río Quindío a 2017, 2021 y 2025, se utilizaron los censos oficiales de los años 1973, 1985, 1993 y 2005 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, y se seleccionó el método que representa la aproximación más cercana de la dinámica poblacional de cada uno de los municipios, proyectando inicialmente la población sin el censo de 2005, y tomando éste como valor de calibración. En la Tabla 188 se resumen los datos oficiales del DANE utilizados, así como los resultados de las poblaciones proyectadas para cada uno de los municipios.

Municipio	Censos DANE				Método seleccionado	Proyección de población		
	1973	1985	1993	2005		2017	2021	2025
Armenia	135415	188222	216467	265020	Aritmético	313622	329823	346023
Calarcá	29568	39520	44047	54639	Aritmético	63710	66734	69758
Salento	2438	2617	2848	3494	Geométrico	3999	4183	4375
Córdoba	2006	2438	2799	2897	Aritmético	3231	3343	3454
Buenavista	1087	1199	1364	1173	Aritmético	1205	1216	1227

Tabla 188 Proyección de población de los municipios de la unidad hidrográfica del río Quindío

Adicional a lo anterior, para la estimación de carga de materia orgánica de DBO_5 (kg/día) y sólidos suspendidos totales SST (kg/día) vertidos por cada municipio, fue necesario realizar una revisión de cada uno de los PSMV y, de acuerdo con estos, establecer el porcentaje de la población que vierte directamente en el río Quindío.

De acuerdo con la sección II, título E del RAS, los aportes per cápita para aguas residuales domésticas de DBO_5 es de 50 g/habitante/día y SST de 50 g/habitante/día. De conformidad con el plan de acción 2012 – 2015 de la CRQ, los valores de producción de materia orgánica per cápita utilizados por la Corporación en la estimación de cargas para el cálculo tasas retributivas son: $DBO_5 = 0.05$ Kg/habitante/día y $SST = 0.042$ Kg/habitante/día. La Tabla 189 presenta las cargas contaminantes aportadas por los municipios al río Quindío.

Con base en la información allegada por la Corporación y por la comunidad en los talleres realizados, las aguas residuales municipales se vierten al río Quindío sin ningún tipo de tratamiento, a pesar de que los municipios de Salento y Buenavista tienen la planta de

tratamiento de aguas residuales construida. La Corporación espera que, de acuerdo con lo proyectado en la actualización de los PSMV en los municipios de Salento, Calarcá, Córdoba y Buenavista, a mediano y largo plazo las medidas de saneamiento a implementar se alcance un porcentaje de remoción de DBO del 80% y 40% en SST.

En cuanto a lo proyectado para el municipio de Armenia, las Empresas Públicas de Armenia priorizaron la construcción de la PTAR La Marina dados los adelantos en las construcción de interceptores y colectores de esa zona de la ciudad; en cuanto a la construcción de la PTAR de La Florida no se estableció una fecha para su inicio ya que en esta zona no se tiene interceptores construidos aún. Por lo anterior y teniendo en cuenta que la actualización del PSMV de Armenia trazó metas de descontaminación en la ciudad hasta el año 2018, se espera que en conjunto con la Corporación se priorice la descontaminación de la unidad hidrográfica del río Quindío y para un mediano y largo plazo Armenia logre alcanzar las metas de descontaminación que se trazaron los demás municipios de la unidad hidrográfica.

Tramo río Quindío	Municipio	% Población	Proyección población			Carga Per cápita Kg DBO/hab*día	Carga Per cápita Kg SST/hab*día
			RAS				
			2017	2021	2025		
Río Navarco	Salento	100	3999	4183	4375	0.05	0.042
Quebrada La Florida	Armenia	11.47	313622	329823	346023	0.05	0.042
Quebrada El Pescador	Calarcá	52	63710	66734	69758	0.05	0.042
Río Verde	Córdoba	100	3231	3343	3454	0.05	0.042

Tramo río Quindío	Municipio	DBO ₅ Vertida			SST Vertidos		
		2017	2021	2025	2017	2021	2025
		Kg/día			Kg/día		
Río Navarco	Salento	199.95	209.15	218.75	167.96	175.69	183.75
Quebrada La Florida	Armenia	1798.62	1891.53	1984.44	1510.84	1588.89	1666.93
Quebrada El Pescador	Calarcá	1656.46	1735.08	1813.71	1391.43	1457.47	1523.51
Río Verde	Córdoba	161.55	167.15	172.7	135.7	140.41	145.07

Tabla 189. Proyección de cargas contaminantes en centros poblados

12.2.2 Construcción de escenarios

La construcción de escenarios consistió en definir los valores de caudal y concentración a horizontes de 2 (corto plazo), 7 (mediano plazo) y 10 años (largo plazo), a partir de las medidas de saneamiento y manejo de vertimientos contenidas en los PSMVs de los

municipios que hacen sus aportes de aguas residuales en la unidad hidrográfica del río Quindío, y de las proyecciones de control de la calidad del agua en la unidad hidrográfica del río Quindío por parte de la CRQ. De forma complementaria, se hizo la simulación de un escenario “ideal” para su implementación a un horizonte de 10 años.

12.2.2.1 Quebrada Boquía

Durante la segunda campaña de 2014 (condiciones de aguas altas), se evidenció un aporte significativo de materia orgánica carbonácea y organismos microbiológicos, provenientes de la quebrada Boquía, muy seguramente por la influencia de descargas de carácter doméstico sobre este cuerpo de agua; no obstante, dichos valores no se tuvieron en cuenta dado que son atípicos en relación con los históricos disponibles. El control de descargas de aguas residuales en la parte alta del río Quindío es una prioridad dado que la capital del Departamento del Quindío se abastece de agua potable proveniente de esta corriente. Desde el punto de vista del modelo de calidad del agua, este aporte representa la descarga conjunta de aguas residuales tratadas provenientes de la vereda Boquía sobre el río Quindío y las aguas naturales de la quebrada del mismo nombre. En este orden de ideas, y dado que ya existe infraestructura de saneamiento, se propone una reducción progresiva de concentraciones a la salida de la afluencia, de la siguiente manera:

Escenario	Temp.	Cond.	SST	OD	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alc.
	Valor a la salida (°C)	% Remoción		Valor a la salida (mg/L)	% Remoción								Valor a la salida (Unidad / mg/L)	
Escenario base (2015)	19.86	0	0	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	8.2	33.6
Corto plazo (2017)	19.86	10	20	7.0	20	20	0	0	0	0	0	0	8.2	33.6
Mediano plazo (2021)	19.86	20	40	7.0	40	40	0	0	0	0	0	0	7.2	33.6
Largo plazo (2025)	19.86	30	40	7.0	40	40	20	20	0	20	0	99	7.2	33.6
Ideal (-)	19.86	50	60	7.0	60	60	40	40	0	40	0	>99	7.2	33.6

Los valores a la salida de la afluencia (la cual representa la concentración resultante del balance de masa entre la quebrada Boquía y el vertimiento de la vereda correspondiente) son valores de referencia máximos. Se espera que en la mayoría del tiempo se presenten valores menores, como los reportados en la campaña 1 de 2014. Se reitera que los valores aquí obtenidos corresponden a una condición crítica de carga máxima para la definición de objetivos de calidad. Este principio aplica para la definición de valores de concentración en todos los afluentes y vertimientos considerados.

En términos de tratamiento de aguas residuales, los valores de remoción indicados para cada horizonte de tiempo corresponden, respectivamente, a tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento primario avanzado con desinfección y tratamiento

secundario o biológico con desinfección. En la Tabla 190, se presentan los valores de caudal y concentración asignados a la salida del tributario para cada uno de los escenarios considerados.

Escenario	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	0.33	19.9	129.0	11.7	6.5	23.6	6.9
Corto plazo (2017)	0.33	19.9	116.1	9.3	7.0	18.9	5.5
Mediano plazo (2021)	0.33	19.9	103.2	7.0	7.0	14.2	4.1
Largo plazo (2025)	0.33	19.9	90.3	7.0	7.0	14.2	4.1
Ideal (-)	0.33	19.9	64.5	4.67	7.0	9.44	2.76

Escenario	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	3.8	1.4	0.215	0.100	0.186	1580.0	8.2	33.6
Corto plazo (2017)	3.8	1.4	0.215	0.100	0.186	1580.0	8.2	33.6
Mediano plazo (2021)	3.8	1.4	0.215	0.100	0.186	1580.0	7.2	33.6
Largo plazo (2025)	3.0	1.1	0.215	0.080	0.186	1106.0	7.2	33.6
Ideal (-)	2.3	0.84	0.215	0.060	0.186	15.8	7.2	33.6

Tabla 190 Valores proyectados de concentración en el corto, mediano y largo plazo para la quebrada Boquía

12.2.2.2 Río Navarco

El río Navarco recibe el aporte de la descarga de aguas residuales del municipio de Salento. Las concentraciones a la salida de este tributario en el corto, mediano y largo plazo, se establecieron de acuerdo con las proyecciones de carga contaminante establecidas para dicho municipio. En la Tabla 191 se presentan las cargas per cápita para los determinantes de la calidad del agua sujetos de modelación y la población efectiva (población total multiplicada por el porcentaje aportante, en este caso el 100%) correspondiente a cada horizonte de tiempo. El escenario ideal considera la población proyectada al 2025. Los valores per cápita para los determinantes de la calidad del agua diferentes de DBO₅ y SST se tomaron del RAS2000 para el NTK y los Coliformes Totales – CT, y de Metcalf y Eddy (2005) para la DQO, el nitrógeno amoniacal – NH₄, el Fósforo Total – PT y el Fósforo Inorgánico – INP. En la Tabla 192 se presentan los porcentajes de remoción estimados para cada escenario de acuerdo con la puesta en marcha progresiva del sistema de tratamiento existente. En la Tabla 193 se presentan las cargas contaminantes proyectadas con tratamiento.

PTAR Salento	Población efectiva	Carga per cápita (kg/hab/d)							
		SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/100ML)
Corto plazo (2017)	3999	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Mediano plazo (2021)	4183	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Largo plazo (2025)	4375	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Ideal (-)	4375	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09

Tabla 191 Cargas contaminantes per cápita y población efectiva proyectadas en el corto, mediano y largo plazo para la PTAR Salento

PTAR Salento	Porcentaje de remoción								
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT	
Corto plazo (2017)	20%	40%	40%	5%	0%	5%	0%	10,0%	
Mediano plazo (2021)	40%	80%	80%	10%	0%	10%	0%	25,0%	
Largo plazo (2025)	40%	80%	80%	10%	10%	10%	0%	90,0%	
Ideal (-)	80%	80%	90%	40%	20%	30%	10%	100,0%	

Tabla 192 Porcentajes de remoción estimados para el corto, mediano y largo plazo en la PTAR Salento

PTAR Salento	Carga tratada (kg/d)							
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/d)
Corto plazo (2017)	134,4	287,9	120,0	45,6	33,6	13,3	8,8	7,20E+12
Mediano plazo (2021)	105,4	100,4	41,8	45,2	35,1	13,2	9,2	6,27E+12
Largo plazo (2025)	110,3	105,0	43,8	47,3	33,1	13,8	9,6	8,75E+11
Ideal (-)	36,8	105,0	21,9	31,5	29,4	10,7	8,7	8,75E+08

Tabla 193 Cargas contaminantes proyectadas en el corto, mediano y largo plazo para la PTAR Salento

Para la obtención de las concentraciones en el río Navarco, se hizo la respectiva actualización del valor con respecto al referente del escenario base, haciendo un balance de masa dado por la siguiente expresión:

$$c_p = \frac{(c_b Q_p - W_{vb} + W_{vp})}{Q_p} \quad [16]$$

Siendo:

c_b : concentración del escenario base en el cuerpo de agua

Q_p : caudal proyectado en el cuerpo de agua

W_{vb} = carga del vertimiento base (igual a la proyección sin tratamiento a 2017)

W_{vp} = carga proyectada con tratamiento

En la Tabla 190 se presentan los resultados de concentración y caudal asignados en el río Navarco de acuerdo con el procedimiento anterior.

Escenario	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	1,48	17,1	154,8	38,6	5,5	18,80	7,57
Corto plazo (2017)	1,48	17,1	154,8	38,4	6,0	17,30	6,95
Mediano plazo (2021)	1,48	17,1	154,8	38,1	7,0	15,84	6,34
Largo plazo (2025)	1,48	17,1	154,8	38,2	7,0	15,88	6,35
Ideal (-)	1,48	17,1	154,8	37,6	7,0	15,88	6,18

Escenario	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	2,7	0,50	0,3	0,20	0,031	2,40E+04	4,3	51,9
Corto plazo (2017)	2,72	0,50	0,3	0,19	0,031	2,34E+04	4,3	51,9
Mediano plazo (2021)	2,72	0,51	0,3	0,19	0,034	2,27E+04	4,3	51,9
Largo plazo (2025)	2,73	0,50	0,3	0,19	0,037	1,84E+04	4,3	51,9
Ideal (-)	2,61	0,47	0,3	0,17	0,030	1,78E+04	4,3	51,9

Tabla 194 Valores proyectados de concentración en el corto, mediano y largo plazo para el río Navarco

12.2.2.3 Vertimientos Frigocafé y Curtiembres La María

Las concentraciones definidas a la salida de ambos vertimientos se definieron conforme a la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se establecen los límites máximos permisibles de concentración en los vertimientos puntuales que descargan sobre aguas superficiales, el cual entra en vigencia a partir del año 2016. Para aquellos determinantes de la calidad del agua que aún no tienen establecidos límites máximos permisibles, los valores asignados en el tiempo fueron reducidos progresivamente teniendo en cuenta otros valores más bajos encontrados en los históricos de calidad del agua. En la Tabla 195 se presentan los valores asignados de concentración y caudal para los diferentes escenarios en el vertimiento de Frigocafé y, en la Tabla 196, para el vertimiento de la asociación de curtiembres La María.

Escenario	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	3,06E-03	23,2	6320	1032	0,0	3490	1528
Corto plazo (2017)	3,06E-03	23,2	6320	200	0,0	800	450
Mediano plazo (2021)	3,06E-03	23,2	6320	200	1,0	800	450
Largo plazo (2025)	3,06E-03	23,2	5000	200	1,0	800	450
Ideal (-)	3,06E-03	23,2	1000	200	2,0	100	50

Escenario	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	147,3	35,3	1,6	8,5	4,8	3,23E+06	8,9	662,3
Corto plazo (2017)	147,3	35,3	1,6	8,5	4,8	3,23E+06	8,9	662,3
Mediano plazo (2021)	100,0	30,0	1,6	8,5	4,8	8,08E+05	7,5	600,0
Largo plazo (2025)	100,0	10,0	1,6	8,5	4,8	3,23E+04	7,5	500,0
Ideal (-)	100,0	10,0	1,0	5,0	4,0	3,23E+04	7,0	400,0

Tabla 195 Valores proyectados de concentración en el corto, mediano y largo plazo para el vertimiento de Frigocafé

Escenario	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	3,90E-03	23,6	18590	290	0,0	3670	2376
Corto plazo (2017)	3,90E-03	23,6	18590	290	0,0	1200	600
Mediano plazo (2021)	3,90E-03	23,6	18590	290	1,0	1200	600
Largo plazo (2025)	3,90E-03	23,6	10000	200	1,0	1200	600
Ideal (-)	3,90E-03	23,6	5000	200	2,0	1200	600

Escenario	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	451,59	338,0	3,4	3,4	1,6	3,03E+06	8,4	2885,2
Corto plazo (2017)	451,6	338,0	3,4	3,4	1,6	3,03E+06	8,4	2885,2
Mediano plazo (2021)	200,0	100,0	3,4	3,4	1,6	7,57E+05	8,0	2000,0
Largo plazo (2025)	200,0	100,0	3,4	3,4	1,6	3,03E+04	7,5	2000,0
Ideal (-)	100,0	50,0	1,0	2,0	1,0	3,03E+04	7,0	1000,0

Tabla 196 Valores proyectados de concentración en el corto, mediano y largo plazo para el vertimiento de curtiembres La María

12.2.2.4 Quebrada La Florida y quebrada El Cafetero (San Nicolás)

La definición de las concentraciones de los principales determinantes de la calidad del agua se hizo de manera similar al río Navarco para los escenarios de corto y mediano plazo. Para los escenarios de largo plazo e ideal, se tuvo en cuenta la construcción de los interceptores de ambas quebradas para la separación de las aguas lluvias de las servidas, así como la construcción del colector que recoge ambos interceptores y que tiene su descole aguas abajo cerca de la confluencia de la quebrada El Cafetero (San Nicolás) con el río Quindío. El escenario ideal considera la construcción de una PTAR con tratamiento biológico para dar cumplimiento a lo establecido en la Resolución 0631 de 2015 referente a las aguas

residuales domésticas. Para el modelo de simulación, en los escenarios de largo plazo e ideal se creó una nueva carga puntual cuya abscisa coincide con la de la quebrada San Nicolás y concentra los aportes proyectados de aproximadamente el 12% de la ciudad de Armenia (según el PSMV correspondiente). De la Tabla 197 a la Tabla 203 se presentan las proyecciones de carga y concentración relacionadas con las quebradas La Florida y El Cafetero (San Nicolás). Los valores en el colector La Florida – El cafetero (San Nicolás) se obtuvieron por balance de masa entre los aportes de cada interceptor.

Escenario	Población efectiva	Carga per cápita (kg/hab/d)							
		SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/hab/d)
Corto plazo (2017)	35973	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Mediano plazo (2021)	37831	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Largo plazo (2025)	39689	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Ideal (-)	39689	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09

Tabla 197 Valores proyectados de carga contaminante aferente a la quebrada La Florida

Escenario	Población efectiva	Carga per cápita (kg/hab/d)							
		SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/hab/d)
Corto plazo (2017)	815	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Mediano plazo (2021)	858	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Largo plazo (2025)	900	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Ideal (-)	900	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09

Tabla 198 Valores proyectados de carga contaminante aferente a la quebrada El Cafetero (San Nicolás)

Colector La Florida	Concentración								Caudal (m ³ /s)
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT	
Corto plazo (2017)	375,0	1071,4	446,4	107,1	75,0	31,3	19,6	1,79E+06	0,047
Mediano plazo (2021)	375,0	1071,4	446,4	107,1	75,0	31,3	19,6	1,79E+06	0,049
Largo plazo (2025)	375,0	1071,4	446,4	107,1	75,0	31,3	19,6	1,79E+06	0,051
Ideal (-)	90	180	90	60,0	30,0	20,0	10,0	179	0,051

Tabla 199 Valores proyectados de concentración y caudal de las aguas residuales que llegan a la quebrada La Florida

Colector El Cafetero (San Nicolás)	Concentración								Caudal (m ³ /s)
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT	
Corto plazo (2017)	375,0	1071,4	446,4	107,1	75,0	31,3	19,6	1,79E+06	0,001
Mediano plazo (2021)	375,0	1071,4	446,4	107,1	75,0	31,3	19,6	1,79E+06	0,001
Largo plazo (2025)	375,0	1071,4	446,4	107,1	75,0	31,3	19,6	1,79E+06	0,001
Ideal (-)	90	180	90	60,0	30,0	20,0	10,0	179	0,001

Tabla 200 Valores proyectados de concentración y caudal de las aguas residuales que llegan a la quebrada El Cafetero (San Nicolás)

Colector La Florida-El Cafetero (San Nicolás)	Concentración														Caudal (m ³ /s)
	Temp.	Cond.	SST	OD	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alc.	
Largo plazo (2025)	21,3	816,7	252,5	18,6	300,1	176,9	54,2	4,8	6,3	4,1	1,0	2,90E+06	7,9	95,6	0,053
Ideal (-)	21,3	694,2	90,0	3,0	180,0	90,0	46,1	4,1	5,4	3,5	0,8	178,6	7,2	51,1	0,053

Tabla 201 Valores proyectados de concentración y caudal en el colector La Florida – El Cafetero (San Nicolás)

Escenarios	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	0,13	21,3	298,0	89,4	1,8	90,00	56,00
Corto plazo (2017)	0,13	21,3	298,0	89,4	6,0	90,00	56,00
Mediano plazo (2021)	0,14	21,3	298,0	96,0	7,0	108,85	63,85
Largo plazo (2025)	0,09	21,3	129,0	25,0	7,0	10,00	5,00
Ideal (-)	0,09	21,3	129,0	25,0	7,0	10,00	5,00

Escenarios	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	18,1	0,50	2,4	0,94	0,031	7,90E+05	7,9	93,0
Corto plazo (2017)	18,10	0,50	2,4	0,94	0,031	7,90E+05	7,9	93,0
Mediano plazo (2021)	19,98	1,82	2,4	1,49	0,377	8,21E+05	7,9	93,0
Largo plazo (2025)	2,00	1,00	0,1	0,10	0,050	1000	7,0	50,0
Ideal (-)	2,00	1,00	0,1	0,10	0,050	200	7,0	50,0

Tabla 202 Valores proyectados de concentración y caudal en la quebrada La Florida

Escenarios	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	0,024	22,5	698,0	44,1	3,0	283,00	181,00
Corto plazo (2017)	0,024	22,5	698,0	44,1	6,0	283,00	181,00
Mediano plazo (2021)	0,024	22,5	698,0	44,9	7,0	285,42	182,01
Largo plazo (2025)	0,023	22,5	129,0	13,1	7,0	10,00	5,00
Ideal (-)	0,023	22,5	129,0	13,1	7,0	10,00	5,00

Escenarios	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	37,3	0,50	1,1	3,55	0,031	1,30E+07	7,9	213,8
Corto plazo (2017)	37,30	0,50	1,1	3,55	0,031	1,30E+07	7,9	213,8
Mediano plazo (2021)	37,54	0,67	1,1	3,62	0,075	1,30E+07	7,9	213,8
Largo plazo (2025)	2,00	0,50	0,1	0,10	0,050	1000	7,0	50,0
Ideal (-)	2,00	0,50	0,1	0,10	0,050	200	7,0	50,0

Tabla 203 Valores proyectados de concentración y caudal en la quebrada El Cafetero (San Nicolás)

12.2.2.5 Quebrada El Pescador

La quebrada El Pesador recibe el aporte del 52% de las aguas residuales del municipio de Calarcá. Las concentraciones a la salida de este tributario en el corto, mediano y largo plazo, se establecieron de acuerdo con las proyecciones de carga contaminante establecidas para dicho municipio. El procedimiento para obtener las concentraciones para los diferentes escenarios fue similar al del río Navarco. En la Tabla 204 a la Tabla 207 se presentan las respectivas proyecciones de carga y concentración en el vertimiento de aguas residuales municipales y en la fuente receptora, respectivamente.

PTAR Calarcá	Población efectiva	Carga per cápita (kg/hab/d)							
		SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/hab/d)
Corto plazo (2017)	33129	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+08
Mediano plazo (2021)	34702	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+08
Largo plazo (2025)	36274	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+08
Ideal (-)	36274	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+08

Tabla 204 Cargas contaminantes per cápita y población efectiva proyectadas en el corto, mediano y largo plazo para la PTAR Calarcá

PTAR Calarcá	Porcentaje de remoción							
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT
Corto plazo (2017)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,0%
Mediano plazo (2021)	20%	40%	40%	5%	0%	5%	0%	10,0%
Largo plazo (2025)	40%	80%	80%	10%	0%	10%	0%	25,0%
Ideal (-)	80%	80%	90%	40%	20%	30%	10%	99,99%

Tabla 205 Porcentajes de remoción estimados para el corto, mediano y largo plazo en la PTAR Calarcá

PTAR Calarcá	Carga tratada (kg/d)							
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/d)
Corto plazo (2017)	1391,4	3975,5	1656,5	397,6	278,3	116,0	72,9	6,63E+12
Mediano plazo (2021)	1166,0	2498,5	1041,1	395,6	291,5	115,4	76,3	6,25E+12
Largo plazo (2025)	914,1	870,6	362,7	391,8	304,7	114,3	79,8	5,44E+12
Ideal (-)	304,7	870,6	181,4	261,2	243,8	88,9	71,8	7,25E+08

Tabla 206 Cargas contaminantes proyectadas en el corto, mediano y largo plazo para la PTAR Calarcá

Escenarios	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	µ/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	0,28	22,6	185,1	7,5	6,3	10,00	9,80
Corto plazo (2017)	0,28	22,6	185,1	7,5	6,0	10,00	9,80
Mediano plazo (2021)	0,28	22,6	185,1	6,0	7,0	6,0	5,9
Largo plazo (2025)	0,28	22,6	185,1	4,5	7,0	2,0	2,0
Ideal (-)	0,28	22,6	185,1	1,5	7,0	2,0	1,0

Escenarios	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	3,3	0,50	1,3	0,96	0,031	2950	6,1	42,7
Corto plazo (2017)	3,29	0,50	1,3	0,96	0,031	2950	6,1	42,7
Mediano plazo (2021)	3,21	1,05	1,3	0,93	0,175	1366	6,1	42,7
Largo plazo (2025)	3,05	1,60	1,3	0,89	0,320	2213	6,1	30,0
Ideal (-)	2,0	0,4	1,3	0,7	0,028	200	6,1	30,0

Tabla 207 Valores proyectados de concentración en el corto, mediano y largo plazo para la quebrada El Pescador

12.2.2.6 Río Verde

El río Verde recibe el aporte del 48% de las aguas residuales del municipio de Calarcá y el 100% de las aguas residuales domésticas del municipio de Córdoba. Las concentraciones a la salida de este tributario en el corto, mediano y largo plazo, se establecieron de acuerdo con las proyecciones de carga contaminante establecidas para dichos municipios. El procedimiento para obtener las concentraciones para los diferentes escenarios fue similar al del río Navarco y la quebrada El Pescador. En la Tabla 208 a la Tabla 211 se presentan las respectivas proyecciones de carga y concentración en el vertimiento de aguas residuales municipales y en el río Verde, respectivamente.

Aportes Calarcá + Córdoba	Población efectiva	Carga per cápita (kg/hab/d)							
		SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/hab/d)
Corto plazo (2017)	33812	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Mediano plazo (2021)	35376	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Largo plazo (2025)	36938	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09
Ideal (-)	36938	0,042	0,12	0,05	0,012	0,0084	0,0035	0,0022	2,00E+09

Tabla 208 Cargas contaminantes per cápita y población efectiva proyectadas en el corto, mediano y largo plazo para las descargas de Calarcá y Córdoba que llegan al río Verde

Aportes Calarcá + Córdoba	Porcentaje de remoción							
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT
Corto plazo (2017)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,0%
Mediano plazo (2021)	20%	40%	40%	5%	0%	5%	0%	10,0%
Largo plazo (2025)	40%	80%	80%	10%	0%	10%	0%	25,0%
Ideal (-)	80%	80%	90%	40%	20%	30%	10%	99,99%

Tabla 209 Porcentajes de remoción estimados para el corto, mediano y largo plazo en las descargas de Calarcá y Córdoba que llegan al río Verde

Aportes Calarcá + Córdoba	Carga tratada (kg/d)							
	SST	DQO	DBO ₅	NTK	NH ₄	PT	INP	CT (NMP/d)
Escenario base (2015)	1420,1	4057,4	1690,6	405,7	284,0	118,3	74,4	6,76E+13
Corto plazo (2017)	1420,1	4057,4	1690,6	405,7	284,0	118,3	74,4	6,76E+13
Mediano plazo (2021)	1188,6	2547,1	1061,3	403,3	297,2	117,6	77,8	6,37E+13
Largo plazo (2025)	930,8	886,5	369,4	398,9	310,3	116,4	81,3	5,54E+13
Ideal (-)	310,3	886,5	184,7	266,0	248,2	90,5	73,1	7,39E+09

Tabla 210 Cargas contaminantes proyectadas en el corto, mediano y largo plazo en las descargas de Calarcá y Córdoba que llegan al río Verde

Escenario	Caudal	Temperatura	Conductividad	SST	Oxígeno Disuelto	DQO	DBO ₅
	m ³ /s	°C	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Escenario base (2015)	3,65	21,0	206,1	22,9	4,6	10,40	3,20
Corto plazo (2017)	3,65	21,0	206,1	22,9	6,0	10,40	3,20
Mediano plazo (2021)	3,65	21,0	206,1	22,1	7,0	5,61	1,20
Largo plazo (2025)	3,65	21,0	206,1	21,3	7,0	3,00	1,00
Ideal (-)	3,65	21,0	206,1	19,4	7,0	3,00	1,00

Escenario	NTK	NH ₄	NO ₃	PT	INP	CT	pH	Alcalinidad
	mg/L N	mg/L N-NH ₃	mg/L N-NO ₃	mg/L P	mg/L P-PO ₄	NMP/100mL	Unidades	mg/L CaCO ₃
Escenario base (2015)	2,2	0,50	0,36	0,17	0,031	3,50E+04	7,1	60,0
Corto plazo (2017)	2,20	0,50	0,36	0,17	0,031	3,50E+04	7,1	60,0
Mediano plazo (2021)	2,19	0,54	0,36	0,16	0,042	3,37E+04	7,1	60,0
Largo plazo (2025)	2,18	0,58	0,36	0,16	0,053	3,11E+04	7,1	50,0
Ideal (-)	1,76	0,39	0,36	0,08	0,027	1,36E+04	7,1	50,0

Tabla 211 Valores proyectados de concentración en el corto, mediano y largo plazo para el río Verde

12.2.2.7 Control de aportes puntuales y difusos no identificados

A partir de los resultados de calibración y del análisis de acumulación de cargas contaminantes realizado en la etapa de diagnóstico, se logró inferir la existencia de aportes puntuales y difusos no identificados o medidos en las campañas de monitoreo. En particular, hay dos determinantes de la calidad del agua que tienen un efecto importante sobre la fuente receptora y que requieren un control progresivo en el horizonte de 10 años de vigencia de este PORH: los Coliformes Totales y el Nitrógeno Orgánico. En relación con los Coliformes Totales, el control es urgente en la parte alta de la unidad hidrográfica dado que se debe garantizar un nivel de concentración inferior a los 20000 NMP/100mL tanto en la captación

de la ciudad de Armenia como en la bocatoma del municipio La Tebaida, en donde las campañas de campo indicaron concentraciones superiores a dicho límite en época seca.

A continuación, en la Tabla 212 se presenta la reducción propuesta en el corto, mediano y largo plazo en los aportes difusos de Coliformes Totales y Nitrógeno Total con el fin de lograr niveles aceptables de concentración con la implementación del PORH, y en la Tabla 213 se indican los valores de concentración correspondientes.

Tramo	Nitrógeno orgánico			
	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo	Ideal
Tramo urbano	10.0%	20.0%	30.0%	40.0%
Tramo rural	10.0%	20.0%	30.0%	40.0%

Tramo	Coliformes Totales			
	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo	Ideal
Tramo RQ1-RQ2	50.0%	60.0%	70.0%	80.0%
Tramo RQ3-RQ4	30.0%	40.0%	50.0%	60.0%
Tramo intermedio	30.0%	40.0%	50.0%	60.0%
Tramo Armenia	10.0%	20.0%	30.0%	40.0%

Tabla 212 Reducción progresiva de aportes puntuales y difusos de Nitrógeno orgánico y Coliformes Totales a lo largo del río Quindío

Tramo	Abscisa		Caudal (m ³ /s)	Nitrógeno orgánico (ug/L N)				
	Inicio (km)	Fin (km)		Base	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo	Ideal
Tramo RQ1-RQ2	0.00	9.78	2.00	1425.66	1425.66	1425.66	1425.66	1425.66
Tramo RQ3-RQ4	11.65	14.34	0.19	4961.23	4961.23	4961.23	4961.23	4961.23
Tramo intermedio	14.34	26.66	0.63	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00
Tramo urbano	26.66	40.70	0.66	19027.29	17124.56	15221.83	13319.10	11416.37
Tramo rural	40.70	53.79	0.49	11951.03	10755.92	9560.82	8365.72	7170.62

Tramo	Abscisa		Caudal (m ³ /s)	Coliformes Totales (NMP/100mL)				
	Inicio (km)	Fin (km)		Base	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo	Ideal
Tramo RQ1-RQ2	0.00	9.78	2.00	99940.0	49970.0	39976.0	29982.0	19988.0
Tramo RQ3-RQ4	11.65	14.34	0.19	223247.7	156273.4	133948.6	111623.8	89299.1
Tramo intermedio	14.34	26.66	0.63	108790.0	76153.0	45691.8	22845.9	9138.4
Tramo Armenia	26.66	40.70	0.66	315340.0	283806.0	252272.0	220738.0	189204.0
Tramo rural	40.70	53.79	0.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 213 Aportes difusos proyectados de concentración de Nitrógeno orgánico y Coliformes Totales y de caudal

123 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

A continuación se presentan los perfiles longitudinales de los principales determinantes de la calidad del agua en el río Quindío, simulados en condiciones características de aguas bajas utilizando la herramienta de modelación QUAL2Kw. En las siguientes gráficas se representa la dinámica espacial de la calidad del agua del río Quindío. Allí se indican los tres tramos definidos para la obtención de los objetivos de calidad sobre el cuerpo de agua objeto de ordenamiento. Los límites están dados, desde aguas arriba hacia aguas abajo, por El Escobal, la confluencia del río Navarco, la confluencia de la quebrada El Pescador y, finalmente, la confluencia con el río Barragán.

El sector que, en términos generales, presentó los mayores aumentos de concentración, se encuentra después de la mitad del tramo comprendido entre el río Navarco y la quebrada El Pescador, el cual corresponde a la influencia directa de la ciudad de Armenia. Por esta razón, el tramo 2 fue dividido en dos: desde el río Navarco hasta la captación para el municipio de Tebaida y desde aguas abajo de dicha captación hasta aguas arriba de la quebrada El Pescador. Lo anterior es consistente con la definición de tramos establecida en la Resolución 1035 de 2008 de la CRQ por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad para las fuentes hídricas del Departamento del Quindío.

12.3.1 Caudal

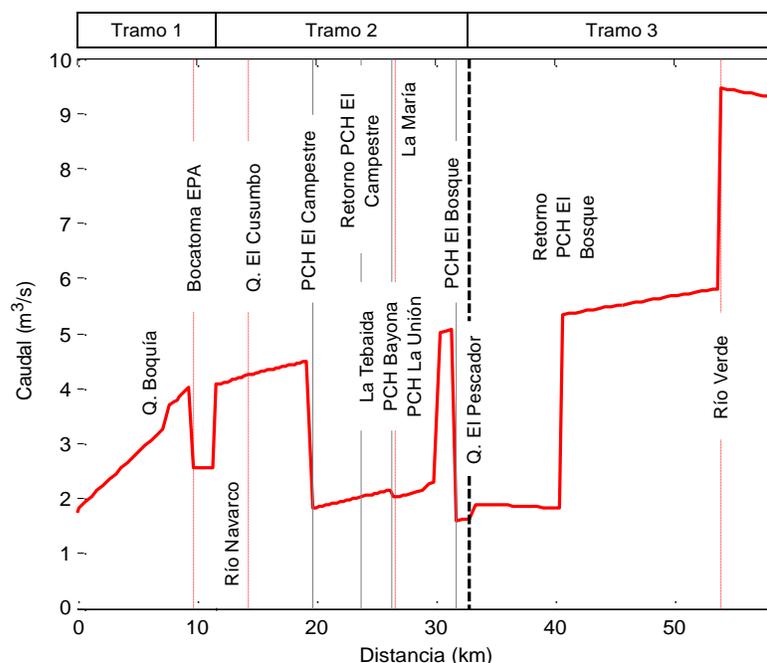


Figura 156 Perfil simulado de caudal para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.2 DBO₅

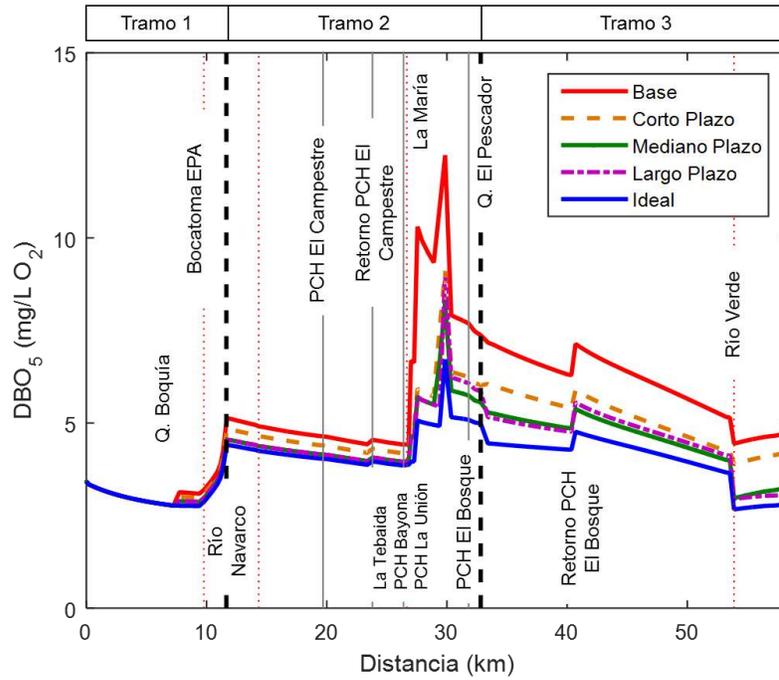


Figura 157 Comparación de los perfiles simulados de DBO₅ para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.3 SST

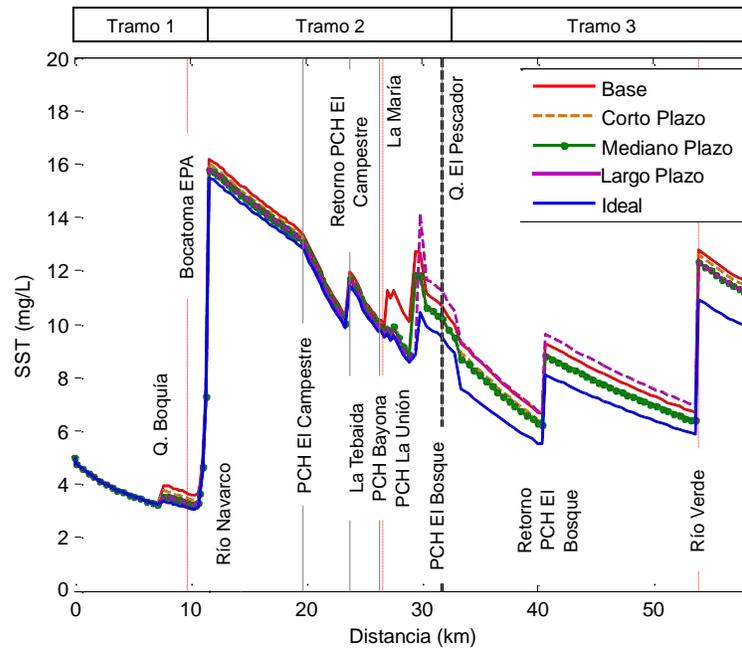


Figura 158 Comparación de los perfiles simulados de SST para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.4 Oxígeno Disuelto

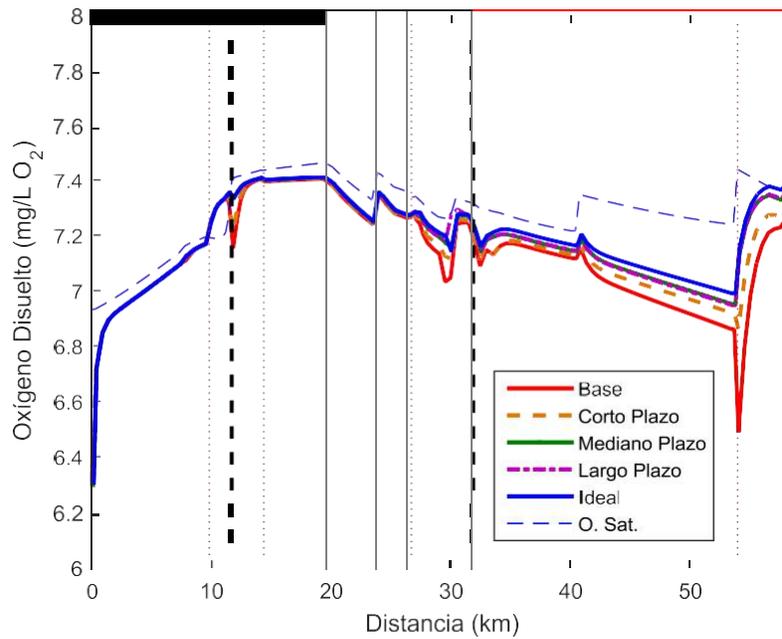


Figura 159 Comparación de los perfiles simulados de Oxígeno Disuelto para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.5 DQO

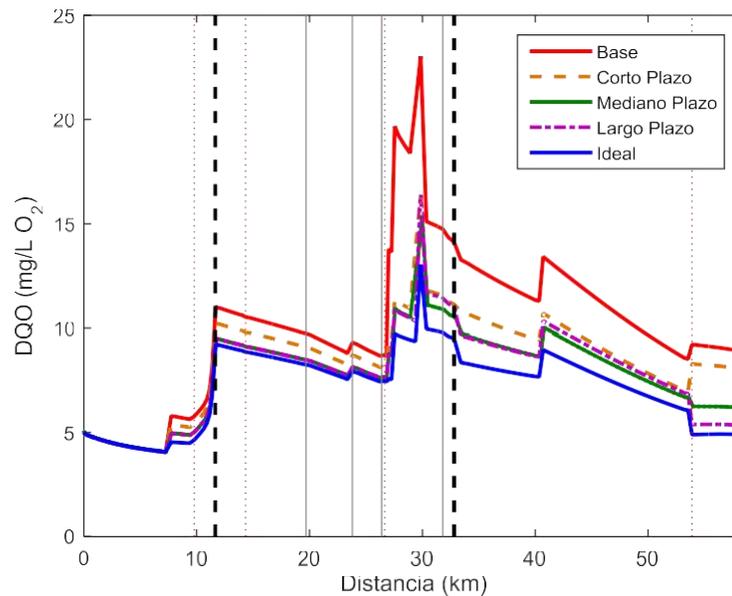


Figura 160 Comparación de los perfiles simulados de DQO para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.6 Nitrógeno Total

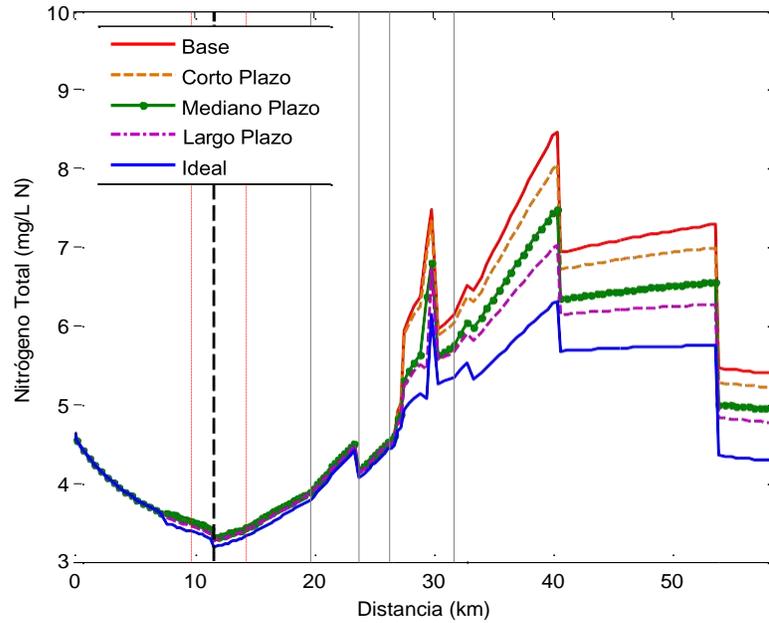


Figura 161 Comparación de los perfiles simulados de Nitrógeno Total para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.7 Fósforo Total

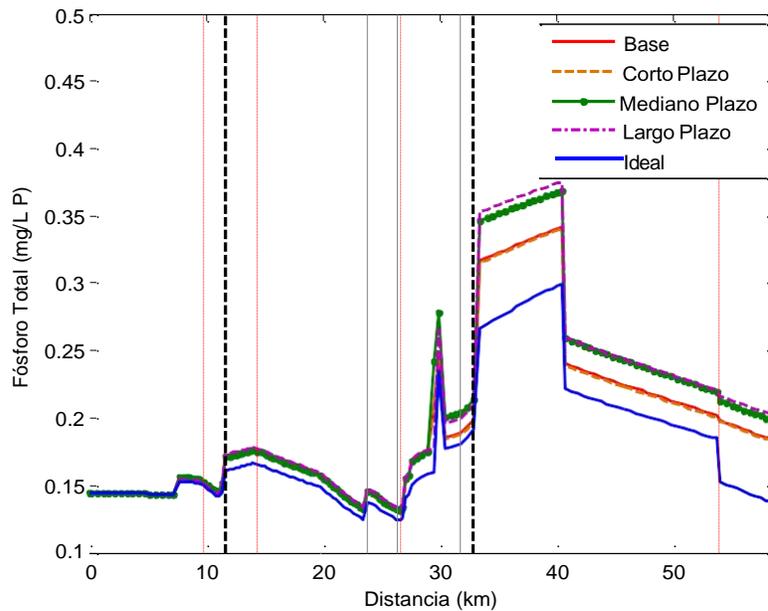


Figura 162 Comparación de los perfiles simulados de Fósforo Total para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.8 Nitrógeno amoniacal

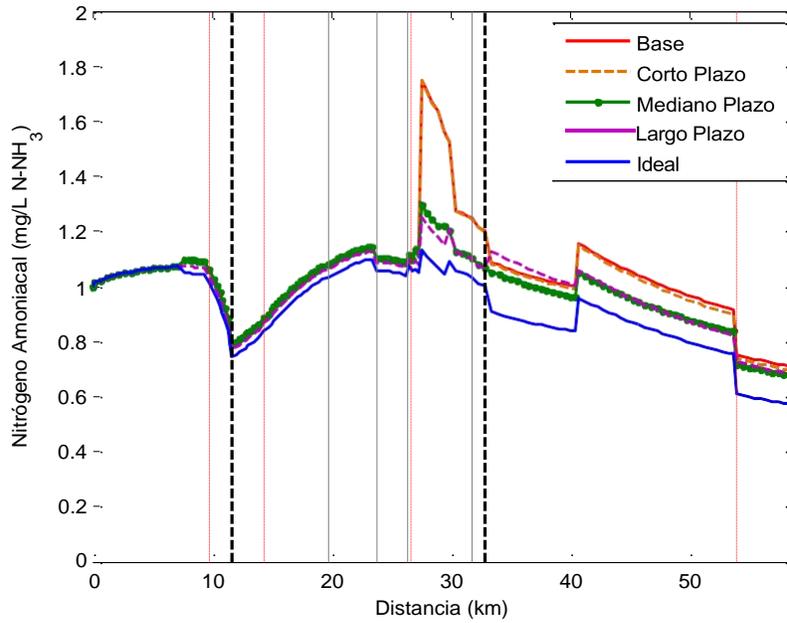


Figura 163 Comparación de los perfiles simulados de Nitrógeno amoniacal para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.9 Nitratos

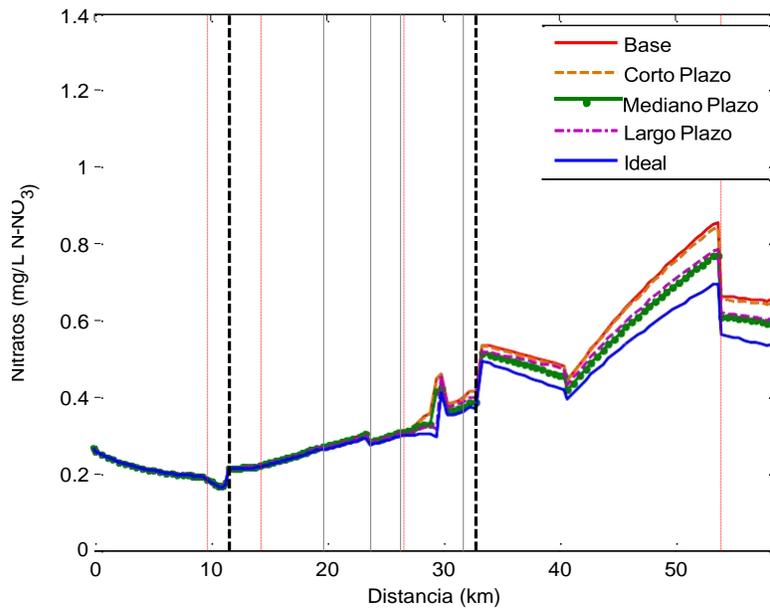


Figura 164 Comparación de los perfiles simulados de Nitratos para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.10 Coliformes Totales

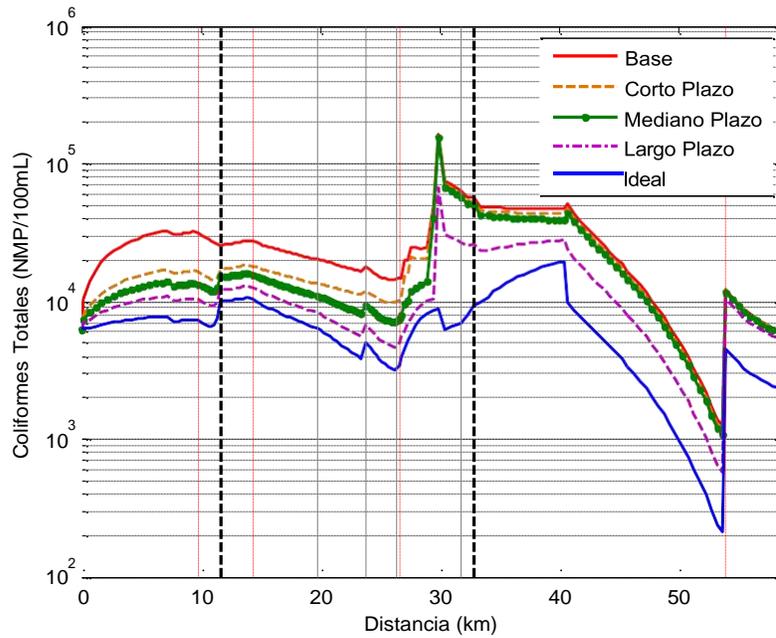


Figura 165 Comparación de los perfiles simulados de Coliformes Totales para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

12.3.11 pH

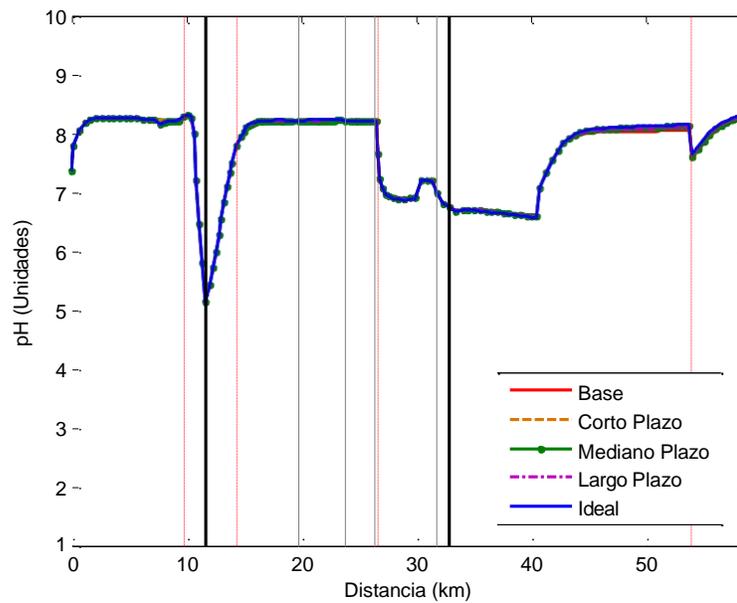


Figura 166 Perfiles simulados de pH para los 5 escenarios. Condiciones características de baja dilución en el río Quindío

124 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

De acuerdo con el artículo 205° del Decreto 1541 de 1978, 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:

1. Las cabeceras de las fuentes de agua;
2. Las aguas subterráneas;
3. Los cuerpos de agua o zonas costeras, utilizadas actualmente para recreación;
4. Un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable,
5. 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 Quindío y el sitio conocido como El Escobal, se clasifica como I, teniendo en cuenta que corresponde a la cabecera del cuerpo de agua.

Para determinar la extensión del sector aguas arriba de las captaciones para agua potable de la ciudad de Armenia y La Tebaida, se hizo el cálculo de la longitud de mezcla a partir de los resultados de aforo en época húmeda. Lo anterior, dado que, generalmente, a mayor velocidad y mayor ancho superficial (los cuales ocurren en época húmeda), la longitud de mezcla es mayor (sin embargo, si el coeficiente de dispersión lateral es muy pequeño, como suele ocurrir en época de aguas bajas, lo anterior no siempre aplica). El cálculo de la longitud de mezcla se hizo de acuerdo con las siguientes ecuaciones que suponen descarga lateral.

$$L_m = 0.4 \frac{UB^2}{D_{lat}}$$

[17]

$$D_{lat} = 0.6HU_*$$

[18]

$$U_* \cong \sqrt{gS_o H}$$

[19]

Siendo U la velocidad media en m/s, B el ancho superficial en metros, H la profundidad media en metros calculada como A/B siendo A el área mojada en m^2 , S_o la pendiente longitudinal, D_{lat} el coeficiente de dispersión lateral o transversal en m^2/s , en U^* la velocidad de fricción y g la aceleración de la gravedad igual a $9.81 m/s^2$.

En la Tabla 214 se presentan los resultados de longitud de mezcla de acuerdo con las mediciones efectuadas en las secciones de captación de la EPA y Tebaida, y se indica la distancia aguas arriba de ambas captaciones que no puede recibir vertimientos directos de aguas residuales.

ID	Sección	Abscisa (km)	S_o	Propiedades geométricas			Resultados de aforo		Longitud de mezcla			Distancia sector aguas arriba (km)
				A (m^2)	B (m)	H (m)	U (m/s)	Q (m^3/s)	U^* (m/s)	D_{lat} (m^2/s)	Lm (m)	
Q 2	Bocatoma EPA	9.78	0.023	6.76	26.7	0.25	0.97	6.53	0.24	0.036	7748.2	7.75
E3	Captación Tebaida	26.45	0.017	13.74	21	0.65	1.14	15.61	0.33	0.127	1582.5	1.58

Tabla 214 Cálculo de longitudes de mezcla y distancia aguas arriba de las captaciones de agua potable en el río Quindío que corresponden a sectores Clase I

De acuerdo con los resultados anteriores, se requiere hacer un control estricto a los vertimientos que llegan a la quebrada Boquía, ya que confluye dentro del sector estimado aguas arriba de la bocatoma EPA a partir de las consideraciones de mezcla. A manera de referencia, los resultados anteriores se reproducen en la Tabla 215 para las mediciones obtenidas en época seca.

ID	Sección	Abscisa (km)	S_o	Propiedades geométricas			Resultados de aforo		Longitud de mezcla			Distancia sector aguas arriba (km)
				A (m^2)	B (m)	H (m)	U (m/s)	Q (m^3/s)	U^* (m/s)	D_{lat} (m^2/s)	Lm (m)	
Q 2	Bocatoma EPA	9.78	0.023	4.71	27.45	0.17	0.75	1.44	0.20	0.020	11292.5	11.29
E3	Captación Tebaida	26.45	0.017	5.67	13	0.44	0.52	2.92	0.27	0.071	496.7	0.50

Tabla 215 Cálculo de longitudes de mezcla y distancia aguas arriba de las captaciones de agua potable en el río Quindío que corresponden a sectores Clase I – Época seca

La longitud de mezcla en época seca para la Bocatoma EPA es mayor a la estimada en época húmeda, lo cual se explica por el menor coeficiente de dispersión lateral estimado dado que la profundidad media es menor. La razón por la cual el ancho superficial B resultó siendo mayor en la época seca que en la húmeda, se debe a que la medición de caudal no se realizó exactamente en la misma sección transversal; no obstante ambos aforos se realizaron en el

mismo sector y son representativos de las condiciones geométricas e hidráulicas de la corriente.

De acuerdo con los resultados anteriores, se requiere hacer un control estricto a los vertimientos que llegan a la quebrada Boquía, ya que confluye dentro del sector estimado aguas arriba de la bocatoma EPA a partir de las consideraciones de mezcla. Además, se concluye que todo el tramo comprendido entre el nacimiento del río Quindío hasta la Bocatoma EPA, se clasifica como Clase I.

125 IDENTIFICACIÓN DE USOS POTENCIALES DEL RECURSO HÍDRICO EN EL RÍO QUINDÍO

Para la identificación de los usos potenciales en época seca, que 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 Quindío, se identificaron los valores máximos de los principales determinantes de la calidad del agua. Los valores identificados se redondearon convenientemente a un número superior cerrado. Con lo anterior, se buscó que el valor máximo identificado para un escenario con un horizonte de tiempo mayor, nunca fuera menos restrictivo que para un escenario en un horizonte de tiempo menor.
2. Con los valores obtenidos por tramo en el paso anterior, se identificaron los usos potenciales permitidos utilizando como referentes los criterios de calidad del agua en Colombia dados por el Decreto 1594 de 1984 y por otros países. Para este propósito se utilizó como referencia el consolidado elaborado por Sierra (2011).
3. Una vez identificados los usos potenciales, se hizo la categorización de los mismos de acuerdo con la Tabla 216.

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.	

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.

Tabla 216 Categorías de usos potenciales del agua para el río Quindío

Para la definición de los usos potenciales en época húmeda (y para los usos actuales en el escenario base), se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en la segunda campaña de monitoreo en el año 2014 y el respectivo análisis de conflictos uso-calidad de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, el cual se puede consultar en el documento de diagnóstico de este PORH.

En la Tabla 217 se presentan los resultados del paso 1 de identificación de usos potenciales. En la Tabla 218 se presenta el consolidado de criterios de calidad del agua a partir del trabajo presentado por Sierra (2011) y el Decreto 1594 de 1984.

Determinante de calidad del agua	Unidades	I. Nacimiento hasta aguas arriba del río Navarco				
		Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
DBO ₅	[mg/L O ₂]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
DQO	[mg/L O ₂]	12.0	11.0	10.0	10.0	10.0
SST	[mg/L]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Oxígeno Disuelto	[mg/L O ₂]	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
pH	[Unidades]	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5
Coliformes Totales	[NMP/100 mL]	3.5E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	1.0E+04
Nitrógeno Total	[mg/L N]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Nitrógeno Amoniacal**	[mg/L N - NH ₃]	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1
Nitritos + Nitratos	[mg/L N]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Fósforo Total	[mg/L P]	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16

Determinante de calidad del agua	Unidades	IIa. Aguas abajo del río Navarco hasta aguas abajo de la Bocatoma Tebaida				
		Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
DBO ₅	[mg/L O ₂]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
DQO	[mg/L O ₂]	12.0	11.0	10.0	10.0	10.0
SST	[mg/L]	16.5	16.0	16.0	16.0	16.0
Oxígeno Disuelto	[mg/L O ₂]	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
pH	[Unidades]	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5
Coliformes Totales	[NMP/100 mL]	3.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04
Nitrógeno Total	[mg/L N]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Nitrógeno Amoniacal**	[mg/L N - NH ₃]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Nitritos + Nitratos	[mg/L N]	0.35	0.35	0.35	0.3	0.3
Fósforo Total	[mg/L P]	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17

Determinante de calidad del agua	Unidades	IIb. Aguas abajo de la Bocatoma Tebaida hasta aguas arriba de la quebrada El Pescador				
		Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
DBO ₅	[mg/L O ₂]	12.5	9.5	9.5	9.5	7.0
DQO	[mg/L O ₂]	25.0	18.0	18.0	18.0	14.0
SST	[mg/L]	15.0	15.0	15.0	15.0	10.5
Oxígeno Disuelto	[mg/L O ₂]	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
pH	[Unidades]	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5
Coliformes Totales	[NMP/100 mL]	2.0E+05	2.0E+05	2.0E+05	7.0E+04	1.0E+04
Nitrógeno Total	[mg/L N]	7.5	7.5	7.0	7.0	7.0
Nitrógeno Amoniacal**	[mg/L N - NH ₃]	1.8	1.8	1.3	1.3	1.3
Nitritos + Nitratos	[mg/L N]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45
Fósforo Total	[mg/L P]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25

Determinante de calidad del agua	Unidades	III. Aguas abajo del quebrada El Pescador hasta aguas arriba de la quebrada La Picota				
		Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
DBO ₅	[mg/L O ₂]	7.5	6.5	6.0	6.0	5.0
DQO	[mg/L O ₂]	15.0	12.0	12.0	12.0	10.0
SST	[mg/L]	13.0	13.0	13.0	13.0	11.0
Oxígeno Disuelto	[mg/L O ₂]	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
pH	[Unidades]	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5
Coliformes Totales	[NMP/100 mL]	5.0E+04	5.0E+04	4.0E+04	3.0E+04	2.0E+04
Nitrógeno Total	[mg/L N]	8.5	8.5	7.5	7.5	6.5
Nitrógeno Amoniacal**	[mg/L N - NH ₃]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0
Nitritos + Nitratos	[mg/L N]	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7
Fósforo Total	[mg/L P]	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

Notas: ** De acuerdo con los resultados de modelación, el Nitrógeno Amoniacal es ligeramente superior a 1.0 en la gran mayoría de escenarios simulados. No obstante, debido a que la diferencia no es significativa con respecto a 1.0 y a que los resultados de ambas campañas de 2014 reportaron valores <1.0 mg/L N-NH₃, para efectos prácticos, se supone que el umbral para Amonio es igual a 1.0, por lo tanto no hay conflicto con uso para consumo humano y doméstico para este determinante.

Tabla 217 Umbrales de concentración identificados para los diferentes escenarios simulados en el río Quindío en época seca (condición crítica de mínima dilución)

USOS DEL AGUA	DBO ₅	SST	Oxígeno Disuelto	pH	Coliformes Totales
	[mg/L O ₂]	[mg/L]	[mg/L O ₂]	[Unidades]	[NMP/100 mL]
Consumo humano y doméstico (Solo Desinfección)	-	-	-	6,5 - 8,5	20000
Consumo humano y doméstico (Tratamiento convencional)	-	-	-	5,0 - 9,0	20000
Preservación de flora y fauna	-	-	5	6,5 - 9,0	-
Agrícola con restricciones	10	30	2	6,0 - 9,0	-
Agrícola sin restricciones	30	-	-	6,0 - 9,0	5000
Pecuario	-	-	4	6,5 - 9,0	-
Recreativo contacto primario	20	500	5	5,0 - 9,0	1000
Recreativo contacto secundario	10	-	2	5,0 - 9,0	5000
Industrial	-	1000	2	6,0 - 8,5	-
Industrial: explotación manual de material de construcción y material de arrastre	-	1000	2	6,0 - 8,5	5000
Estético	30	-	2	-	-
Pesca, Maricultura y Acuicultura	-	-	2	5,0 - 9,0	-
Navegación y Transporte Acuático	-	-	-	-	-

USOS DEL AGUA	Nitrógeno Amoniacal	Nitritos + Nitratos	Fósforo Total
	[mg/L N - NH ₃]	[mg/L N]	[mg/L P]
Consumo humano y doméstico (Solo Desinfección)	1	10	-
Consumo humano y doméstico (Tratamiento convencional)	1	10	-
Preservación de flora y fauna	-	-	-
Agrícola con restricciones	5	-	10
Agrícola sin restricciones	5	-	-
Pecuario	1	10	0,5
Recreativo contacto primario	2,5	-	0,5
Recreativo contacto secundario	3	-	1
Industrial	1	10	1
Industrial: explotación manual de material de construcción y material de arrastre	1	10	1
Estético	-	-	-
Pesca, Maricultura y Acuicultura	3	-	1

Tabla 218 Criterios de calidad del agua considerados para la identificación de los usos potenciales del recurso hídrico superficial en el río Quindío

A continuación, en la Tabla 219, se indican los usos potenciales identificados de acuerdo con los resultados de modelación de la calidad del agua y el análisis de conflictos uso-calidad en la etapa de diagnóstico.

Época	I. Nacimiento hasta aguas arriba del río Navarco				
	Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
Seca	B	B	B	B	B
Húmeda y transición	A				

CP: Corto plazo MP: Mediano plazo LP: Largo plazo

Época	IIa. Aguas abajo del río Navarco hasta aguas abajo de la Bocatoma Tebaida				
	Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
Seca	C	B	B	B	B
Húmeda y transición	A				

CP: Corto plazo MP: Mediano plazo LP: Largo plazo

Época	IIb. Aguas abajo de la Bocatoma Tebaida hasta aguas arriba de la quebrada El Pescador				
	Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
Seca	C	C	C	C	B
Húmeda y transición	B				

CP: Corto plazo MP: Mediano plazo LP: Largo plazo

Época	III. Aguas abajo del quebrada El Pescador hasta aguas arriba de la confl. Con el río Barragán				
	Base	CP (2017)	MP (2021)	LP (2025)	Ideal (-)
Seca	C	C	C	C	B
Húmeda y transición	B				

CP: Corto plazo MP: Mediano plazo LP: Largo plazo

Tabla 219 Usos potenciales identificados en el río Quindío en época seca

12.6 REVISIÓN Y AJUSTE DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL RÍO QUINDÍO

En primer lugar, se evaluaron los objetivos de calidad contenidos en la Resolución 1035 de 2008 de la CRQ, comparando los valores para los determinantes de la calidad del agua analizados en el marco de este PORH, con las concentraciones referidas en el paso 1 de identificación de usos potenciales (ver sección anterior). 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 Quindío en ambas campañas de monitoreo, y para aquellas si detectadas, no se presentaron niveles de concentración prohibitivos en el cuerpo de agua (como los casos específicos del arsénico, hierro, selenio, cloruros y sulfatos).

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 húmeda y de transición se deberá verificar por parte de la Autoridad Ambiental que los objetivos de calidad del agua asignados en época seca no sean excedidos, 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 unidad hidrográfica 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 en época seca, se siguió el siguiente procedimiento:

1. A cada tramo del río Quindío se le asignó una de las categorías de la Tabla 216 para la época seca. 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. Se definieron los valores más restrictivos de concentración para cada grupo, de acuerdo con los diferentes criterios de calidad del agua asociados a cada uso. Dichas concentraciones son los objetivos de calidad para el tramo analizado, en el horizonte de tiempo específico.
3. En algunos casos, como para los SST y la DBO₅, se definieron criterios más restrictivos que los mencionados en el numeral anterior con el fin de no dar un margen muy amplio de contaminación dados los umbrales encontrados para cada escenario.

En la Tabla 220 se indican los objetivos de calidad para el río Quindío de acuerdo con la categorización establecida para los usos potenciales.

Determinante de calidad del agua	Unidades	A	B	C	D
DBO ₅	[mg/L O ₂]	5.0	5.0	15.0	30.0
DQO	[mg/L O ₂]	10.0	15.0	25.0	30.0
SST**	[mg/L]	20.0	20.0	30.0	50.0
Oxígeno Disuelto	[mg/L O ₂]	7.0	7.0	6.0	6.0
pH	[Unidades]	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 9.0	5.0 – 9.0
Coliformes Totales	[NMP/100 mL]	5000	2.0E+04	3.5E+04	5.0E+04
Coliformes Term.	[UFC/100mL] ó [NMP/100mL]	200	1000	2000	2000
Nitrógeno Total	[mg/L N]	5.0	5.0	5.0	5.0
Nitrógeno Amoniacal	[mg/L N - NH ₃]	1.0	1.0	3.0	5.0
Nitritos + Nitratos	[mg/L N]	10.0	10.0	10.0	10.0
Fósforo Total	[mg/L P]	0.5	1.0	10.0	10.0

Nota: * Para el caso del escenario base, los usos deben leerse como “actuales” y los objetivos de calidad como “criterios de calidad del agua de transición hacia el corto plazo”.

** Solo aplicable en época de verano. Para la época de transición e invierno, en el tramo IIa (aguas abajo del río Navarco hasta aguas abajo de la Bocatoma Tebaida) se establecerá en todos los horizontes de tiempo un límite de 200 mg/L de SST sobre el río Quindío; en los tramos restantes, el objetivo de calidad será 50 mg/L para todos los horizontes de tiempo.

Tabla 220 Objetivos de calidad para el río Quindío

Los determinantes no incluidos en la Tabla 220 deberán cumplir con lo establecido en los artículos 38 a 45 del Decreto 1594 de 1984, o el que lo modifique y sustituya. , de acuerdo con los usos potenciales establecidos en cada horizonte de tiempo.

Nótese que, como criterios de calidad del agua para el control de la contaminación por organismos patógenos, se utilizan los Coliformes Totales y los Coliformes Termotolerantes. Éstos últimos hacen parte del grupo de los Coliformes Fecales y se utilizan como indicadores por las siguientes razones:

1. Los Coliformes Termotolerantes comprenden, además del *E. Coli*, las especies *citrobacter cloacae* y *enterobacter diversus*, entre otros, cuya presencia también representa un riesgo para la salud pública y manifiestan diferentes niveles de tolerancia al medio que el *E. Coli* no tiene. Así mismo, se ha encontrado que los *E. Coli* son aproximadamente el 80% de los Coliformes Termotolerantes (Larrea et al., 2013).
2. La nueva norma colombiana de vertimientos (Res. 631 de 2015, Capítulo III) requiere la medición de Coliformes Termotolerantes en NMP/100mL como indicadores de contaminación por organismos microbiológicos.
3. Los criterios de calidad del agua asociados a los Coliformes Termotolerantes son los mismos que los encontrados para los Coliformes fecales en la norma colombiana vigente (Decreto 1594 de 1984), y dichos criterios se pueden mantener en unidades de UFC/100mL (como lo hace la EPA de los EE.UU.) o en NMP/100mL.

Por otra parte, los Coliformes Totales se mantienen porque, de acuerdo con los resultados de la campaña de monitoreo, presentan niveles altos de concentración e implican conflictos de uso por calidad del agua. Así mismo, dicho indicador se encuentra vigente en la normatividad colombiana por el Decreto 3930 de 2010.

12.7 ZONAS DE PROHIBICIÓN DE USOS ESPECÍFICOS

De acuerdo con los resultados de Coliformes Totales obtenidos en la campaña de monitoreo en época seca del año 2014, y a los resultados de simulación para los 5 escenarios bajo las mismas condiciones, en ningún tramo del río Quindío hubo niveles por debajo de 1000 NMP/100mL. Lo anterior implica que, según el Decreto 1594 de 1984, en ningún tramo del río se podrá llevar a cabo el uso recreativo con contacto primario (como natación y buceo) en época seca. Dado que en la época húmeda y de transición 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 todo el río Quindío el uso recreativo con contacto primario en cualquier época del año y por el período de vigencia del presente PORH. En relación con las actividades de explotación manual de material de arrastre que implica el contacto secundario de los trabajadores con el agua del río Quindío, las cuales se llevan a cabo actualmente en los tramos IIa y IIb principalmente, se recomienda a la Autoridad Ambiental que, dentro del componente programático del PORH del río Quindío, incluya la realización de un muestreo microbiológico completo y detallado en época seca, y húmeda o transición, para descartar altos riesgos por enfermedades. De ser así, se podrá dar vía libre a este tipo de uso industrial. Los resultados de las campañas de 2014 indicaron un bajo contenido de Coliformes Termotolerantes que suelen estar asociados a contaminación fecal, no obstante, dada la importancia del caso, se requieren muestreos confirmatorios para reducir el riesgo de enfermedades.

13 FASE DE FORMULACIÓN

13.1 ARTICULACIÓN CON EL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA

Esta sección analiza la correspondencia entre los indicadores de cantidad y calidad del recurso hídrico del PORH de la unidad hidrográfica del río Quindío con los del POMCH del Río La Vieja (con énfasis en la unidad hidrográfica del río Quindío). Se examina la necesidad de actualizar los escenarios prospectivos del componente Recurso Hídrico del POMCH, con el fin de que la Zonificación Ambiental contribuya al cumplimiento de los objetivos de calidad planteados en el PORH. Finalmente se plantea y justifica la necesidad de ajustar el POMCH en su componente programático para contribuir al cumplimiento de los objetivos de calidad definidos en el PORH.

13.1.1 Análisis de correspondencia de indicadores del componente Recurso Hídrico entre POMCH y PORH

El actual Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río La Vieja, analiza por subcuenca y a escala anual Índices de Uso del Agua (IUA), y parámetros asociados a la calidad del recurso en diferentes puntos de monitoreo (pH, Alcalinidad, Turbiedad, Conductividad, Color, OD, DQO, DBO5, ST, SST, SDT, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Temperatura del agua, Nitratos, Fosfatos), así como el índice IFSN.

Para hacer posible la articulación en términos de línea base entre los dos instrumentos de planificación, y facilitar el flujo de información entre el sistema de información y su transferencia para implementar acciones de gestión, se requiere unificar los indicadores, al menos en los siguientes aspectos:

- Cálculo de índices de aridez a escala mensual por unidad hidrográfica (IA)
- Cálculo de índices de uso del agua a escala mensual por unidad hidrográfica o tramo (IUA)
- Cálculo de índices de retención y regulación hídrica por unidad hidrográfica o tramo a escala mensual (IRH)
- Cálculo de índices de vulnerabilidad por desabastecimiento por unidades hidrográficas o tramo a escala mensual (IVH)
- Cálculo de índices de calidad del agua por unidad hidrográfica o tramo en condiciones húmeda y seca (ICA)
- Cálculo de índices de alteración potencial a la calidad del agua por unidad hidrográfica o tramo (IACAL)
- Porcentaje de área con coberturas naturales en unidades hidrográficas abastecedoras municipales o rurales

- Porcentaje de áreas restauradas o conservadas en unidades hidrográficas abastecedoras de acueductos

13.1.2 Coherencia de la Zonificación Ambiental del POMCH del río La Vieja en la unidad hidrográfica del río Quindío con los elementos de ordenamiento del PORH del río Quindío

Las categorías de zonificación ambiental para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas han cambiado con respecto a las planteadas en el POMCH del río La Vieja (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2014), es por ello que en la próxima revisión del Plan se deberán realizar actualizaciones en la zonificación ambiental. No solo debido al cambio de categorías de zonificación, sino también a la dinámica propia de las relaciones de gestión, uso y apropiación del territorio por parte de la sociedad.

En las alternativas de solución de la problemática ambiental identificada en el POMCH del río La Vieja (2008), se incluye la “*Priorización y reforestación de áreas de captación*”, “*Incrementar la cobertura protectora de cuencas abastecedoras de acueductos*”, “*Proteger los ecosistemas vitales para conservar el Recurso Hídrico como páramos, humedales, nevados y guaduales...*”, realización de “*Estudios de identificación y priorización de áreas y ecosistemas estratégicos a proteger*”, entre otras. En el marco del PORH del río Quindío se han identificado y priorizado áreas de importancia para la conservación del recurso hídrico en microcuencas abastecedoras de acueductos, cuyos resultados se presentan en un informe independiente complementario llamado “*Identificación y priorización de 12 microcuencas de importancia estratégica para el abastecimiento de recurso hídrico, incluyendo un Esquema preliminar de posibles estrategias de conservación a través de cambio de propiedad de la tierra, pagos por servicios ambientales (PSA) y cartografía temática actualizada de las 12 microcuencas*”. Por lo que estas áreas priorizadas deberán tomarse como elementos de ordenación del territorio para ajustar y actualizar la zonificación ambiental del POMCH, ya que sus mismas alternativas de solución de problemáticas involucra enfocar esfuerzos para la identificación de áreas de interés para la regulación hídrica.

13.1.3 Necesidades de Ajustes del POMCH en su componente programático

El objetivo específico 5 del POMCH del río La Vieja (2008) está directamente relacionado con el ordenamiento del recurso hídrico en la cuenca, ya que busca “*Realizar gestión integral del recurso hídrico y mejoramiento del saneamiento básico de la Cuenca*” y su alcance se soporta en el Programa 5 “*Uso sostenible del agua y saneamiento básico*”, el cual está estructurado en cinco subprogramas: I) Reglamentación de corrientes en la cuenca del río La Vieja, II) Ahorro y uso eficiente del agua, III) Monitoreo de calidad y cantidad de agua

superficial y subterránea, IV) Manejo de aguas residuales de la cuenca, y V) Gestión integral de residuos sólidos). Los subprogramas 5 “Reglamentación de actividades mineras de extracción de material de arrastre en la cuenca” y 6 “Manejo sostenible del suelo de la cuenca”, están diseñados para reducir el impacto negativo de los sectores productivos en los recursos naturales.

El POMCH dedica el Programa 7 al diseño e implementación de un sistema de información para la gestión ambiental de la cuenca, el cual se concibe como una herramienta fundamental para producir información de calidad y actualizada de los diferentes sistemas de la cuenca. En ese programa se reconoce la necesidad de enfocar esfuerzos tendientes a la consolidación de una red para la toma, procesamiento y difusión de información acerca del “*estado y evolución del agua superficial y subterránea de la cuenca*”.

El POMCH del río La Vieja tiene como horizonte de planificación el año 2019, su próxima revisión y ajuste deberá considerar además de los anteriores programas y subprogramas, los siguientes temas de interés estratégico para la sostenibilidad del aprovechamiento del recurso hídrico, que deberán implementarse por lo menos en la cuenca del río Quindío:

- Estrategias para conocer, evaluar y mitigar el potencial efecto del cambio climático sobre la distribución espacio-temporal de la oferta hídrica y sobre la calidad del recurso hídrico
- Fortalecer los sistemas de información en sus componentes de monitoreo, procesamiento y generación de conocimiento relevante para la gestión, y diseminación de la información producida.
- Acciones para la integración y acoplamiento eficiente de los sistemas de información (ej: Sistema de información del Recurso Hídrico, Sistema de Información Geográfico, Sistema de Indicadores Ambientales, Sistema de Información Forestal y de Biodiversidad, etc)
- Estrategias para identificar y evaluar factores de riesgo de reducción de la garantía de suministro de recurso hídrico a usos prioritarios
- Gestión enfocada a trascender el uso separado de aguas superficiales y subterráneas, mediante el diseño y aplicación de protocolos de utilización conjunta en un mismo sistema de usuarios con el propósito de aumentar la garantía de suministro.

Además de considerar los anteriores temas para la actualización del componente programático del POMCH, se deberán tener en cuenta en el componente de Recurso Hídrico, la actualización de escenarios prospectivos teniendo como referente una coherencia con los escenarios a corto, mediano y largo plazo establecidos en el PORH, así como la consecuente formulación de proyectos y/o actividades tendientes a su consolidación.

132 COMPONENTE PROGRAMÁTICO DEL PORH

13.2.1 Programa 1. Monitoreo y Seguimiento al Recurso Hídrico

El monitoreo se centra en tres aspectos: Variables Hidrometeorológicas, Calidad Físico-Química y Calidad Hidrobiológica del agua.

En términos de monitoreo hidrometeorológico, se debe adelantar una modernización de las estaciones limnimétricas existentes así como la instalación de nuevas estaciones en algunas unidades hidrográficas con el propósito de conocer mejor la distribución y dinámica del ciclo hidrológico en la unidad hidrográfica. 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. La escala temporal de recolección de datos de niveles deberá ser horaria 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. La Autoridad Ambiental deberá 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 las mismas.

La precipitación es la variable meteorológica más relevante para conocer la dinámica y distribución espacio-temporal del agua en la cuenca, así como para explicar la variabilidad de la producción de escorrentía. La precipitación en la cuenca ocurre en forma de lluvia vertical y lluvia horizontal (esta última en las zonas de bosque de niebla), y debido a que estos tipos de lluvia son altamente variables en el tiempo y en el espacio, es necesario elaborar un análisis del nivel de representatividad de las estaciones pluviométricas activas y rediseñar la red pluviométrica. Además, resulta fundamental instalar estaciones de monitoreo de lluvia horizontal en las franjas altitudinales con presencia de bosque de niebla, con el fin de valorar el orden de magnitud de su contribución como entrada al balance hídrico. La escala temporal de monitoreo de la precipitación deberá ser en todos los casos sub-horaria.

La evapotranspiración es una variable muy importante en el balance hídrico. Para realizar una estimación de la evapotranspiración real y potencial con un adecuado nivel de verosimilitud se requiere conocer variables meteorológicas como temperatura del aire, humedad relativa, presión barométrica, radiación solar, radiación solar neta, velocidad y dirección del viento, temperatura de rocío. Por lo que los errores de medición y almacenamiento de estas variables meteorológicas en campo generan errores en la estimación de la Evapotranspiración. Por ello los principios de diseño de la red meteorológica deben ser elaborados con el mayor rigor posible considerando la varianza espacial de cada parámetro, para evitar un desbalance en la densidad de puntos de monitoreo.

La autoridad ambiental deberá revisar y rediseñar la red de monitoreo meteorológico, considerando los errores sistemáticos, aleatorios y de procesamiento. Los errores

sistemáticos entendidos como los causados por defectos en la fabricación de los sensores o fallas en la calibración de los mismos. En errores aleatorios la fuente de error es desconocida y no presentan un patrón discernible (algunas causas son limitaciones del instrumento de medición, factores ambientales no controlados, fallos del sistema de lectura, transferencia y almacenamiento de los datos). Los errores de procesamiento se refieren a fallos en la manipulación de los datos para generar información. Dentro del rediseño de la red es fundamental incluir protocolos de control de calidad de las mediciones, desarrollando o considerando procedimientos estandarizados de operación de la red, con énfasis en la colecta de datos de campo, su procesamiento y almacenamiento.

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 Quindío deberá realizarse de manera continua en sitios que se identifiquen como representativos de cada unidad hidrogeológica. El diseño de la red de piezómetros deberá incluir como criterios de priorización:

- 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

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 físico-químicos básicos, deben analizarse concentraciones de metales, benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos (BTEX), hidrocarburos poliaromáticos (PAH), y pesticidas.

El avance en el cumplimiento de los objetivos de calidad deberá evaluarse mediante el monitoreo de parámetros físico-químicos 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. Como mínimo deberá realizarse 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, Manganeso, Zinc). En cada punto de monitoreo 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. Es

necesario realizar un estudio de zona de mezcla en el subtramo aguas debajo de los vertimientos de curtiembres en el sector “La María” (que incluya la realización de ensayos con trazadores para diferentes caudales), orientado a definir de manera mas detallada la zona de prohibición de usos del agua aguas abajo del sitio de vertimiento de las curtiembres y que logre incluso recomendar la estructura óptima de descarga que minimice la extensión de dicha zona. Lo cual podrá ser solicitado directamente a los usuarios en el marco del seguimiento al permiso de vertimiento correspondiente.

El monitoreo Hidrobiológico es fundamental para valorar el impacto del uso y la alteración de la calidad físico-química natural del cuerpo de agua sobre el ecosistema acuático, además, son necesarios para evaluar la evolución de los indicadores hidrobiológicos. Estas campañas de monitoreo deben realizarse mensualmente en los 8 puntos de monitoreo hidrobiológico definidos en el PORH, incluyendo la caracterización ecológica de peces, macroinvertebrados y perifiton. 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 físico-químicos de calidad del agua: OD, Conductividad, SST, pH, Temperatura del agua. Lo cual contribuye a tener insumos a mediano plazo para definir concretamente la relación entre estos parámetros y la respuesta ecológica del ecosistema acuático.

Los sedimentos depositados en el cauce interactúan con el cuerpo de agua, generándose un intercambio de elementos entre las dos fases (sólida y líquida), por lo que puede considerarse que los sedimentos asociados a la dinámica fluvio-torrencial del río funcionan potencialmente como fuente y sumidero de sustancias contaminantes. Por lo anterior, es necesario considerar en el programa de monitoreo propuesto, el grado de incidencia de los sedimentos como fuente/reservorio de contaminación hacia/desde el cuerpo de agua, e identificación de zonas críticas para la movilización o acumulación de sustancias peligrosas como metales pesados.

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
Modernización de la red hidrométrica	Implementación de la red hidrométrica rediseñada			Porcentaje de implementación y operación de la red hidrométrica rediseñada
Elaboración de protocolo para la calibración de curvas Nivel-Caudal	Un protocolo elaborado para la red rediseñada			Numero de protocolos de calibración de curvas nivel-caudal elaborados
Análisis del nivel de representatividad de las estaciones pluviométricas activas y rediseño de la red pluviométrica tomando como criterio la varianza espacial de la lluvia	Implementación de la red pluviométrica rediseñada	Un documento técnico con la reevaluación del nivel de representatividad de la variabilidad espacial de la lluvia en la red		Número de documentos técnicos con el análisis espacial del nivel de representatividad de la red pluviométrica actual y rediseño de la misma. Porcentaje de implementación y

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
		pluviométrica actual y rediseño de la misma		operación de la red pluviométrica rediseñada
Modernización de la red de monitoreo meteorológico	Implementación de la red de monitoreo meteorológico			Porcentaje de implementación y operación de la red de monitoreo meteorológico
Priorización de acuíferos y estudios para el diseño de una red de monitoreo piezométrica		Un estudio de priorización de acuíferos y diseño del monitoreo piezométrico	Implementación de la red piezométrica	Número de estudios de priorización de acuíferos y diseño de la red de monitoreo piezométrica Porcentaje de implementación y operación de la red piezométrica
Monitoreo de la calidad físico-química del agua subterránea en los puntos de muestreo piezométrico		Como mínimo una campaña de monitoreo por año en cada pozo	Como mínimo una campaña de monitoreo por año en cada pozo	Número de campañas de monitoreo de calidad físico-química del agua subterránea realizadas por año en cada pozo de observación
Campañas de monitoreo de parámetros físico-químicos del agua superficial en los tramos en ordenamiento	Como mínimo una campaña de monitoreo por año en cada punto de muestreo	Como mínimo una campaña de monitoreo por año en cada punto de muestreo	Como mínimo una campaña de monitoreo por año en cada punto de muestreo	Número de campañas de monitoreo de calidad físico-química del agua superficial en los puntos de muestreo en los tramos en ordenamiento por año
Campañas de monitoreo hidrobiológico en los puntos de muestreo definidos en el PORH	Una campaña de monitoreo mensual en cada punto de muestreo	Una campaña de monitoreo mensual en cada punto de muestreo	Una campaña de monitoreo mensual en cada punto de muestreo	Número de campañas de monitoreo hidrobiológico mensual en cada punto de monitoreo por año
Seguimiento y mantenimiento de las redes de monitoreo hidrométrica, pluviométrica, meteorológica y piezométrica	Un informe de seguimiento y mantenimiento de las redes hidrométrica, pluviométrica, y meteorológica	Un informe de seguimiento y mantenimiento de las redes hidrométrica, pluviométrica, meteorológica y piezométrica	Un informe de seguimiento y mantenimiento de las redes hidrométrica, pluviométrica, meteorológica y piezométrica	Número de informes de seguimiento y mantenimiento de las redes hidrométrica, pluviométrica, meteorológica en el corto, mediano y largo plazo, y de la red piezométrica en el mediano y largo plazo
Ejecución de acciones de control y seguimiento a las captaciones y vertimientos sobre los tramos del río Quindío Ordenados	4 Informes o Conceptos técnicos de control y vigilancia por año	4 Informes o Conceptos técnicos de control y vigilancia por año	4 Informes o Conceptos técnicos de control y vigilancia por año	Número de Informes o Conceptos técnicos de control y vigilancia por año
Análisis de la carga total reducida por año en cada tramo ordenado	Un informe anual de evaluación de cargas contaminantes reducidas	Un informe anual de evaluación de cargas contaminantes reducidas	Un informe anual de evaluación de cargas contaminantes reducidas	Número de informes de evaluación de carga total reducida por año en cada tramo ordenado

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
		contaminantes reducidas		
Evaluación del número de tramos que cumplen objetivos de calidad	Seguimiento al cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos en todos los tramos de la unidad hidrográfica rio Quindío	Seguimiento al cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos en todos los tramos de la unidad hidrográfica rio Quindío	Seguimiento al cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos en todos los tramos de la unidad hidrográfica rio Quindío	Informe anual sobre cumplimiento de objetivos de calidad a corto, mediano y largo plazo

13.2.2 Programa 2. Conocimiento y Manejo de factores de riesgo para la oferta y disponibilidad del recurso hídrico en la unidad hidrográfica

El sistema hidrológico y de aprovechamiento de recursos hídricos de la cuenca del río Quindío está condicionado a sufrir alteraciones en la distribución espacio-temporal del agua en los diferentes almacenamientos y flujos naturales y artificiales que constituyen el sistema. Lo cual se debe fundamentalmente a cambios ambientales inducidos de manera natural o por acción antrópica, dichos cambios pueden amplificar el riesgo de disminución de la disponibilidad del agua y la oferta hídrica. Los principales factores de riesgo que deben ser considerados son los siguientes:

1. **Efecto de la variabilidad y cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca.** Es necesario desarrollar conocimiento local frente a la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales naturales al cambio climático, ya que dichos ecosistemas representan en gran proporción una garantía de regulación y sostenibilidad de servicios ecosistémicos asociados al agua.
2. **Identificación y manejo de sitios críticos de producción y transporte de sedimentos en la cuenca.** La degradación de los suelos por prácticas culturales inadecuadas así como los cambios de cobertura hacen que potencialmente cambien algunas propiedades hidráulicas del suelo y activen procesos de remoción en masa y otros tipos de erosión, por cambiar el estado de equilibrio de las laderas como respuesta a dicho cambio. Ello repercute en mayores cargas de sedimentos transportados por la red de cauces y alteración en el ciclo de sedimentos. Por ello es fundamental desarrollar trabajos tendientes al manejo y conservación de los suelos en las áreas más críticas.
3. **Evaluación de la incertidumbre de las simulaciones de calidad y cantidad de agua, y su efecto en el ordenamiento del recurso hídrico.** La determinación de objetivos de calidad se basa en la simulación de escenarios a través de modelación matemática del flujo de agua y el transporte advectivo y difusivo a través de los diferentes tramos en ordenamiento. Debido a simplificaciones asumidas en el proceso

de modelación, relacionada con la representación de procesos, la estimación de parámetros y errores en las variables de entrada, es necesario estimar los rangos de confiabilidad de las simulaciones realizadas en el proceso de modelación y evaluar la magnitud de la propagación de dicha incertidumbre hacia la definición de los criterios de ordenamiento.

4. **Diseño de estrategias de reducción de la vulnerabilidad de los sistemas de suministro del recurso hídrico en los diferentes usos, con prioridad en el uso para consumo humano.** Se refiere a la valoración del grado de susceptibilidad de los sistemas de acueducto a ser afectados por condiciones ambientales extremas, y qué tan eficiente es su protocolo de respuesta y recuperación y en su protocolo de suministro alternativo.

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
Efecto del cambio climático en la vegetación y los servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico en la cuenca	10 Campañas de campo en parcelas de vegetación para evaluar la relación suelo-cobertura-agua por año	10 Campañas de campo en parcelas de vegetación para evaluar la relación suelo-cobertura-agua por año	10 Campañas de campo en parcelas de vegetación para evaluar la relación suelo-cobertura-agua por año Un estudio del efecto de la variabilidad climática sobre la vegetación y servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico	Número de campañas de campo en parcelas de vegetación para evaluar la relación suelo-cobertura-agua por año Número de estudios del efecto de la variabilidad climática sobre la vegetación y servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico
Identificación y manejo de suelos degradados y sitios críticos de producción y transporte de sedimentos	Un estudio de evaluación de áreas de suelos degradados, producción y transporte de sedimentos	Una propuesta de conservación y manejo de suelos susceptibles a la erosión en la cuenca		Número de estudios de evaluación de áreas de suelos degradados, producción y transporte de sedimentos en el corto plazo Número de propuestas de conservación y manejo de suelos susceptibles a la erosión en el mediano plazo
Acciones de manejo de suelos degradados		10 Acciones de manejo por año		Número de acciones de manejo de suelos degradados por año
Estimación de la propagación de la incertidumbre de la simulación de la oferta y calidad del agua, y su efecto en el	Un informe técnico de evaluación de la incertidumbre de simulación			Número de informes técnicos de evaluación de la incertidumbre de simulación en el corto plazo

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
ordenamiento del recurso hídrico				

13.2.3 Programa 3. Saneamiento y Uso eficiente y ahorro del agua

En este programa se busca que las empresas prestadoras de servicios de acueducto y alcantarillado realicen una real ejecución de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) y los ajusten con la asesoría de la Autoridad Ambiental, con el fin de diseñar la construcción de obras de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de aguas residuales urbanas. Estas obras deben enfocarse a la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), separación de aguas pluviales y aguas residuales, construcción de colectores, ampliación de la red de alcantarillado, entre otras. El ajuste de los PSMVs debe incluir metas claras de reducción de carga contaminante en concordancia con los objetivos de calidad planteados en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la cuenca.

Los vertimientos industriales deben ser objeto de control y seguimiento por la Autoridad Ambiental en el marco de la ejecución del Programa 1 “Monitoreo y Seguimiento al Recurso Hídrico”, en caso de que se sobrepasen los límites máximos permisibles de los parámetros fijados o entren en conflicto con los objetivos de calidad de los tramos en ordenamiento, es necesario que en el proceso de producción industrial se reduzca la cantidad de carga contaminante generada, o se implementen sistemas de tratamiento de los vertimientos industriales antes de su disposición final al cuerpo de agua.

La ley 373 de 1997 reglamenta el “Programa para el uso eficiente y ahorro del agua”, y lo define como el conjunto de proyectos y acciones que deben desarrollar y ejecutar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica, y demás usuarios del recurso hídrico. Los sectores que deben elaborar dicho programa son el de Agua Potable y Saneamiento Básico, el Agroindustrial, el de la Gran Industria y Manufactura, el de la Gran Minería y Generadores de Energía, el Recreacional y Turístico, y el Pecuario. Según la misma ley, las Corporaciones Autónomas Regionales son las encargadas de aprobar la implementación y ejecución de dichos programas.

El programa de uso eficiente y ahorro del agua de cada usuario debe tener en cuenta actividades tendientes a **i) la conservación de la fuente de abastecimiento** (protección y conservación de microcuencas abastecedoras), **ii) eficiencia del sistema de captación, conducción y potabilización** (sistemas de macromedición y optimización de la captación y conducción), **iii) eficiencia de redes de distribución** (optimización de redes, reducción de pérdidas, micromedición, metas anuales de reducción de pérdidas, incentivos económicos al

ahorro del usuario final), y **iv) actividades de educación para el uso eficiente y ahorro del agua**. La autoridad ambiental debe realizar un seguimiento semestral al avance del programa y generar un informe anual sobre su cumplimiento o aplicar los procesos sancionatorios pertinentes.

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
Seguimiento al cumplimiento de la formulación y ejecución de programas de uso eficiente y ahorro del agua	Un informe anual sobre el estado de ejecución de los programas de uso eficiente y ahorro del agua	Un informe anual sobre el estado de ejecución de los programas de uso eficiente y ahorro del agua	Un informe anual sobre el estado de ejecución de los programas de uso eficiente y ahorro del agua	Número de informes anuales sobre cumplimiento de programas de uso eficiente y ahorro del agua por año Número de procesos sancionatorios creados
Seguimiento al cumplimiento de los PSMVs	Un informe anual de evaluación al cumplimiento de las actividades planteadas para el corto plazo en los PSMVs ejecutados por las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos	Un informe anual de evaluación al cumplimiento de las actividades planteadas para el mediano plazo en los PSMVs ejecutados por las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos	Un informe anual de evaluación al cumplimiento de las actividades planteadas para el largo plazo en los PSMVs ejecutados por las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos	Porcentaje de ejecución de cada PSMV a corto, mediano y largo plazo por las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos Informe anual del cumplimiento de los PSMV
Consumos básicos y máximos del agua		Estudio para establecer los consumos básicos de agua en función del uso distinto al consumo humano y doméstico		Número de estudios de consumo básicos del agua en función del uso distinto al consumo humano y doméstico
Metas de Uso eficiente y Ahorro del agua	Estudio para determinar las metas de reducción de pérdidas para usuarios distintos al de servicios públicos			Número de estudios con metas de reducción de pérdidas para usuarios distintos al de servicios públicos

13.2.4 Programa 4. Administración del aprovechamiento del recurso hídrico

La administración del aprovechamiento del agua en la cuenca se enfoca en la ejecución de instrumentos económicos (tales como las tasas por uso y las tasas retributivas) e incentivos al ahorro de agua por las empresas prestadoras del servicio de acueducto. Estos instrumentos están diseñados para cumplir tres efectos sobre el sistema de aprovechamiento, en primer lugar incentivar el ahorro de agua para reducir el pago de tasa por la cantidad de agua captada, en segundo lugar incentivar la reducción de carga contaminante vertida para reducir el pago de tasa retributiva y en tercer lugar contribuir a la financiación de la gestión ambiental del recurso hídrico en la cuenca por parte de la Autoridad Ambiental Regional

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
Acciones de legalización de usuarios (concesiones y vertimientos)	Formulación de Programa legalización usuarios	Usuarios delegados de mediano plazo	Usuarios delegados a largo plazo	Programa de legalización formulado y aprobado Porcentaje de concesiones legalizadas con respecto a metas planteadas Porcentaje de Vertimientos legalizados con respecto a metas planteadas
Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
Control y seguimiento al cumplimiento de metas de reducción de carga contaminante (administración y procesamiento de información del Programa 1)	30 por ciento de usuarios cumplen las metas de reducción de carga contaminante en el corto plazo	50 por ciento de usuarios cumplen las metas de reducción de carga contaminante en el mediano plazo	70 por ciento de usuarios cumplen las metas de reducción de carga contaminante en el largo plazo	Porcentaje de usuarios que cumplen metas de reducción de carga contaminante en el corto, mediano o largo plazo

13.2.5 Programa 5. Gestión de la Información para la Sostenibilidad del Recurso Hídrico

Es necesario modernizar el Sistema de Información del Recurso Hídrico para sincronizarlo con la ejecución del Programa 1 “Monitoreo y Seguimiento al Recurso Hídrico”. Esta modernización implica la implementación de una plataforma computacional robusta y capaz de involucrar un control de calidad de la información, procesamiento, generación de reportes y distribución de los mismos en términos de indicadores de estado del recurso hídrico tanto en el marco del PORH como en marco del POMCH de la cuenca hidrográfica.

La información procesada en el sistema debe ser capaz de generar conocimiento enfocado a la sostenibilidad del aprovechamiento del recurso hídrico de la cuenca, por lo que las bases de datos deben ser procesadas para buscar el diseño y analizar la posibilidad de implementación de técnicas de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas desde el principio de sostenibilidad del recurso.

Proyecto/Actividad	Plazo - Meta			Indicadores de Seguimiento
	Corto	Mediano	Largo	
Modernización del sistema de información del recurso hídrico y su articulación con el Programa 1 “Monitoreo y Seguimiento al Recurso Hídrico”	Un sistema de información del recurso hídrico reestructurado y actualizado en el corto plazo			Número de sistemas de información del recurso hídrico reestructurados y actualizados en el corto plazo
Incorporación de las aguas subterráneas en el análisis de la oferta y demanda del recurso hídrico		Estudio de oferta y demanda del recurso hídrico considerando las aguas subterráneas		Un estudio de oferta y demanda del recurso hídrico considerando las aguas subterráneas

13.3 FUENTES DE FINANCIACIÓN

La ejecución de la estructura programática del PORH requiere del concurso coordinado de diversas instituciones con la dirección de la Autoridad Ambiental Regional (CRQ), es fundamental contar con la participación de las Entidades Territoriales Departamental y Municipales, Sectores Productivos, Ministerios, Fondos Nacionales (Fondo Nacional Ambiental, Fondo Nacional de Regalías, Fondo de Adaptación al Cambio Climático), Corporaciones y Fundaciones, Organos de Cooperación de Países Desarrollados (USAID, Comisión Europea), el sector académico a través de Universidades, entre otros.

REFERENCIAS

- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Memorias del IV Simposio el agua en Andalucía. Siaga, Almeria 2: 202-213.
- Acreman, M.C., Dunbar, M.J., 2004. Defining environmental river flow requirements: a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8, 861-876.
- Alencar, Y. B., Ludwig, T. A., Soares, C. C. & Hamada, N. (2001). Stomach content analyses of *Simulium perflavum* Roubaud 1906 (Diptera: Simuliidae) larvae from streams in Central Amazônia, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 96(4), 561-76.
- ANLA, 2013. Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. ANLA, Bogotá.
- APHA. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association, 18th Ed, Academic Press, Washington D.C.
- Arcos-Pulido, M. & Gómez-Prieto, A. (2006). Perifíton: Un estudio en el humedal de Jaboque. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. 63p.
- Arthington, A.H., Naiman, R.J., McClain, M.E., Nilsson, C., 2010. Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: new challenges and research opportunities. *Freshw. Biol.* 55, 1-16.
- Acreman, M.C., Dunbar, M.J., 2004. Defining environmental river flow requirements: a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8, 861-876.
- ANLA, 2013. Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. ANLA, Bogotá.
- Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L., Naiman, R.J., 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecol. Appl.* 16, 1311-1318.
- Barrios, M and Francés, F (2012). Spatial scale effect on the upper soil effective parameters of a distributed hydrological model. *Hydrological Processes*. 26 (7)
- Barrios, M (2014). Ecuaciones de parámetros variables para escalar el proceso de infiltración en la mesoescala. *Revista de la Facultad de Ingeniería-UCV*. 29 (4). En Prensa
- Bense, v. y van Balen, R. (2003). Hydrogeological aspects of fault zones on various scales in the Roer Valley Rift System. *Journal of Geochemical Exploration*. 78-79. 317-320.
- Beven K. 2001. Rainfall-runoff modelling: the primer. Wiley: Chichester.

Bussi G. 2010. Calibración de un modelo conceptual distribuido del ciclo de sedimentos: aplicación a la cuenca experimental de Goodwin Creek (EEUU). Trabajo de Investigación de Doctorado. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España

Bellinger, E. G., & Sigeo, D. C. (2010). *Algae as Bioindicators*, in *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.

Bernal, E., García, D., Novoa, M. & Pinzón, A (2005). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia). Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Bispo, P.C., Oliveira, L.G., Bini, L.M. & Sousa, K.G. (2006). Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian Journal of Biology*, 66: 611-622.

Bouchard, R.W. (2004). *Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper Midwest*. Water Resources Center, University of Minnesota, St. Paul, MN. 208 p.

Buckup, P. A. (2005). *Introdução a sistemática de peixes neotropicales*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. P 189.

Buss, D., Baptista, D., Nessimian, J. & Egler, M. (2004). Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. *Hydrobiologia* 518: 179-188.

Bustamante-Toro C. A., Monsalve-Durango E. A. & García-Reinoso, P. L. (2008). Análisis de la calidad del agua en la cuenca media del río Quindío con base en índices físicos, químicos y biológicos. *revista. investigación. Universidad del Quindío* (18): 22-31.

Bustamante-Toro C. A., Torres-Cohecha S. L. & Zapata-Martínez L. M. (2009). Composición y estructura numérica de la comunidad de microalgas perifíticas del río Quindío departamento del Quindío, Colombia. *Rev. Asoc. Col. Cienc. Biol. (Col.)*, 21: 45-62.

Bowie, L. G., Mills, W. B., Porcella, D. B., Campbell, C. L., Pagenkopf, J. R., & Rupp, G. L. (1985). *Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality*. Athens, Georgia: U.S. Environmental Protection Agency.

Brown, L., & Barnwell, T. O. (1987). *The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentation and user's Manual*. Report EPA/600/3-87/007, U.S. Environmental Protection Agency.

CRQ y Universidad del Quindío (2011). *Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos e hidráulicos en la UMC río Quindío*. Convenio interadministrativo 027 de Noviembre de 2011.

CRQ (2014). Registro de Usuarios del Recurso Hídrico. Base de Datos. Subdirección de Gestión Ambiental.

Camacho, L.A., Díaz - Granados, M. (2002). Metodología para la obtención de un modelo predictivo de transporte de soluto y de la calidad de agua en ríos - Caso río Bogotá. Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Universidad del Valle/Instituto Cinara.

Camacho, L. A., Díaz-Granados, M., & Lombana, C. (2003). Diseño y desarrollo de un marco jerárquico de modelación del flujo, transporte de solutos y calidad del agua para el manejo integral del río Magdalena. Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

Chapra, S. C. (1997). Surface water-quality modeling. Long Grove: Waveland Press, Inc.
Cox, B. (2003). A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. *The Science of the total environment*, 314-316, 335-377.

Cala, P. (2001). Ictiofauna Epicontinental de Colombia en el contexto global Neotropical y su estado actual: una revisión bibliográfica. *Dahlia - Rev. Asociación Colombiana Ictiología*. 4:3-14

Callisto, M., Gonçalves, J.R. & Graça, M.A. (2007). Leaf litter as a possible food source for chironomids (Diptera) in Brazilian and Portuguese headwater streams. *Revista brasileira de zoologia* 24(2): 442-448.

Carrera, C. & Fierro, K. (2001). Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua. Editorial Eco Ciencia. Quito, Ecuador. 67.

Carvalho, E.M. & Uieda, V.S. (2004). Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 21(2): 287-293.

Castellanos, P. M. & Serrato, C. (2008). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, norte de Santander. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 32 (122): 79-86.

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.

Cordiviola, E., Campana, M., Demonte, D., del Barco, D. & Trógolo, A. (2009). Conservation state of siluriformes fishes from the Ramsar site Jaaukanigas (middle Parana river), Argentina. *Gayana (Concepción)*, 73(2), 222-232.

Coste, M. & Ayphassorho H. (1991), Etude de la qualité des eaux du bassin Artois Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques (Application des indices diatomiques), Rapport Cemagref Bordeaux — Agence de l'Eau Artois Picardie, 227 p.

CRQ. Corporación Autónoma Regional del Quindío. (2011). Formulación plan de manejo subcuenca río Quindío. Quindío, Armenia. 240 p.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). Censos Poblacionales y Sistema Estadístico Nacional. <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>

Davis, R., Hirji, R., 1999. Environmental Flows: Concepts and Methods. Water Resources and Environment Technical Note C. 1. . Washington, D.C.

Davis, R., Hirji, R., 1999. Environmental Flows: Concepts and Methods. Water Resources and Environment Technical Note C. 1. . Washington, D.C.

Dodds, W.K. & Gudder, D.A. (1992). The ecology of Cladophora. J. Phycol. 28: 415-427.
Domínguez, E. & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos: Sistemática y Biología. Fund. Miguel Lillo. 1a Ed. Tucumán. Argentina. 656 pp.

Francés F, Vélez JI, Vélez JJ. 2007. Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. Journal of Hydrology 332: 226-240.

Feld, C.K., Kiep, E. & Lautenschlgger, M. (2002). The indication of morphological degradation and rivers using Simuliidae. Limnologica Ecology and Management of Inland Waters 32(3): 273-288.

Flowers, R.W., De la Rosa, C. (2010). Capítulo 4. Ephemeroptera. Revista de Biología Tropical, 58(4) 63-93.

García de Jalón, D., Sánchez Navarro, R., Serrano, J., 2007. Alteraciones de los regímenes de caudales de los ríos. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

González, F., 2012. Agrupación ecohidrológica de corrientes en la cuenca Magdalena-Cauca dentro del marco de referencia ELOHA, empleando mapas autorganizados de Kohonen. Facultad de Ingeniería. Universidad Javeriana, Bogotá, p. 110.

Gallardo-Mayenco, A. (2003). Distribución Espacial de los Efemerópteros (Insecta: Ephemeroptera) en dos Cuencas Mediterráneas a Diferentes Altitudes. Zool. Baetica 93-110.

García-Álzate, R. J., García-Álzate, C. A. & Botero-Botero Á. (2009) Composición, estacionalidad y hábitat de los peces de la quebrada Cristales, afluente del río la Vieja, Alto Cauca, Colombia. rev. invest. univ. Quindio (19): 115- 121

García de Jalón, D., Sánchez Navarro, R., Serrano, J., 2007. Alteraciones de los regímenes de caudales de los ríos. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

González, F., 2012. Agrupación ecohidrológica de corrientes en la cuenca Magdalena-Cauca dentro del marco de referencia ELOHA, empleando mapas autorganizados de Kohonen. Facultad de Ingeniería. Universidad Javeriana, Bogotá, p. 110.

Goulart, M., Elias, T., Pereira, J., Campos, M. & Peixoto, M. (2009). Caracterização limnológica e avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tocantinzinho (Go, Brasil). Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, 13 a 17 de setembro de 2009, Sao Lorenzo. p 1-4.

Graça, M. A. S. (2001). The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. *International Review of Hydrobiology* 4-5: 383-393.

Gualtero-Leal, D. M., & Trilleras-Motha, J. M. (2001). Estudio de la comunidad perifítica del embalse de Prado departamento del Tolima. Universidad del Tolima, Ibagué.

Guerrero-Bolaño, F., Manjarrés-Hernández, A. & Núñez-Padilla, N. (2003). Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana* 8: 43-52.

Guevara-Cardona, G., Reinoso-Flórez, G. & Villa-Navarro, F. (2006). Comunidad de invertebrados del Perifiton del río Combeima (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga* 1: 43-54.

IDEAM, 2010. Estudio Nacional del Agua, capítulo 3 – Agua superficial IDEAM, Bogotá, p. 110.

IDEAM, 2010. Estudio Nacional del Agua, capítulo 3 – Agua superficial IDEAM, Bogotá, p. 110.

King, J., Brown, C., Sabet, H., 2003. A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Res. Appl.* 19, 619-639.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC- (2013). Estudio semidetallado de suelos: Departamento del Quindío. Informe Técnico.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- (2010). Coberturas y Usos de la Tierra: Departamento del Quindío. Informe Técnico.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

Kannel, P., Kanel, S., Lee, S., Lee, Y., & Gan, T. Y. (2011). A review of public domain water quality models for simulating dissolved oxygen in rivers and streams. *Environmental Modeling & Assessment*, 16, 183-204.

King, J., Brown, C., Sabet, H., 2003. A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Res. Appl.* 19, 619-639.

King, J., Louw, D., 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1, 109-124.

King, J., Louw, D., 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1, 109-124.

Leopold LB, Maddock T. 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. United States Government Printing Office.

Lopretto, E., & Tell, G. (1995). *Ecosistemas de aguas continentales*. Argentina: Ediciones Sur.

Mayer, A. Wesley, M. y Lukkarila, C., (2007). Estimation of fault-zone conductance by calibration of a regional groundwater flow model: Desert Hot Springs, California. *Hydrogeology Journal*. 15: 1093-1106.

Magdaleno, F., 2012. ¿Cómo se restaura hidrológicamente un río? CIREF, Madrid, p. 4.

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179.

Maldonado-Ocampo, J. (2006). Prefacio: Peces dulceacuícolas colombianos. *Biota Colombiana*, 7 (1): 1.

Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma, J. S., Galvis, G., Villa-Navarro, F., Vásquez, L. & Prada-Pedrerros, S. (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., Vari, R. P. & Usma, J. S. (2008). Checklist of the Freshwater Fishes of Colombia, *Biota Colombiana*, 9(2), 143–237.

Marqués, M., Barbosa, F. & Callisto, M. (1999). Distribution and Abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an Impacted Watershed in South East Brazil. *Revista Brasileira de Biología*. 59 (4): 553-561.

Magdaleno, F., 2012. ¿Cómo se restaura hidrológicamente un río? CIREF, Madrid, p. 4.

MAVDT, 2008. *Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos licenciados*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, Bogotá.

- Pahl-Wostl, C., Arthington, A., Bogardi, J., Bunn, S.E., Hoff, H., Lebel, L., Nikitina, E., Palmer, M., Poff, L.N., Richards, K., Schlüter, M., Schulze, R., St-Hilaire, A., Tharme, R., Tockner, K., Tsegai, D., 2013. Environmental flows and water governance: managing sustainable water uses. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5, 341-351.
- Martínez, F. & Donato, J. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). En: *Caldasia* Vol. 25 No.2; p. 337-354.
- McCafferty, W.P. (1981). *Aquatic entomology*. Boston (USA), Science Books International. 448.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. & Berg, M. B. (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3a Ed. United States of America: Kendal/Hunt Publishing Company. 862 p.
- Mojica, J. (1999). Lista preliminar de las especies dulceacuícolas de Colombia. En : *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* Santa Fe de Bogotá. Vol. 23; p. 562 - 563.
- Mojica, J. I., Galvis, G., Sánchez-Duarte, P., Castellanos, C. & Villa-Navarro, F. A. (2006). Peces del valle medio del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 7(1) 23-37.
- 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, 301 p.
- Muñoz-Quesada, F. (2004). *Manual de Trichoptera Neotropical: Anotaciones y claves de las familias y géneros conocidos del Orden trichoptera para Colombia*. Cali: Departamento de procesos químicos y biológicos. Universidad del Valle. 75 pp.
- Montoya JJ. 2008. Desarrollo de un modelo conceptual de producción, transporte y depósito de sedimentos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, Spain
- Nelson, J. (2006). *Fishes of the World* (Fourth., p. 539). New Jersey: John Wiley y Sons, Inc.
- Organización Meteorológica Mundial (2011). *Guía de Prácticas Hidrológicas*. Vol 1: Hidrología, de la medición a la información hidrológica. OMM No. 168. Sexta Edición.
- Ortega-Lara A., Aguiño, A. & Sánchez, G.C. (2002). Caracterización de la ictiofauna nativa de los principales ríos de la cuenca alta del río Cauca en el departamento del Cauca. Informe presentado a la Corporación Autónoma Regional del Cauca, CRC. Fundación para la Investigación y el Desarrollo Sostenible, Funindes. Popayán, Colombia. 139 p.
- Ortega-Lara A., Murillo, O. Pimienta, C. & Sterling, E. (1999). Los peces del alto Cauca. Catálogo de especies. Informe presentado a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Cali, Colombia. 122 p.

Ortega-Lara A., Murillo, O. Pimienta, C. & Sterling, E. (2000). Los peces del alto Cauca, riqueza ictiológica del Valle del Cauca. Editorial Imagen Corporativa. Cali, Colombia. 69p.

Ortega-Lara A., Usma J. S., Bonilla P. A., Lorena S. N. (2006). Peces de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, vol. 7, núm. 1, pp. 39-54

Ospina-Batista, F., Estévez-Varón, J.V., Betancur, J. & Realpe-Rebolledo, E. (2004). Estructura y composición de la comunidad de macro invertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque Alto Andino Colombiano. *Acta Zoológica Mexicana*. 20(1): 153-166

Pahl-Wostl, C., Arthington, A., Bogardi, J., Bunn, S.E., Hoff, H., Lebel, L., Nikitina, E., Palmer, M., Poff, L.N., Richards, K., Schlüter, M., Schulze, R., St-Hilaire, A., Tharme, R., Tockner, K., Tsegai, D., 2013. Environmental flows and water governance: managing sustainable water uses. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5, 341-351.

Pizarro, F., 2004. Caudales Ambientales. GWP-CA.

Poff, L., Richter, B., Arthington, A., Bunn, S., Naiman, B., Kendy, E., 2011. Límites Ecológicos de las Alteraciones Hidrológicas Caudales Ambientales para una Gestión Regional del Agua. The Nature Conservancy.

Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., Stromberg, J.C., 1997. The Natural Flow Regime. *Bioscience* 47, 769-784.

Poff, N.L., Richter, B.D., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M.C., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J.G., Merritt, D.M., O'Keeffe, J.H., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E., Warner, A., 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshw. Biol.* 55, 147-170.

Poff, N.L., Zimmerman, J.K.H., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshw. Biol.* 55, 194-205.

Poveda, G. 2004. La Hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diaria. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 28 (107), 201-222.

Paredes, C., Iannacone, J. & Alvarino, L. (2004). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas, Perú. *Rev. Per. Ent* 107-118.

Peña-Salamanca, E., M. L. Palacios, N. Ospina-Álvarez. (2005). Algas como indicadores de contaminación. Universidad del Valle, Cali. pp. 75-146.

- Peña-Salamanca, H.J., Palacios, M. L. & Ospina-Álvarez, N. (2005). "Algas como indicadores de contaminación" En: Colombia 2005. Editorial Universidad Del Valle ISBN: 9586704688 v. pags. 1
- Pérez, B. & Segnini, S. (2005). Variación espacial de la composición y diversidad de géneros de Ephemeroptera (Insecta) en un río tropical altiandino. *Entomotropica*. Vol. 20(1): 49-57.
- Pickett, S.T. A. & White, P. S. (1985). *The ecology of natural disturbance and patch dynamic*. Academic Press. New York.
- 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. 115. P
- Pino, W., Mena, D., Mosquera, M., Caicedo, K., Palacios, J., Castro, A. & Guerrero, J. (2003). Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición, municipio de Quibdó (Chocó, Colombia). *Acta. Biol. Col.* 8: 2-23.
- Prescott, G. W. (1970). *The freshwater Algae*. Brow Company Publisher. Duboque, Iowa, 348 p.
- Provenzano, F. (2011). Estudio sobre las relaciones filogenéticas de las especies incluidas en la subfamilia Loricariinae (Siluriformes, Loricariidae). Universidad Central de Venezuela.
- 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. 290 p.
- Pelletier, G., & Chapra, S. C. (2008). *QUAL2Kw user manual (version 5.1)*. A modeling framework for simulating river and stream water quality. Olympia, Washington.
- Puricelli, MM. (2003). Estimación y distribución de parámetros del suelo para la modelación hidrológica. [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València.
- Pizarro, F., 2004. Caudales Ambientales. GWP-CA.
- Poff, L., Richter, B., Arthington, A., Bunn, S., Naiman, B., Kendy, E., 2011. Límites Ecológicos de las Alteraciones Hidrológicas Caudales Ambientales para una Gestión Regional del Agua. The Nature Conservancy.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., Stromberg, J.C., 1997. The Natural Flow Regime : A paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience* 47, 769-784.
- Poff, N.L., Richter, B.D., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M.C., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J.G., Merritt, D.M., O'Keefe, J.H., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E., Warner, A., 2010. The

ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshw. Biol.* 55, 147-170.

Poff, N.L., Zimmerman, J.K.H., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshw. Biol.* 55, 194-205.

Ramírez, J., 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecologicos, taxonómicos y sanitarios. Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia.

Ramírez, A. (1999). *Ecología Aplicada Diseño y Análisis Estadístico*. Bogotá: Centro Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ramírez, J. J. (2000). Fitoplancton de aguas dulces: Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Universidad de Antioquia: Colombia, 207 p.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun, D.P., 1996. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology* 10, 1163-1174.

Ribeiro, L.O. & Uieda, V.S. (2005). Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 22(3): 613-618.

Rivera, R. (2004). Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los Andes venezolanos: Tesis, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Rivera-Usme, J.J., Camacho-Pinzón, D.L & Botero-Botero, A. (2008). Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío-Colombia. *Acta Biol. Colomb.* 13(2): 133 – 146.

Roldán, G. (1999). Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas, y naturales* 23(88): 375-387.

Roldan, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Colección Ciencia y Tecnología, Universidad de Antioquia. 170 pp.

Roldán, G. A. (1996). Guía para el Estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia. COLCIENCIAS. Universidad de Antioquia. Medellín. 217

Roldán, G. A. & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2ª edición. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

- Roldán, G.A. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados del departamento de Antioquia. Fondo para la Protección del Medio Ambiente. Bogotá: Presencia, 135.
- Roldán-Pérez, G. & Ramírez-Restrepo, J. (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical. Colombia. Editorial de la Universidad de Antioquia. Segunda Edición.
- Refsgaard, J. C., Sluijs, J. P., Højberg, A. L., & Vanrolleghem, P. A. (2007). Uncertainty in the environmental modelling process – A framework and guidance. *Environmental Modelling & Software*, 22, 1543-1556.
- Rutherford, J. C. (1994). *River mixing*. New York: John Wiley & Sons.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun, D.P., 1996. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology* 10, 1163-1174.
- Roldán Pérez, G., Restrepo, J.J. (Eds.), 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.
- Royero, R. L. (1987) Morfología en la aleta dorsal de los bagres (Teleostei: Siluriformes) con especial referencia a las familias Americanas. Disertación de Maestría. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 138 h
- Springer, M. (2008). Aquatic Insect Diversity of Costa Rica: State of knowledge. *Rev. Biol.Trop.* 56, Suppl. Ecosistemas acuáticos de Costa Rica.
- Stalnaker, C., 1979. The use of habitat structure preference for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat. In *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press, New York and London.
- Schaap, M.G., F.J. Leij and M. Th. van Genuchten. (1999). A bootstrap-neural network approach to predict soil hydraulic parameters. In: van Genuchten, M.Th., F.J. Leij, and L. Wu (eds), *Proc. Int. Workshop, Characterization and Measurements of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media*, pp 1237-1250, University of California, Riverside, CA.,
- Streble, H. & Krauter, D. (1987). *Atlas de los Microorganismos de agua dulce*. Ediciones Omega: Barcelona. 337 p.
- Shukla, S. and Wood, A.W. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters* (35) L02405
- Stalnaker, C., 1979. The use of habitat structure preference for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat. In *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press, New York and London.

Tharme, R.E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Res. Appl.* 19, 397-441.

Tharme, R.E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Res. Appl.* 19, 397-441.

Thomazi, R.D., Kiiifer, W.P., Ferreria, J.R. & Sá, F.S. (2008). A sucessão ecológica sazonal de macroinvertebrados bentônicos em diferentes tipos de atratores artificiais no rioBubu, Cariacica, ES *Natureza online* 6(1): 1-8.

Usseglio-Polatera, P., Wasson, J. & Archaimbault, V. (2007). Protocole de prélèvement et de traitement des échantillons des invertébrés sur le réseau de contrôle de surveillance. *Bulletin officiel du Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables*: 1-102.

Vélez JI. 2001. Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España

Vélez JJ. 2003. Desarrollo de un modelo distribuido de predicción en tiempo real para eventos de crecidas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia

Valladolid, M., Martínez-Bastida, J.J. & ARAUZO, M. (2007). Los Hydropsychidae (Insecta: Trichoptera) del río Oja (La Rioja, España). *Limnetica*, 26(1): 199-208

Velázquez-Velázquez, E. & Vega-Cendejas, M.E. (2004). Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *CONABIO. Biodiversitas* 57:12-15

Villa-Navarro, F. A., García-Melo, L., Briñez-Vasquez, N. & Zuñiga-Upegui, P. (2003). Biodiversidad de la cuenca del río Coello – Biodiversidad Regional Fase I. Tomo II. Informe presentado a Cortolima. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 350 p.

Villa-Navarro, F., García-Melo, L.J., Herrada-Yara, M. E & Lozano-Zarate, Y. (2007). En: Reinoso-Flórez, G., Villa-Navarro, F.A., Esquivel, H. E., García-Melo, J.E. & Vejarano-Delgado, M.A. Biodiversidad Faunística y Florística de la cuenca del río Totare - Biodiversidad Regional Fase III. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Villa-Navarro, F. A., Briñez-Vasquez, N., García-Melo, L. García-Melo, J. & Herrada-Yara, M. (2005). Biodiversidad de la cuenca de los ríos Prado y Amoyá – Biodiversidad Regional Fase II. Tomo II. Informe presentado a Cortolima. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 382 p.

Villa-Navarro, F., García-Melo, L.J., Herrada-Yara, M. E & Lozano-Zarate, Y. (2007). En: Reinoso-Flórez, G., Villa-Navarro, F.A., Esquivel, H. E., Garcia-Melo, J.E. & Vejarano-Delgado, M.A. Biodiversidad Faunística y Florística de la cuenca del río Totare - Biodiversidad Regional Fase III. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Villa-Navarro, F., Zúñiga-Upegui, P., Castro-roa, D., García-Melo, J.E., García-Melo, L.J. & Herrada-Yara, M.E. (2006). Peces del Alto Magdalena, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 7(1): 3-22.

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. & Umaña, M.A. (2006). Segunda edición. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad.

Wang, Q., Li, S., Jia, P., Qi, C., & Ding, F. (2013). A Review of Surface Water Quality Models. Retrieved from <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/231768/abs/>

Zúñiga, M. del C. & Cardona, W. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental, p. 167-196. En: Cantera, J., Carvajal, Y. & Castro, L. M. (Compiladores). Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafíos. Programa Editorial Universidad del Valle, Cali-Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Actores participantes en los talleres realizados

		SISTEMA GESTION DE CALIDAD REGISTRO DE ASISTENCIA				Código: DO-P06-F28
						Versión: 01
Fecha: 1.0 de Enero de 2005 Lugar: Aula Verde CPA. Armenia - Quindío		Taller de Prospectiva: Proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la cuenca de río Quindío				
Nº	cc	Nombre	Cargo	Entidad	Dirección	Teléfono
1	1009826304	Laura Victoria Ríos A.	Apoyo inspección toral. PH	EPA	Calle 44N Frente maso@ 16-00	3104416157
2	41945101	Juliana H. Matthews H.	Gestión Ambiental	EPA	Cra 17 N° 16-00	3166296906
3	7548502	Fede Amunoz A.	Operativo	Planeación Armenia	Cra 17 Armenia 16-00	3185074605
4	1112770504	Jennifer Gil Arias			Calle 20th 14-11	5122341356
5	7509852	Mario Omeño López	Asesor	S. M. Ambiente - ASACOM	Barrio Nueva Esperanza	3127615022
6	9889941	Haribel Maldonado	Coordinadora Ambiental	EPA	Cmnr P6	315564621
7	2458742	Magdalena Arango Galvis	Profesional Universitario	S. S. D. Q.	CAD piso 15	3147520547
8	41933149	Dionación Hernández	Profesional Universitario	Secretaría Salud Optal	Moa #15-29	3128631142
9	104982272	Manuel Carrecho Dique	Prof. Universitario	Secretaría Salud Optal	CAD PISO 15	3162928330
10	24487504	Auz Geidy Ruiz G	Coordinadora UDRA - DRA	SECRETARÍA DE SALUD	Cra 9 No 15-04	3113867168
11	9509843	CHAR GUINTEIRO ARENAS	Coordinadora E. Amb.	Gobernación (SED)	Plaza Bolívar Ed. Gob. PISO 15	3155904729
12	31303986	Yury Péllez Sánchez	Docente	Gobernación (SED)	Cra 17 No 16-00	3136169865
13	19087072	ANTONIO CASTELLANOS	Asesor	Federación	C. 22 N° 13-30	3206986433
14	104981228	Juan Antonio Ocaña	Contratista	Esquin S. A. EPS	Ed. San José Cra 14 No 2026	3215458356
15	104981228	Ramiro Murcia Pin	Contratista	Esquin	Cra 14 No 2026	3136863306
16	24606773	Lina María Gallego Echavarría	Profesional especializado	CRQ/CGA	Cll 19 N° 19-55	74606627



SISTEMA GESTION DE CALIDAD
REGISTRO DE ASISTENCIA

Código: DO-P06-F28
Versión: 01

Fecha: 20 de Enero de 2005
Lugar: A la Verde C.R. Armenia - Quindío
Taller de Prospectiva: Proceso de Ordenamiento del
Recurso Hídrico de la cuenca del río Quindío

Nº	cc	Nombre	Cargo	Entidad	Dirección	Teléfono
1	8500372	Davylas O Salazar	Proyecto Operativo	SEC. 95000000000000000000	CAD. p.0210	3155198372
2	43054981	Beatriz Egevia Herrera	Proy. S.T.A. Coordinadora	Comitecoper - Quindío	Km 3.5. Am. Feb.	3103474400
3	7545565	Juan Pablo Acuña	Gerente	Asociación B. Pedern	Km 1 pm. Pedern	3164941734
4	9801182	José Leonardo	Asesor Asesoría	Asociación	Km. Nueva Cal	3126549989
5	25009945	Esther Leticia Davila	Directora Fundación Los Barrios Unidos	Asociación Calera	Valdepeñas Mza. 0.007	3148342454
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						



SISTEMA GESTION DE CALIDAD
REGISTRO DE ASISTENCIA

Código: DO-P06-F28
Versión: 01

Fecha: 19 de Enero de 2015
Lugar: Casa de la Cultura Salento.

Taller de Prospectiva: Proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la cuenca del río Quindío

N°	cc	Nombre	Cargo	Entidad	Dirección	Teléfono
1	9930241	Jaime Herman Avon	representante	Fund. Buitrago y María Guadalupe	Cra 6ª No. 2-51	7510636 3136092344
2		German Ocampo		Pilonen	Cra 645-08	313 6517179
3		Elvira Samblat			CAN Salento	3113101023
4		Luis Granados		masrubio@yahoo.com		3136557644
5		William Gomez B	Coordinador	Fundación Smart Kappa	Mea 19 No. 20163 Armenia	3111894428 Smart mauricio.lopez@kappa.com.co
6	7102531	MAURICIO LOPEZ G	Proyecto	Smart Kappa	Cra 14 # 21 - 63. Av	3128505183
7	1618046	Picardo Vaya R	Representante	Academia Vda Palestina	Vda palestina	3014499343
8		Daniel Huillo Rojas	Representante	Academia San Antonio - Los Pinos	Cra 14 # 5-51 C. Pinar	5585352
9	41993610	Alba Lucia Muñoz B	Presidente	J.A.C. Varad y Varad	Frente 4	3122191185
10	9734831	Tommy Ramirez Moreno	Coordinador SIMAP	ALCALDIA DE CURSUA	Cra 14 # 6-57 CURSUA	3002292007
11	9930053	Deberly Galeano M	Presidente	ASOARES	Aldea del Ateliano	3146671343
12		Alex Carvajal	Corpo Tur	Salento	Calle 6 # 630	3147876822
13		Sebastián Oballos Apine	Secretario Concejo	Concejo Municipal	# 3-30	317674970
14	4564806	Jose Naudier Alzate	delegado	J.A.C. Cocota	Vereda Cocota	311767881
15	28.70613	Yulinc H. Areque R			Finca Buitrago	3113061796
16		RFs Iglesias Gomez	Presidente Concejo Municipal Salento	Concejo Mpal	Cra 4 # 4-25	3113035084-7599128



SISTEMA GESTION DE CALIDAD
REGISTRO DE ASISTENCIA

Código: DO-P06-F28

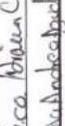
Versión: 01

Fecha: 19-01-2015

Taller de Prospectiva: Proceso de Ordenamiento del
Recurso Hídrico de la cuenca del río Quindío

Lugar: *Casa de la Lectura Salento*

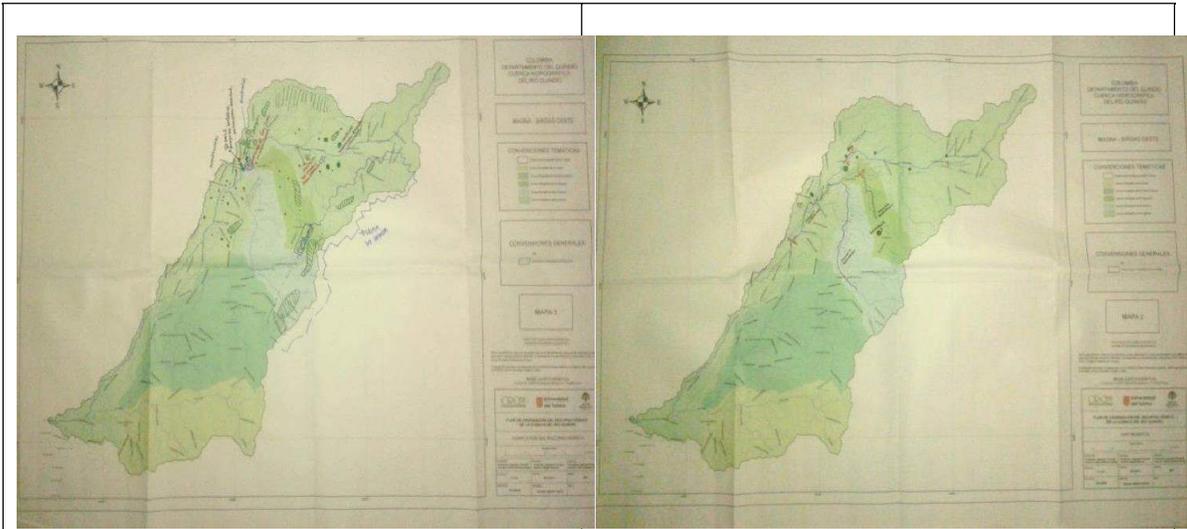
Nº	cc	Nombre	Cargo	Entidad	Dirección	Teléfono
1	1908655	<i>Gregorio Ferrero Du</i>	<i>Presidente</i>	<i>Region Comunal B. la Florida</i>	<i>Carr 6 # 10-24</i>	<i>7108944908</i>
2	25120233	<i>Aug. Botto Ralis</i>	<i>R.M. P.L. Homogachó</i>	<i>R.M. S.C. Valle Híbrido - Homogachó</i>	<i>Km 10 Valle de Giron</i>	<i>3154330523</i>
3		<i>Zuzero Pamela</i>	<i>Profesora</i>	<i>PT. A.C. Veredena</i>	<i>En SA 3-38</i>	<i>31556906 en</i>
4	7539495	<i>Carlos D. Dely D.</i>	<i>PT. A.C. Veredena</i>	<i>Vereda Veredena</i>	<i>Manizales</i>	<i>313655448</i>
5	79121466	<i>Erwin R. Rodríguez</i>	<i>Jefe Parque Nacional Los Velizos</i>	<i>Parques Nacionales Naturales</i>	<i>Cra 23 # 30A-44 Manizales</i>	<i>6871611</i> <i>M/2015</i>
6	1659385	<i>Jorge Alberto Bravo</i>	<i>Procurador</i>	<i>C. T. P. Salento</i>	<i>Km 10 Valle de Giron</i>	<i>310455670</i>
7	18893005	<i>Jorge Andrés Barrero Hondo</i>	<i>Consultor</i>	<i>Omega Ltda</i>	<i>Cra 3 # 29-42 Manizales</i>	<i>3105780016</i>
8	33143551	<i>Juzeldina Gomez</i>	<i>Consultoría</i>	<i>Omega Asociados</i>	<i>Cra 8 # 19-24 Pereira</i>	<i>3148240426</i>
9	1019538	<i>Dirgo Medina</i>	<i>Presente</i>	<i>Vereda Corón</i>		<i>3104044733</i>
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

 SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD CONTROL DE ASISTENCIA A ACTIVIDADES		Código: DH-P02-F06				
		Versión: 05				
Actividad Responsable Proyecto						
Taller Diagnóstico P.O. Rio Guiney Nigel Burtos - Carina Villegas						
Lugar Sabon Verde - C.R.A.						
No.	Nombres y Apellidos	Documento de Identidad	Teléfono	Entidad	email	Firma
1	Jose Jacquin Dugue	9801186	3126519989	ASOCUR	JOSJOSE.DUGUE@HEKO.COM	
2	Juan Carlos Medina	7345165	3161841714	ASOCUR	JK1824@heko.com	
3	Rodolfo Aycaudi	78621889	3162833711	ASOCUR	aycaudi@heko.com	
4	Haris Ortega Lopez	75098572	3122615022	ASOCUR	HarisO@heko.com	
5	Juliana Vargas	41945741	3162949566	ASOCUR	JulianaV@heko.com	
6	Juana Victoria Rojas	104182304	3104116137	EPA	juana.victoria@epa.gov.cr	
7	Ramiro Herrera Perez	18430991	3186862308	EPA	ramiroherrera@epa.gov.cr	
8	Fernando Aguilar Hinoj	7548562	3184074605	EPA	fernando@epa.gov.cr	
9	Maribel Aldana	51883979	3155654621	EPA	maribel@epa.gov.cr	
10	Octavio Gil	19226361	3306883228	EPA	octavio.gil@epa.gov.cr	
11	Davayas Sabariz Zapata	89003720	3157448222	EPA	dsabariz@epa.gov.cr	
12	Lina Maria Gallego Scheuing	24606273	3174398711	EPA	lina.maria.gallego@epa.gov.cr	
13	Ramon Rojas	17088751	3217168978	EPA	ramon.rojas@epa.gov.cr	
14	Vicente Juan Carlos Quampo	12115269	3161034672	EPA	vicente.juan@epa.gov.cr	
15	Gilberto Gutierrez Gutierrez	753468122	3128847232	EPA	gilberto.gutierrez@epa.gov.cr	
16	Diana Adriana Guan	41823149	312813114	EPA	diana.adriana.guan@epa.gov.cr	
17	Renzo Andrea Aguilar Martinez	1091819723	3128178277	EPA	renzo.andrea.aguilar@epa.gov.cr	

Anexo 2. Mapas parlantes resultantes de la mesa de trabajo 1 en el municipio de Salento



Anexo 3. Mapas parlantes resultantes de la mesa de trabajo 2 en el municipio de Salento



Anexo 4. Mapas parlantes resultantes de la mesa de trabajo 3 en el municipio de Salento



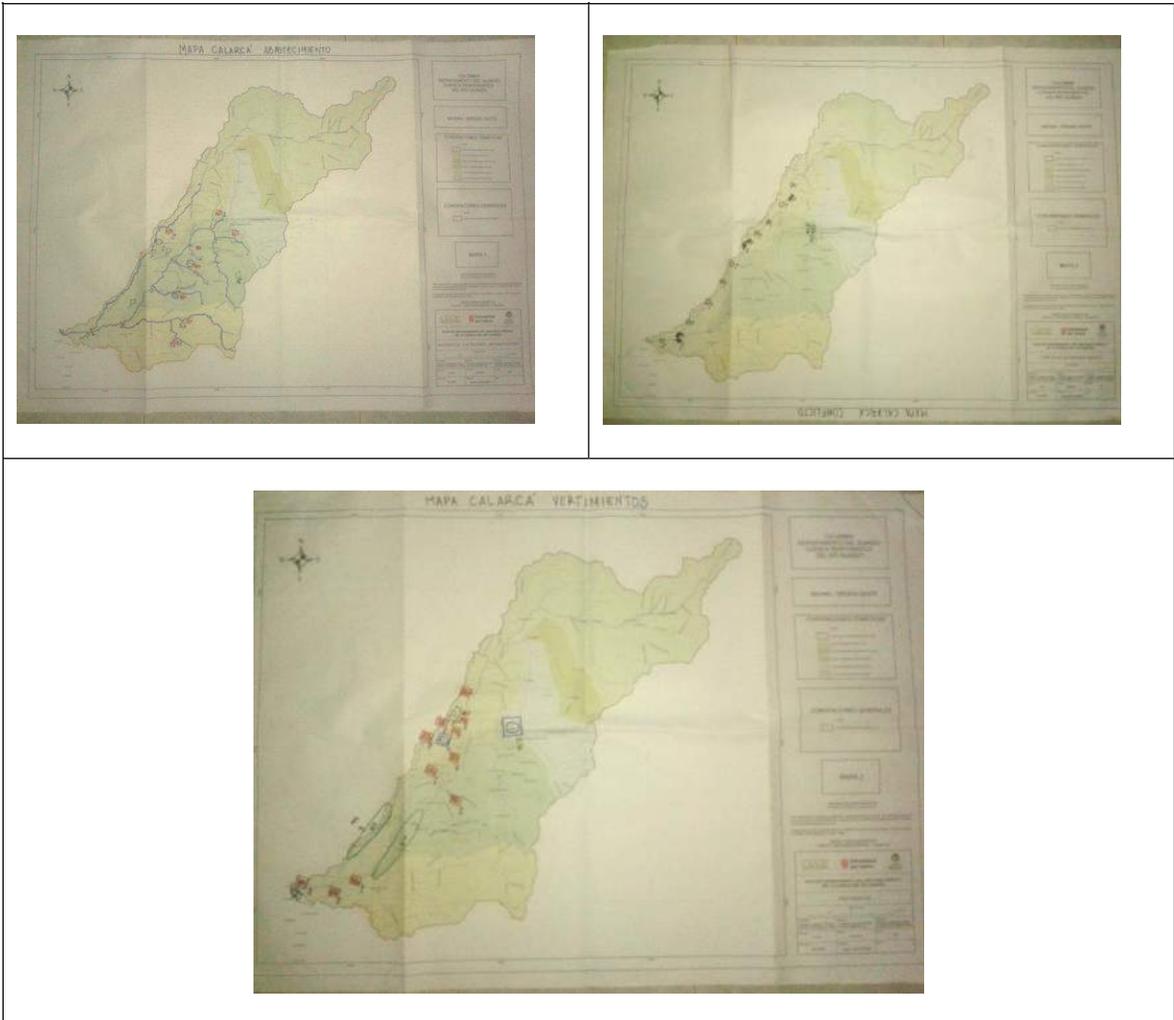
Se anexó a las convenciones la categoría “Plantaciones Coníferas”:



Anexo 5. Mapas parlantes en el municipio de Armenia



Anexo 6. Mapas parlantes en el municipio de Calarcá



Anexo 7. Algunos géneros de perifiton identificados en siete estaciones sobre la cuenca del río Quindío, durante los meses de junio y octubre de 2014 (Aumento 40X).



Amphora



Cocconeis



Cymbella



Diploneis



Epithemia



Eunotia



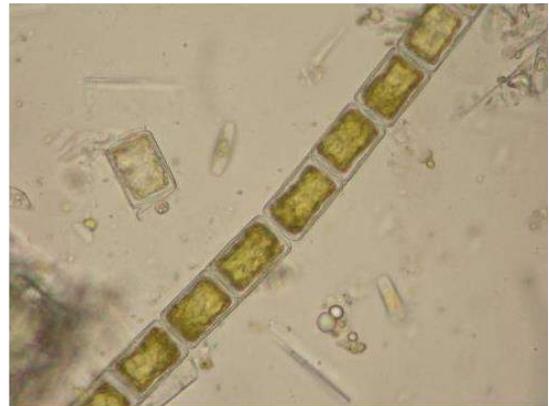
Fragilaria



Gomphonema



Hannaea



Melosira



Navicula



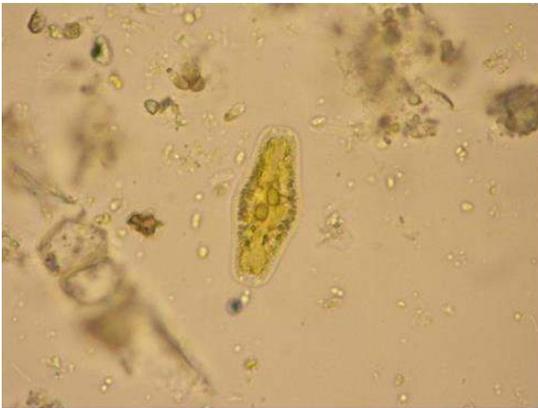
Neidium



Pinnularia



Rhoicosphenia



Rhopalodia



Stauroneis



Closterium



Microspora



Treubaria



Mougeotia



Stigeoclonium



Spirogyra



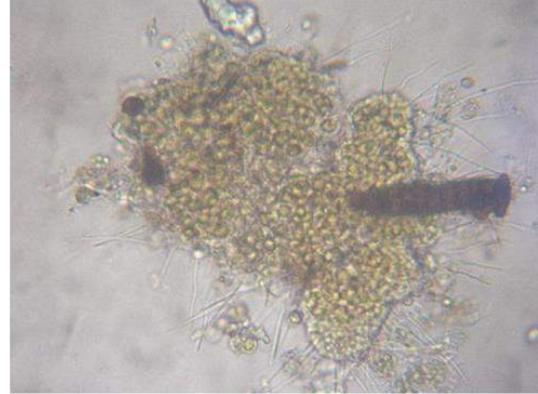
Aphanocapsa



Oscillatoria



Keratella



Botryococcus



Ulothrix



Pinnularia

Anexo 8. Algunos familias de macroinvertebrados identificados en siete estaciones sobre la cuenca del río Quindío, durante los meses de junio y octubre de 2014 (Aumento 40X).



Elmidae



Tenebrionidae



Psephenidae



Dytiscidae



Ptilodactylidae



Blephariceridae



Chironomidae



Simuliidae



Tipulidae



Athericidae



Ceratopogonidae



Tabanidae



Empididae



Stratiomyidae



Baetidae



Leptohiphidae



Leptophlebiidae



Crambidae



Corydalidae



Libellulidae



Calopterygidae



Perlidae



Planariidae



Hydropsychidae



Hydroptilidae



Leptoceridae



Helicopsychidae



Glossosomatidae



Polycentropodidae



Hydrobiosidae



Hydrachnidia

Anexo 9. Algunas especies de peces identificadas en siete estaciones sobre la cuenca del río Quindío, durante los meses de junio y octubre de 2014 (Aumento 40X).



Argopleura cf. magadalenensis



Brycon aff. henni



Bryconamericus cf. caucanus



Carlastyanax aurocaudatus



Creagrutus aff. Brevipinnis



Hemibrycon boquillae



Characidium aff. phoxocephalum



Poecilia caucana



Poecilia reticulata



Cyprinus carpio



Oncorhynchus mykiss



Astroblepus aff. chapmani



Astroblepus cf. grixalvii



Cetopsorhamdia boquillae



Heptapteridae gen. Nuevo



Chaetostoma aff. leucomelas



Hypostomus hondae



Trichomycterus chapmani

Nombres Comunes de las Especies de Peces Encontradas en el Río Quindío (Monitoreo 2014)					
Orden	Familia	Especie	Nombre común	Total	Abundancia relativa (%)
Characiformes	Characidae	<i>Bryconamericus cf. caucanus</i>	Sardina	2	0,36
		<i>Carlastyanax aurocaudatus</i>	Sardina colirroja	3	0,54
		<i>Creagrutus aff. brevipinnis</i>	Sardina	20	3,62
		<i>Hemibrycon boquillae</i>	Sardina	37	6,70
		<i>Brycon aff. henni</i>	Sabaleta	59	10,69
		<i>Argopleura cf. magadalenensis</i>	Sardina	1	0,18
		<i>Characidium aff. phoxocephalum</i>	Rollicito, Mazorco	2	0,36
Siluriformes	Astroblepidae	<i>Astroblepus aff. chapmani</i>	Baboso, Güilo, Negro	17	3,08
		<i>Astroblepus cf. grixalvii</i>	Baboso, Güilo, Negro	17	3,08
	Heptapteridae	<i>Cetopsorhamdia boquillae</i>	Negrillo, Capitán	78	14,13
		Heptapteridae gen. Nuevo	Bagresito	7	1,27
	Loricariidae	<i>Chaetostoma aff. leucomelas</i>	Corroncho, cucha	81	14,67
		<i>Hypostomus hondae</i>	Coroncoro, Cucho	4	0,72
	Trichomycteridae	Trichomycteridae	<i>Trichomycterus chapmani</i>	briola, chillona, anguila, pez jabón, jabonero	140
<i>Trichomycterus sp.</i>			Jabón, jabonero	16	2,90
Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	1	0,18
Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	3	0,54
		<i>Poecilia caucana</i>	Guppy, Piponcita, Pipona	2	0,36
Salmoniformes	Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Trucha arco-iris	62	11,23
Total				552	