

RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA

FASE V

CONVENIO 368 DE 2014



DIAGNÓSTICO HACIA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN



Medellín, Enero de 2016

RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA

FASE V

CONVENIO 368 DE 2014

DIAGNÓSTICO HACIA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL
RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN



EJECUTA:



<http://www.udea.edu.co/>

UN PROYECTO DE:



Medellín, Enero de 2016



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá en Jurisdicción del Área Metropolitana - Fase V

Un proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Eugenio Prieto Soto, Director

María del Pilar Restrepo Mesa, Subdirectora Ambiental

Ejecutan

Universidad de Antioquia
Mauricio Alviar Ramírez
Rector

Universidad Nacional de Colombia
Ignacio Mantilla Prada
Rector

Universidad Pontificia Bolivariana
Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda
Rector

Universidad de Medellín
Néstor Hincapié Vargas
Rector

Equipo de Trabajo:

Lina Claudia Giraldo Buitrago y Rubén Alberto Agudelo García, Coordinación General; John Fredy Carmona Castaño, Ingeniero Sanitario Coordinador Operativo de la Red; Carolina Zapata Vanegas, Asistente Logístico; Alex Ricardo Estupiñán Castellanos, Ingeniero Hidráulica; Aarón Arias Araya, Ingeniero Hidrología; Elkin Hernán Cataño Rueda, Ingeniero de Modelación; Juan Manuel Osorio Zapata, Ernesto Andrés González Aguirre, Ingenieros Sanitarios de Apoyo; Andrés Felipe López Gómez, Ingeniero de Sistemas para Bases de Datos; Andrés Camilo Zapata Moreno, Ingeniero Analista de Datos; Nixon Arley Aristizábal Niño, Profesional en SIG; Carlos Alberto Sierra Ramírez, Asesor de Modelación, Mauricio Toro Botero, Asesor Hidráulica; Luis Fernando Carvajal Serna, Asesor en Hidrología; Gabriel Jaime Maya Vasco, Camilo César Castro Jiménez, Especialistas Calidad de Aguas; Néstor Jaime Aguirre Ramírez, Asesor Biológico; Yair José Salas Espitia; Alejandra Cifuentes Zapata, Elizabeth Flórez Córdoba, Mario Andrés Cano Echavarría, Andrés García Acosta; Julián Hernández



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Velásquez, Auxiliares de Ingeniería Componente Calidad; Teresita Betancur Vargas, Coordinadora Hidrogeóloga; Teresita Betancur Vargas, Profesional para Modelación Aguas Subterráneas; Paola Andrea Palacio Buitrago, Profesional en interpretación química del agua subterránea; Paola Andrea Palacio Buitrago, Coordinador del Componente Hidrogeológico PMAAS; Sara Correa Zuluaga, Julián Ruiz Toro, Ingenieros Sanitarios; Juan Pablo Serna L., Ingeniero Ambiental; Deisy Yurani Rivera Arias, Comunicadora PMAAS; Maribel Fernández Agudelo, Coordinador Componente Área Social; Miriam Benjumea Hernández, Ingeniero Experto en Gestión Ambiental con Experiencia en Planes de Manejo; Amanda Oliva Delgado González, Profesionales de Apoyo del Área Social; Carlos Guillermo Mora Aucú, Yaneth Maritza Moncada Velásquez, Sociólogos de Apoyo y Afines; Angélica Julieth Vélez Duque, Profesional de Apoyo del Área de Hidrogeología, Evaluación del Riesgo e Hidrología; Angélica María Gómez, Profesional Experto en SIG con Experiencia en Bases de Datos Espaciales e Hidrogeología; Diana María Múnera Vera, Ingeniero con Experiencia en Bases de Datos Espaciales e Hidrogeología; Manuel Antonio González Romero, Silvana Bolaños Chavarría, Adrián Escobar, Auxiliares Agua Subterránea; Daniel Zapata Mejía, Estudiante Bases de Datos PMAAS; Cristina Isabel Lemos Rojas, Juan Álvaro Ortíz Tamayo, Julián Esteban Londoño Londoño, María Cecilia Chaverra Bello, Auxiliares de Ingeniería PMAAS; Ana María Gallo Benítez, Comunicadora; Pilar Verónica Pérez Ospina, Ingeniera de apoyo Divulgación; Lina Claudia Giraldo Buitrago, Coordinadora General Estrategia de Participación; Diego Andrés Torres Olarte, Coordinador Componente Social Estrategia de Participación; Pamela Isabel Múnera López, Profesional Área Social Estrategia de Participación; Luz Daisy Gómez Restrepo, Facilitador Estrategia de Participación; Yanneth Bibiana Daza Vargas, Profesional Ambiental Estrategia de Participación; John Fernando Gómez Restrepo; Andrea Hernández Giraldo; María Leidy Ramírez Cuartas; Juan Fernando Martínez Contreras, Auxiliares de la Estrategia de Participación; Nora Elena Villegas Jiménez, Coordinadora Componente Red Hídrica; Sandra Liliana Agudelo Duque, Ingeniero con conocimiento en SIG Red Hídrica; Julián David Rojo Hernández, Ingeniero con especialización o maestría en Recursos Hídricos o Hidráulicos con conocimiento en SIG; Yesenia Hernández Jiménez, Carolina María Valencia Tobón; Alexander Castro Herrera, Estudiantes de Ingeniería Civil, Ambiental o Sanitaria con conocimiento en SIG; Sandra E. Flórez Hoyos, Asistente Administrativa.

Supervisión y/o Interventoría:

María Alejandra Echeverri Arango, Ingeniera Civil, Ms Gestión Ambiental (Coordinadora); Norberth Ayala Ocampo, ingeniero ambiental (Apoyo Administrativo); Catalina Castaño Castrillón, ingeniera Sanitaria (Apoyo Técnico); Luis Guillermo Angulo, Ingeniero Administrativo (Interventor Componente Financiero); José Javier Jaramillo, Ingeniero Civil (Interventor Componente Hidráulico); Luis Fernando Quintero, Ingeniero Geólogo (Interventor Componente Aguas Subterráneas); Leonardo García, ingeniero sanitario (Interventor Componente Calidad y Modelación), Diana Álvarez, Comunicadora, (Interventora Componente Sensibilización y Comunicación); José Alejandro Sepúlveda, Ingeniero Sanitario (Interventor Obras Estaciones Automáticas); Jorge Ceballos, Tecnólogo en Recursos Naturales (Auxiliar de Campo y de Apoyo). Margarita María Cardona Gallo; Profesional Universitario, Olga Amparo Velázquez Lozano; Profesional Universitario, Raúl Alexander Cardona Pareja; Profesional Contratista (Supervisión y Apoyo Programa de Gestión Ambiental).

04 Enero de 2016, Medellín



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	22
2	OBJETIVOS.....	23
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3	DECLARATORIA.....	24
4	CONTEXTO NORMATIVO DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO.....	24
5	ELEMENTOS DE PARTIDA HACIA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN	32
6	DIAGNÓSTICO.....	35
6.1	UBICACIÓN DEL CUERPO DE AGUA EN LA ESTRUCTURA HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA.....	35
6.2	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO	36
6.3	REVISIÓN DEL ESTADO DE LAS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS Y DE CALIDAD HÍDRICA EXISTENTES	36
6.3.1	Estado de las redes hidrometeorológicas	36
6.3.2	Red pluviométrica EPM.....	55
6.3.3	Red IDEAM.....	56
6.3.4	Red de calidad y cantidad hídrica superficial	57
6.3.5	Red de calidad hídrica hidrogeológica	59
6.3.6	Operación de la red	64
6.3.7	Modelo hidrogeológico del valle de Aburrá	66
6.4	IDENTIFICACIÓN Y REVISIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN AMBIENTAL EXISTENTES	70
6.5	CLASIFICACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL REGISTRO DE USUARIOS DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN	71
6.5.1	Usuarios que realizan vertimientos de aguas residuales por jurisdicción de autoridad ambiental	72



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



6.5.2	Usuarios que captan agua superficial (concesiones) por jurisdicción de Autoridad Ambiental..	77
6.6	IDENTIFICACIÓN DE USOS EXISTENTES DEL RECURSO HÍDRICO, ZONIFICACIÓN AMBIENTAL DEL POMCA E IDENTIFICACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS	82
6.6.1	Identificación de usos existentes del río Aburrá -Medellín.....	82
6.6.2	Diagnóstico y zonificación ambiental del POMCA	87
6.6.3	Identificación de obras hidráulicas en el río Aburrá-Medellín	95
6.7	REVISIÓN Y ANÁLISIS DE QUEJAS	97
6.8	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN.....	101
6.8.1	Metodología del Proceso de Participación	102
6.8.2	Taller N °1. Identificación y definición de los usos actuales del río Aburrá-Medellín.....	105
6.9	CENSO DE USUARIOS	108
6.10	DEFINICIÓN DE TRAMOS O SECTORES DE ANÁLISIS	112
6.11	DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL PARA LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	114
6.11.1	Fase I.....	114
6.11.2	Fase II.....	115
6.11.3	Fase III.....	116
6.11.4	Protocolo de modelación	117
6.11.5	Forma en que opera el Q2Kw	119
6.11.6	Topología del modelo	120
6.11.7	Información de entrada del Modelo.....	121
6.11.8	Información salida del modelo	123
6.11.9	Ajuste del modelo de simulación obtenido en fase III	125
6.11.10	Información de cargas puntuales y dispersas	126
6.11.11	Cargas difusas.....	127
6.11.12	Datos hidráulicos – componente de modelación-	128
6.11.13	Datos climatológicos.....	128
6.12	DISEÑO Y EJECUCIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO	128
6.12.1	Monitoreo de objetivos de calidad.....	129
6.12.2	Monitoreo de muestra compuesta.....	130



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



6.12.3	Monitoreo de calidad en quebradas	132
6.13	DETERMINACIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES.....	134
6.14	ELABORACIÓN DE PERFILES DE CALIDAD ACTUAL DE CADA TRAMO DEL RÍO ABURRÁ MEDELLÍN.....	141
6.14.1	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA CAMPAÑA OBJETIVOS DE CALIDAD PARA LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN PERIODO 2012 – 2014.....	147
6.15	CÁLCULO DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)	149
6.15.1	Calidad de agua superficial río Aburrá – Medellín (ICACOSU)	151
6.15.2	Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá- Medellín para el segundo semestre de 2012	157
6.15.3	Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá- Medellín para el primer semestre de 2013.....	160
6.15.4	Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá- Medellín para el segundo semestre de 2013	164
6.15.5	Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá- Medellín para el primer semestre de 2014.....	165
6.15.6	Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá- Medellín para el segundo semestre de 2014	170
6.15.7	Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá- Medellín para el primer semestre de 2015.....	175
6.15.8	Indicador de calidad del agua – ICA GLOBAL -	177
6.15.9	Comparación de resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global a las campañas de muestreo sobre el río Aburrá – Medellín.....	184
6.16	CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO CON EL COMPONENTE BIOLÓGICO	188
6.16.1	Algas Perifíticas.....	189
6.16.2	Plantas Acuáticas	193
6.16.3	Comunidad de Macroinvertebrados acuáticos	196
6.17	SÍNTESIS RESULTADOS ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICO - QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL AÑO MÁS CRÍTICO DE MONITOREO – 2010.....	207
6.18	ANÁLISIS DE LOS CONFLICTOS ACTUALES DE USO, POR CALIDAD	208
6.19	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA DEL ACUÍFERO.....	211
6.20	ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA Y DEMANDA TOTAL.....	214



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



6.21	ESTIMACIÓN DE LA OFERTA	217
6.22	OFERTA NETA.....	222
6.23	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA.....	224
6.24	ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE USO	224
6.25	ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ.....	226
6.26	ESTIMACIÓN ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA	229



TABLAS

Tabla 1. Contexto Normativo	24
Tabla 2. Codificación del río Aburrá -Medellín	35
Tabla 3. Estaciones de la red hidrometeorológicas del SIATA	37
Tabla 4. Estaciones de la red hidrometeorológicas del CORANTIOQUIA	51
Tabla 5. Estaciones meteorológicas IDEAM cuenca hidrográfica río Aburrá-Medellín	56
Tabla 6. Sitios monitoreados en las campañas de piezometría, hidrogeoquímica y de calidad.	60
Tabla 7. Síntesis de la recarga potencial por estación, usando el método SWB.	70
Tabla 8. Identificación de información de evaluación y seguimiento al recurso hídrico	71
Tabla 9. Descripción de los siete (7) tramos establecidos para el río Aburrá - Medellín.....	83
Tabla 10. Lista de corrientes seleccionadas para el establecimiento de corredores ribereños de conservación ambiental	89
Tabla 11. Balance de información existente del tipo de captación en concesiones de agua ...	96
Tabla 12. Tipo de captaciones sobre el río Aburrá – Medellín.....	96
Tabla 13. Talleres realizados dentro del proceso de participación	102
Tabla 14. Agenda de trabajo taller N° 1	106
Tabla 15. Expectativas de los participantes en el Taller N° 1.....	107
Tabla 16. Usuarios registrados con captaciones legales.....	108
Tabla 17. Registro de usuarios no conectados	109
Tabla 18. Vertimientos	110
Tabla 19. Usuarios con sistemas de tratamiento de Agua Residual.....	111
Tabla 20. Usuarios sin planta de tratamiento	111



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Tabla 21. Tramos propuestos para el río Aburrá-Medellín	113
Tabla 22. Rango de caudales para cada régimen y estación de medición	126
Tabla 23. Parámetros de monitoreo para el seguimiento de los objetivos de calidad.....	130
Tabla 24. Parámetros a medir en las campañas denominadas compuestas	131
Tabla 25. Parámetros a monitorear en las campañas denominadas quebradas	132
Tabla 26. Resumen de trabajo de campo	133
Tabla 27. Objetivos de calidad ponderados para el río Aburrá – Medellín periodo de 0 a 2 años	147
Tabla 28. Comparación de resultados campaña objetivos de calidad del 24 de julio de 2013 con objetivos de calidad del río Aburrá – Medellín periodo 0 a 2 años.....	148
Tabla 29. Ponderación propuesta para disponibilidad de información de seis (6) variables – Red básica de calidad hídrica del IDEAM	155
Tabla 30. Clasificación de la calidad del recurso hídrico de acuerdo al valor numérico obtenido del ICACOSU y su respectivo código de colores	156
Tabla 31. Principales usos del agua de acuerdo con los valores obtenidos del índice ICACOSU	157
Tabla 32. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín segundo semestre 2012.....	157
Tabla 33. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín primer semestre.....	160
Tabla 34. Resultado ICACOSU quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín marzo 6 de 2013	162
Tabla 35. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín. Segundo semestre de 2013.....	164
Tabla 36. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín. Primer semestre de 2014	165
Tabla 37. Resultado ICACOSU quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín marzo 12 de 2014	168



Tabla 38. Resultado del índice ICACOSU e ICA GLOBAL promedio para el río Aburrá – Medellín. Segundo semestre de 2014.....	170
Tabla 39. Resultado de los índices de calidad para las principales quebradas afluentes al río Aburrá–Medellín noviembre 5 de 2014	172
Tabla 40. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín primer semestre de 2015.....	175
Tabla 41. fdp con el mejor ajuste para cada una de las estaciones sobre las estaciones de medición del río Aburrá - Medellín	178
Tabla 42. Rango de caudales para cada régimen y estación de medición	182
Tabla 43. Factor de análisis para caudales globales en el río Aburrá–Medellín	184
Tabla 44. Clasificación de la calidad del recurso hídrico de acuerdo al valor numérico obtenido del índice de calidad ICA GLOBAL y su respectivo código de colores	184
Tabla 45. Comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global de los muestreos realizados en las tres fases del proyecto. Años 2004- 2010	185
Tabla 46. Comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global de los muestreos realizados en las tres fases del proyecto. Años 2011- 2013	185
Tabla 47. Comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global de los datos de calidad de agua de las muestras compuestas obtenidas todas las fases del proyecto	187
Tabla 48. Características de las macrofitas encontradas en el río Aburrá - Medellín durante el estudio.....	193
Tabla 49. Valores del BMWP y significados.....	197
Tabla 50. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2010.....	198
Tabla 51. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2011	200
Tabla 52. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín en los muestreos realizados en 2012	201



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Tabla 53. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2013	201
Tabla 54. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2014.	202
Tabla 55. Tendencia de la variación del número de taxa reportado en las estaciones sobre el río Aburrá-Medellín con mayor representación en los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.	204
Tabla 56. Síntesis resultados índices de calidad de agua, aplicados en el proyecto RedRío	207
Tabla 57. Tensiones o conflictos identificados	209
Tabla 58. Tensiones recurrentes y descripción	211
Tabla 59. Categorización de zonas de recarga por unidad litológica.....	212
Tabla 60. Estaciones de interés para el PORH.....	214
Tabla 61. Estaciones de caudal a lo largo del río Medellín – Aburrá (Componente Hidrológica e Hidráulica Red Río Fase IV)	217
Tabla 62. Modelo lluvia escorrentía a utilizar en cada estación de interés	218
Tabla 63. Oferta total en cada punto de interés y condición hidrológica.....	218
Tabla 64. Caudal ambiental – metodología 1	220
Tabla 65. Caudal ambiental – metodología 2	220
Tabla 66. Caudal ambiental años seco – metodología 3.....	221
Tabla 67. Caudal ambiental años normal – metodología 3.....	221
Tabla 68. Caudal ambiental años húmedo – metodología 3.....	221
Tabla 69. Oferta neta– metodología 1 caudal ambiental	222
Tabla 70. Oferta neta– metodología 2 caudal ambiental	222
Tabla 71. Oferta neta año seco – metodología 3 caudal ambiental.....	223
Tabla 72. Oferta neta año normal – metodología 3 caudal ambiental	223
Tabla 73. Oferta neta año húmedo – metodología 3 caudal ambiental	223



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Tabla 74. Demanda en cada subcuenca de estudio	224
Tabla 75. Índice de uso – metodología 1 caudal ambiental.....	224
Tabla 76. Índice de uso – metodología 2 caudal ambiental.....	225
Tabla 77. Índice de uso año seco – metodología 3 caudal ambiental	225
Tabla 78. Índice de uso año normal – metodología 3 caudal ambiental	225
Tabla 79. Índice de uso año húmedo – metodología 3 caudal ambiental	225
Tabla 80. Discriminación cualitativa del índice de aridez (Elaboración propia a partir de IDEAM, 2010)	226
Tabla 81. Índice de aridez medio para las 7 subcuencas del río Aburra-Medellín	227
Tabla 82. Estimación de IRH y Caudal ambiental	229



FIGURAS

Figura 1. Proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico (Artículo 2.2.3.3.1.8, Decreto 1076 de 2015)	34
Figura 2. Aspectos mínimos para la elaboración del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (Artículo 2.2.3.3.1.8, Decreto 1076 de 2015)	34
Figura 3. Información gráfica de la base de la base de datos de vertimientos en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá	73
Figura 4. Información gráfica de la base de la base de datos de vertimientos en jurisdicción del CORNARE.....	74
Figura 5. Información gráfica de la base de la base de datos de vertimientos en jurisdicción del CORANTIOQUIA	75
Figura 6. Información gráfica de la base de la base de datos de vertimientos en el valle de Aburrá.....	76
Figura 7. Información gráfica de la base de datos de usuarios en la cuenca del río Aburrá en jurisdicción del AMVA	78
Figura 8. Información gráfica de la base de datos de usuarios en la cuenca del río Aburrá en jurisdicción de CORNARE.	79
Figura 9. Información gráfica de la base de datos de usuarios en la cuenca del río Aburrá en jurisdicción de CORANTIOQUIA.....	80
Figura 10. Información gráfica de la base de datos consolidada de usuarios en la cuenca del río Aburrá.....	82
Figura 11. Resultados Usos Actuales del agua para el Río Aburrá - Medellín	86
Figura 12. Balance de información existente del tipo de captación en concesiones de agua ..	96
Figura 13. Tipo de captaciones sobre el río Aburrá-Medellín	97
Figura 14. Información de quejas reportadas por el AMVA en el año 2013.....	98
Figura 15. Información de quejas reportadas por el AMVA en el año 2014.....	99



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Figura 16. Información de quejas reportadas por CORANTIOQUIA entre los años 2012 y 2015	100
Figura 17. Distribución Auditorio – Taller N° 1.....	103
Figura 18. Usuarios registrados con captaciones legales	108
Figura 19. Usuarios no conectados con permiso	109
Figura 20. Vertimientos.....	110
Figura 21. Usuarios con sistema de tratamiento A.R	112
Figura 22. Usuarios sin sistema de tratamiento de A.R.....	112
Figura 23. Protocolo de modelación Camacho y Díaz (2003).	118
Figura 24. Tipología del Modelo.....	120
Figura 25. Hoja de datos de cabecera	122
Figura 26. Sumario de la información de salida del modelo	124
Figura 27. Hoja de cargas puntuales con la información de las empresas que descargan al río (base de datos AMVA).....	127
Figura 28. Cargas contaminantes en el río halladas durante el segundo semestre de 2012.	134
Figura 29. Cargas contaminantes en el río halladas durante el primer semestre de 2013	136
Figura 30. Cargas contaminantes en el río halladas durante el segundo semestre de 2013.	137
Figura 31. Cargas contaminantes en el río halladas durante el primer semestre de 2014. ...	138
Figura 32. Cargas contaminantes en el río halladas durante el segundo semestre de 2014.	139
Figura 33. Cargas contaminantes en el río halladas durante el primer semestre de 2015	140
Figura 34. Diagrama de cajas esquemáticas de las diversas variables por estación durante el año 2013.....	142
Figura 35. Diagrama de cajas esquemáticas de las diversas variables por estación durante el año 2014.....	143
Figura 36. Graficas con las diversas variables por estación durante los años 2014-2015.....	146



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Figura 37. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del segundo semestre de 2012 (septiembre-noviembre.....	159
Figura 38. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del primer semestre de 2013	163
Figura 39. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del segundo semestre de 2013.....	166
Figura 40. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del primer semestre de 2014	169
Figura 41. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del segundo semestre de 2014.....	171
Figura 42. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU en las quebradas segundo semestre de 2014.....	174
Figura 43. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del primer semestre de 2015	176
Figura 44. fdp de mejor ajuste en la estación San Miguel	178
Figura 45. fdp de mejor ajuste en la estación Primavera.....	178
Figura 46. fdp de mejor ajuste en la estación Ancón Sur	179
Figura 47. fdp de mejor ajuste en la estación Antes de San Fernando	179
Figura 48. fdp de mejor ajuste en la estación Después de San Fernando.....	179
Figura 49. fdp de mejor ajuste en la estación Puente de Guayaquil.....	180
Figura 50. fdp de mejor ajuste en la estación Aula Ambiental.....	180
Figura 51. fdp de mejor ajuste en la estación Puente Acevedo.....	180
Figura 52. fdp de mejor ajuste en la estación Puente Machado	181
Figura 53. fdp de mejor ajuste en la estación Ancón Norte	181
Figura 54. fdp de mejor ajuste en la estación Girardota	181
Figura 55. fdp de mejor ajuste en la estación Girardota	182

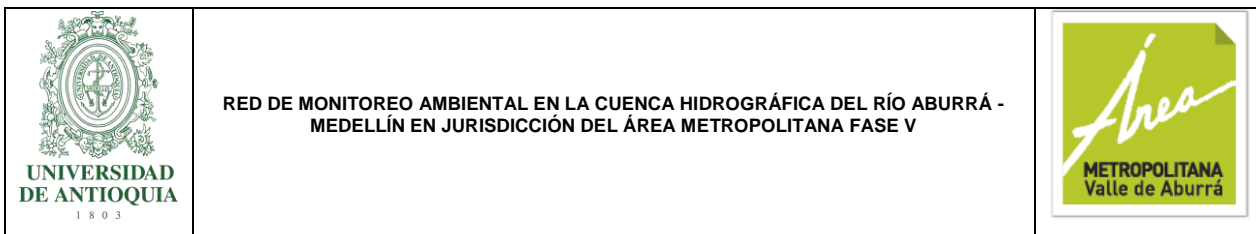


Figura 56. Macroinvertebrados acuáticos más representativos determinados en el río Aburrá-Medellín en 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014 204

Figura 57. Porcentaje de calidad de agua sobre las estaciones ubicadas en el río Aburrá-Medellín en 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014 205

Figura 58. Valores multimensuales del índice BMWP/col en el río Aburrá en los años 2004, 2006, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015..... 206

Figura 59. Zonas de recarga del valle de Aburrá 213

Figura 60. Manantiales en el Centro y Sur del valle de Aburrá..... 215

Figura 61. Puntos de interés en el área de estudio 216

Figura 62. Ubicación de los puntos de interés y estaciones de medición de caudal..... 219

Figura 63. Mapa del índice de aridez 228



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



ANEXOS

Anexo 1. Declaratoria

Anexo 2. Mapa con la ubicación del cuerpo de agua objeto del ordenamiento del recurso hídrico dentro de la red hídrica

Anexo 3. Delimitación del área del cuerpo de agua en ordenamiento

Anexo 4. Mapas con la Información relacionada con las estaciones del SIATA

Anexo 5. Mapa con los puntos de la red hidrogeológica monitoreados

Anexo 6. Red de calidad hídrica hidrogeológica - información complementaria

Anexo 7. Mapas de las unidades hidrogeológicas

Anexo 8. Geometría de la unidad hidrogeológica

Anexo 9. Mapa con las propiedades hidráulicas del acuífero libre

Anexo 10. Tendencia del flujo subterráneo en el acuífero libre del valle de Aburrá

Anexo 11. Zonas de recarga del sistema de acuífero libre del valle de Aburrá

Anexo 12. Mapas con el registro de usuarios de las bases de datos

Anexo 13. Mapas con los usos actuales del río Aburrá – Medellín

Anexo 14. Mapas relacionados con el diagnóstico y zonificación ambiental del POMCA

Anexo 15. Mapa con la ubicación de los usuarios que presentan vertimientos sobre el río Aburrá – Medellín.

Anexo 16. Resultados de la calibración del modelo del río Aburrá – Medellín

Anexo 17. Mapas relacionados con la conductividad en las diferentes fases de RedRío

Anexo 18. Mapas relacionados con la DBO₅ en las diferentes fases de RedRío

Anexo 19 Mapas relacionados con la DQO en las diferentes fases de RedRío

Anexo 20. Mapas relacionados con el nitrógeno total en las diferentes fases de RedRío



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Anexo 21. Mapas relacionados con el oxígeno disuelto en las diferentes fases de RedRío

Anexo 22. Mapas relacionados con el fósforo total en las diferentes fases de RedRío

Anexo 23. Mapas relacionados con los sólidos suspendidos totales en las diferentes fases de RedRío

Anexo 24. Mapas con los resultados obtenidos del índice ICACOSU en cada una de las fases de RedRío

Anexo 25. Resumen de resultados por cada monitoreo biológico río Aburrá - Medellín.

Anexo 26. Mapa con los resultados obtenidos del índice ICA GLOBAL obtenido en cada una de las fases de RedRío y los resultados promedio de la aplicación de calidad de agua para caudales globales de los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014

Anexo 27. Resultados correspondientes a las jornadas de monitoreo de macroinvertebrados realizadas en el río Aburrá – Medellín distribuidas en 18 estaciones a lo largo del río.



ABREVIATURAS

DBO ₅	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
PO ₄	Fosfatos
PTOTAL	Fósforo total
Porg	Fósforo orgánico
NTK	Nitrógeno total Kjeldal
Norg	Nitrógeno orgánico
NO ₂	Nitritos
NO ₃	Nitratos
ST	Sólidos totales
SST	Sólidos suspendidos totales
SDT	Sólidos disueltos totales
SVT	Sólidos volátiles totales
SFT	Sólidos Fijos Totales
Ssed	Sólidos sedimentables
Fe	Hierro total
SO ₄	Sulfatos
Cl-	Cloruros
Cd	Cadmio
Cu	Cobre



CONTINUACIÓN ABREVIATURAS

Cr	Cromo
Hg	Mercurio
Ni	Níquel
Pb	Plomo
O ₂	Oxígeno
mg	Miligramo
L	Litro
mL	Mililitro
h	Hora
UC Pt-Co	Unidades de color platino cobalto
NMP	Número más probable
°C	Grados Celsius
pH	Potencial de hidrogeniones
U. de pH	Unidades de pH
µS	Microsiemens
cm	Centímetro
mV	Milivoltios
NTU	Unidad nefelométrica de turbiedad
µg	Microgramo
Kg	Kilogramo



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



1 INTRODUCCIÓN

El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH, es un mecanismo de planificación que permite administrar de manera eficiente el recurso hídrico y hacer un control de su calidad y cantidad.

El presente documento contiene los resultados de la fase de Diagnóstico, orientada a partir de la “Guía metodológica para la formulación del PORH”, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y basado en los aspectos sociales, físicos, bióticos y antrópicos que influyen en la calidad y cantidad del recurso en aras de garantizar la sostenibilidad del mismo.

En el diagnóstico se identifica la realidad actual del cuerpo de agua, los conflictos, restricciones de uso y posibilidades que brinde este importante recurso, ya que el uso indiscriminado y desordenado que los habitantes de la región han hecho sobre el río, así como la falta de políticas coherentes y articuladas de gestión, el acelerado crecimiento urbanístico, la conurbación, el crecimiento poblacional, la invasión de cauces, la baja efectividad ambiental realizada y el reducido control, entre muchos otros factores, han degradado el recurso, siendo indispensable acercarse a la realidad actual del río Aburrá-Medellín.

Este documento diagnóstico se estructura a partir de un contexto normativo donde el proceso hacia la formulación del PORH determinará los usos actuales y potenciales del río para la comunidad asentada en la región, involucrando aspectos como la disponibilidad y demanda hídrica, los usos del agua, la calidad del recurso hídrico, los objetivos de calidad a lo largo de toda la corriente hídrica del río Aburrá-Medellín, así como los índices de uso, perfiles de calidad, conflictos por uso o calidad, zonas de recarga hídrica, entre otros. Para esto es fundamental que las comunidades, instituciones, empresas y todas aquellos actores que de una u otra forma utilizan este recurso hídrico, tomen conciencia y por medio de un accionar articulado y comprometido influyan para revertir los procesos de degradación, y contribuyan con los recursos y actividades necesarias y prioritarias para que las acciones que se emprendan permitan su sostenibilidad en el tiempo.



2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Formular el diagnóstico del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Aburrá Medellín –PORH-, teniendo en cuenta los aspectos sociales, físicos, bióticos y antrópicos, a partir de información primaria y secundaria que permita identificar la realidad actual del cuerpo de agua, los conflictos, las restricciones y las potencialidades que lo caracterizan, con el fin de generar iniciativas de intervención que garanticen la sostenibilidad del recurso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información secundaria suministrada por las autoridades ambientales referente a calidad y cantidad del cuerpo de agua objeto de planificación, que posibilite la comprensión de las condiciones físicas, químicas, biológicas y microbiológicas.
- Delimitar el área de trabajo a partir de la ubicación del cuerpo de agua en la estructura hidrográfica de la cuenca, y su segmentación por tramos o sectores de análisis.
- Evaluar y analizar el estado actual de la oferta y la demanda del recurso hídrico, como herramienta para facilitar la intervención del río y garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas en el sostenimiento del recurso, que posibiliten definir los usos actuales del río.
- Determinar las condiciones actuales de calidad y cantidad en el río Aburrá – Medellín, a partir de la información obtenida con la operación de la red de monitoreo RedRío, establecida en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín.
- Recopilar la información de usuarios ubicados a lo largo del recorrido del río Aburrá-Medellín, que permita la consolidación del registro de usuarios del recurso hídrico (RURH).
- Identificar los usos actuales del recurso hídrico superficial, desde los lineamientos normativos, así como las obras hidráulicas en el cuerpo de agua, considerando la información de usos del suelo, y coberturas, que permitan a su vez la identificación de tensiones por el uso del recurso.
- Diseñar e implementar la estrategia de participación con los usuarios y actores estratégicos en el proceso hacia la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del río Aburrá-Medellín.
- Identificar las zonas de recarga y descarga del acuífero, con el fin de considerar las interacciones con el río Aburrá- Medellín, para establecer la clasificación de sus aguas teniendo en cuenta la conservación de los acuíferos, según lo dispuesto en el Decreto 1541 de 1978.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



3 DECLARATORIA

La Resolución N° 1509 – 21328-001739 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - CORANTIOQUIA y de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare de CORNARE, declara en ordenamiento el recurso hídrico del Río Aburrá-Medellín, perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del nivel subsiguiente Río Aburrá - NSS (2701-01), en jurisdicción de las autoridades ambientales antes mencionadas y la cual se adjunta en el Anexo 1.

4 CONTEXTO NORMATIVO DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO

En la Tabla 1 se presenta el contexto normativo relacionado con la gestión integral del el ordenamiento del recurso hídrico.

Tabla 1. Contexto Normativo

CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
NIVEL INTERNACIONAL		
	Conferencia de Estocolmo “Estado del Medio Ambiente y del Hábitat”, organizado por la ONU, 1972.	Protección del medio ambiente y su relación con el desarrollo económico.
	Conferencia de Mar del Plata, 1977.	Planteo el inicio de una serie de actividades globales en torno al agua, entre ellas, el Decenio Internacional de Agua Potable y Saneamiento (1981-1990).
	Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente de Dublín, 1992.	Estableció cuatro principios para la gestión del agua.
	La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD, 1992).	Adopción de la Agenda 21 que, con sus siete propuestas de acción en el ámbito del agua dulce, contribuyó a movilizar a las poblaciones en favor del cambio y favoreció la todavía lenta evolución de las prácticas de gestión del agua.
	Cumbre de las Naciones Unidas, 2000.	Se adoptan metas de Desarrollo del Milenio para el 2015, incluyendo las relacionadas con la problemática del agua
	Declaración Ministerial de La Haya de marzo del año 2000.	Aprueba siete desafíos como base de la acción futura y que fueron también adoptados por el Informe WWDR
	Cumbre Mundial del Desarrollo Sostenible, 2002.	Se identifican cinco grandes temas- WEHAB (<i>Water and Sanitation, Energy, Health, Agriculture, Biodiversity</i>)(<i>Agua y Saneamiento, Energía, Salud, Agricultura y Biodiversidad</i>) como parte integrante de un enfoque internacional coherente del desarrollo sostenible. Además se formuló el objetivo de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso a servicios de saneamiento para el 2015.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
	I Foro Mundial del Agua, Marruecos, 1997.	El Consejo Mundial del Agua recibió el mandato de desarrollar una "Visión para el agua, la vida y el ambiente en el siglo XXI" de largo plazo, para presentarse en el II Foro.
	El II Foro Mundial del Agua de La Haya en el año 2000 y la Conferencia Internacional sobre el Agua Dulce de Bonn en el 2001.	Conferencias pioneras en el sentido que colocaron el agua en el centro del debate sobre el desarrollo sostenible.
	III Foro Mundial del Agua, Kioto, Shiga y Osaka, Japón, 2003.	Se introdujeron nuevos conceptos, tales como un Foro Virtual del Agua y el Proyecto Voces del Agua. En seguimiento a su compromiso adquirido en el segundo foro, el Consejo Mundial del Agua inició el informe de Acciones Mundiales del Agua, un inventario de más de tres mil acciones locales relacionadas con dicho recurso.
	IV Foro Mundial del Agua, Japón, 2006.	"Acciones locales para un reto global", tiene la intención de fomentar el debate y de impulsar las acciones e iniciativas nuevas respecto a los múltiples retos y oportunidades que enfrentan las redes institucionales de los diversos actores. También implica una mejor participación de los actores locales en la construcción social de una visión del agua y una canalización más apropiada del apoyo internacional de diversas instituciones y redes de organizaciones hacia acciones locales específicas.
	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).	Lidera el Programa de Acción Mundial (PAM) para la protección del Medio Marino frente a las actividades realizadas en tierra, así como los Programas de mares regionales con sus Convenios y Protocolos correspondientes.
	Programa Hidrológico Internacional (PHI).	Liderado por la UNESCO y representado en Colombia por el IDEAM, además de la Declaración de La Haya, también impulsan el desarrollo de líneas de acción que reduzcan la contaminación del agua en los países.
NIVEL NACIONAL		
	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente-Decreto Ley 2811 de 1974.	Contiene las acciones de prevención y control de la contaminación del recurso hídrico, que deben llevarse a cabo para garantizar la calidad del agua para su uso posterior.
	Código Sanitario Nacional - Ley 9 de 1979.	Establece los procedimientos y las medidas para llevar a cabo la regulación y control de los vertimientos.
	Constitución Política 1991	Artículos 79 y 80 hace referencia específica al deber del estado para la protección de la diversidad e integridad del ambiente y planificación del aprovechamiento los recursos naturales
	Ley 99 de 1993	A través de esta ley se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se crea el Ministerio del Medio Ambiente. Define las competencias de las autoridades ambientales para ejercer las funciones



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
		para la administración, control y vigilancia al uso de los recursos naturales renovables.
	Ley 812 de 2003:	Establece la política para el Manejo Integral del Agua en Colombia
	Resolución 2160 de 2007.	Se crea el Grupo de Recurso Hídrico como objetivo general la incorporación del concepto de Gestión Integral del Recurso Hídrico-GIRH dentro de la gestión ambiental del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, focalizando las acciones necesarias a partir de una perspectiva de cuenca hidrográfica
	Política Nacional para le gestión integral del recurso hídrico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial 2010	Establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégicas para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años.
	Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
NORMAS ESPECÍFICAS USO DE AGUAS Y TASA POR UTILIZACIÓN DEL AGUA	Decreto 1449 de 1977.	Protección y conservación de los bosques
	Decreto 1541 DE 1978.	Reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales, reglamenta las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados.
	Decreto 0155 de 2004.	Reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 en lo relativo a las tasas por utilización de aguas no marítimas, que comprenden las aguas superficiales, las cuales incluyen las aguas estuarinas, y las aguas subterráneas, incluyendo dentro de éstas los acuíferos litorales.
	Resolución 240 de 2004.	Se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas
	Resolución 0865 de 2004.	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del Índice de Uso para aguas superficiales y adopta otras disposiciones
	Resolución 0866 de 2004.	Adopta el formulario de información relacionada con el cobro de la TUA y el estado de los recursos hídricos.
	Decreto 4742 de 2005.	Modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas, relacionado con el cálculo del monto a pagar
	Resolución 872 de 2006.	Establece la metodología para el cálculo del índice de uso para aguas subterráneas.
	Decreto 1575 de 2007.	Establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
	Resolución 2115 de junio 22 de 2007:	Por medio del cual señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Reglamenta el artículo 3 del Decreto 1575 de 2007.
Ley 373 de junio de 1997.	Establece el Programa para el Uso Eficiente y Racional del Agua Potable. Artículo 16 de la ley 373 de 1997, establece	



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
		que las Autoridades Ambientales podrán adquirir con carácter prioritario las áreas de influencias de nacimientos de acuíferos.
	Decreto 3102 de 1997.	Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua
	Resolución CRA- 150 de 2001.	Establece los consumos básicos y máximos de conformidad con lo establecido en la Ley 373 de 1997.
	Resolución número 2115 (22 jun 2007)	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
	Decreto 3930 de 2010 (octubre 25 de 2010)	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
	Decreto número 1640 Agosto de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos
NORMAS ESPECÍFICAS VERTIMIENTOS Y TASAS RETRIBUTIVAS POR VERTIMIENTOS PUNTUALES	Decreto 1594 de 1984.	Norma reglamentaria del Código Nacional de los Recursos Naturales y de la Ley 9 de 1979, desarrolla los aspectos relacionados con el uso del agua y los residuos líquidos. En cuanto a aguas residuales, define los límites de vertimiento de las sustancias de interés sanitario y ambiental, permisos de vertimientos, métodos de análisis de laboratorio y estudios de impacto ambiental
	Decreto 1600 de 1994.	Reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental – SINA en relación con los sistemas nacionales de investigación ambiental y de información ambiental.
	Resolución 273 de 1997.	Fija las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).
	Resolución 372 de 1998.	Por el cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos
	Decreto 2667 de 2012	Reglamenta las tasas retributivas por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales
	Resolución 1433 de 2004.	Reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.
	Resolución 2145 de 2005.	Modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.
	Decreto 2570 de 2006	Establece los tiempos para aceptar información de análisis ambientales generada por los laboratorios que se encuentren inscritos en el proceso de acreditación ante el IDEAM. Deroga el parágrafo 1 del artículo 23 del Decreto 3100 de 2003.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
NORMAS ESPECÍFICAS PLANES DE MANEJO Y ORDENACIÓN DE CUENCAS	Decreto 1640 de 2012	Reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos
	Resolución 104 de 2003.	Establece los parámetros para la priorización de cuencas
	Decreto 1480 de 2007.	Priorizan a nivel nacional el ordenamiento y la intervención de algunas cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones", en ella se prioriza a nivel Nacional la Cuenca del Río Medellín para efectos de ordenación
	Decreto 1323 de 2007.	Crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH- como parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia –SIAC
	Decreto 1324 de 2007.	Crea el registro de usuarios del recurso hídrico, cuyo objeto es realizar el inventario de las personas naturales y jurídicas que usan y aprovechan el recurso hídrico en las cuencas.
NORMAS SERVICIOS DOMICILIARIOS ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	Ley 142 de 1994. .	Régimen de los servicios públicos domiciliarios.
	Decreto 302 de 2000.	Reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
	Resolución 287 de 2004.	Establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado".
	Decreto 057 de 2006.	Establece reglas para la aplicación del factor de aporte solidario para los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo
	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS 2000, Título I "Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo".	Presenta las consideraciones de orden ambiental definidas en la normatividad vigente, y fija criterios básicos y requisitos mínimos de actuación por parte de las personas prestadoras de los servicios del sector, denominados medidas de manejo ambiental que se deben seguir para la construcción y operación de obras de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo que se desarrollen en la República de Colombia con el fin de minimizar o mitigar los impactos.
	Ley 715 de 2001.	Establece el Sistema General de Participaciones constituido por los recursos que la Nación transfiere a las entidades territoriales. En el rubro Participación de propósito general se destinan recursos para agua potable y saneamiento básico, con los cuales al municipio le corresponde promover, financiar o cofinanciar proyectos de descontaminación de corrientes afectados por vertimientos, así como programas de disposición, eliminación y reciclaje de residuos líquidos y sólidos, entre otros programas.
	CONPES 3177 de 2002.	Define las acciones prioritarias y los lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR).
CONPES 3463 de 2007:	Establece los lineamientos para la estructuración, la financiación y la ejecución de los Planes Departamentales	



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
		de Agua y Saneamiento para el manejo empresarial de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.
	Resolución 1512 de 2004.	Modifica parcialmente la Resolución número 0486 de junio 7 de 2002 y establecen disposiciones en el sentido de denominar al Comité Evaluador Exenciones Tributarias, como Comité Evaluador de Beneficios Tributarios con el objeto de estudiar, analizar y evaluar las solicitudes para certificar la procedencia o no de los beneficios tributarios que en materia ambiental y de agua potable y saneamiento básico están previstos en el Estatuto Tributario
	Decreto 1220 de 2005.	Reglamenta la Ley 99/93 respecto a las Licencias Ambientales. Define que para la construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que sirvan poblaciones iguales o superiores a 200.000 habitantes, se requiere licencia ambiental otorgada por la Autoridad Ambiental.
	Decreto 500 de 2006.	Modifica parcialmente el Decreto 1220 de 2005 (Modifica los artículos 12 y 13 y el parágrafo 1 del artículo 8)
	Decreto 1900 de 2006.	Reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993, estipula que todo proyecto que involucre en su ejecución el uso del agua tomada directamente de fuentes naturales y que esté sujeto a la obtención de licencia ambiental, deberá destinar el 1% del total de la inversión para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica; de conformidad con el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993.
	Resolución 0974 de junio 1 de 2007:	Por la cual se establece el porcentaje de qué trata el literal a) del artículo 5 del Decreto 1900 de 2006
	Resolución 1285 del 30 de junio de 2006:	Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas y se adoptan otras disposiciones.
PLANES A NIVEL DEPARTAMENTAL Y MUNICIPAL	Plan de Desarrollo Departamental.	
	Planes de Desarrollo y de Gobierno de las entidades territoriales de los municipios del valle de Aburrá	
	Programa Aguas para la Prosperidad Plan Departamental de Agua PAP-PDA	A través del cual se pretende implementar esquemas eficientes y sostenibles en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico.
NIVEL LOCAL – ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ		
	Proyecto Metrópoli 2002-2020.	Define el Plan Integral de Desarrollo Metropolitano del valle de Aburrá, en las siguientes líneas estratégicas: Componente: Territorial. Campo de intervención: Hábitat y medio ambiente.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
		<p>Línea de gestión: Recursos naturales y medio ambiente Programa: Administración, ordenamiento y manejo integral del territorio metropolitano con énfasis en el recurso agua. Proyecto: Saneamiento y manejo integral de la cuenca del Río Medellín y sus principales afluentes.</p>
	<p>Plan Estratégico Ambiental Metropolitano-PEAM 2003-2012.</p>	<p>El documento describe los planteamientos teóricos que orientan el Plan, los lineamientos de política, las estrategias y los programas, con un enunciado de proyectos. El contenido básico del documento es el siguiente: Enfoque: Hacia una región metropolitana sostenible Diagnóstico ambiental y sociocultural La estructura metropolitana: Una herramienta de la planeación y ejercicio de diagnóstico. Lineamientos de políticas y estrategias para el plan de gestión ambiental. Criterios para seleccionar proyectos prioritarios Ejecución, evaluación y seguimiento del plan estratégico ambiental metropolitano</p>
	<p>Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial.</p>	<p>Mediante el Acuerdo Metropolitano No 15 de septiembre de 2006, se establecen las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial cuyo contenido es el siguiente: Criterios que permitirán clasificar el suelo, teniendo en cuenta las posibilidades de prestación de servicios públicos y la demanda de suelo para usos urbanos que puedan requerirse en el desarrollo de los proyectos y programas de carácter regional y metropolitano. Definición de áreas o zonas que, debido a la localización de proyectos de carácter regional o metropolitano, deban ser objeto de ordenamiento a través de la formulación de planes parciales, por constituir actuaciones urbanas integrales o macroproyectos urbanos, en los términos definidos por la Ley 388 de 1997. Definición de estrategias e instrumentos que hagan posible a los municipios atender la problemática ambiental Definición de estándares que permitan la identificación de inmuebles como patrimonio cultural, con los diferentes parámetros para determinar la compensación por la afectación urbanística, así como la estimación global de las necesidades de rehabilitación o conservación de los mismos. Elementos para evaluar el déficit de equipamiento y espacio público de carácter metropolitano. Determinación de un sistema de información georreferenciada de doble vía entre el Municipio y el Área Metropolitana, que facilite a las diferentes entidades, los datos necesarios para la correcta elaboración de sus planes y programas. Señalamiento de las causas y supuestos que habrían de determinar la modificación de estas directrices.</p>



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CARACTER Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	NORMA	DESCRIPCION
		Esquema de construcción de indicadores de seguimiento que haga posible determinar el nivel de ejecución de las mismas. Establecimiento de mecanismos para la solución de conflictos cuando se presenten contradicciones entre las directrices de ordenamiento metropolitano y los Planes de Ordenamiento Territorial en ejecución.
	Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá-POMCA.	Formular y adoptar el plan de ordenación y manejo para el tramo de la cuenca del río Aburrá declarado en ordenación, con la participación de sus instituciones y comunidades; articulado local, regional y nacionalmente; con políticas y estrategias de desarrollo sostenible, que permita elevar la calidad de vida de la población y el uso sostenible de sus recursos naturales.
NORMAS RELACIONADAS CON TASAS POR UTILIZACIÓN DEL AGUA	Resolución Metropolitana 436 de 2006.	Se fija el período de facturación, cobro y recaudo de las tasas por utilización del agua.
	Resolución Metropolitana 437 de 2006.	Fija el procedimiento interno para el trámite de las reclamaciones presentadas por el concepto de las tasas por utilización del agua.
	Resolución Metropolitana 438 de 2006.	Se adopta el formulario de registro mensual del volumen de agua captada y/o vertida.
NORMAS RELACIONADAS CON TASAS RETRIBUTIVAS	Resolución 563 de 2004.	Por medio del cual se reglamenta el proceso de concertación para la fijación de la meta de reducción de la carga contaminante por vertimientos puntuales al río Medellín.
	Resolución Metropolitana 175 de 2006.	Modifica el proceso establecido en la resolución 563 de 2004, para el establecimiento de la meta global de reducción de carga contaminante al río Medellín.
	Acuerdo Metropolitano 03 de 2006.	Se crea una cuenta especial en el presupuesto de gastos para garantizar la destinación específicas de los recaudos por concepto de la Tasa Retributiva por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y deroga los Acuerdos 014 de 2001, 011 de 2002 en su artículo 10, 02 y 04 de 2003.
	Resolución Metropolitana 056 de 2006.	Se aprueba el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos presentado por Empresas Públicas de Medellín.
	Acuerdo Metropolitano 011 de 2006.	Define las metas de reducción de carga contaminante por vertimientos puntuales al río Aburrá durante el período 2006-2011 para DBO5 y SST
	Resolución 358 de 2006.	Establece los objetivos de calidad para el río Medellín para el período 2006 - 2016
	Acuerdo Metropolitano 7 de abril del 2012.	Se adopta una decisión con relación al factor regional para el cálculo de la tasa retributiva por vertimientos puntuales
	Acuerdo Metropolitano 21 de noviembre del 2012.	Por medio del cual se prohíben los vertimientos directos a cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado publico



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



5 ELEMENTOS DE PARTIDA HACIA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, el Ordenamiento del Recurso Hídrico (Capítulo 3-subsección 2) es el proceso de planificación del mismo, mediante el cual la autoridad ambiental competente:

- Establece la clasificación de las aguas.
- Fija su destinación y sus posibilidades de uso
- Define los objetivos de calidad a alcanzar en el corto, mediano y largo plazo.
- Establece las normas de preservación de la calidad del recurso para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies.
- Determina los casos en que deba prohibirse el desarrollo de actividades como la pesca, el deporte y otras similares, en toda la fuente o en sectores de ella, de manera temporal o definitiva.
- Fija las zonas en las que se prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales o residuos líquidos o gaseosos, provenientes de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales, subterráneas, o marinas.
- Establece el programa de seguimiento al recurso hídrico con el fin de verificar la eficiencia y efectividad del ordenamiento del recurso.

En este mismo Decreto, se establece a la Autoridad Ambiental competente los criterios de priorización para el ordenamiento del recurso hídrico, teniendo en cuenta como mínimo lo siguiente (Artículo 2.2.3.3.1.5, del Decreto 1076 de 2015):

- Cuerpos de agua y/o acuíferos objeto de ordenamiento definidos en la formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- Cuerpos de agua donde la autoridad ambiental esté adelantando el proceso para el establecimiento de las metas de reducción de que trata el Capítulo 7 "Tasas retributivas por vertimientos puntuales al agua" o la norma que lo modifique o sustituya.
- Cuerpos de agua y/o acuíferos en donde se estén adelantando procesos de reglamentación de uso de las aguas o en donde estos se encuentren establecidos.
- Cuerpos de agua en donde se estén adelantando procesos de reglamentación de vertimientos o en donde estos se encuentren establecidos.
- Cuerpos de agua y/o acuíferos que sean declarados como de reserva o agotados, según lo dispuesto por el capítulo 2 del presente título o la norma que lo modifique, adicione, o sustituya.
- Cuerpos de agua y/o acuíferos en los que exista conflicto por el uso del recurso.

- Cuerpos de agua y/o acuíferos que abastezcan poblaciones mayores a 2.500 habitantes.
- Cuerpos de agua y/o acuíferos que presenten índices de escasez, de medio a alto y/o que presenten evidencias de deterioro de la calidad del recurso que impidan su utilización.
- Cuerpos de agua cuya calidad permita la presencia y el desarrollo de especies hidrobiológicas importantes para la conservación y/o el desarrollo socioeconómico.

Una vez priorizados los cuerpos de agua objeto de ordenamiento, se deberá proceder a establecer la gradualidad para adelantar este proceso.

En la Figura 1 y la Figura 2, se aprecian los aspectos que se deben considerar dentro del proceso de formulación del recurso hídrico (Artículo 2.2.3.3.1.8, Decreto 1076 de 2015), sin embargo, el alcance del proyecto no contempla el levantamiento de información primaria necesaria para desarrollar todos los aspectos allí descritos, además no todos los artículos se han reglamentado en dicho Decreto.

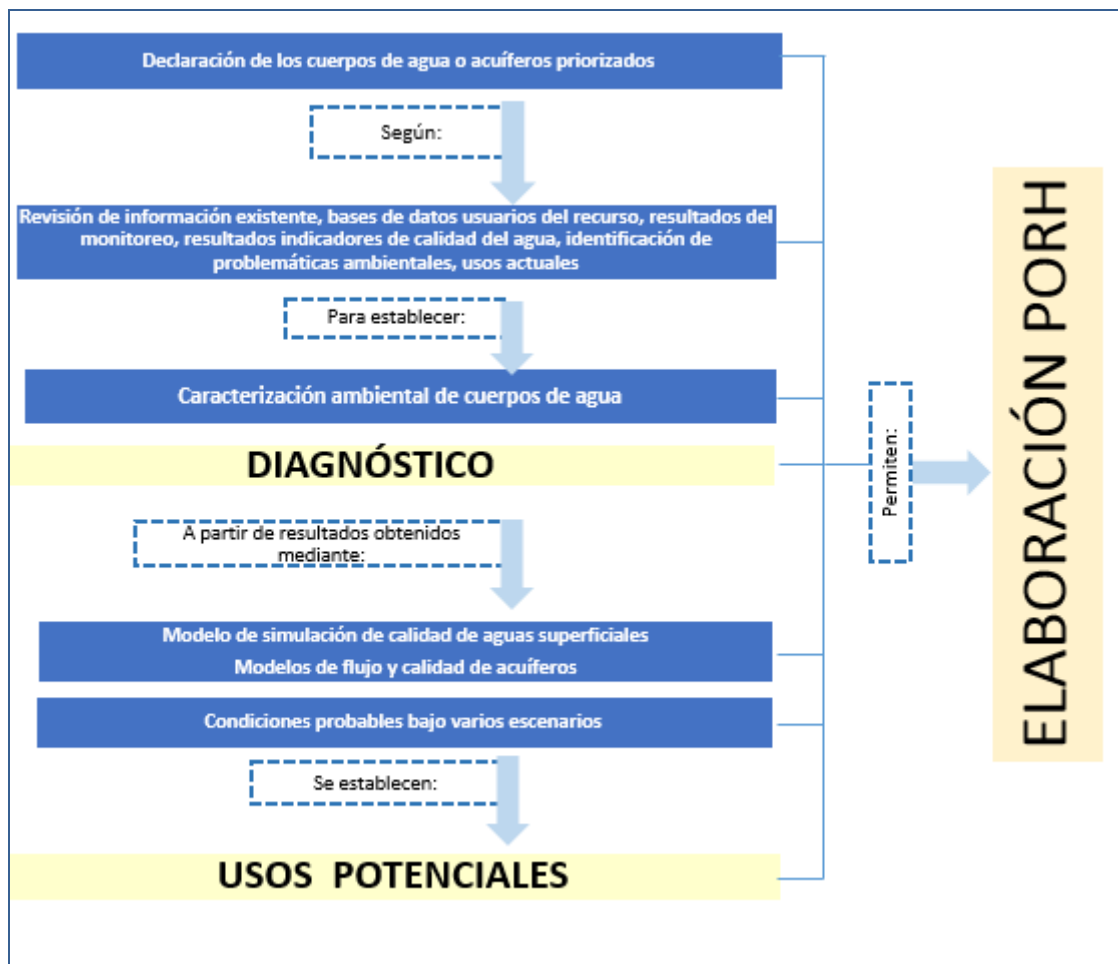


Figura 1. Proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico (Artículo 2.2.3.3.1.8, Decreto 1076 de 2015)

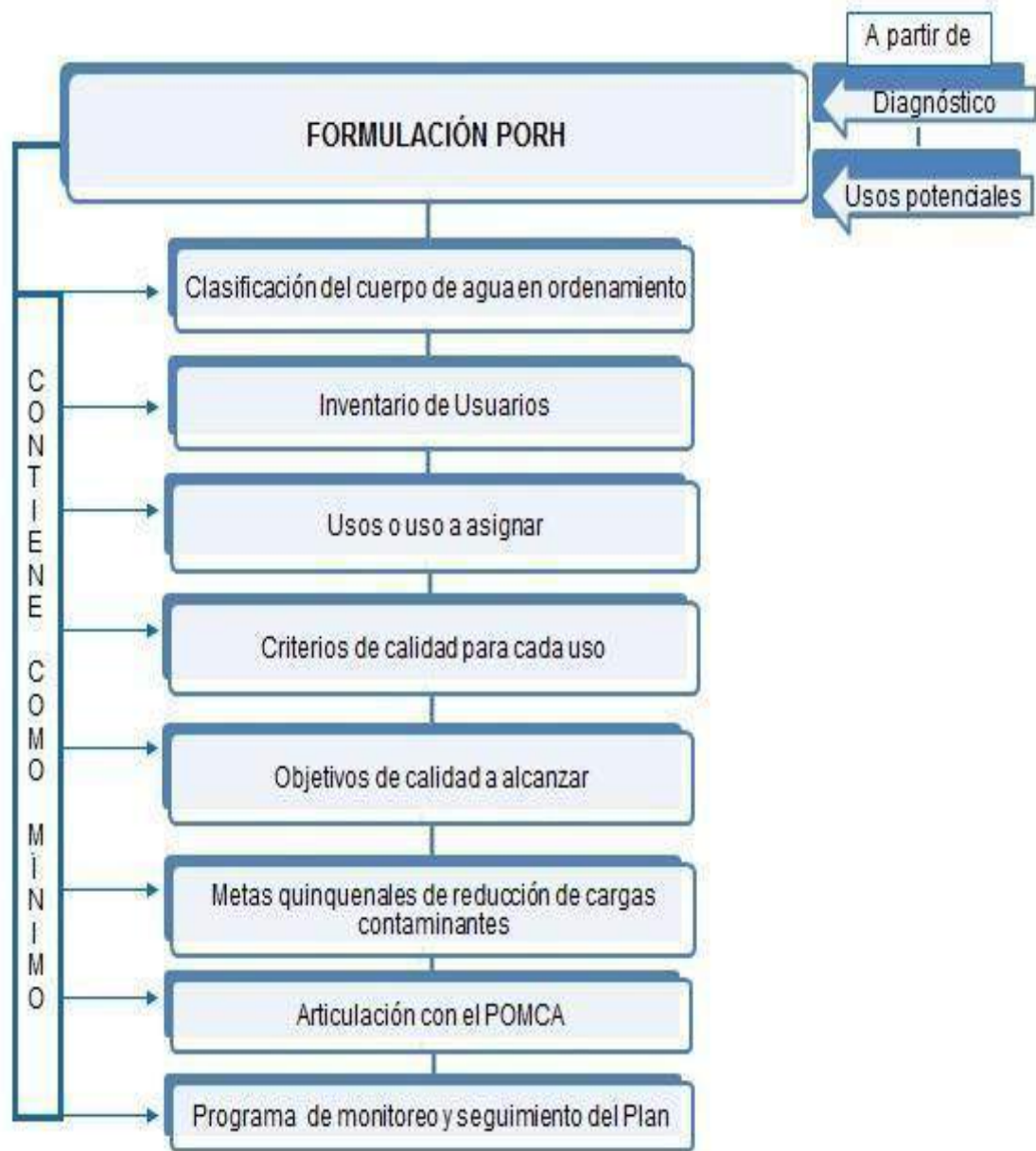


Figura 2. Aspectos mínimos para la elaboración del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (Artículo 2.2.3.3.1.8, Decreto 1076 de 2015)



6 DIAGNÓSTICO

Con el diagnóstico de la corriente de agua declarada para la Formulación del Plan de Ordenamiento de Recurso Hídrico, se busca establecer la situación actual ambiental de este cuerpo de agua, la cual es objeto de ordenamiento. Dentro de este componente se tendrán en cuenta aspectos sociales, físicos, bióticos y antrópicos (involucrando variables físicas y químicas), con el fin de establecer las potencialidades, conflictos y restricciones en cada uno de los tramos definidos a los largo del río Aburrá – Medellín.

Dentro de este proceso se desarrollaron actividades de recopilación, organización y clasificación de información histórica suministrada por las tres Autoridades Ambientales que conforman la Comisión Conjunta la cual está relacionada con los usuarios de vertimientos y concesiones de aguas y quejas, así como la recolección, procesamiento y consolidación de los resultados obtenidos a través de la implementación de los diferentes programas de monitoreo establecidos en las diferentes campañas de RedRío.

6.1 UBICACIÓN DEL CUERPO DE AGUA EN LA ESTRUCTURA HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA

Una herramienta importante para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas corresponde a la codificación de las mismas; la asignación de un código a la cuenca, facilita identificar y diferenciar unas cuencas de otras. Igualmente, el código permite acceder dentro de una base de datos los diferentes atributos y características morfológicas y fisiográficas e interrelacionar con otras variables su distribución espacial del agua. (IDEAM, 2004).

A continuación en la Tabla 2 se presenta la codificación del río Aburrá – Medellín de acuerdo con la zonificación del país desde el punto de vista hidrológico.

Tabla 2. Codificación del río Aburrá -Medellín

ÁREA HIDROGRÁFICA	Código	ZONA HIDROGRÁFICA A	Código	SUBZONA HIDROGRÁFICA A	Código	NIVEL SUBSIGUIENTE	Código	MICROCUENCA A	Código	DRENAJE E	Código
Magdalena Cauca	2	Nechí	7		0		1		0		1

El mapa con la ubicación del cuerpo de agua objeto de ordenamiento del recurso hídrico dentro de la red hídrica será presentando en el Anexo 2.



6.2 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO¹

El área objeto de ordenación hacia la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico es la cuenca del río Aburrá -Medellín perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del nivel subsiguiente Río Aburrá, donde el 12.4% del área es de jurisdicción del Área Metropolitana, el 73.7% de CORANTIOQUIA y el 13.9% de CORNARE, donde los límites de la Cuenca del río Aburrá-Medellín en ordenación, comprende los tramos entre el nacimiento en el Alto de San Miguel, hasta el sitio conocido como Puente Gabino. La cuenca tiene una forma alargada en dirección Noreste y red de drenaje dendrítica. El cauce principal (río Aburrá- Medellín) tiene una longitud aproximada de 104 km y el área de la cuenca es de 1251 km², dadas las características geomorfológicas de la zona y su nivel de pluviosidad, que está entre 1000 y 2500 mm/año, en la cuenca son comunes las fuentes de agua superficial.

Esta cuenca está localizada sobre la cordillera Central, en el centro del departamento de Antioquia, en la región Occidental de Colombia, tiene una topografía irregular y pendiente, con altitudes que oscilan entre los 1300 y los 2800 m.s.n.m., atraviesa 10 municipios y finalmente se une al río Grande en Puente Gabino, donde cambia de nombre a río Porce. A causa de la extensión misma de la cuenca, la geomorfología, la temperatura, la pluviosidad y los ecosistemas; existe una gran variedad de usos del suelo, otro factor determinante en la heterogeneidad presente en la cuenca es la gran cantidad de población que alberga, la cual corresponde a 3.329.560 habitantes (DANE, 2005), que representan el 60% de los habitantes del departamento de Antioquia y el 8% de la nación. La delimitación del área del cuerpo de agua en ordenamiento se presenta en el Anexo 3, donde se establecen de igual manera los tramos que se han definidos sobre este.

6.3 REVISIÓN DEL ESTADO DE LAS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS Y DE CALIDAD HÍDRICA EXISTENTES

6.3.1 Estado de las redes hidrometeorológicas

- **SIATA**

La Red hidrometeorológica es operada por el Sistema de Alerta Temprana-SIATA-, cuya finalidad es alertar oportunamente a la comunidad sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo que pueda generar una situación de emergencia, además de realizar un monitoreo en tiempo real de las variables hidrometeorológicas en el Valle de Aburrá y una modelación hidrológica y meteorológica regional. La Información asociada a la red se presenta en la Tabla 3. En el Anexo 4 se adjunta los mapas con la información relacionada con las estaciones del SIATA.

¹Información tomada del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá-POMCA, año 2005, elaborado en Convenio de Cooperación No 652 de 2005 por la Universidad Nacional Sede Medellín.

Tabla 3. Estaciones de la red hidrometeorológicas del SIATA

CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
1	Casa de Gobierno Altavista	2009-11-19	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6282000 Longitud: 6.2226000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
2	Escuela Rural La Verde	2009-11-12	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6406880 Longitud: 6.1868560	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
3	Escuela Rural Yarumalito	2009-11-12	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6939677 Longitud: 6.2348198	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
4	I.E Héctor Rogelio Montoya	2009-11-26	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6901997 Longitud: 6.3431006	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
5	I.E Santa Elena	2009-11-13	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4918833 Longitud: 6.2062189	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
6	Casa de Cultura Las Estancias	2009-11-17	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5388630 Longitud: 6.2340517	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
7	Escuela República de Cuba	2009-11-17	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5772140 Longitud: 6.2939742	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
8	Escuela CEDEPRO	2009-11-19	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6362391 Longitud: 6.2195903	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
9	Instituto Pedro Justo Berrio	2009-11-20	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6119914 Longitud: 6.2369536	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
10	Escuela Rural El Boquerón	2009-11-20	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6576270 Longitud: 6.3153338	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
11	Escuela Rural Fabio Zuluaga	2009-11-20	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6519889 Longitud: 6.2730110	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
12	I.E Concejo de Medellín	2009-11-23	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6005000 Longitud: 6.2580000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
14	Escuela El Triunfo	2009-11-23	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5846894 Longitud: 6.3065440	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
15	Colegio San Lucas	2009-12-17	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5655637 Longitud: 6.1812205	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
16	I.E Ramón Múnera Lopera	2009-12-14	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5438021 Longitud: 6.2693222	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
17	Escuela El Corazón	2010-01-28	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6290898 Longitud: 6.2475251	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
18	Escuela El Salado	2010-01-14	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6710254 Longitud: 6.2111255	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
19	Tecnológico Antioquia	2010-01-14	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6037382 Longitud: 6.1783204	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
20	Fundación Hogares Claret	2010-01-18	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6107505 Longitud: 6.2946921	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
21	Escuela Rural San José de la Montana	2010-01-18	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6391273 Longitud: 6.3040814	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
22	Escuela La Capilla del Rosario	2010-01-28	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6031299 Longitud: 6.2060282	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
23	Instituto Jorge Robledo	2010-01-18	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5816088 Longitud: 6.2577236	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
24	I.E República de Uruguay	2010-01-22	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5767101 Longitud: 6.2842706	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
25	Escuela Rural Astilleros	2010-03-12	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6668842 Longitud: 6.2397651	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
26	Escuela Rural El Plan	2010-01-22	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5172906 Longitud: 6.2052556	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
27	Centro de Salud San Javier La Loma	2010-01-25	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6310333 Longitud: 6.2717833	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
28	Liceo Salazar y Herrera	2010-01-25	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6058333 Longitud: 6.2486667	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
29	Escuela Marina Orth	2010-01-25	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6437739 Longitud: 6.2323135	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
30	Salón Social Barbosa	2010-01-29	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.3304500 Longitud: 6.4368667	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
31	Colegio José Manuel Sierra	2010-01-29	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4458333 Longitud: 6.3758833	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
32	Colegio Presbítero Bernardo Montoya	2010-01-29	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4985833 Longitud: 6.3539833	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
33	Santa María Goretti	2010-02-01	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6374690 Longitud: 6.0944580	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
34	I.E La Doctora	2010-02-02	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6131500 Longitud: 6.1414400	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
35	I.E Joaquín Vallejo Arbeláez	2010-04-28	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5427300 Longitud: 6.2551300	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
36	Colegio Concejo de Itagüí	2010-02-02	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6446000 Longitud: 6.1680000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
37	Liceo Fernando Vélez	2010-02-02	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5678000 Longitud: 6.3375500	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
38	Casa Cultura La Estrella	2010-02-02	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6444722 Longitud: 6.1555278	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
39	I.E Pedro Octavio Amado	2010-04-30	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6105600 Longitud: 6.2217900	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
40	I.E Ciro Mendiá	2010-02-12	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5558700 Longitud: 6.2900900	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
41	Comisaria El Poblado	2010-03-24	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5661600 Longitud: 6.2066100	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
42	Escuela Rural Piedras Gordas	2010-03-24	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4984400 Longitud: 6.2361400	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
43	Escuela Rural Quebrada Larga	2010-05-03	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6856700 Longitud: 6.2055800	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
44	I.E Villa Turbay	2010-04-28	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5302400 Longitud: 6.2356300	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
45	AMVA	2010-08-31	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5741444 Longitud: 6.2421500	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
46	I.E La Milagrosa	2010-04-30	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5542600 Longitud: 6.2350600	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
47	Villa Nueva Sede La Luz	2011-03-04	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4965900 Longitud: 6.3885170	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
48	Escuela Rural Santa Ángela	2010-05-14	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5946700 Longitud: 6.3044600	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
49	Colegio Latino (Av. Las Palmas)	2011-02-10	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5459000 Longitud: 6.2121667	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
50	Universidad CES (Sabaneta)	2011-02-10	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6047450 Longitud: 6.1578710	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
51	Represa La García	2011-03-04	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6002000 Longitud: 6.3619000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
52	Centro Veterinario y de Zootecnia CES	2011-03-10	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5617470 Longitud: 6.1449630	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
53	Colegio Eduardo Santos	2011-03-24	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6293800 Longitud: 6.2586500	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
54	I.E Juan María Céspedes	2011-03-25	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5971620 Longitud: 6.2352860	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
55	I.E Reino de Bélgica	2011-03-24	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5400100 Longitud: 6.2846600	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
56	I.E Inem José Félix de Restrepo Sede Santa Catalina	2011-03-25	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5609616 Longitud: 6.1997830	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
57	Escuela la Clara	2012-03-23	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6187000 Longitud: 6.0420000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
58	Escuela Luis Javier García Isaza	2012-03-23	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6243000 Longitud: 6.0477667	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
59	ISAGEN	2013-04-12	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5589700 Longitud: 6.2139400	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
60	Torre SIATA	2012-03-07	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5889000 Longitud: 6.2589000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
61	Planta de Agua Bocatoma	2012-03-03	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6430556 Longitud: 6.1198611	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
62	Gimnasio Cantabria	2012-03-03	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6441310 Longitud: 6.1371840	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
63	Las Flores	2012-04-05	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4503000 Longitud: 6.2480000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
64	Ecoparque La Romera	2012-03-09	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5975556 Longitud: 6.1200278	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
65	I.E Las Lomitas	2012-03-09	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6012778 Longitud: 6.1431111	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
66	I.E San Andrés (Sede El Socorro)	2012-03-14	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4521167 Longitud: 6.4103500	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
67	I.E Juan Echeverry Abad	2012-03-16	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6147833 Longitud: 6.1853500	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
68	Jardín Botánico	2013-02-01	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5627000 Longitud: 6.2694000	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
69	Parque Biblioteca España	2013-03-20	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5440200 Longitud: 6.2949900	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
70	Indural Km6 Medellín-Bogotá	2012-04-24	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5229740 Longitud: 6.3264480	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
71	CEFA	2013-02-28	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5618100 Longitud: 6.2464100	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
72	José Miguel de Restrepo	2012-04-24	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5101400 Longitud: 6.3773900	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
73	Ciudadela Educativa La Vida	2013-05-24	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5047500 Longitud: 6.3453611	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
74	Edificio Gaspar de Rodas - Bello	2013-05-27	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5589000 Longitud: 6.3361000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
75	Institución Educativa Rural El Tambo	2013-06-04	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5931111 Longitud: 6.4310278	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
76	I.E. Fontidueno	2013-07-02	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5377400 Longitud: 6.3341100	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
81	Bomberos Guayabal	2013-06-28	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5869700 Longitud: 6.2152200	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
82	I.E Manuel José Caicedo	2013-07-03	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.3272200 Longitud: 6.4349800	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
83	Centro de salud San Javier la Loma	2013-07-11	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6312000 Longitud: 6.2720000	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
84	Escuela CEDEPRO	2013-07-22	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.6362391 Longitud: 6.2195903	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
88	CUIDA Juan Cojo	2013-11-07	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4509833 Longitud: 6.3568500	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
89	I.E Pedro Nel	2013-11-13	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5678400 Longitud: 6.3114100	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
90	Colegio Campestre el Encanto	2013-12-03	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: -75.6613330 Longitud: 6.1953667	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
91	Estación Metro Sabaneta	2014-03-14	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: -75.6167222 Longitud: 6.1575278	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
92	Altavista	2012-06-14	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: -75.6158600 Longitud: 6.2218700	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
93	Puente 33	2012-04-13	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: -75.5775000 Longitud: 6.2396000	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
94	Puente de la Aguacatala	2012-04-11	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: -75.5815600 Longitud: 6.1953300	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
96	La Gómez	2011-11-03	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5932000 Longitud: 6.2739000	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
98	Estación Metro Floresta	2011-07-25	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5975000 Longitud: 6.2585000	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
99	Aula Ambiental	2011-07-19	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5725320 Longitud: 6.2641100	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
101	Parque lineal de la presidenta	2013-12-19	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5691100 Longitud: 6.2077200	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
104	Quebrada La Zúñiga	2013-12-27	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5795100 Longitud: 6.1849300	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
105	Parque 3 Aguas	2014-01-16	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6353600 Longitud: 6.0962800	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
106	3 Aguas - Nivel	2014-01-16	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6352600 Longitud: 6.0960200	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
108	Santa Rita - San Antonio de Prado	2014-03-10	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6515350 Longitud: 6.1905680	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
109	La Doctora - Sabaneta	2014-03-11	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6165056 Longitud: 6.1455556	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
111	Q. Santa Elena	2014-04-08	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5540000 Longitud: 6.2435000	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
115	Q. Ayurá	2014-07-10	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5806111 Longitud: 6.1704444	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
116	Q. Picacha	2014-07-10	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5850278 Longitud: 6.2421389	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
117	Q. Chachafruto	2015-08-25	Funcionando	nivel			
121	I.E Barrio Paris	2014-11-26	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5815600 Longitud: 6.3137500	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
122	Tasajera	2014-12-05	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.4352200 Longitud: 6.4245000	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
124	Caldas-Unidad Deportiva	2015-01-28	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6330480 Longitud: 6.0882510	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
127	I.E. Manuel José Sierra - Sede la Holanda	2015-04-07	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.4832500 Longitud: 6.4193333	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
128	La García	2015-04-16	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5657200 Longitud: 6.3437800	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
129	Colegio Divino Salvador	2015-04-23	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5483880 Longitud: 6.2370830	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
130	El Hato		Funcionando		1 dato por minuto	Latitud: - 75.5585270 Longitud: 6.3295000	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
134	Q. La Madera - Nivel	2015-05-08	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5698888 Longitud: 6.3110833	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
135	Q. La loca - Nivel	2015-05-21	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5608889 Longitud: 6.3236944	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
136	Salgar Puente Hospital - Nivel		Funcionando		1 dato por minuto	Latitud: - 75.9803333 Longitud: 5.9648611	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
136	Salgar Puente Hospital		Funcionando		1 dato por minuto	Latitud: - 75.9803333 Longitud: 5.9648611	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
137	Vereda Liboriana - Nivel		Funcionando		1 dato por minuto	Latitud: - 76.0313889 Longitud: 5.9570556	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
138	Vereda Liboriana		Funcionando		1 dato por minuto	Latitud: - 76.0315000 Longitud: 5.9570600	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
140	Puente Fundadores Copacabana	2015-06-11	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.4988056 Longitud: 6.3579722	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
143	Q. La Doctora Aguas Arriba	2015-06-24	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6090278 Longitud: 6.1355278	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
144	Q. El Canalón	2015-06-24	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6077778 Longitud: 6.1340278	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
145	Q. La Sabanetica	2015-07-03	Funcionando	nivel	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6228056 Longitud: 6.1473611	Esta estación cuenta con un sensor limnimétrico
201	Torre SIATA	2013-02-01	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5886400 Longitud: 6.2592150	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
202	AMVA	2012-10-30	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5743000 Longitud: 6.2421500	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
203	UNAL-Sede Agronomía	2012-10-30	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5778000 Longitud: 6.2607500	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
204	Parque de las Aguas	2012-11-23	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.4194690 Longitud: 6.4062620	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
205	Santa Elena-Radar	2012-11-01	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.5276000 Longitud: 6.1935000	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
206	Colegio Concejo de Itagüí	2012-11-02	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: - 75.6441000 Longitud: 6.1681000	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura,



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	ESCALA TEMPORAL DE REGISTRO	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN	OBSERVACIÓN
							humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
207	Vivero EPM Piedras Blancas	2013-02-25	Funcionando	Meteorológica	1 dato por minuto	Latitud: -75.4939700 Longitud: 6.2832800	Esta estación cuenta con sensor meteorológico que mide temperatura, humedad relativa, precipitación, viento (velocidad y dirección), presión
210	Telemedellín-Poblado	2012-12-07	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5758100 Longitud: 6.1869900	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia
211	La Ladera	2012-12-10	Funcionando	pluviométrica	1 dato por minuto	Latitud: -75.5540270 Longitud: 6.2511900	Esta estación cuenta con un sensor pluviométrico que mide lluvia

- **CORANTIOQUIA**

La Red de monitoreo automática operada por CORANTIOQUIA se realiza a través del Programa Integral del Agua –PIRAGUA- compuesta por pluviómetros, limnímetros y sensores de humedad, los cuales transmiten la información en tiempo real.

Para efectos de este diagnóstico solo se tendrán en cuenta aquellos que se encuentran dentro del área de influencia de la cuenca del río Aburrá-Medellín.

La Información asociada a la red se presenta a continuación en la Tabla 4.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Tabla 4. Estaciones de la red hidrometeorológicas del CORANTIOQUIA

CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA INICIAL DE REGISTRO	FECHA FINAL DE REGISTRO	TIPO DE ESTACIÓN	COORDENADAS EQUIPO DE MEDICIÓN
LIM 001	Caldas	2015-10-03	Funcionando	Limnómetro	Latitud 6.076028, Longitud -75.632417
VIC 075	Caldas	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.091889, Longitud -75.634694
VIC070	La Estrella	2015-11-02	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.137972, Longitud -75.639750
LIM006	Sabaneta	2015-10-03	Funcionando	Limnómetro	Latitud 6.153611 , Longitud -75.625417
VIC069	Sabaneta	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.152472 , Longitud -75.600139
LIM011	Envigado	2015-10-03	Funcionando	Limnómetro	Latitud 6.149267 , Longitud -75.576336
LIM015	Itagüí	2015-10-03	Funcionando	Limnómetro	Latitud 6.171831 , Longitud -75.627628
VIC043	Envigado	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.167361 , Longitud -75.579911
VIC078	Itagüí	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.249447 , Longitud -75.583268
VIC008	Medellín	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.267217 , Longitud -75.640756
VIC072	Bello	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.343237 , Longitud -75.561611
LIM017	Copacabana	2015-10-03	Funcionando	Limnómetro	Latitud 6.350167 , Longitud-75.507278
VIC062	Copacabana	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.352167 , Longitud -75.507278
VIC040	Girardota	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.378344 , Longitud -75.439234
VIC073	Barbosa	2015-10-03	Funcionando	Pluviómetro	Latitud 6.431056 , Longitud -75.325722
LIM004	Gómez Plata	2015-10-03	Funcionando	Limnómetro	6.559589 , -75.205878

6.3.1.1 Red pluviométrica del SIATA y CORANTIOQUIA

La red pluviométrica está constituida por aproximadamente 71 estaciones ubicadas a lo largo del valle de Aburrá, a partir de las cuales se recolecta información correspondiente a la precipitación en la zona.

En la Ilustración 1 se muestra la distribución espacial de las estaciones.

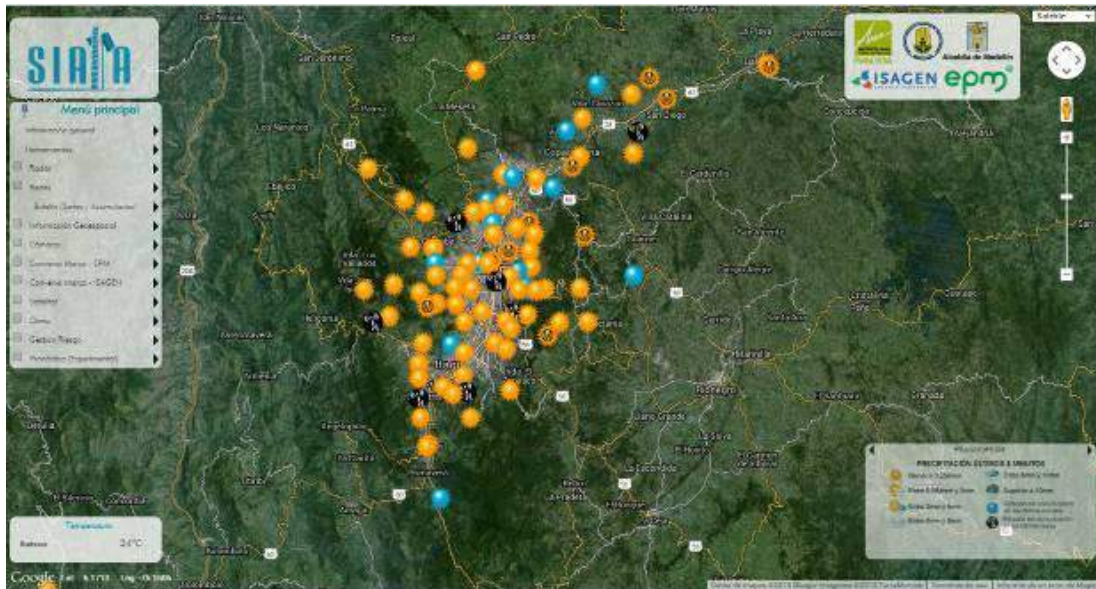


Ilustración 1. Red pluviométrica SIATA en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín

CORANTIOQUIA también cuenta con una red pluviométrica constituida por 10 estaciones las cuales están ubicadas de igual manera a lo largo del valle de Aburrá, a partir de las cuales se recolecta información correspondiente a la precipitación en la zona. En la Ilustración 2 se muestra la distribución espacial de las estaciones.

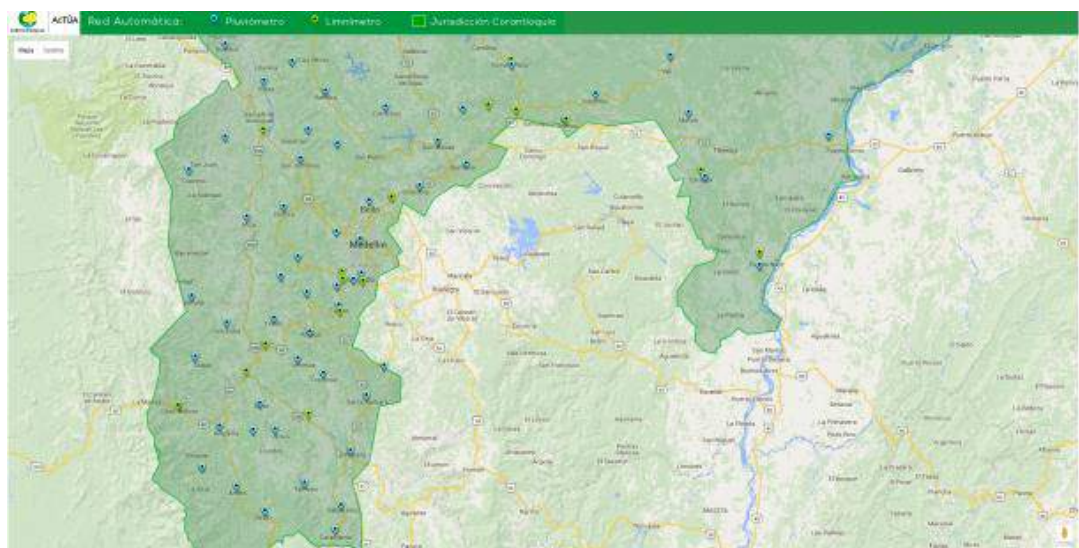


Ilustración 2. Red pluviométrica CORANTIOQUIA en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín

6.3.1.2 Red meteorológica del SIATA

La red meteorológica está conformada por doce estaciones de monitoreo ubicadas en Parque de las Tres Aguas, I.E Concejo de Itagüí, Torre RADAR (Santa Elena), Escuela CEDEPRO (sector Villa Hermosa), Torre SIATA (Sector Estadio), Universidad Nacional (Sede Agronomía), Centro de Salud San Javier La Loma, Jardín Botánico, Vivero EPM Piedras Blancas, Parque Biblioteca España, Ciudadela Educativa La Vida y Parque de las Aguas. Los sensores monitorean temperatura ambiente, humedad relativa y dirección y velocidad del viento. En la Ilustración 3 se muestra la ubicación de las doce estaciones que constituyen la red meteorológica en la cuenca hidrográfica.

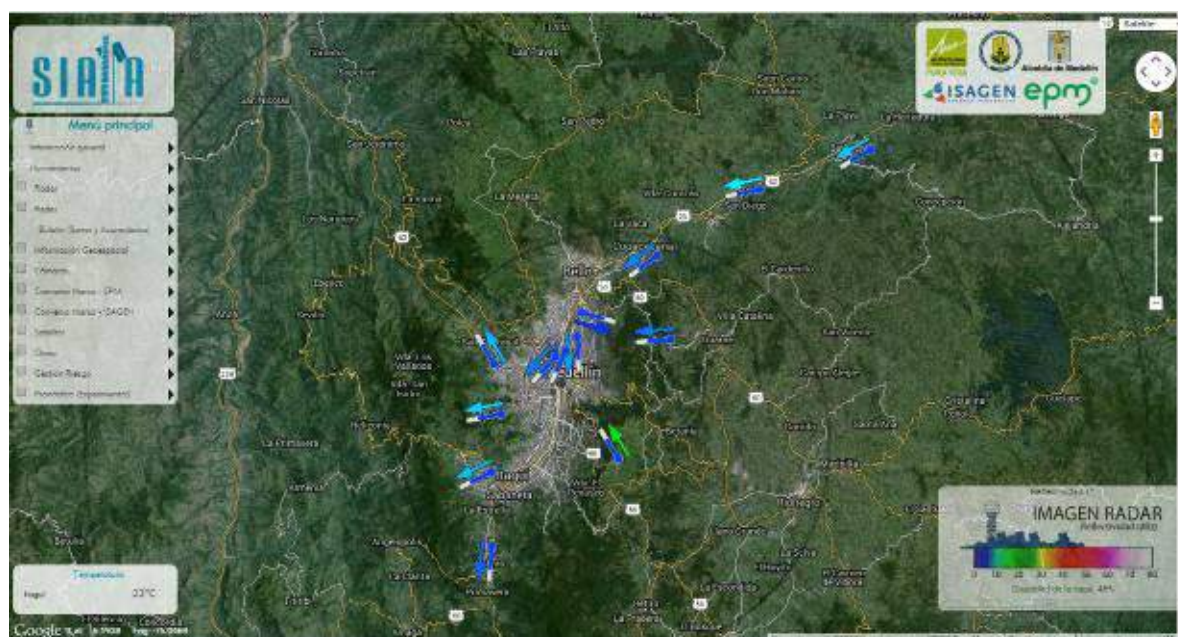


Ilustración 3. Red meteorológica SIATA en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín

6.3.1.3 Red de nivel del SIATA y de CORANTIOQUIA

- **SIATA**

Esta red de nivel se encuentra conformada por siete estaciones sobre el río Aburrá-Medellín, instaladas en Caldas-Unidad Deportiva, Parque de las Tres Aguas, Estación Metro Sabaneta, Puente de La Aguacatala, Puente La 33, Aula Ambiental, Puente Fundadores Copacabana. Adicionalmente, se tienen medidores de niveles en las quebradas La Doctora, La Sabanetica, Doña María, Ayurá, La Zúñiga, Altavista, La Presidenta, La Picacha, Santa Elena, La Hueso, La Gómez, Santa Rita, La Madera, La Loca, El Hato y La García. En la Ilustración 4 se presentan las estaciones de nivel ubicadas sobre el río Aburrá-Medellín y las quebradas afluentes mencionadas anteriormente.

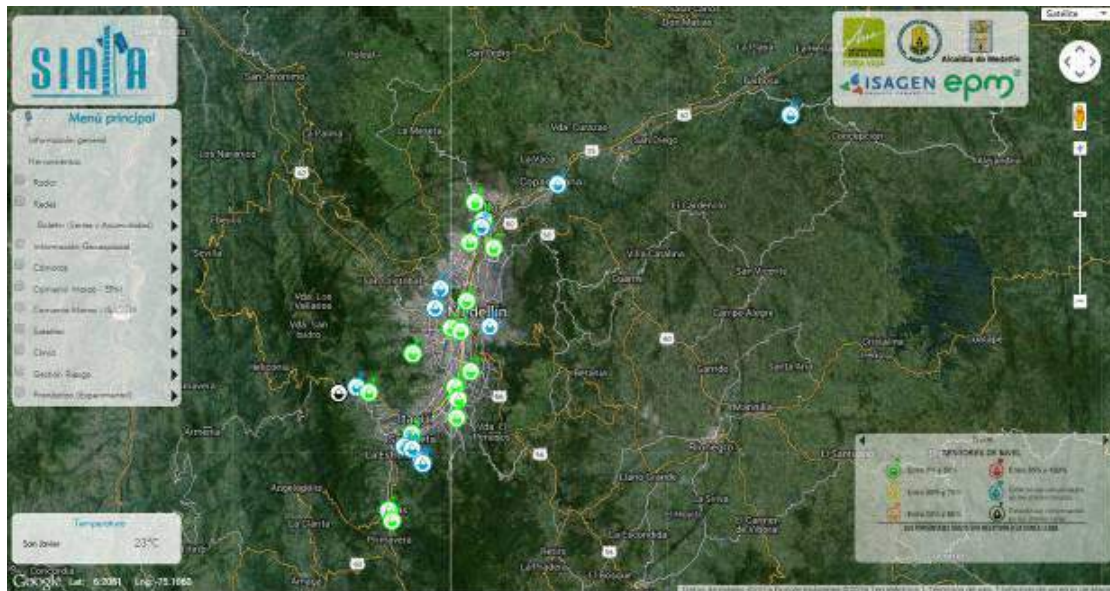


Ilustración 4. Red de nivel SIATA en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín

- **CORANTIOQUIA**

CORANTIOQUIA también cuenta con una red de nivel constituida por 6 estaciones las cuales están ubicadas de igual manera a lo largo del valle de Aburrá. En la Ilustración 5 se muestra la distribución espacial de las estaciones.

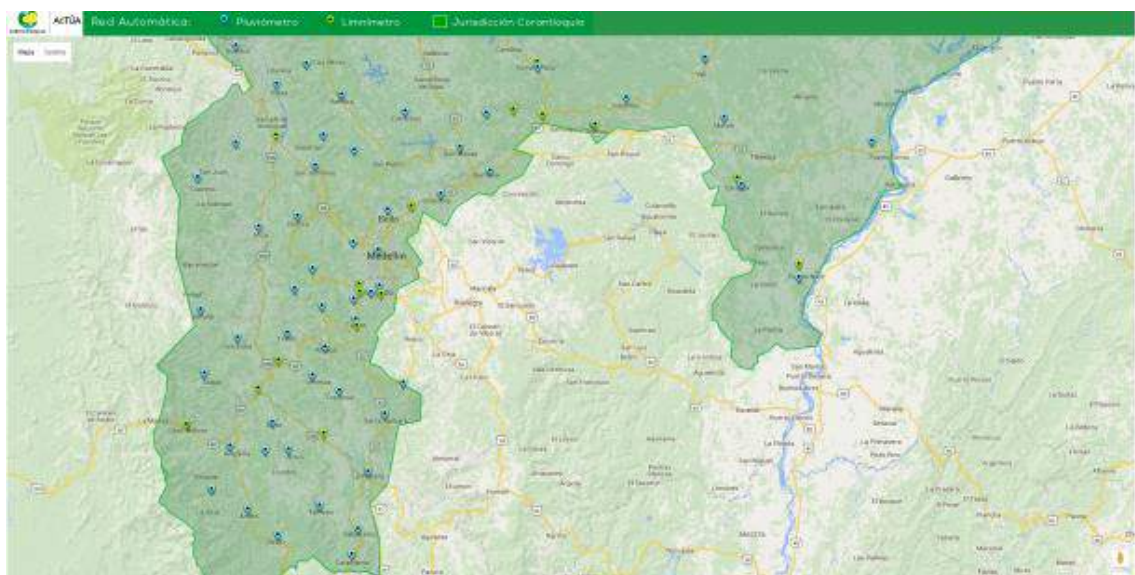


Ilustración 5. Red de nivel de CORANTIOQUIA en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



6.3.1.4 Radar meteorológico

Es un radar Tipo C que realiza barridos continuos sobre el valle de Aburrá y áreas vecinas con la finalidad de recolectar datos sobre precipitación, está ubicada en el corregimiento de Santa Elena.

6.3.1.5 Radiómetro

Recolecta información sobre la temperatura ambiente, humedad y cantidad de agua en la atmosfera a través de un monitoreo continuo de la estructura vertical de la atmosfera. Está ubicado en la Torre SIATA.

6.3.2 Red pluviométrica EPM

Está conformada por dieciséis estaciones pluviométricas ubicadas en diferentes puntos de la cuenca con la finalidad de recolectar información sobre la precipitación en la misma. En la Ilustración 6 se muestra la distribución de las diferentes estaciones que hacen parte de la red pluviométrica de EPM en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín.

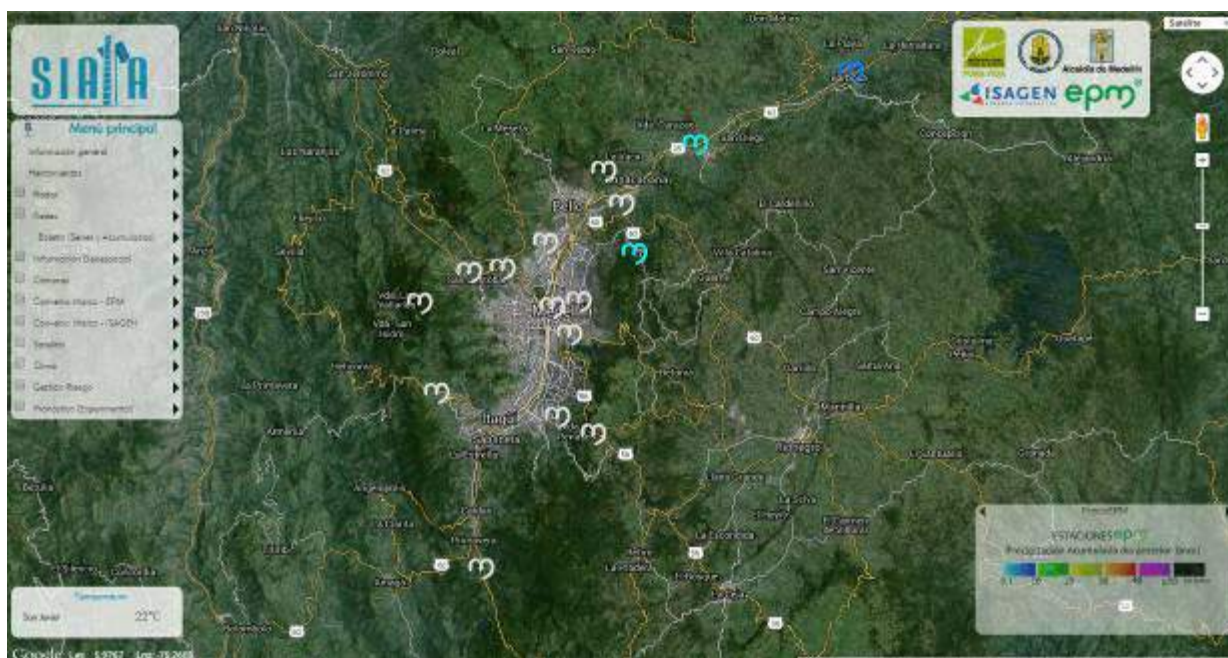


Ilustración 6. Red pluviométrica EPM en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín

6.3.3 Red IDEAM

La red está conformada por estaciones de diferente tipo, con la finalidad de recolectar información sobre cada una de las variables hidrometeorológicas en la cuenca. En la Tabla 5 se presenta la información correspondiente a las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Aburrá-Medellín y que son operadas por el IDEAM.

Tabla 5. Estaciones meteorológicas IDEAM cuenca hidrográfica río Aburrá-Medellín

MUNICIPIOS	NOMBRE	TIPO DE ESTACIÓN	SUBCUENCA	ELEVACIÓN (m)	LOCALIZACIÓN	
					COORDENADAS X	COORDENADAS Y
Medellín	Apto. Olaya Herrera	SP	Medellín	1.490	613	7535
	Astilleros	PG	Quebrada Doña María	2.450	616	7538
	Bocatoma Ana Díaz	PVM	Medellín	1.910	1183220	826685
	El Astillero	PVM	Doña María	2.420	1183900	823149
	La Iguaná	PG	Quebrada La Iguaná	2.272	618	7543
	Miguel de Aguinaga	PVM	Medellín	1.549	1184470	834980
	Planta Villa Hermosa	PVM	Medellín	1.690	1183990	837340
	RM-8 Chorrillos	LMG	Medellín	2.352	1188060	841420
	RM-7 Piedras Blancas	LMG	Medellín	2.352	1187330	842790
	San Antonio de Prado	PVM	Medellín	2.000	1175940	824660
	San Cristóbal	PVM	Medellín	1.890	1186550	827560
Santa Elena	PM	Medellín	2.580	611	7531	
Barbosa	Barbosa	PVM	Medellín	1.290	1204180	861540
	Descarga Tasajera	LMG	Medellín	1.358	1201060	850463
	RMS-21 matadero Barbosa	LMG	Medellín	1.270	1204200	860780
	Hacienda El Progreso	CO	Medellín	1.390	624	7523
Bello	Fabricato	PVM	Medellín	2.422	1195470	831500
	Manantiales	LMG-PVM	Medellín	2.043	1190599	838436
	Niquía	PVM	Medellín	2.150	1196780	838960
	San Pedro - La Meseta	PM	Medellín	2.470	623	7536
	Tulio Ospina	CP	Medellín	1.438	619	7533
Caldas	Caldas	PVM	Medellín	1.930	1160480	828568
	La Salada	AM	Medellín	1.710	602	7537
Copacabana	El Convento	PVM	Medellín	1.580	1192500	841160
Envigado	Ayurá	PVM	Medellín	1.750	1173830	835380
Girardota	Alto San Andrés	PVM	Medellín	2.240	1203400	849139
	Girardota	PVM	Medellín	1.350	1197760	847680
	La Cuchilla	PM	Medellín	1.600	622	7528

*AM: Agrometeorológica, LMG-PVM: Limnigráficas y Pluviométricas con Telemetría, CO: Climatológica Ordinaria, PG: Pluviográfica, CLM-LMG: Climatológica y Limnigráficas, PM: Pluviométrica, CP: Climatológica Principal, PVM: Pluviométricas, SP: Sinóptica Principal, LMG: Limnigráficas.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



6.3.4 Red de calidad y cantidad hídrica superficial

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá como Autoridad Ambiental siguiendo las directrices de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico y las líneas estratégicas para la administración del recurso, donde se incorporó la gestión para el seguimiento y el control de la cantidad y la calidad ambiental del recurso hídrico superficial; ha venido ejecutando desde el 2003 el proyecto “Diseño y puesta en marcha de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana”, más conocido como “RedRío”.

RedRío, es una herramienta que permite, primero conocer el estado del recurso y segundo, planear su gestión disponiendo de los insumos básicos para realizar el seguimiento y el control a la recuperación del recurso. En vista de la necesidad de tener un seguimiento y control permanente, se han ejecutado varias fases donde todas se han desarrollado bajo convenio interadministrativo entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad de Antioquia, quien a su vez realiza convenio con la Universidad Nacional de Colombia – Seccional Medellín- la Universidad Pontificia Bolivariana, y la Universidad de Medellín.

Durante la primera fase que finalizó en el año 2005, se adelantaron los diseños preliminares de los medios e instrumentos para la operación y mantenimiento de la red de monitoreo ambiental, necesarios para el desarrollo de las siguientes fases y la continuidad del proyecto, concibiéndose de esta manera como un insumo y parte constitutiva del POMCA y por ende una importante herramienta de gestión para la planificación ambiental integral del recurso hídrico.

Dentro de esta fase para el desarrollo de las campañas de muestreo, se realizó la localización preliminar de 20 estaciones de monitoreo, teniendo por consideración los procesos climáticos e hidrológicos que regulan los caudales en el río, los aportes de los principales contaminantes, los procesos de arrastre que se derivan de las actividades de explotación de material aluvial, además de la información histórica existente de calidad y cantidad de agua, recopilada por las estaciones físicas y virtuales concebidas por diferentes entidades como EPM y en su momento por el Instituto Mi Río, entre otras. Aunque la red se concentró en el cauce del río Medellín, se consideraron también en este primer acercamiento, las contribuciones de los principales afluentes.

Se desarrollaron 10 campañas de monitoreo en estaciones sobre el río Aburrá-Medellín y muestreos puntuales en 37 afluentes principales, lo que permitió obtener elementos para actualizar el conocimiento sobre el comportamiento de la calidad y la cantidad del agua en esta corriente, lo que evidenció la necesidad de sistematizar la información, proponiendo así marcos de actuación para que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá orientara sus acciones.

En la Fase II (2006 - 2007), el alcance principal fue el diseño de algunas estaciones con estructuras permanentes; como es el caso de Ancón Sur, Aula Ambiental, Acevedo y Ancón



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Norte; además de la implementación de la misma en sus diferentes estaciones de monitoreo a lo largo del río, mediante campañas de monitoreo y muestreos en las estaciones automáticas y manuales diseñadas y definidas en la Fase I.

Durante esta fase se desarrollaron campañas de muestreo manuales sobre el río Aburrá-Medellín las cuales fueron diurnas y otras nocturnas; adicionalmente se pudo utilizar en algunos de los muestreos los equipos automáticos adquiridos en las Fases I y II, los cuales permitieron obtener un acercamiento más detallado al comportamiento del río Aburrá-Medellín, identificando hasta las más mínimas perturbaciones en términos de la calidad de las aguas minuto a minuto, ocasionadas tanto por fenómenos de polución por el desarrollo urbanístico e industrial y eventos de lluvia.

En la Fase III (2010 y 2011), se establecieron 19 estaciones de monitoreo a lo largo del eje longitudinal del río, partiendo desde el nacimiento en el Alto San Miguel (en jurisdicción del municipio de Caldas), hasta la estación denominada Puente Gabino en jurisdicción del municipio de Santo Domingo, incluyéndose una nueva estación de monitoreo ubicada en un punto aguas abajo donde se iniciaría la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales del norte, además, se monitorearon 22 quebradas y dos vertimientos de agua residual tratada y sin tratar, esto permitió refinar la Red y reducir el número de estaciones requeridas para evaluar la calidad del río ajustando así el diseño de la misma.

Se continuó con la medición de los parámetros hidráulicos, físicos, químicos y biológicos que han venido siendo medidos en cada sitio de monitoreo que hace parte de la red; de acuerdo con las condiciones del entorno y del área de influencia, particularmente teniendo en cuenta las características de usos del suelo, los vertimientos y otros fenómenos que pueden afectar la cantidad y calidad del recurso hídrico.

Adicionalmente, se realizó el refinamiento y calibración del modelo Q2k, teniendo en cuenta la medición en quebradas y determinación de constantes biocinéticas en otros tramos del río; y se generó el Índice de Calidad Ambiental integrado para el río Aburrá - Medellín y para cada tramo, integrando variables físico-químicas y biológicas, sumado al que se determinó para las quebradas afluentes que fueron monitoreadas durante mencionada fase.

La fase IV del proyecto RedRío se ejecutó entre el año 2012 y el primer semestre del año 2014, con el objetivo principal de promover el conocimiento de la calidad y cantidad del agua, mediante campañas de monitoreo en estaciones sobre el río Aburrá-Medellín y sus quebradas afluentes, con la elaboración del perfil de calidad en diferentes escenarios climáticos. En total se realizaron veintidós (22) monitoreos de calidad y cantidad sobre el río Aburrá-Medellín, de los cuales diecisiete (17) comprendieron estaciones sobre el río y quebradas afluentes, y cinco (5) monitoreos sólo sobre quebradas afluentes.

Durante la mencionada fase, luego de hacer un refinamiento en la red, se realizó un ajuste en el número de estaciones de monitoreo dejando un total de doce (12) sobre el río Aburrá-Medellín, las cuales han permitido inferir la calidad del agua en los diferentes tramos del río y



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



once (11) quebradas afluentes fijas, las cuales se calificaron como afluentes principales no sólo por la cantidad sino por la calidad de sus aguas que finalmente llegan al Río.

Al igual que en las fases anteriores, se realizó el Índice de calidad del agua para el río Aburrá-Medellín y sus quebradas afluentes, que ha posibilitado luego de hacer una agrupación de variables, interpretar la calidad del recurso por medio de una valoración, que posteriormente por medio de ayudas gráficas se representa fácilmente.

Durante la fase V se continuó el seguimiento del recurso hídrico superficial y subterráneo, además se instalaron tres estaciones automáticas fijas piloto (San Miguel, Ancón Sur y Aula Ambiental) con transmisión de datos en línea de la calidad del agua del río.

Es importante mencionar que CORANTIOQUIA también cuenta una red de calidad, tanto de agua subterránea como superficial la cual determina la calidad fisicoquímica e hidrobiológica, que opera principalmente en quebradas.

6.3.5 Red de calidad hídrica hidrogeológica

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá se configura geopolíticamente por los municipios del valle de Aburrá: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa y Envigado. Este último no hace parte de la jurisdicción administrativa del Área Metropolitana, sin embargo debido a criterios técnicos, es incluido en el presente estudio.

La red de monitoreo ambiental de la cuenca hidrográfica del río Aburrá –RedRío–, ha venido desarrollando desde el año 2003 el monitoreo de la calidad y cantidad del agua a lo largo del río Aburrá – Medellín, desde su nacimiento en el Alto de San Miguel (municipio de Caldas) hasta su desembocadura en el río Grande a la altura del paraje conocido como Puente Gabino (municipio de Santo Domingo). El convenio inicialmente se desarrolló para el componente de agua superficial, pero con el paso del tiempo se vio la necesidad de conocer el comportamiento de las aguas subterráneas en la región, como una fuente potencial para el abastecimiento y la conservación. Por ello, en la fase III del proyecto de RedRío, se dio inicio al diseño y puesta en marcha de una red de puntos para el monitoreo de aguas subterráneas en el valle de Aburrá, el cual tenía como propósito determinar y validar las direcciones de flujo y las condiciones de calidad del agua subterránea.

La hidrogeología como todas las disciplinas del área de las ciencias de la tierra trabaja variables distribuidas espacialmente. Para el estudio de estas variables son usados diversos procedimientos de estimación o simulación, esto es, a partir de un conjunto de muestras o datos tomados en localizaciones del dominio en que se manifiesta un fenómeno a estudiar, y que son consideradas representativas de la realidad, se aplican procedimientos que permiten obtener la descripción o caracterización de las variables, para proporcionar valores estimados en localizaciones de interés y para generar valores que, en conjunto, presentan iguales características de dispersión que los datos originales. La idea de realizar observaciones y tomar datos para luego interpretar las características de un sistema, se lleva a cabo para



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



conocer y entender sus propiedades y su evolución en el tiempo. Los sitios en los que se realizan mediciones de una característica o fenómeno a estudiar a lo largo del tiempo conforman una red de monitoreo. Desde el año 2010, para el acuífero libre del valle de Aburrá se diseñó una red de monitoreo con el propósito de hacer seguimiento a las variaciones en sus condiciones de nivel piezométrico, calidad del agua e hidrogeoquímica. La Red fue operada dentro del proyecto RedRío Fase III hasta mayo de 2011 y retomó su actividad en la fase IV, entre octubre de 2012 y mayo de 2014. Dentro de la fase V del proyecto se dio continuidad a la red de monitoreo a partir de octubre de 2014, con 14 mediciones mensuales del nivel piezométrico y 3 monitoreos de hidrogeoquímica y de calidad.

La integración del estudio del componente hidrogeológico dentro de la dinámica que hace ya algunos años se generó en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA- en relación a las aguas superficiales, a través de una serie de proyectos denominados RedRío, ha constituido un paso fundamental y certero para lograr efectivos avances en la gestión integral del recurso hídrico.

6.3.5.1 Metodología de operación de la Red Hidrogeológica

A continuación se resume la metodología seguida para dar continuidad a la operación de la red de monitoreo piezométrica, de hidrogeoquímica y de calidad. La ruta seguida para el diseño y puesta en operación de la Red, se puede consultar en detalle en los informes de RedRío fase III y fase IV.

La Tabla 6 presenta los sitios monitoreados en las campañas de piezométrica, hidrogeoquímica y de calidad se representan e identifican los puntos que hicieron parte de la red durante este último año de operación. En el Anexo 5 se adjunta el mapa con los puntos de la red hidrogeológica monitoreados.

Tabla 6. Sitios monitoreados en las campañas de piezometría, hidrogeoquímica y de calidad.

CODIGO	NOMBRE	NORTE	ESTE	PIEZOMETRIA	HIDROGEOQUIMICA	CALIDAD
Ba_GEO_0069	Hacienda el Progreso	1200813	853022	Si	No	No
Ba_GEO_0070	Planta Potabilizadora de EPM	1203092	861858	Si	No	No
Be_A_014	Gimnasio GYM	1192585	836184	Si	No	No
Be_A_018	Sede Santa Ana Transportes Hato viejo	1191534	835857	Si	No	No
Be_A_019	Newtrans	1192233	838374	Si	No	No
Be_A_022	Estación de Servicio Los Angeles	1189692	836335	Si	No	No
Be_A_030	Centro de Diagnóstico Automotor del Norte S.A.	1192615	837201	Si	Si	No
Be_A_039	Bellanita de transportes	1193626	835570	Si	Si	No
Be_A_048	Parqueadero PH	1192197	836462	Si	No	No
Co_A_008	La Asunción	1193958	841221	Si	Si	No
Co_A_012	Bodega 48	1194261	840586	Si	No	No
Co_A_014	Motel Ciudadela Doresky	1192625	839318	Si	Si	No



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CODIGO	NOMBRE	NORTE	ESTE	PIEZOMETRIA	HIDROGEOQUIMICA	CALIDAD
Co_GEO_0032	Estibas y Maderas de Antioquia	1193023	840171	Si	No	No
Es_A_001	Inversiones Siderense. Parqueadero Terminal	1173201	826682	Si	No	No
Es_A_012	Motel Aries	1172352	827849	Si	No	No
Es_GEO_0016	Colegio el Divino Salvador en la Estrella	1173442	827279	Si	Si	Si
Es_P_024	Colorquímica S.A.	1172973	827774	Si	Si	Si
Gi_GEO_0041	Colgras	1198739	849030	Si	No	No
It_A_004	Industrias de Aceros S.A	1175253	832056	Si	Si	Si
It_A_040	Parqueadero Lexus	1173929	829540	Si	No	No
It_A_082	Industrias Metalicas Corsan S.A.	1176521	833190	Si	Si	Si
It_A_102	El Gaula Antioquia	1176637	832145	Si	Si	Si
It_A_103	Herrajes Gaher Ltda	1176827	832347	Si	Si	Si
It_A_110	Textiles Humper	1176002	831204	No	Si	Si
It_P_107	Proteco S.A	1176363	831921	Si	Si	Si
Me_A_009	Sociedad Mercantil de Automotores S.A. (Somerauto)	1179240	834202	Si	No	No
Me_A_024	Simelca	1179879	834790	Si	No	No
Me_A_036	Lavapres Express	1180726	834578	Si	No	No
Me_A_043	Vestimundo S.A.	1180535	835111	Si	No	No
Me_A_056	El Chuscalito Vivero y Restaurante	1179291	836710	Si	No	No
Me_A_071	JG Espinal y CIA. Estación de Servicios Mobil Sur	1181361	834323	Si	No	No
Me_A_091	Lavautos La Oriental	1182029	834854	Si	No	No
Me_A_093	Terminal de buses la Milagrosa	1180671	835955	Si	No	No
Me_A_103	Lavadero Buenos Aires	1182237	836323	Si	No	No
Me_A_116	Parqueadero la Pirámide	1183174	835615	Si	Si	Si
Me_A_117	Centro Odontológico (Fundación Autónoma de las Américas)	1183489	835271	Si	Si	Si
Me_A_118	Lavaautos la Palmera	1183041	836538	Si	Si	Si
Me_A_119	Lavadero y Parqueadero La 46	1184187	836130	Si	Si	Si
Me_A_151	Jardín Botánico de Medellín. Joaquín Antonio Uribe	1185220	835552	Si	No	No
Me_A_154	Servicentro Estación Hospital	1184714	835623	Si	Si	Si
Me_A_159	Baldosas Superpisos	1184772	834913	Si	Si	Si
Me_A_183	Parqueadero Moravia	1186164	835447	Si	No	No
Me_A_186	Parkinet	1186595	835532	Si	No	No
Me_A_223	Lavatecsa	1177324	832920	Si	No	No
Me_A_228	Ferrocortes	1177645	833102	Si	No	No
Me_A_243	Estación de servicio Terpel la Mota. Jairo Londoño y CIA	1179044	831861	Si	No	No
Me_A_253	Estación Terpel El Rodeo. Tres A.M.S.A	1178524	832407	Si	No	No
Me_A_310	Parqueadero Paisa	1180597	833167	Si	No	No



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CODIGO	NOMBRE	NORTE	ESTE	PIEZOMETRIA	HIDROGEOQUIMICA	CALIDAD
Me_A_327	Billares el Lavadero (antes Lavautos Jimmy Car)	1181355	830039	Si	Si	Si
Me_A_328	Ferrosvel S.A	1181479	829546	Si	Si	Si
Me_A_331	Lavadero y Parqueadero la 83	1181246	830781	Si	Si	Si
Me_A_340	Terminal Belencito	1182694	828869	Si	No	No
Me_A_343	Corporación universitaria Adventista	1181908	830357	Si	Si	Si
Me_A_345	Parqueadero la 88	1183152	830696	Si	No	No
Me_A_350	Autos La Floresta	1183664	831139	Si	No	No
Me_A_360	Parqueadero la Isla	1184035	830459	Si	No	No
Me_A_365	Almacenes e Industrias Roca S.A	1181163	833589	Si	Si	Si
Me_A_368	Lava autos y parqueadero La 30 Belén	1181096	832376	Si	Si	Si
Me_A_369	Parqueadero Nueva Granada N°2	1181145	831601	Si	Si	Si
Me_A_387	Estación de Servicio Móvil El Condor	1182950	832997	Si	Si	Si
Me_A_389	Lava autos Bolivariana	1182786	833442	Si	No	No
Me_A_390	Estación de servicio Esso Laureles	1182696	832279	Si	Si	Si
Me_A_392	Restaurante y Lava autos Ego	1182596	831901	Si	Si	Si
Me_A_397	Parqueadero y lavadero Don Quijote	1182417	831232	Si	Si	Si
Me_A_406	JUMBO S.A (Carrefour 65)	1183402	833281	Si	No	No
Me_A_411	Lavadero y Aparqueadero Suracar	1183683	833676	Si	Si	Si
Me_A_413	Car Wash Mayoral	1184500	831989	Si	Si	Si
Me_A_423	EQUI CAT	1184370	832911	Si	Si	Si
Me_A_431	Parqueadero y Lavadero Mediterráneo.	1184921	831963	Si	Si	Si
Me_A_432	Tintorería Industrial Diego	1185126	832871	Si	Si	Si
Me_A_434	Parqueadero y Lavadero GranSport	1186378	832892	Si	Si	Si
Me_A_441	Centro Park Córdoba	1185742	833982	Si	Si	Si
Me_A_443	Intermármol	1185625	834594	Si	Si	Si
Me_A_451	Parqueadero y Lavadero San Judas	1187790	834399	Si	No	No
Me_A_458	Letransportamos a tiempo S.A	1186144	834238	Si	No	No
Me_GEO_0108	Unidad Deportiva de Belén	1181528	832634	Si	Si	Si
Me_P_014	Parqueadero El Tesoro	1178838	834622	Si	No	No
Me_P_197	Emtelco	1179717	833372	Si	No	No
Me_P_248	Parque Industrial Hilanderías	1178981	833397	Si	Si	Si
Me_P_270	Leonisa S.A	1179453	833876	No	Si	Si
Me_P_271	Leonisa S.A (+profundo)	1179410	833874	No	Si	Si
Me_P_284	Gaseosas Lux-Postobón (Pozo 1)	1180494	833947	Si	Si	Si



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



CODIGO	NOMBRE	NORTE	ESTE	PIEZOMETRIA	HIDROGEOQUIMICA	CALIDAD
Postobón Pozo 2	Gaseosas Lux-Postobón (Pozo 2)	1180494	833947	No	Si	Si
Postobón Pozo 3	Gaseosas Lux-Postobón (Pozo 3)	1180494	833947	No	Si	Si
Postobón Pozo 4	Gaseosas Lux-Postobón (Pozo 4)	1180494	833947	No	Si	Si
St_A_018	Parqueadero y Lavadero Don Julio	1172404	830125	Si	No	No

6.3.5.2 Red de monitoreo piezométrico

El monitoreo piezométrico en un sistema hidrogeológico tiene como intención determinar las variaciones del nivel de las aguas subterráneas, esto con el propósito de precisar las respuestas del sistema a estímulos naturales correspondientes a la variabilidad climática, o efectos antrópicos relacionados con el régimen de extracción de las aguas subterráneas. La red piezométrica cuenta actualmente con 80 puntos de observación activos.

En las captaciones seleccionadas dentro de la red de monitoreo piezométrico, los valores de profundidad de nivel estático o nivel dinámico se deben tomar de manera periódica cada mes utilizando una sonda piezométrica con precisión de centímetro. La información obtenida se debe integrar a la base de datos geoespacial y desde allí modelar cada vez la superficie piezométrica con el propósito de analizar las variaciones en su comportamiento y establecer sus causas.

Para la utilización de los modelos digitales de terreno que representan la piezometría se recomienda aplicar el *método kriging ordinario (KO)*, ya que después de probar varias alternativas se encontró que con éste se logran conjugar dos características importantes, una tendencia lógica de las superficies y una continuidad en el flujo.

6.3.5.3 Red de monitoreo Hidrogeoquímico

El monitoreo Hidrogeoquímico en los puntos de la red, se ha realizado cubriendo dos escenarios hidrológicos diferentes al año (período húmedo y período seco). Los parámetros a medir son alcalinidad, pH, conductividad, Sólidos Totales Disueltos –STD-, dureza total, Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , K^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Fe soluble, NH_4^+ y SiO_2 . Entre octubre de 2014 y noviembre de 2015, se realizaron análisis Hidrogeoquímicos en 45 puntos de la red de monitoreo.

Durante la operación de la red se siguieron los protocolos de toma de muestras propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia -IDEAM- en (IDEAM, 2007). Una guía para la toma de muestras según estos estándares y las experiencias recogidas en campo, se diseñó y entregó al AMVA en el desarrollo de RedRío Fase III.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Para el reporte de los datos físicos y de los análisis químicos se siguió la nomenclatura estándar del sistema internacional. Las técnicas analíticas y de medición se ajustaron a *standard methods for the examination of water and wastewater*.

Los análisis de laboratorio se realizaron en entidades certificadas, garantizando niveles de precisión según los cuales el error del balance iónico en -como mínimo- el 90% de las muestras sea menor a 10%.

6.3.5.4 Red de monitoreo de calidad

Paralelamente al monitoreo Hidrogeoquímico se realiza el monitoreo de calidad en las captaciones que se consideró necesario hacer un seguimiento. Los parámetros monitoreados son; coliformes fecales y totales, DBO5, DQO, color, turbiedad, sólidos totales y carbono orgánico soluble, así como los parámetros que se consideraron convenientes, dependiendo de las condiciones de la captación y su relación con el entorno, en términos de la posible presencia de sustancias como: grasas y aceites, detergentes, cianuro, cromo, níquel, sulfuros o zinc. La red de calidad fue permanentemente ajustada en términos de los parámetros a analizar, considerando la inclusión de nuevos puntos de agua, o la exclusión de alguno en que las características de calidad fueron estables y buenas. Las condiciones de calidad fueron monitoreadas en 40 puntos de agua durante tres campañas de monitoreo llevadas a cabo en el último año de operación de la red (2014-2015).

Es crucial que la Autoridad Ambiental defina estrategias para mantener toda la red en operación, aún en los casos en que los usuarios no requieran más de la captación. La única razón técnicamente válida para sellar alguno de los puntos de la red, es que se detecte a través de ellos focos de contaminación del acuífero.

6.3.6 Operación de la red

La red de monitoreo hidrogeológico del valle de Aburrá en el marco de RedRío Fase III fue puesta en marcha en julio de 2010 y operó hasta marzo de 2011. La Red se encontraba conformada por 93 puntos de agua, de los cuales 84 de ellos hacían parte de la red de monitoreo piezométrico, 39 puntos de estos conformaron la red de calidad y 58 la de hidrogeoquímica.

En términos generales, la tendencia del flujo subterráneo fue la misma durante todas las campañas de nivelación. El papel del río Aburrá-Medellín como frontera hidráulica que capta el flujo base siguió siendo evidente mes a mes. Una visualización con mayor nivel de resolución sobre las superficies piezométricas, siguiendo el curso del río Aburrá-Medellín, muestra una situación especial que indica la posible interacción agua superficial-agua subterránea en el sentido río-acuífero. Desde el sector ubicado en inmediaciones de La Aguacatala hasta el Cerro Nutibara, coincidiendo con un tramo en el que el río cambia su curso y describe una curva cóncava hacia el oeste, las líneas de flujo subterráneo que tienen su origen en la vertiente oriental del valle trasciende el cauce superficial y confluyen con las



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



líneas de flujo que provienen del occidente hacia un sector alineado subparalelamente al río. Se planteó entonces que futuras investigaciones podrían indagar posibles causas de esta situación, abarcando hipótesis que irían desde la existencia de paleocauces hasta la intervención antrópica.

El análisis de las líneas de flujo a la luz de la evolución hidrogeoquímica mantienen consistentemente los mismos grupos de facies hidrogeoquímicas, registrándose puntualmente una o dos muestras que escapan a esos comportamientos. Analizando la hidrogeoquímica regional en el sector norte del valle, a la altura del municipio de Bello, se evidenció la interacción del agua subterránea con la Dunita de Medellín, las captaciones allí monitoreadas, presentan facies $\text{HCO}_3\text{-Mg}$. La presencia del Mg^{2+} valida la teoría de la dunita como una unidad hidrogeológica que recarga el acuífero. Un fenómeno particular detectado en el análisis hidrogeoquímico es la coincidencia de la facies clorurada sódica paralelas al eje del río Aburrá-Medellín; no existiendo fuentes naturales de sales cloruradas en el contexto geológico del valle de Aburrá, se consideró, dentro de esta fase, como fuente de cloruros las actividades antrópicas asociadas principalmente a la actividad industrial. En el sector centro oriental del valle, la relación agua roca manifiesta a través de las facies bicarbonatada-mixta (con presencia de Mg), estaría asociada a la ocurrencia de flujos desde y a través del Gabro de San Diego, hacia el acuífero libre. La facies Na-Cl registrada en el pozo profundo de la empresa Leonisa, con altos contenidos de SDT, en un sitio en que se capta la formación acuífera confinada sugiere indicios de aguas más antiguas.

Los análisis hidrogeoquímicos se realizaron en diferentes momentos entre los años 2012 y 2014. El monitoreo de calidad se implementó en las captaciones identificadas en RedRío Fase III o en puntos con problemas detectados durante la operación de la Fase IV.

En cuanto a la operación de la red de piezometría, se logró mantener de manera continua sin mayores inconvenientes en los 84 puntos correspondientes. Como resultado de este primer momento de monitoreo, pudo constatarse que, en términos generales la tendencia del flujo subterráneo fue la misma durante las siete campañas de nivelación. El papel del río Aburrá-Medellín como frontera hidráulica que capta el flujo base es evidente mes a mes; también son constantes las manifestaciones de dos divisorias subterráneas una en la margen occidental del valle y que tiene una dirección Suroeste-noreste, y otra en el oriente en sentido este-oeste.

Durante la realización de las diferentes campañas hidrogeoquímicas se evaluaron facies en 58 puntos, para algunos de ellos se buscó determinar la evolución o cambio, y en otros se efectuó solamente una caracterización puntual. Tomando como referencia la superficie piezométrica se propuso la conformación de 7 líneas para verificar esta tendencia con la ayuda de herramientas hidrogeoquímicas. Las aguas subterráneas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo son generalmente bicarbonatadas, después predomina el sulfato y las aguas más salinas son cloruradas, en su equivalencia catiónica la secuencia análoga sería $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+$. Todo esto sujeto a la naturaleza del sustrato rocoso y el tiempo de permanencia del agua, lo cual condiciona la abundancia y solubilidad de las sales.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



El índice de calidad de aguas subterráneas pudo calcularse para 18 puntos de los 39 considerados. Según los resultados del análisis de calidad, predominan los puntos en donde la calidad del agua subterránea se cataloga de regular a muy mala, los puntos en donde el ICA-AS se considera buena solo son tres de ellos. La metodología utilizada se puede observar en el Anexo 6.

El seguimiento a la calidad, confrontado con las observaciones de campo, puso de manifiesto, que es evidente la relación que existe entre el manejo de las captaciones y las características del agua subterránea. Cuando se toman medidas de protección del punto de agua, ello repercute en una mejora de la calidad; así mismo cuando se es negligente y se descuida el manejo de la captación, la calidad del agua subterránea empeora.

La operación de la red de monitoreo estuvo suspendida entre junio y septiembre de 2014, al suscribirse una nueva fase del programa RedRío, la red se reactivó en octubre de 2014, estableciéndose un plan de seguimiento por 14 meses. En ese momento la red de monitoreo piezométrico del sistema acuífero del valle de Aburrá estaba conformada por 83 puntos de agua, distribuidos en 69 aljibes, 8 pozos y 4 piezómetros. Como ya se ha señalado, cuando una red de monitoreo depende de los usuarios del recurso hídrico, ella está sujeta a permanentes cambios. La red que queda instalada al culminar estos 14 meses de monitoreo.

En la fase V de RedRío se continuó con la operación de la red de monitoreo ambiental de la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín, en la cual se realizaron 14 monitoreos de piezometría, con una frecuencia mensual, 3 monitoreos de hidrogeoquímica y 3 de calidad, que se realizaron en noviembre de 2014, en marzo y en agosto de 2015. Dentro del monitoreo de hidrogeoquímica y de calidad se analizaron también elementos trazas, como un primer ejercicio para tratar de evaluar el nivel de fondo natural del acuífero y diferenciar, entre compuestos naturales y sustancias contaminantes asociadas a actividad humana. Además, con el ánimo de empezar a generar y promover la inclusión de nuevos indicadores de calidad en el monitoreo, se realizó un ensayo de recolección y análisis de stygofauna (fauna propia del ambiente subterráneo), poniendo a prueba un protocolo que se viene desarrollando para este fin en la Universidad de Antioquia. Por último, se tomaron muestras para análisis de tritio en 7 diferentes puntos, 4 pozos profundos, de los cuales 3 captan agua subterránea del acuífero semiconfinado y 1 del acuífero libre, los 3 restantes se encuentran uno en la mina de CONASFALTOS, otro en una galería filtrante ubicada en Medellín, y el último fue una muestra de agua lluvia recolectada en la Universidad de Antioquia. El análisis de tritio tiene como propósito verificar hipótesis sobre flujos regionales que indicarían la existencia de fuentes de recarga lejana, con lo cual se avanzaría en la evaluación del tiempo de residencia del agua en el acuífero y las tasas de renovabilidad del recurso.

6.3.7 Modelo hidrogeológico del valle de Aburrá

Se hace necesario incluir dentro de este documento una descripción del sistema objeto de monitoreo, por ello se expone a continuación el modelo hidrogeológico integrado para el valle de Aburrá, presentando las diferentes unidades hidrogeológicas y su geometría, un resumen



acerca de las áreas, fuentes y magnitud de la recarga potencial directa según cálculos obtenidos mediante balance hídrico, la red de flujo y las propiedades hidráulicas. Se retoman también dos aspectos relevantes, según el diagnóstico que a la fecha se tiene acerca de este sistema hidrogeológico, ellos tienen que ver con la evaluación de los usos, la oferta y la demanda de agua subterránea, y con la vulnerabilidad intrínseca.

6.3.7.1 Unidades hidrogeológicas

A partir de todos los estudios de exploración hidrogeológica adelantados desde 2001 en el valle de Aburrá, en el estudio *“Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del valle de Aburrá”* (AMVA y Universidad de Antioquia, 2013) se sintetizó un modelo hidrogeológico conceptual, retomado en la *Primera fase del plan de manejo ambiental del acuífero del valle de Aburrá* (Universidad de Antioquia, 2015), según el cual se estableció que existen tres unidades con potencial acuífero en el Anexo 7.

- *El acuífero libre del valle de Aburrá:* conformado por los depósitos aluviales del río Medellín y sus afluentes, y los depósitos de vertiente, categorizados como flujos de lodo y escombros con edades Neógeno o Cuaternario. Texturalmente estos depósitos están constituidos por gravas, arenas y cantos en matriz areno arcillosa gradando a arcillosa hacia la base, con presencia de lentes de grava y arcilla. Esta unidad tiene una extensión de 238.6 km²; los mayores espesores se presentan en el sector de Conasfaltos (límites entre los municipios de Copacabana y Bello), con valores que alcanzan 150 m, otras zonas con espesores considerables que alcanzan los 95 m, se encuentran en el sector sur-occidental del municipio de Medellín; en Caldas, cerca de la confluencia de la quebrada La Miel con el río Medellín se reportan (Universidad de Antioquia, EPM, 2014) espesores que alcanzan 100 m; en Girardota los espesores llegan a los 45 m, todos estos asociados a depósitos de origen aluvial; en el norte del valle, en el municipio de Barbosa, sector Yarumito, y hacia el sur, en La Estrella, se reportan espesores de 60 y 70 m respectivamente, asociados a depósitos de vertiente. Los menores espesores del acuífero libre se presentan en Barbosa, registrando valores de 2 m; en los municipios de Bello, Girardota y La Estrella, se reportan espesores cercanos a los 15 m en los sectores aledaños al río Medellín. En la Anexo 8 se presenta la geometría de ésta unidad hidrogeológica.
- *El acuífero semiconfinado del valle de Aburrá:* constituido por depósitos de origen aluvial, está separado del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso. El acuífero semiconfinado estaría localizado en la parte central y sur del valle, está conformado por gravas, arenas y cantos en matriz arcillo-arenosa con pequeños lentes de arena y/o arcilla; aún no se cuenta con suficiente información para modelar con certeza la geometría de esta unidad.
- *Acuífero de la Dunita de Medellín:* El grado de fracturamiento de esta unidad de roca, sumado a la aparente condición de pseudokarst que se registra en algunos sectores y algunos datos de caudal reportados en afloramientos y obras de control geotécnico, indican que en la Dunita de Medellín se podría estar almacenando un importante volumen



de agua subterránea, que podría llegar a ser utilizable con fines de abastecimiento en algunos sectores del área urbana o rural de los municipios de Bello, Medellín o Envigado (AMVA y Universidad de Antioquia, 2012). Las bondades de la Dunita de Medellín no han sido exploradas.

6.3.7.2 Propiedades hidráulicas

Las propiedades hidráulicas del acuífero libre se obtuvieron a partir de 191 pruebas de bombeo, las cuales fueron realizadas al momento de construir las captaciones o piezómetros, o durante el proceso de legalización adelantado ante la autoridad ambiental, según consta en expedientes del AMVA y CORANTIOQUIA, revisados durante la *Primera fase del plan de manejo ambiental del acuífero del valle de Aburrá* la cual desarrollada por la AMVA en convenio con la Universidad de Antioquia, 2015. Se observa como los valores de conductividad y transmisividad son más bajos en el municipio de Barbosa, con un valor mínimo reportado para el piezómetro de la hacienda El Progreso, cuya transmisividad es de 0,009 m²/día y su conductividad es de 3,7x10⁻³ m/día. Los valores más altos para la transmisividad se registran en el municipio de Medellín, siendo el valor más elevado el obtenido en la prueba de bombeo realizada en Confecciones Leonisa, con una transmisividad de 195,95 m²/día y de permeabilidad en Baldosas Super Pisos con un valor de 50 m/día. Otros valores a resaltar corresponden a los reportados en la prueba de bombeo realizada en Lava autos y Lubricantes, con una transmisividad de 35,79 m²/día y una permeabilidad de 8,97 m/día. En el Anexo 9se presenta el mapa donde se hace referencia a estos resultados.

6.3.7.3 Piezometría y red de flujo

La dirección del flujo subterráneo proviene desde las zonas de recarga hacia el río, siguiendo en términos generales el sentido de la pendiente topográfica; es evidente el papel del río Aburrá–Medellín como frontera hidráulica que capta el flujo base. Llama la atención el sector ubicado en inmediaciones de La Aguacatala hasta el Cerro Nutibara, el cual coincide con un tramo en el que el río cambia su curso y describe una curva cóncava hacia el oeste, allí las líneas de flujo subterráneo que tienen su origen en la vertiente oriental del valle, trascienden el cauce superficial para luego confluir con las líneas de flujo que provienen del occidente, en un sector alineado subparalelamente al río. Esta situación podría ser un indicio de la existencia de paleocauces o de intervenciones antrópicas. En el Anexo 10se presenta Tendencia del flujo subterráneo en el acuífero libre del valle de Aburrá.

6.3.7.4 Recarga

Los factores que condicionan la recarga de un sistema acuífero son la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas, las características geomorfológicas que posee el paisaje, los rasgos estructurales de las rocas que rodean a los acuíferos, el tipo de cobertura, la hidrografía, las características hidráulicas de los suelos y las condiciones hidrometeorológicas. De acuerdo con la conceptualización general al respecto, algunos factores antrópicos pueden



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



constituir también fuentes de recarga, estos son: los retornos por riego y las fugas en redes de acueducto y alcantarillado, o la recarga artificial.

Para la determinación de las potenciales zonas de recarga en el valle de Aburrá se tiene como hipótesis la existencia de tres posibles fuentes: i) en principio se tiene una recarga distribuida en las superficies libres donde afloran las unidades acuíferas, ii) una segunda fuente de recarga que se daría a partir de la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficial, como lo son el río Aburrá-Medellín y sus principales afluentes, y iii) por último una recarga proveniente de los aportes de flujos regionales, a partir de las rocas encajantes que presentan permeabilidad secundaria.

En las áreas donde los acuíferos afloran en superficie y no han sido impermeabilizados por acción de los procesos de urbanización, es propicia la recarga directa, ella ocurre a tasas variables dependiendo de las condiciones texturales de la zona no saturada. Según variaciones piezométricas detectadas mediante la operación de la red de monitoreo hidrogeológico, se han identificado puntual y temporalmente aportes de agua al acuífero, desde corrientes o cuerpos de agua. Las áreas donde afloran las rocas duras, en virtud de su manifestación geomorfológica, grado de meteorización y afectación estructural, representan unidades a través de las cuales se registra recarga mediante flujos laterales a los acuíferos del fondo del valle; según la dimensión a favor, que éstas características le imprimen a las diferentes unidades litológicas en función de la recarga, se han establecido categorías de zonas de recarga con condiciones alta, media, moderada o baja. Construido en el estudio *Determinación y medidas de manejo de zonas de recarga* (Universidad de Antioquia, AMVA, 2013) y retomado en la Primera fase del plan de manejo ambiental del acuífero del valle de Aburrá (Universidad de Antioquia, 2015), en el mapa del Anexo 11 se muestran las zonas de recarga del sistema acuífero del valle de Aburrá, las cuales hacen parte integral del modelo hidrogeológico de la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín.

En los estudios: “Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el norte del valle de Aburrá” (Universidad de Antioquia, 2012), “Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del valle de Aburrá” (Universidad de Antioquia, 2013) y “Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de los sistemas de acueducto de la UEN Metropolitana de Aguas, atendido por fuentes menores: Caldas, Barbosa, San Antonio de Prado, Aguas Frías, San Cristóbal, La Montaña y La Cascada, y algunos sectores de bombeo representativo” (Universidad de Antioquia & EPM, 2014); se realizaron algunos ejercicios de balance hídrico por estación, aplicado a tres condiciones hidrológicas típicas en cuanto a la disponibilidad de precipitación. Específicamente, se seleccionaron años hidrológicos seco (1997-1998), húmedo (2010-2011) y promedio (2003-2004). Un año hidrológico corresponde al periodo entre el comienzo de una temporada lluviosa en un año, hasta el inicio de la temporada correspondiente en el año calendario inmediatamente siguiente, que para el caso de estos estudios correspondió al periodo abril-marzo.

De acuerdo con las características de la información de entrada para los modelos de cálculo que se utilizan en el ejercicio de balance hídrico, es importante recalcar que los resultados constituyen estimaciones aproximadas de la recarga total potencial que, de ningún modo, pueden emplearse con fines predictivos o de definición de oferta hídrica sino como herramientas de gestión para la definición de zonas de protección y como instrumento para el establecimiento de medidas de ordenamiento ambiental del territorio. En la Tabla 7, se presenta una síntesis de los valores de recarga potencial obtenidos en los proyectos mencionados, para los diferentes periodos hidrológicos.

En el año medio la recarga potencial en las unidades de balance presenta el valor más alto con respecto a la precipitación en la estación Caldas, con aproximadamente el 61% (1.821,8 mm/año en promedio); el menor valor de recarga se presentó en la estación Tulio Ospina, con un 10,4% (149,33 mm/año en promedio). En los años húmedos, los valores de recarga potencial más altos se reportan en las estaciones de Caldas y San Antonio de Prado, registrándose el mayor valor en la estación Caldas para el año 2010-2011, con 2.481,1 mm/año en promedio. Para el periodo seco, el menor valor registrado se obtuvo para la estación Olaya Herrera en el año 1997-1998 con un 2,3% de la precipitación, lo que equivale a 26,9 mm/año en promedio.

Tabla 7. Síntesis de la recarga potencial por estación, usando el método SWB.

ESTACIÓN	CALDAS		SAN ANTONIO DE PRADO		OLAYA HERRERA		LA IGUANA		SAN CRISTÓBAL		LA CUCHILLA		TULIO OSPINA		HDA EL PROGRESO	
	Rp (mm/año)	Rp/P (%)	Rp (mm/año)	Rp/P (%)	Rp (mm/año)	Rp/P (%)	Rp (mm/año)	Rp/P (%)	Rp (mm/año)	Rp/P (%)	Rp (mm/año)	Rp/P (%)	Rp (mm/año)	Rp/P (%)	Rp (mm/año)	Rp/P (%)
Año Medio	2003-2004 1.821,9	60,3	1.240	49	194,8	10,9	903,2	39,3	401,9	23	417,36	21,3	149,33	10,4	242,07	13,7
Año Húmedo	2010-2011 2.481,1	70,8	1357,8	52,9	664	26,3	1.831,5	54,6	1.070,5	41,2	—	—	—	—	—	—
Año Seco	1997-1998 1.176,5	49,3	691,5	35,7	26,9	2,3	408,2	27,4	112,9	9,3	—	—	—	—	—	—

6.4 IDENTIFICACIÓN Y REVISIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN AMBIENTAL EXISTENTES

En la Tabla 8 se presenta la identificación, revisión y clasificación de la información que se obtuvo de los instrumentos tanto de planificación como de evaluación y seguimiento del recurso hídrico en donde se relaciona el río Aburrá-Medellín el cual es el objeto del actual Diagnóstico.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Tabla 8. Identificación de información de evaluación y seguimiento al recurso hídrico

INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN	REVISIÓN
Plan de ordenación y manejo de la cuenca POMCA	El POMCA para el valle de Aburrá, se formuló desde 2007 y tuvo como objetivo recopilar, sistematizar y sintetizar información secundaria disponible. Al año 2015 se trabaja en su actualización
Plan de manejo ambiental de acuíferos PMAA	En el año 2015, se empezaron a adelantar acciones a través la fase V del proyecto RedRío. El alcance estimado para el PMAA consistió desarrollar las fases de aprestamiento y diagnóstico.
Programas de monitoreo del recurso hídrico (calidad y cantidad del agua).	Se tiene una red de monitoreo operando desde el año 2004 sobre el agua superficial y a partir de 2012 se incluye el acuífero. El diseño y la operación de red se ha realizado en cinco fases, a partir del segundo semestre de 2014 se desarrolló la quinta fase a través del convenio entre el AMVA y las Universidades; Antioquia, Nacional, Medellín y Pontificia Bolivariana. .
Censos de usuarios	El proceso más aproximado a un censo de usuarios, se hizo para la formulación del POMCA, el cual permitió a partir de información primaria y secundaria construir las bases de datos de usuarios para proyectar la oferta y demanda.
Registro de usuarios de recurso hídrico RURH	Se tienen diferentes bases de datos de usuarios de las autoridades ambientales que no necesariamente cumplen con el formato del RURH pero que permiten hacer una aproximación de los usuarios que captan y vierten agua al río Aburrá-Medellín y sus principales afluentes.
Inventario de puntos de agua subterránea	La red de monitoreo hidrogeológico que opera dentro del proyecto RedRío, cuenta con 93 puntos de agua, donde en 84 de ellos ha realizado seguimiento piezométrico, 39 pertenecen a la red de calidad y 58 a la de hidrogeoquímica.
Inventario de obras hidráulicas	Se tiene un reporte de 11 obras hidráulicas que ocupan el cauce del río Aburrá-Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana entre los años 2007 - 2014 y 56 en jurisdicción de CORANTIOQUIA entre 2005 -2014.
Información de oferta	Las primeras estimaciones de oferta y demanda en la cuenca, se hicieron durante la fase de diagnóstico del plan de ordenamiento y manejo de cuencas POMCA formulado en el año 2007, donde se hizo uso de la información disponible en cuando a censos de población y usuarios legales del recurso.
Información de demanda	EPM, la Universidad Nacional, las autoridades ambientales y el proyecto RedRío han adelantado desde hace varios años estudios que buscan medir la calidad de agua del río Aburrá-Medellín y sus principales afluentes, dejando como resultado un perfil que muestra una variación significativa en todo el recorrido y que evidencia el impacto antrópico sobre el recurso.
Información de calidad del agua	El POMCA para el valle de Aburrá, se formuló desde 2007 y tuvo como objetivo recopilar, sistematizar y sintetizar información secundaria disponible. Actualmente se trabaja en la actualización. Adicionalmente se tiene la información recopilada por la red de monitoreo RedRío

6.5 CLASIFICACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL REGISTRO DE USUARIOS DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN

En la cuenca del río Aburrá-Medellín se tienen tres Autoridades Ambientales que como se mencionó al iniciar el diagnóstico conforman la Comisión Conjunta, quienes suministraron la base de datos necesaria para clasificar los usuarios del recurso hídrico, consolidando así una base de datos única en la cual se identificó aquellos usuarios que hacen algún tipo de uso u aprovechamiento del río Aburra- Medellín. Esta base de datos contiene información técnica

relacionada con los usuarios que han solicitado permisos como concesiones y autorizaciones de vertimientos de agua sobre dicho río. Esta base de datos consolidada se presenta en el Anexo 12.

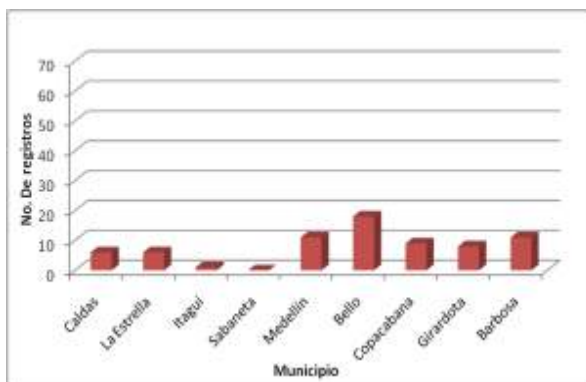
La información fue suministrada por CORNARE, CORANTIOQUIA y el AMVA.

6.5.1 Usuarios que realizan vertimientos de aguas residuales por jurisdicción de autoridad ambiental

Esta información hace relación a los usuarios que tienen autorizaciones ambientales para realizar vertimientos de aguas residuales al río Aburrá-Medellín a largo de su recorrido.

6.5.1.1 AMVA

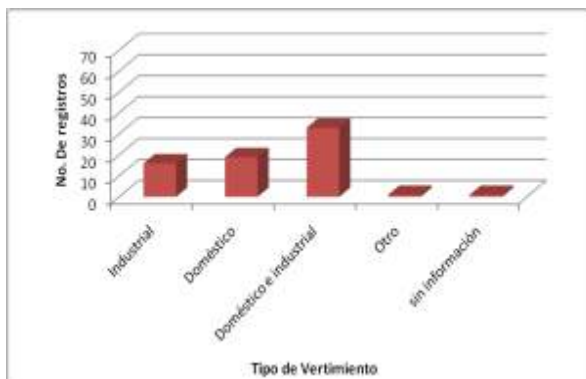
De acuerdo con la base de datos suministrada por el AMVA, se tiene 70 registros de usuarios en la jurisdicción Del AMVA, en la Figura 3 se describe la información más relevante:



Registros por municipio



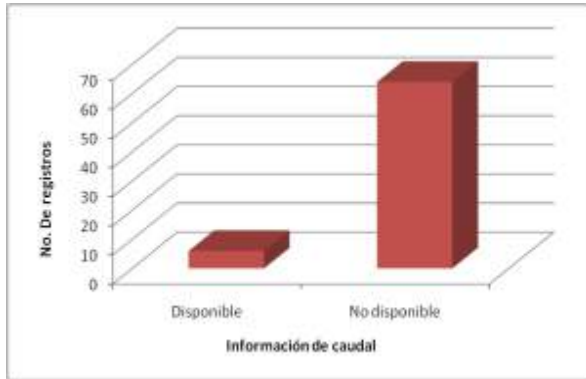
Registros con coordenadas



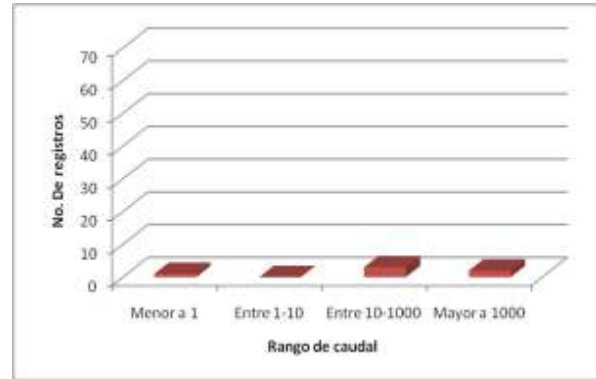
Registros por actividad generadora de aguas residuales



Registros por tipo de vertimiento



Registros con información de caudal



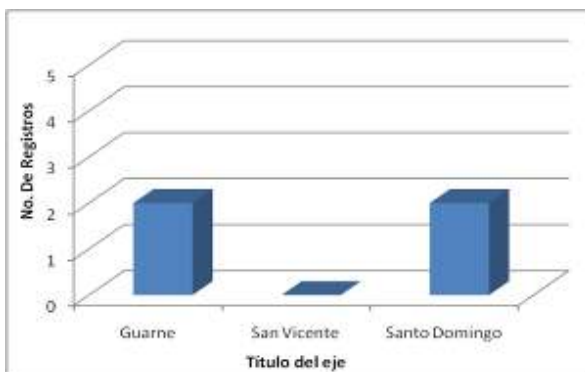
Registros por rangos de caudal

Figura 3. Información gráfica de la base de datos de vertimientos en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

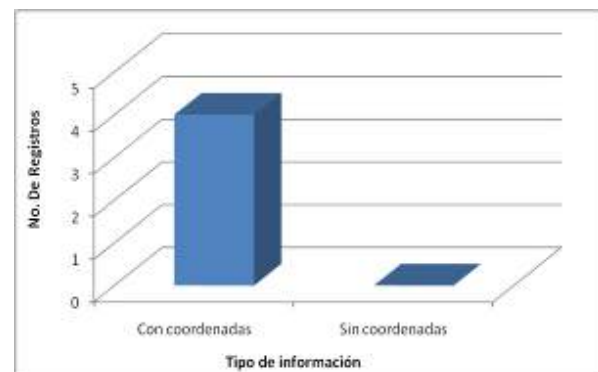
Acorde con la información de la base de datos antes esquematizada en la zona urbana del valle de Aburrá, el municipio con mayor número de registros de vertimientos corresponde a Bello mientras que en Sabaneta no se tiene ningún registro. Adicionalmente, se aprecia que las actividades domésticas e industriales representan el mayor porcentaje de los vertimientos con una representatividad del 47,14%, de los cuales el 50% de los vertimientos no cuenta con tratamiento previo a su vertimiento.

6.5.1.2 CORNARE

De la información obtenida en la base de datos de CORNARE se encontraron solo 4 registros de vertimientos sobre el río Aburrá-Medellín, de los cuales dos provienen del municipio de Santo Domingo y dos del municipio de Guarne. Se destaca que todos los registros están georeferenciados; sin embargo se recomienda actualizar la información de caudal con el fin de consolidar el mapa de usuarios. En la Figura 4 se presenta la Información gráfica de la base de datos de vertimientos en jurisdicción del CORNARE.



Registros por municipio



Registros con coordenadas

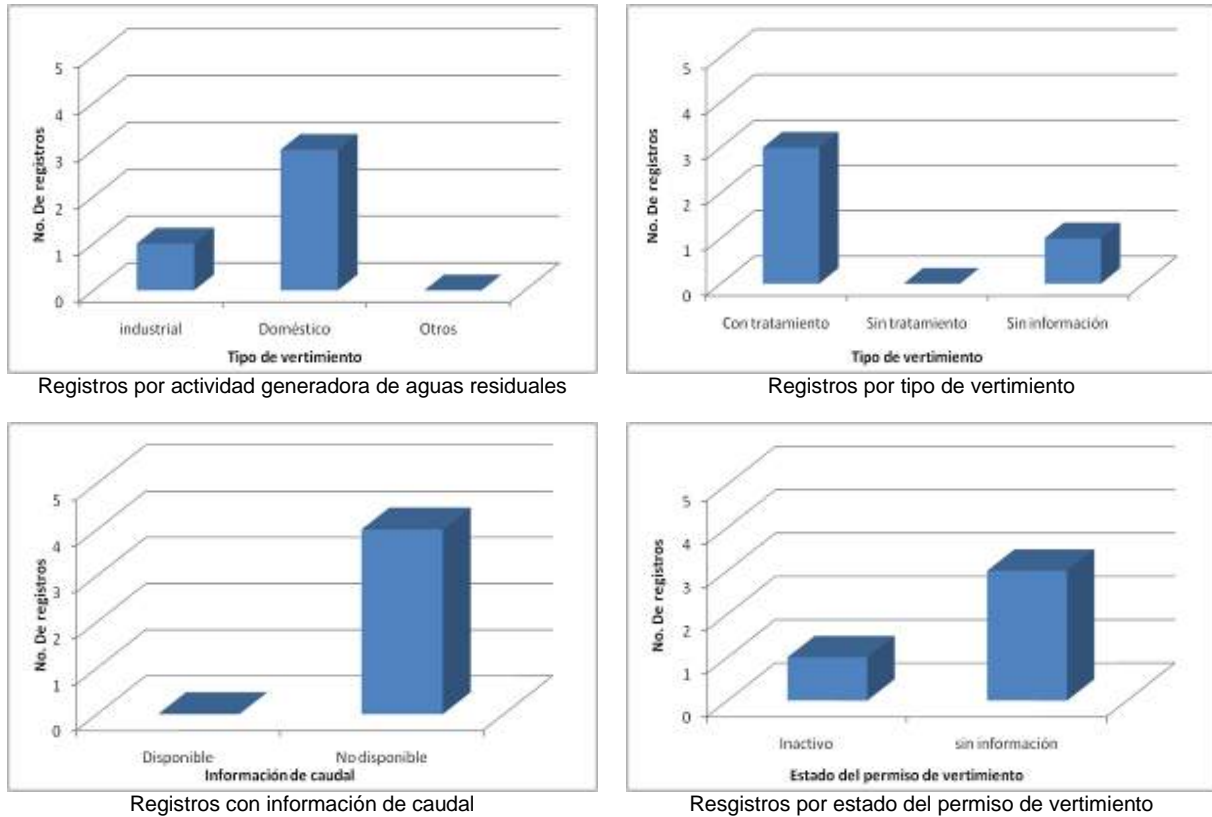


Figura 4. Información gráfica de la base de la base de datos de vertimientos en jurisdicción del CORNARE

Adicionalmente se resalta que de los cuatro vertimientos, de acuerdo con la base de datos, tres cuentan con tratamiento previo y corresponden a aguas residuales domésticas.

6.5.1.3 CORANTIOQUIA

En la base suministrada por CORANTIOQUIA, se encontraron 13 registros de vertimientos directos sobre el río Aburrá-Medellín proveniente de diferentes municipios.

En la Figura 5, se describe la información más relevante de esta base de datos:

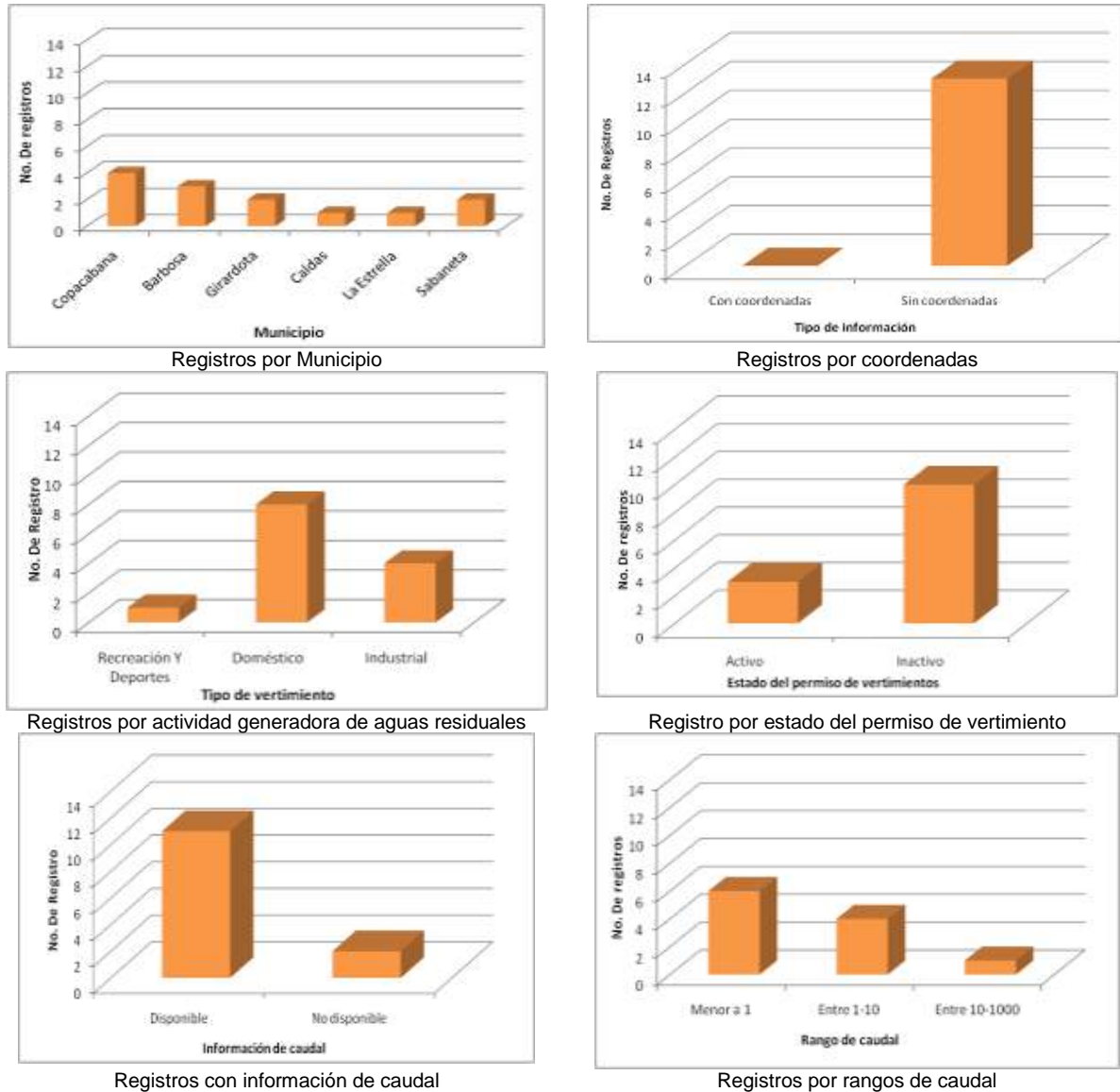


Figura 5. Información gráfica de la base de la base de datos de vertimientos en jurisdicción del CORANTIOQUIA

De acuerdo con esta información, el 30,76% de registros pertenecen al municipio de Copacabana representando la mayoría de vertimientos sobre el cauce seguido por Barbosa con el 23,07%. Se recomienda actualizar la información de georreferenciación de los puntos de vertimientos con el fin de consolidar el mapa de usuarios. La principal actividad generadora de aguas residuales de acuerdo con los registros corresponde a la doméstica, seguida de la industrial. Finalmente, se encontró que el 84,61% de los registros contaba con información de caudal y de estos el 54,54% hacen entrega de menos de $1\text{m}^3/\text{s}$ de aguas residuales.

6.5.1.4 Resultados consolidados por Autoridades Ambientales

Al consolidar una base de datos que integra la información de las Autoridades Ambientales se encontraron en total 87 registros, de los cuales el 80,4% corresponden a la jurisdicción del AMVA. En la Figura 6 se presenta la información más relevante de esta base de datos.

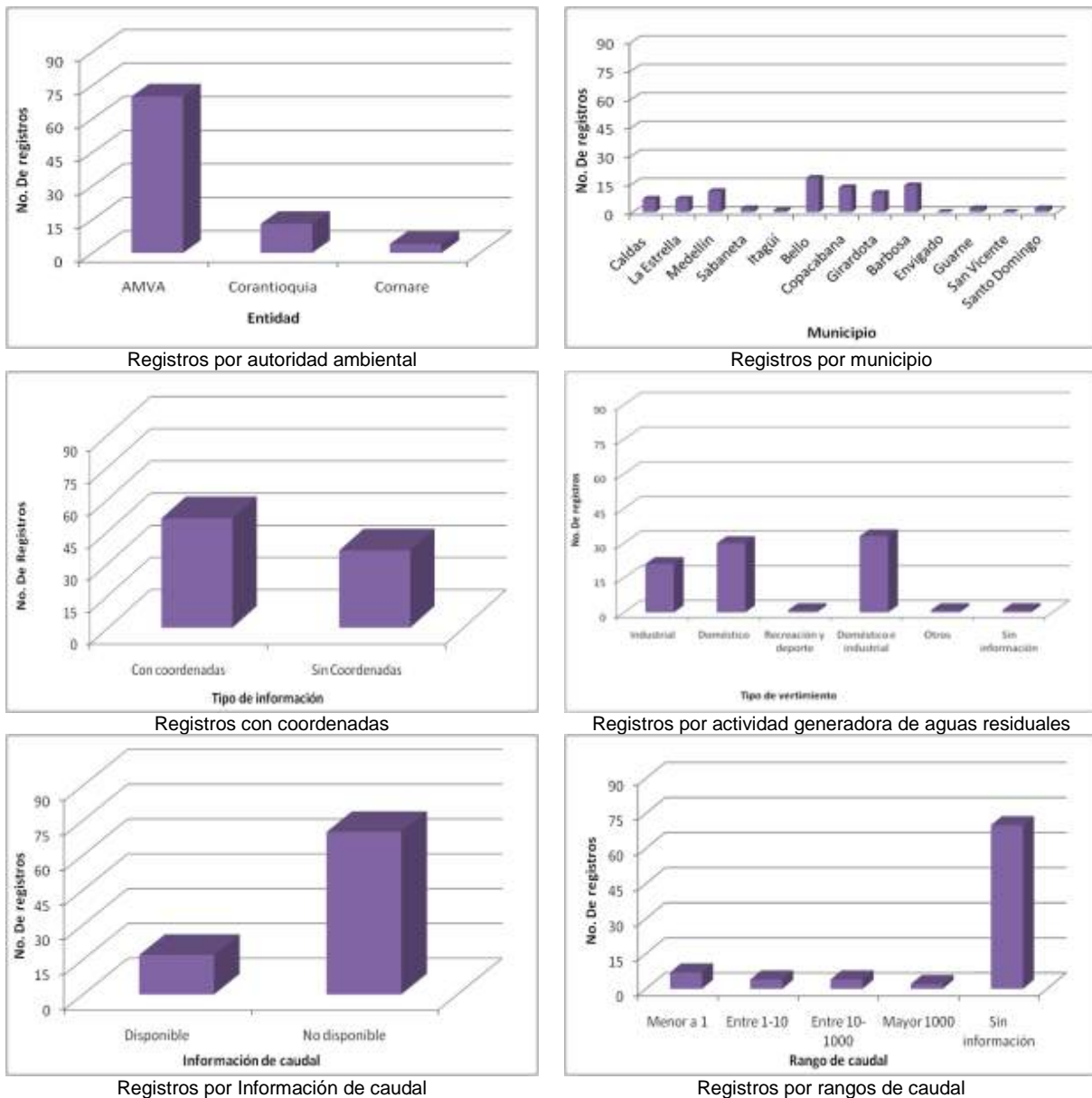


Figura 6. Información gráfica de la base de la base de datos de vertimientos en el valle de Aburrá

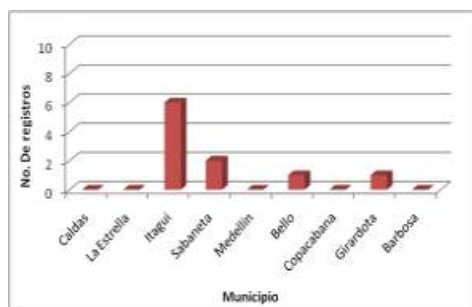
Al consolidar las bases de datos de las tres autoridades ambientales para integrar la información del valle de Aburrá en sus zonas urbana y rural, se halló que la autoridad con más registros de vertimientos directos sobre el río Aburrá-Medellín corresponde al Área Metropolitana del Valle de Aburrá donde predominan los del municipio de Bello. En cuanto a la actividad que descarga más aguas residuales, se encontró, de acuerdo con los registros, que se tienen más vertimientos del sector doméstico e industrial con un 67,14%. Adicionalmente, se resalta que el 41,17% de los usuarios reporta descargas de menos de 1m³/s.

6.5.2 Usuarios que captan agua superficial (concesiones) por jurisdicción de Autoridad Ambiental

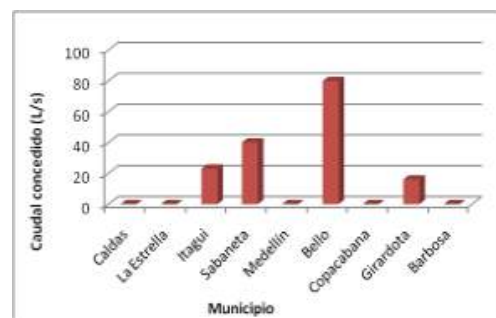
La información contemplada en la base de datos de concesiones de flujos superficiales que pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín en jurisdicción de los municipios de Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Guarne, Itagüí, La Estrella, Medellín, Sabaneta, San Vicente y Santo Domingo, tiene como base los registros suministrados por las tres autoridades ambientales del valle de Aburrá: AMVA, CORNARE, CORANTIOQUIA y el Municipio Delegado de CORANTIOQUIA (Envigado).

6.5.2.1 AMVA

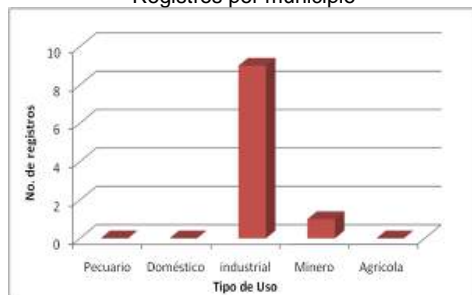
En la base de datos suministrada por el AMVA se tienen 10 registros en operación con una duración 10 años, algunos vigentes y otros con permisos que ya expiraron. En la Figura 7 se describe la información más relevante:



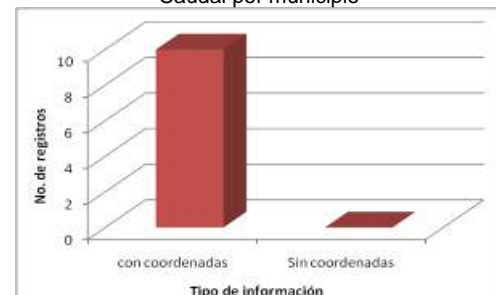
Registros por municipio



Caudal por municipio



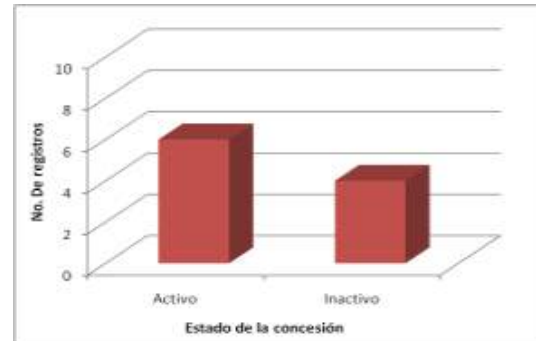
Registros por actividad



Registros por coordenadas



Registros con información de caudal



Registros por estado de Actividad

Figura 7. Información gráfica de la base de datos de usuarios en la cuenca del río Aburrá en jurisdicción del AMVA

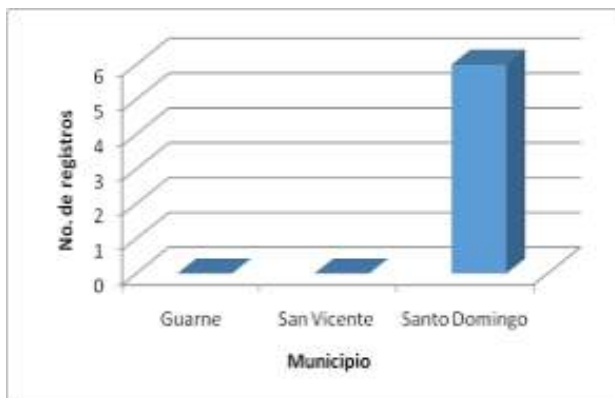
De acuerdo con los resultados se aprecia que el municipio de Itagüí presenta el mayor número de registros con un 60%, no obstante, el mayor caudal otorgado corresponde al municipio de Bello con 79,89 L/s.

Adicionalmente, las principales actividades con caudales concesionados son la industrial con 9 registros (90%) seguida de la Minera con un solo registro, que representa el 10% restante.

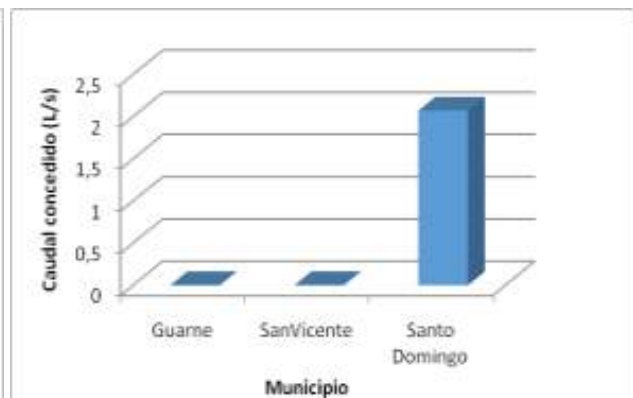
Se llama la atención en que en esta base de datos el 40% de los registros corresponden a concesiones inactivas.

6.5.2.2 CORNARE

La base de datos suministrada por CORNARE tiene 6 registros de captación directos sobre el río Aburra-Medellín en la Figura 8 se describe la información más relevante:



Registros por municipio



Caudal por municipio

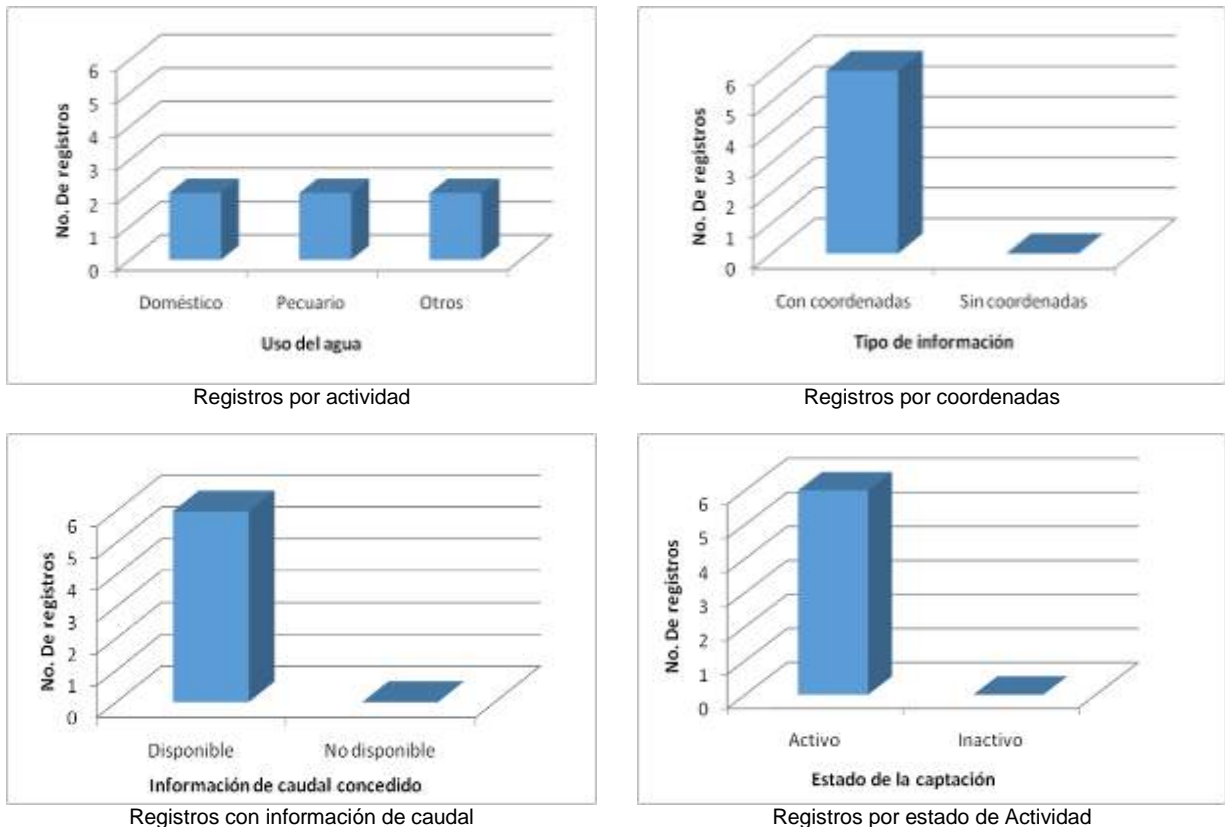


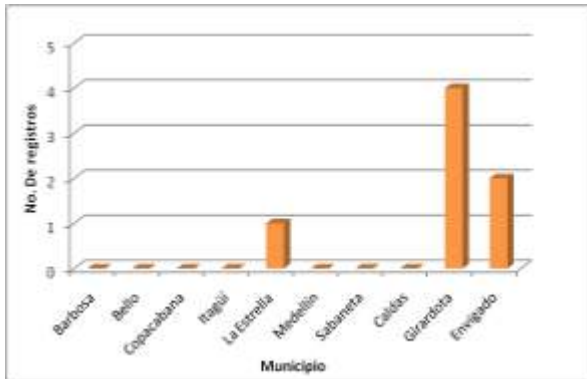
Figura 8. Información gráfica de la base de datos de usuarios en la cuenca del río Aburrá en jurisdicción de CORNARE

Con base en la Figura 8, el municipio de Santo domingo es el único que presenta registros de captaciones directas sobre el río Aburrá-Medellín. Los principales usos del agua corresponden a las actividades doméstica, pecuaria y otros (ornamental, riego, recreación).

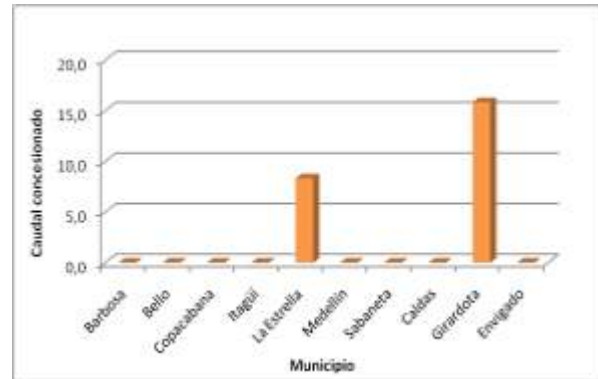
6.5.2.3 CORANTIOQUIA

En total se encontraron 3134 registros en toda la cuenca del río Aburrá-Medellín, que corresponden a 1233 expedientes, es importante y necesario aclarar que esta diferencia se debe a que con un mismo expediente se pueden solicitar varios permisos dependiendo de la actividad, por lo que se crean más registros con la misma denominación, pero son solo 7 los usuarios que captan directamente o tienen permiso para captar agua directamente del río Aburrá-Medellín.

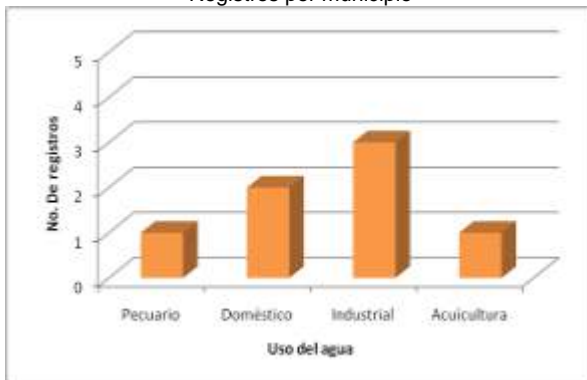
Municipios como Don Matías y Yolombó, que están en jurisdicción de CORANTIOQUIA y pertenecen a la cuenca del río Aburrá-Medellín no se encuentran en la base de datos ya mencionada. En la Figura 9, se describe la información más relevante de esta base de datos:



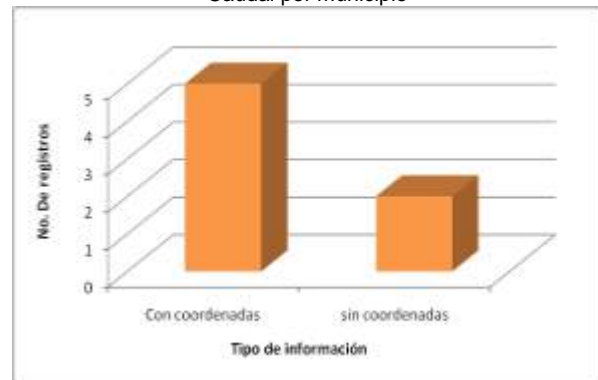
Registros por municipio



Caudal por municipio



Registros por actividad generadora de aguas



Registros por coordenadas



Registros con información de caudal



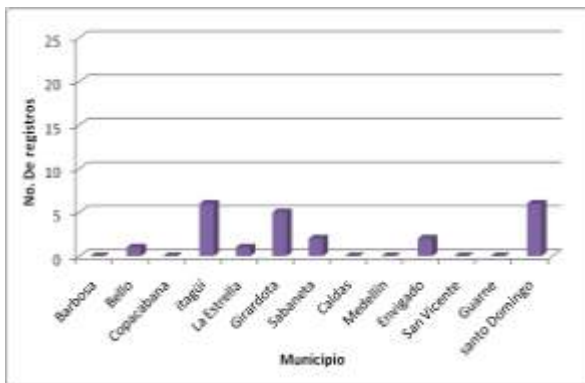
Registros por estado de Actividad

Figura 9. Información gráfica de la base de datos de usuarios en la cuenca del río Aburrá en jurisdicción de CORANTIOQUIA.

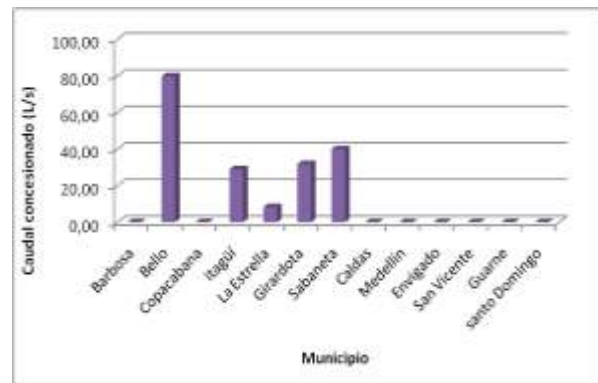
En la base de datos de CORANTIOQUIA se tiene que el municipio de Medellín es el que cuenta con mayor número de registros, sin embargo, Copacabana tiene el mayor caudal otorgado. Los principales usos en la jurisdicción son: doméstico, pecuario y agrícola. Se resalta que solo el 3,5% de los registros están inactivos y que en los últimos cinco años se ha incrementado el número de concesiones otorgadas.

6.5.2.4 Resultados consolidados por Autoridades Ambientales

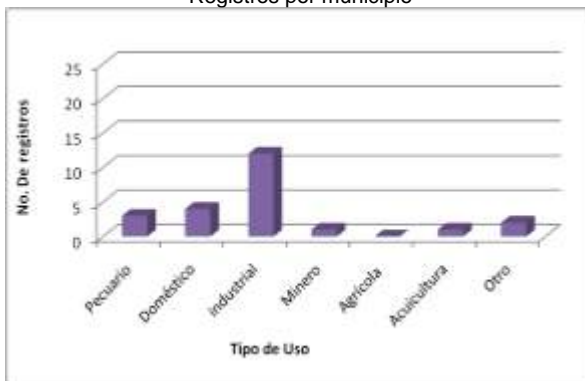
Al consolidar la información de las diferentes Autoridades Ambientales anteriormente listadas en una base de datos global, se encontraron en total son 23 datos que equivalen a 14 expedientes de concesión de agua superficial, de los cuales el 57,14% corresponden a la jurisdicción del AMVA. En la Figura 10 se presenta la información más relevante de la compilación realizada:



Registros por municipio



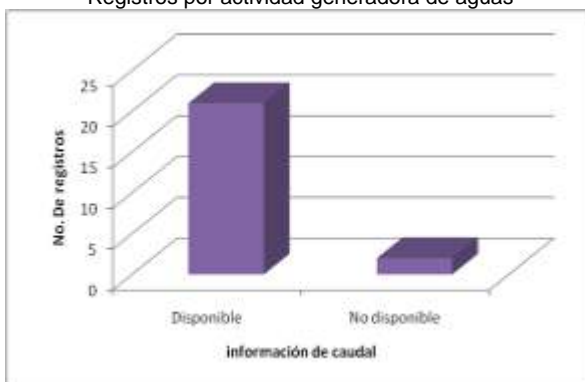
Caudal por municipio



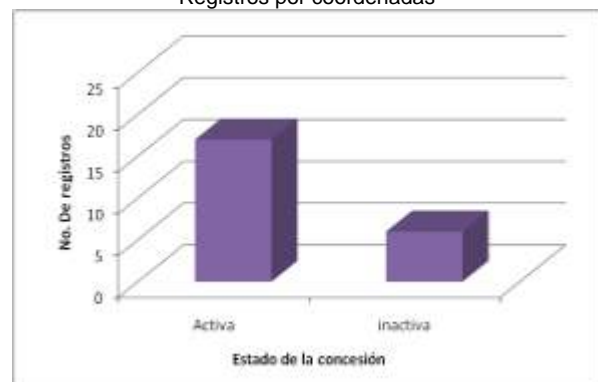
Registros por actividad generadora de aguas



Registros por coordenadas



Registros con información de caudal



Registros por estado de Actividad

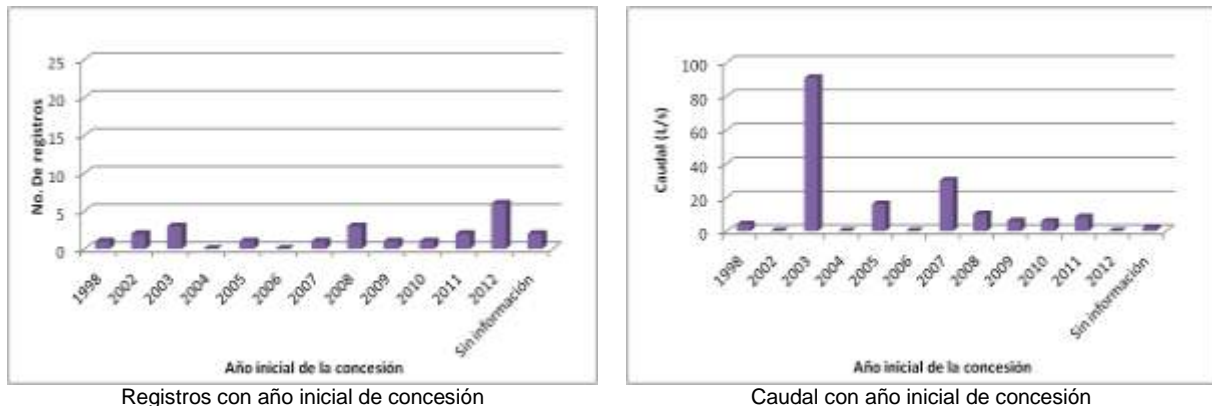


Figura 10. Información gráfica de la base de datos consolidada de usuarios en la cuenca del río Aburrá.

Al consolidar las bases de datos de la cuenca del río Aburrá-Medellín, se encontró que los municipios de Itagüí y Santo Domingo son los que cuentan con mayor número de registros de caudales concesionados, sin embargo, en Bello se tiene un caudal mayor otorgado. Adicionalmente, los principales usos que se dan a estos caudales son en su orden: industrial, doméstico, pecuario, otros, minero y acuicultura. Finalmente, la autoridad ambiental con más registros y expedientes corresponde al AMVA.

6.6 IDENTIFICACIÓN DE USOS EXISTENTES DEL RECURSO HÍDRICO, ZONIFICACIÓN AMBIENTAL DEL POMCA E IDENTIFICACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

6.6.1 Identificación de usos existentes del río Aburrá -Medellín

El uso del agua está limitado principalmente por sus condiciones de calidad y cantidad, sin embargo, existen otros factores que pueden incidir directamente, como el tipo de fuente, el clima, la actividad económica desarrollada en una determinada región, las condiciones socioeconómicas de una comunidad entre otros.

Para el caso del río Aburrá-Medellín, una fuente altamente intervenida y antropizada, la clasificación de usos se hizo por tramos, considerando los usos del suelo y del agua, actividades socioeconómicas, calidad del agua, y la percepción de los actores representativos del recurso. Por esta razón, en el año 2012, mediante el documento referencia PORH para la cuenca del río Aburrá-Medellín y con base en los Decretos 3930 de 2010, 1594 de 1984 y 1541 de 1978 se decidió segmentar la fuente priorizada en 7 tramos, lo que permitió hacer una clasificación de los usos actuales y plantear posibles usos potenciales para el mismo.

Estos siete (7) tramos definidos a lo largo del eje longitudinal del río Aburrá-Medellín, tienen su punto de inicio en el nacimiento del Alto San Miguel (en jurisdicción del municipio de Caldas), y como punto de cierre la estación denominada Puente Gabino en jurisdicción del



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



municipio de Santo Domingo. Todas las estaciones de monitoreo donde se unen cada uno de los tramos han sido monitoreadas durante las diferentes etapas de implementación del proyecto RedRío.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los criterios que fueron considerados para establecer estos tramos, con los cuales se ha facilitado el seguimiento a la calidad del recurso de acuerdo con los usos del agua predominantes definidos según la normatividad vigente, además de los establecidos en la Resolución Metropolitana 2016 de 2012.

- Cobertura usos del suelo, con el fin de establecer compatibilidad con las determinaciones ambientales y los usos que se establecieron.
- Calidad del agua de acuerdo con los índices de calidad (ICACOSU) e ICA/global estadístico, descritos detalladamente en el documento Índice de calidad Ambiental para el Río Aburrá – Medellín. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010)
- Características físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas (cuenca)
- Impacto de la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales -PTAR de San Fernando
- Seguimiento y control a las obras del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV proyectadas en el río Aburrá – Medellín y principales quebradas afluentes.
- Estaciones de monitoreo definidas en la Red de monitoreo del río Aburrá – Medellín (proyecto RedRío)
- Resultados de la modelación en Q2k, para las condiciones actuales y diferentes escenarios de saneamiento.

Adicionalmente, en la Tabla 9, se muestra un resumen de los tramos y los usos definidos para el río Aburrá- Medellín, de acuerdo con las condiciones actuales.

Tabla 9. Descripción de los siete (7) tramos establecidos para el río Aburrá - Medellín

TRAMO	SITIO	DESCRIPCIÓN
1	Nacimiento Río Aburrá -Medellín – Límite zona de Reserva Ecológica	Zona declarada de reserva ecológica como refugio de vida silvestre y parque ecológico recreativo, en un área de 1850 Hectáreas, mediante acuerdo municipal N° 05 de 2001 del 13 de mayo de 2001, en el municipio de Caldas. El refugio de vida silvestre y parque ecológico recreativo del Alto San Miguel, esta zonificado como zona silvestre, zona de refugio silvestre, zona de reserva, zona de amortiguación, zona de uso intensivo y sendero ecológico, según el acuerdo municipal mencionado (Municipio de Caldas, 2001). Por ser una zona declarada de reserva ecológica es fundamental garantizar el uso del agua para la preservación de la fauna y la flora en este tramo, lo que hace necesario propender por mantener buenas condiciones de calidad de agua, que permitan la protección y conservación del recurso.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



TRAMO	SITIO	DESCRIPCIÓN
2	Límite de Reserva Ecológica – Estación Primavera	Este tramo es de un cuidado especial por sus buenas condiciones de calidad, que vienen siendo amenazadas, por un deterioro progresivo con el paso del tiempo, producto de actividades como la extracción de material de playa, descargas directas de aguas residuales por viviendas construidas en las márgenes del río, lavado de vehículos y explotación forestal, lo cual se soporta con las mediciones que se han obtenido a lo largo del proyecto RedRío.
3	Estación Primavera - Ancón Sur	Este tramo se plantea con el propósito de tener en cuenta los diversos usos del suelo que se proyectan desarrollar en esta zona, y que probablemente demandarán agua para el desarrollo de sus actividades. En este tramo se observa que los usos del suelo son variados; adicionalmente, medir el impacto de las descargas de aguas residuales que vierten en ésta zona, ya que aún no se cuenta con los interceptores para conducirlos a la PTAR San Fernando.
4	Ancón Sur – Aula Ambiental	Este tramo se plantea, por considerar que tanto los usos del suelo como del agua son muy homogéneos, caracterizándose por la alta intervención antrópica y la recepción y transporte de aguas residuales. Zona altamente urbanizada e industrializada, se presenta la descarga de la PTAR San Fernando , también vertimientos directos sobre la corriente y la confluencia de quebradas con calidad de agua regular-mala (Doña María, La Aguacatala, La Presidenta, La Ayurá, La Altavista, La Hueso y La Iguaná)
5	Aula Ambiental – Ancón Norte	Este tramo es de especial interés, debido a que presenta las condiciones más críticas de calidad del agua, razón por la cual se propone trabajar este tramo con un rango estrecho. Zona altamente urbanizada, descarga de interceptores oriental y occidental de Medellín . Vertimientos directos sobre la corriente y la confluencia de quebradas con calidad del agua regular- mala como (El Molino, La Bermejala, La Rosa, La Seca, La Madera, El Hato, La García, entre otras) Adicionalmente, con la definición de este tramo se pretende tener un referente que permita evaluar el impacto que se generará una vez entre en operación la PTAR de Bello y se realicen las obras de saneamiento sobre algunas quebradas ubicadas en dicha zona como lo son: La Rosa, La Herrera, Cañada Negra, La García y La Madera.
6	Ancón Norte – Papelsa	Con la propuesta de este tramo se pretende analizar el cambio de las condiciones de calidad de agua una vez el río inicia a cruzar zonas menos urbanas y con usos diferentes al tramo anterior. Adicionalmente, es de especial interés porque en este trayecto el río recibe las aguas de los excedentes de Tasajera y quebradas afluentes de mejor calidad que favorecen la capacidad de dilución . Existen áreas extensas dedicadas a la agricultura y la ganadería, con reservas para el crecimiento Metropolitano; adicionalmente, en los últimos años ha venido creciendo el desarrollo industrial en la zona.
7	Papelsa – Puente Gabino	Este tramo se plantea desde la estación Papelsa hasta la estación Puente Gabino, debido a que a partir de Papelsa se da un cambio significativo de las actividades socioeconómicas, se dejan las actividades industriales para dar paso al desarrollo de actividades tendientes a la agricultura, ganadería y minería en ciertos sectores, se abre lugar a un sector más rural, con poca densificación urbana y con ingreso de afluentes con condiciones de calidad del agua más favorables que en los tramos centrales. Adicionalmente las condiciones hidráulicas del río cambian, lo que favorece la re-aireación y el contacto entre sustancias que facilitan su degradación (oxidación).



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Así mismo, como se ha mencionado en el desarrollo del documento, fue fundamental identificar y conocer las normas vigentes que regulan la clasificación de los usos del agua para el ordenamiento. A continuación, se presenta una síntesis de los Decretos y Resoluciones que se tuvieron en cuenta para la asignación de los mismos sobre el río Aburrá-Medellín. El Decreto 1076 de 2015, reglamenta en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Además tiene como objeto establecer las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Los usos del agua establecidos por el Decreto el Decreto 1076 de 2015 son:

- Consumo humano y doméstico
- Preservación de flora y fauna
- Agrícola
- Pecuario
- Recreativo
- Industrial
- Estético
- Pesca, Maricultura y Acuicultura
- Navegación y Transporte Acuático

Adicionalmente, también se consideró la Resolución Metropolitana 2016 de 2012, por la cual se adoptaron los objetivos de calidad a corto, mediano y largo plazo del río Medellín - Aburrá para el periodo 2012-2022, cuyos elementos y aspectos importantes se fundamentaron entre otros, en el perfil de calidad del río con información resultante de la fase I y II del proyecto RedRío.

Dentro de dicha Resolución se tienen en cuenta los siguientes usos actuales del agua, los cuales no indican orden de prioridad y son los siguientes:

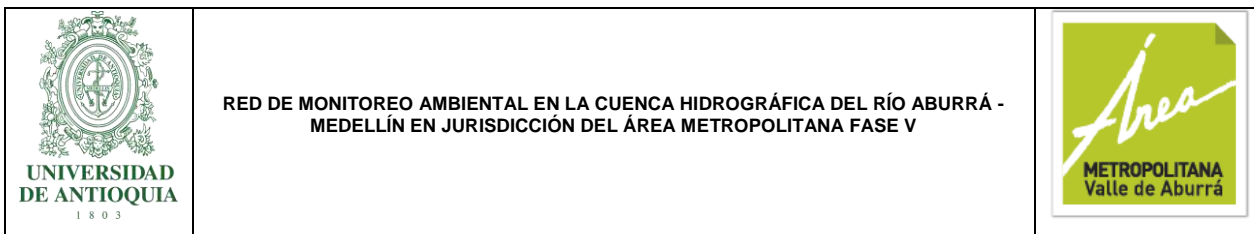
- Preservación de fauna y flora.
- Agrícola.
- Pecuario.
- Recreativo y primario.
- Recreativo secundario.
- Industrial.
- Estético.
- Receptor de vertimientos.
- Receptor y transporte de residuos domésticos y especiales.
- Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación de energía eléctrica.

Sin embargo, la definición de usos que propone esta Resolución difiere un poco de los establecidos por los Decreto 3930 de 2010 y 1076 de 2015, dado que en la Resolución Metropolitana se incorporaron usos adicionales que no solo tenían que ver con la extracción de agua, condición que se tuvo en cuenta en la nueva definición de usos. Además también se

incluyó dentro de la misma, los criterios de calidad para cada uno de los siete tramos en los cuales se dividió el río Medellín- Aburrá, pero cabe mencionar que los tramos 1 y 2 están dentro de la jurisdicción de CORANTIOQUIA, y el tramo 7 en la jurisdicción de CORANTIOQUIA y CORNARE, por lo tanto los objetivos de calidad que se determinan en dicho acto administrativo solo contempla los tramos cuya jurisdicción se refiere al Área Metropolitana del valle de Aburrá. Por lo antes mencionado, y considerando que durante los últimos 5 años, las condiciones de disponibilidad y algunos usos han cambiado de acuerdo con las normas relacionadas con el ordenamiento y planificación del recurso hídrico, se requirió una actualización que permitiera formular una propuesta técnica para redefinir usos actuales y que además fuera concertada con los actores asociados al cuerpo de agua en ordenamiento. Es así como surgió, el diseño e implementación de una estrategia participativa, que incluyó la identificación y definición de los usos actuales del agua del río Aburrá – Medellín; donde el conocimiento, experiencias y percepciones de los actores representativos del recurso hídrico, fue valiosa para el establecimiento de los usos actuales del agua. El desarrollo de dicho proceso participativo se detalla en el numeral 6.8, en la Figura 11 y en el anexo 13 se ilustran los usos actuales del agua tramo a tramo, para el río Aburrá –Medellín.



Figura 11. Resultados Usos Actuales del agua para el Río Aburrá - Medellín



6.6.2 Diagnóstico y zonificación ambiental del POMCA²

De acuerdo con información obtenida del POMCA la zonificación ambiental presenta subdivisiones del territorio clasificadas en zonas de preservación, conservación, recuperación y producción.

La zonificación ambiental para la cuenca del río Aburrá – Medellín, abarca áreas prominentemente urbanas o con vocación para ello, por lo cual, su ordenamiento ha obedecido a los criterios urbanísticos de aprovechamiento intensivo del recurso suelo, direccionado por la Ley de Desarrollo Territorial, Ley 388 de 1997, cuyo énfasis principalmente urbano ha sido ampliamente reconocido.

Se hace necesario aclarar que en la actualidad se viene actualizando el POMCA para la cuenca del río Aburrá Medellín, por parte de CORANTIOQUIA, por lo tanto esta información deberá ser verificada una vez se termine con dicha actualización por parte de la Autoridad Ambiental.

Se presenta en el Anexo 14 los mapas relacionados con el diagnóstico y zonificación ambiental del POMCA.

6.6.2.1 Conservación Ambiental

Las zonas de conservación ambiental corresponden a las zonas en las que se debe propender por la preservación y conservación de los recursos naturales y en particular por el mantenimiento de la cobertura boscosa natural como soporte de la biodiversidad y el rendimiento hídrico de la cuenca. En esta categoría se incluyen las zonas identificadas de vegetación boscosa nativa, que corresponden a las áreas que tienen cobertura vegetal de bosque natural intervenido y de rastrojos altos, se incluye también las áreas consideradas como núcleos en el proyecto del Parque Central de Antioquia (PCA), las zonas delimitadas como ecosistemas estratégicos y los retiros a humedales. De las áreas núcleo del Parque Central de Antioquia se excluye la zona del Parque Arví, ya que aunque es considerada como núcleo dentro del mismo, es una zona altamente intervenida y con ocupación de densidades importantes de núcleos suburbanos.

Las áreas correspondientes a los ecosistemas estratégicos identificados en el Plan Metrópoli 2002 -2020 (Área Metropolitana) son zonas que en gran medida corresponden en localización y extensión con las áreas declaradas de protección en los planes de ordenamiento territorial municipales y con los núcleos de la propuesta del Parque Central de Antioquia.

²Información tomado del POMCA elaborado en el año 2007, bajo el convenio de cooperación N° 652 de 2005



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



La intención al integrar la delimitación de estos ecosistemas en esta categoría es que se tomen medidas tendientes a la consolidación y protección de éstas áreas y que existan restricciones en cuanto a la densidad de ocupación de las mismas y que cualquier tipo de aprovechamiento que se haga en ellas sea ambientalmente sostenible.

Al interior de las zonas de conservación se tienen en la actualidad bosques naturales, rastrojos y también áreas destinadas a usos de producción forestal, agrícola y pecuaria, en zonas con coberturas de plantaciones, cultivos y pastos. Estas zonas se han clasificado como de recuperación para la conservación ambiental y en ellas se pretende que se permitan usos productivos de baja intensidad hasta la recuperación de los bosques naturales en el largo plazo (2025, según la fase de prospectiva para la variable de flora y fauna).

Otro elemento importante dentro de la categoría de conservación ambiental son los corredores ribereños el cual es el elemento del paisaje natural adyacente a las corrientes de agua dulce, en el que se forman ecosistemas donde los hábitat presentan niveles de humedad del aire, de saturación hídrica del suelo y de luminosidad que están altamente correlacionados con la variación del flujo de la masa de agua asociada y además se diferencian de los hábitat del ecosistema del bosque interior ya que presentan asociaciones de especies adaptadas específicamente a la condición de variabilidad en la disponibilidad de agua.

Para el establecimiento de los corredores ribereños de conservación ambiental que ayuden a la recuperación de la conectividad de los ecosistemas entre las partes altas de la cuenca y el río Aburrá con el fin de conservar la cobertura boscosa natural en los sitios en los que aún se encuentre y propender por la recuperación de la misma en las partes que están intervenidas o con otro tipo de coberturas se definieron las siguientes corrientes para el establecimiento de corredores ribereños de conservación ambiental, las cuales fueron analizadas con respecto a su entorno geográfico y se calificaron en tres atributos: factibilidad, conexión PCA y conexión Bosque > 5 Km².

El atributo factibilidad, corresponde a la localización de la corriente con respecto a las zonas urbanas de la cuenca, y se asignó factibilidad alta a las corrientes que transitan sólo en zona rural y baja a las que atraviesan en gran parte de su recorrido por la zona urbana; el atributo Conexión PCA indica si la corriente se conecta con un núcleo del Parque Central de Antioquia y el atributo Conexión Bosque > 5 km² indica si la corriente se conecta con un parche de bosque natural con una extensión mayor de 5 km².

Se establecieron aquellas corrientes que tienen factibilidad alta y se conectan con un núcleo del Parque Central de Antioquia y con un parche de bosque de extensión mayor a 5 km² son las que tienen mejores condiciones para el establecimiento de corredores ribereños, información que se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Lista de corrientes seleccionadas para el establecimiento de corredores ribereños de conservación ambiental

NOMBRE DE LA CORRIENTE	CÓDIGO DE MICROCUENCA*	CONSECUTIVO DE CORRIENTE*	FACTIBILIDAD	CONEXIÓN NÚCLEO DE PCA	CONEXIÓN QUE > 5 Km2	MUNICIPIO
Santiago	2701 016	143	Alta	No	Si	Santo Domingo
Piedra Gorda	2701 028	086	Alta	No	Si	Santo Domingo
Arenales	2701 030	026	Alta	No	No	Don Matías
San Jacinto	2701 035	055	Alta	No	No	Don Matías
La Montera	2701 044	022	Alta	No	No	Barbosa
La Herradura	2701 058	001	Media	No	No	Barbosa
Santa Rosa	2701 074	001	Alta	No	No	Barbosa
Dos Quebras	2701 075	003	Alta	No	No	Barbosa
El Viento	2701 075	023	Alta	No	Si	Barbosa
El Chocho	2701 093	008	Media	No	No	Barbosa
Platanito	2701 098	011	Alta	No	No	Barbosa
Ovejas	2701 084	852	Alta	No	Si	Guarne, San Vicente y Barbosa
La Correa	2701 105	032	Media	No	No	Girardota
El Salado	2701 106	133	Baja	No	No	Girardota
Juan Cojo	2701 110	001	Media	No	No	Girardota
El Molinal	2701 114	042	Media	No	No	Copacabana
El Chuscal	2701 121	035	Baja	No	Si	Copacabana
Piedras Blancas	2701 132	096 y 194	Baja	Si	Si	Medellín y Copacabana
La Seca	2701 140	018	Baja	No	No	Bello
La García	2701 143	310 y 359	Baja	Si	Si	Bello
Santa Helena	2701 180	056	Baja	Si	Si	Medellín
La Iguana	2701 181	001	Baja	Si	Si	Medellín

NOMBRE DE LA CORRIENTE	CÓDIGO DE MICROCUENCA*	CONSECUTIVO DE CORRIENTE*	FACTIBILIDAD	CONEXIÓN NÚCLEO DE PCA	CONEXIÓN QUE > 5 Km2	MUNICIPIO
Águas Frías o Picacha	2701 186	009	Baja	Si	No	Medellín
Doña María (hasta la cota 1650)	2701 203	214	Baja	Si	Si	Medellín e Itagüí
La Tablaza (hasta la cota 1650)	2701 203	152	Baja	Si	No	Itagüí
La Bermejala	2701 215	013	Baja	Si	Si	La Estrella
El Salado	2701 202	014	Baja	No	No	Envigado
La Miel	2701 202	027	Baja	No	No	Envigado
Atravesada (La Escobera)	2701 202	074	Baja	No	Si	Envigado
La Ayurá (hasta la cota 1750)	2701 202	105	Baja	No	Si	Envigado
La Doctora (hasta la cota 1700)	2701 206	001	Baja	Si	No	Sabaneta
La Miel	2701 237	070	Alta	No	Si	Caldas
Valeria (nacimiento hasta la cota 1800)	2701 238	037	Baja	Si	Si	Caldas
La Salada	2701 254	050	Media	Si	No	Caldas
La Clara	2701 256	001	Alta	Si	Si	Caldas
Santa Barbará	2701 257	037	Alta	No	Si	Caldas
La Mina	2701 257	038	Alta	Si	Si	Caldas
La Vieja	2701 258	006	Alta	Si	Si	Caldas
La Moladora	2701 258	045	Alta	Si	Si	Caldas
Santa Isabel	2701 258	055	Alta	Si	Si	Caldas
sin nombre	2701 258	061	Alta	Si	Si	Caldas
sin nombre	2701 258	099	Alta	Si	Si	Caldas
Río Medellín (nacimiento hasta confluencia con qda. Zarzo)	2701 018	178	Alta	Si	Si	Caldas

* Las columnas Código de microcuenca y consecutivo de corriente corresponden a los atributos de los drenajes sencillos en la base de datos espacial del proyecto.

6.6.2.2 Protección Ambiental

Las zonas de protección ambiental corresponden a las zonas en las que se debe propender por la protección y resguardo de los recursos naturales y el patrimonio cultural y arqueológico presentes en la Cuenca, aunque se puede realizar un aprovechamiento sostenible que



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



garantice un flujo continuo de servicios deseados sin reducir valores ambientales ni su productividad futura. Las zonas de patrimonio arqueológico y cultural deben ser protegidas en el sentido de mejorar su estado de conservación actual y evitar su deterioro para que puedan ser reconocidas y disfrutadas por la población de la cuenca.

El uso principal propuesto para las zonas de protección ambiental es el forestal protector y las actividades de protección de los recursos naturales renovables y usos complementarios de investigación y ecoturismo. En estas zonas se debe evitar la ocupación por parcelaciones y mantener las bajas densidades de construcciones y viviendas donde sea posible y realizar la producción forestal con prácticas no agresivas con el medio, como entresaca o tala por parcelas; para evitar el deterioro de las condiciones del suelo en cuanto a la porosidad y la conductividad, propiedades que son claves para la recarga y el mantenimiento del recurso hídrico subterráneo.

Al interior de las zonas de protección se tienen en la actualidad plantaciones forestales, rastrojos y también áreas destinadas a usos agrícolas y pecuarios. Estas zonas se han clasificado como de recuperación para la protección ambiental y en ellas se pretende que se permitan usos productivos de baja intensidad como usos agroforestales en grandes áreas (uso silvopastoril, uso silvoagrícola y uso agrosilvopastoril) hasta la recuperación paulatina de la cobertura vegetal arbórea en el largo plazo (2025, según la fase de prospectiva para la variable de flora y fauna).

Para la delimitación de las zonas de protección se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- **Zonas conectoras del Parque Central de Antioquia y la zona del Parque Arví**

Estas áreas corresponden a las zonas definidas como de conexión entre las zonas núcleo del Parque Central de Antioquia y entre éstas y otros núcleos de biodiversidad de importancia biogeográfica en la región. Se incluye en éstas la zona núcleo del Parque Arví.

- **Zonas con pendientes mayores al 100% ó 45°**

La condición de tener pendiente alta hace que estas áreas sean susceptibles de presentar procesos erosivos y de remoción en masa importantes y acelerados que deben ser destinadas a uso forestal de protección, no de producción, por lo que se hace énfasis en que la producción forestal sea con técnicas no agresivas como la entresaca o la tala por lotes o ajedrezada.

- **Zonas con restricciones por amenaza a movimientos en masa**

Corresponden a las áreas que se han identificado como de amenaza alta y muy alta a movimientos en masa. Estas zonas no deben ser ocupadas o utilizadas para usos productivos, por la probabilidad importante de ocurrencia de movimientos en masa que implicarían la pérdida de inversiones, vidas e infraestructura, estas zonas fueron identificadas



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



con base en el estudio “Microzonificación Sísmica de los Municipios del valle de Aburrá y Definición de Zonas de Riesgo por Movimientos en Masa e Inundaciones en el valle de Aburrá” (Área Metropolitana, 2002), es necesario aclarar que este estudio no cubre los municipios de Guarne, San Vicente, Don Matías y Santo Domingo.

- **Zona de recarga de aguas subterráneas**

Son áreas que presentan condiciones adecuadas para la recarga de aguas subterráneas y estas fueron identificadas con base en el mapa de unidades litológicas cuyas condiciones de porosidad y conductividad son propicias para la recarga, pero no se han comprobado con estudios de detalle y trabajo de campo, por lo que por ahora deben tomarse de manera indicativa y deben ser analizadas y revisadas posteriormente.

- **Zonas de retiros a corrientes y nacimientos y corredores ribereños de protección ambiental**

Estas zonas no fueron delimitadas puesto que se requiere información de detalle, dentro del POMCA solo se presenta la metodología con criterios y directrices claras de qué hacer para su delimitación posterior más detallada.

- **Zonas de patrimonio cultural y arqueológico**

En estas zonas se ha preferido incluir las áreas con hallazgos arqueológicos importantes y los senderos o caminos prehispánicos y coloniales que se conservan en un estado poco intervenido o con características cercanas a las originales al interior de la cuenca, con el ánimo de proteger estas áreas y senderos para permitir la investigación arqueológica en el futuro y la construcción y arraigo de una memoria de la ocupación temprana del valle de Aburrá. En este ejercicio no se encontró información para delimitar las áreas de patrimonio arqueológico que deben ser protegidas, por lo que su identificación deberá realizarse posteriormente.

Con respecto a la identificación de caminos antiguos, se incorporó información de la zona del corregimiento de Santa Elena proveniente del proyecto “Formulación del Plan Maestro del Parque Arví” (CORANTIOQUIA, 2001) en la que se muestra una red de caminos antiguos.

- **Zonas clasificadas como espacios públicos verdes y cerros tutelares (Área Metropolitana)**

La protección e intervención restrictiva de estas zonas constituye la posibilidad de configurar un sistema de espacios públicos naturales que otorguen calidad urbanística en la consolidación de la ciudad compacta.

6.6.2.3 Recuperación Ambiental

En esta categoría se incluyen las zonas que presentan deterioro ambiental y que, como su nombre lo dice, deben ser recuperadas, bien sea para su posterior uso agrícola, pecuario,



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



forestal o diversos usos urbanos, dependiendo del contexto donde se encuentra cada zona. A continuación se describen los tipos de zonas identificadas que entran en esta categoría:

- **Zonas Erosionadas**

Son zonas que tienen actualmente problemas de erosión y que están desprovistas de cobertura vegetal, que deben ser adecuadas con vegetación nuevamente para la protección del suelo, disminución de la producción de sedimentos y material particulado y mejora de las condiciones hidrogeológicas del terreno.

Se debe restringir el pastoreo en las zonas que se encuentren en recuperación, puesto que esta actividad no es compatible con las labores de recuperación de la vegetación.

Estas zonas fueron identificadas a partir del mapa de coberturas vegetales y usos actuales del suelo rural, según el cual tienen mayor ocurrencia en la ladera occidental del valle de Aburrá en el Municipio de Medellín y normalmente están asociadas al mal abandono de la actividad minera.

- **Zonas críticas por la calidad del aire**

Son zonas que se superponen con otras categorías, que se identificaron como críticas dentro de la cuenca por tener condiciones de calidad de aire por debajo de los estándares nacionales e incluso riesgosos para la salud humana.

Las mayores concentraciones de emisión de material particulado están ligadas al sistema de movilidad principal en la región y a las zonas industriales, principalmente en las zonas sur (Itagüí, Envigado, Sabaneta y Caldas) y la zona industrial en el norte del valle de Aburrá. Igualmente las zonas centro y sur del municipio de Medellín.

La zona donde se da la mayor formación de O_3 corresponde a la zona sur del valle de Aburrá, debido no sólo a su alta generación de emisiones de gases precursores sino a la dirección predominante norte-sur de los vientos, que desplaza contaminantes de todo el valle hacia esta región. Las emisiones de CO se producen en su mayoría en el centro de la ciudad de Medellín y en los municipios del sur del valle, por causa principalmente del tráfico rodado y la actividad industrial.

Se identificaron 7 zonas críticas definidas por la concentración de fuentes de emisión y por los indicadores de deterioro de la calidad del aire donde a partir de dichos indicadores puede afirmarse que la zona 6, centro del municipio de Itagüí, representó el 25% de la generación de emisiones de PM10 del sector industrial del Área Metropolitana en el año 2006, y el 4,7% del mismo contaminantes en relación al sector transporte de la Región. Estos resultados indican que la población del Municipio de Itagüí está expuesta a altos niveles de contaminación por efecto de las emisiones y la dispersión.



La zona 7 ubicada en el sur del valle de Aburrá en el Municipio de la Estrella es la zona que presenta las más altas concentraciones de CO y O₃ con concentraciones de 0,68 ppm y 0,09 ppm, respectivamente, además la zona 5 ubicada en el sur del municipio de Medellín es la que más aporta contaminación por PM10, por parte del sector transporte, 6,6% con respecto al Área Metropolitana. En la zona 2, ubicada en el centro occidente del municipio de Medellín, Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, se detectó una gran problemática asociada a la contaminación por PM10 y PST, la cual se comprueba por medio de las mediciones de la estación de medición ubicada en este punto, donde el índice de calidad del aire varió entre el 70% y el 100% de concentraciones dentro del rango de regular para el año 2006 y para el año 2007 con calificaciones de Malo y Deficiente. Cabe decir que para los años anteriores los resultados del ICA son muy similares.

6.6.2.4 Zonas de Producción de Servicios

En esta categoría se incluyen las zonas de producción industrial, las zonas de producción minera y las zonas disponibles para la producción agropecuaria y forestal, éstas últimas en la zona rural de la cuenca.

- **Zonas de Producción Industrial**

El uso principal de estas zonas es el de industria con otros usos urbanos complementarios excepto el residencial. En algunos casos estas zonas coinciden con el corredor del río Aburrá, en los cuales se deberá tener en cuenta la delimitación de las zonas de protección correspondientes a los retiros a partir de la metodología propuesta en este estudio.

- **Zonas de Producción Minera**

Las zonas de producción minera fueron identificadas a partir de la información del mapa de coberturas y usos del suelo, pues es la información más actualizada que se tiene hasta el momento. Es importante anotar que en este mapa no se identificaron explotaciones mineras al interior de zonas urbanas de los municipios, las cuales están clasificadas como suelo urbano en los POT, y por lo tanto estas zonas deberán ser delimitadas con mayor precisión a partir de levantamientos en campo con cartografía en escala de detalle (1: 5000 o 1: 2000).

- **Zonas de Producción Agropecuaria y Forestal**

Las áreas disponibles para la producción agropecuaria y forestal se identificaron a partir del mapa de coberturas y usos y del análisis de conflictos de uso del suelo rural. Estas zonas son las que quedan disponibles luego de separar las zonas de conservación, protección, recuperación y las que actualmente presentan uso urbano o suburbano en la zona rural.

Estas zonas actualmente tienen uso agrícola, pecuario, agropecuario y forestal y las recomendaciones de manejo dependen del resultado del análisis de conflictos de uso del suelo rural uso inadecuado la recomendación de manejo es que se cambie el uso actual por un uso que no sobrepase la capacidad máxima de uso potencial; si el uso actual es adecuado



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



o es subutilizado, a la luz de los conflictos de uso, la recomendación de manejo es que se mantenga el uso actual.

En las zonas de producción agropecuaria y forestal se debe propender por mantener la densidad de ocupación actual y no permitir la subdivisión de predios en arsas a que se obtenga una estructura predial más cercana a las recomendaciones de densidades máximas de ocupación del suelo rural definidas por las autoridades ambientales.

Además se debe incentivar la producción más limpia en el ámbito agropecuario y restringir o minimizar el uso de pesticidas y fertilizantes químicos de alto impacto ambiental, que afectan generalmente la cantidad y calidad de los recursos agua y suelo. Para ello es recomendable adelantar prácticas de producción basadas en insumos orgánicos como alternativa sostenible, lo que posibilitará diferenciar estos productos agrícolas y forestales en el mercado interno y, con mayor fuerza, en el mercado internacional.

6.6.2.5 Consolidación de Usos Urbanos

La categoría de consolidación de usos urbanos aquí expuesta y delimitada se refiere a las zonas del territorio que deben concentrar y agrupar las mayores funciones urbanas, con los diferentes gradientes que ello implica. Actualmente estas zonas han sido programadas para el crecimiento futuro de la ciudad, correspondientes a las zonas de expansión urbana de los planes de ordenamiento territorial municipal y las clasificadas como suelo suburbano, en todos los casos según la definición de la Ley de Desarrollo Territorial.

En términos generales las zonas para la consolidación corresponden a la zona central del valle que presenta conurbación, atendiendo a los límites señalados en las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial, a los cascos urbanos de Caldas, Girardota y Barbosa, además de los suelos de expansión y los suelos suburbanos. La zona central con conurbación, así como los cascos urbanos separados, las zonas de expansión urbana y los suelos suburbanos se tomaron de la primera generación de planes de ordenamiento territorial de los municipios que hacen parte de la cuenca, por lo que deben ser revisadas y ajustadas a partir de la información de los nuevos planes que hayan sido revisados y actualizados durante la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Cuenca del río Aburrá Medellín.

6.6.3 Identificación de obras hidráulicas en el río Aburrá-Medellín

Para la identificación de obras en el Río se partió de una revisión y procesamiento de la información consignada en las diferentes bases de datos con los usuarios de cada una de las Autoridades Ambientales con jurisdicción sobre la cuenca del río Aburrá-Medellín, donde se encontró que de los 23 registros o datos de concesiones de agua, 20 carecen de información en cuanto al tipo de captación, impidiendo una completa identificación y análisis de la misma, lo que evidencia la necesidad de actualizar y ser complementada con respecto al registro de usuarios del recurso hídrico.

Lo antes expuesto se puede evidenciar en la Figura 12 y en la Tabla 11.

Tabla 11. Balance de información existente del tipo de captación en concesiones de agua

INFORMACIÓN SOBRE	N ^o DE REGISTRO
Con información	20
Sin información	3
Total	23

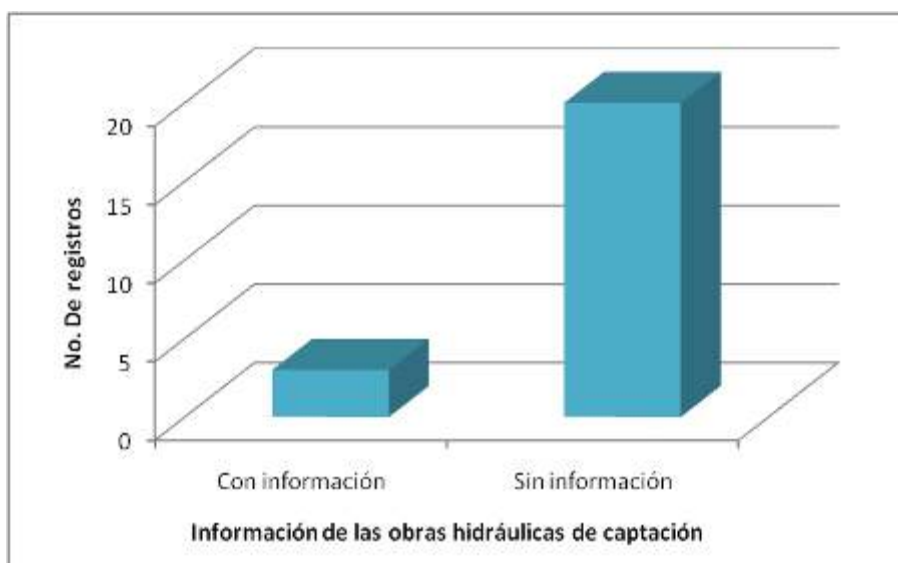


Figura 12. Balance de información existente del tipo de captación en concesiones de agua

Al analizar los registros con información, se encontró que el principal tipo de captación utilizada por los usuarios es por medio de bocatomas con tres registros así como se observa en la Figura 13 y la Tabla 12 .

Tabla 12. Tipo de captaciones sobre el río Aburrá – Medellín

TIPO DE CAPTACIÓN	N ^o DE REGISTRO
Bocatoma	2
Otro	1
Sin información	20
Total	23

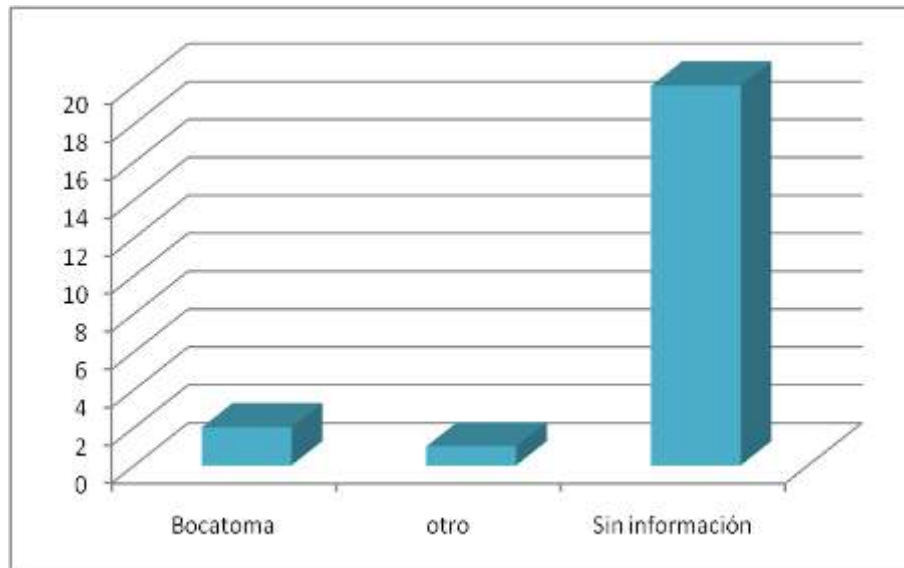


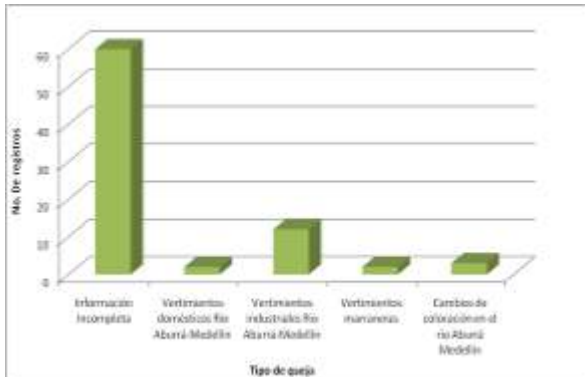
Figura 13. Tipo de captaciones sobre el río Aburrá-Medellín

6.7 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE QUEJAS

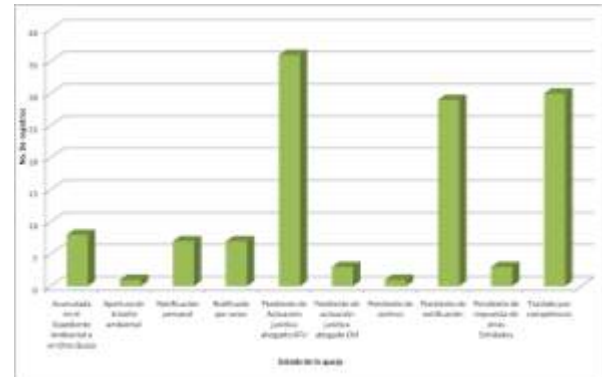
Para este componente se contó con la información de las bases suministrada por las tres Autoridades Ambientales para su posterior revisión y análisis, de todo lo relacionado con los problemas sociales y conflictos derivados por el uso del río Aburrá-Medellín a partir de los datos de peticiones, quejas y reclamos consolidadas de los dos últimos años por cada una de ellas.

Es necesario registrar que solo se obtuvo información por parte del Área Metropolitana y CORANTIOQUIA, pues al momento de esta solicitud, CORNARE no reportó ninguna información asociada con quejas de los últimos dos (2) años que estuvieran relacionadas con la oferta, demanda y uso del agua.

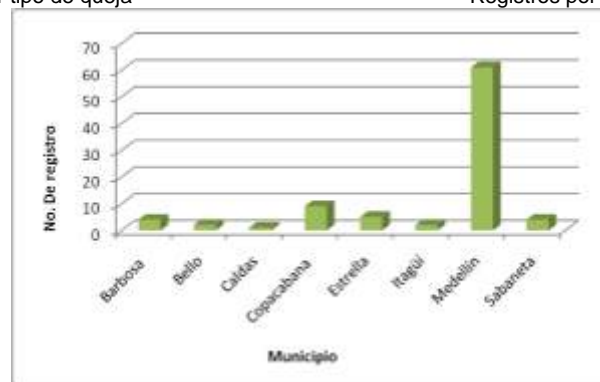
La información más relevante se presenta de forma gráfica en la Figura 14, Figura 15 y Figura 16.



Registros por tipo de queja



Registros por estado de la queja



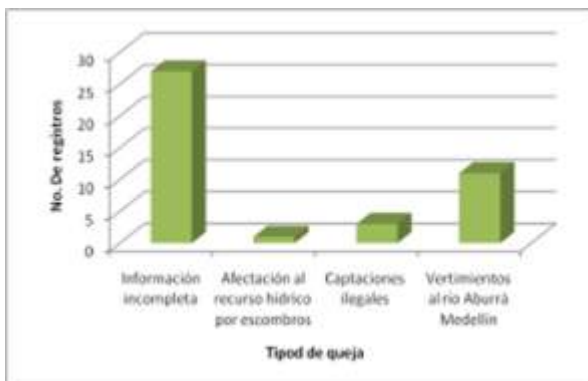
Registros por municipio

Figura 14. Información de quejas reportadas por el AMVA en el año 2013

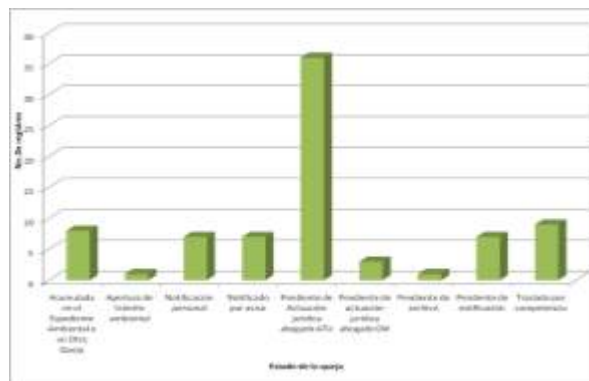
Antes de describir los resultados que se presentan en las figuras anteriores, es importante resaltar, que la base de datos de quejas del AMVA fue depurada y analizada según las necesidades de información que se requiere para el PORH, las cuales se limitan a identificar los conflictos de uso en la corriente, objeto de ordenamiento. Una vez aclarado esto, se encontró que de todas las quejas reportadas en el 2013, el 76,00% corresponde a quejas relacionadas con vertimientos de agua residual, en donde no se especifica claramente el recurso de agua afectado por lo que se consideró información incompleta, de lo cual el 3,00% se relaciona con vertimientos directos de agua residual doméstica sobre el río Aburrá-Medellín, mientras que los vertimientos de agua residual proveniente de las industrias representa el 15,00%. Finalmente el 4,00% está representado por los cambios de color en el río Aburrá-Medellín, reportados por usuarios.

En cuanto al estado en que se encuentra cada queja, se pudo concluir que para el 2013 el 49,36% estaba pendiente de actuación jurídica, el 17,00% ya había sido notificado por aviso o personalmente, mientras que el 11,00% fue trasladado por competencia.

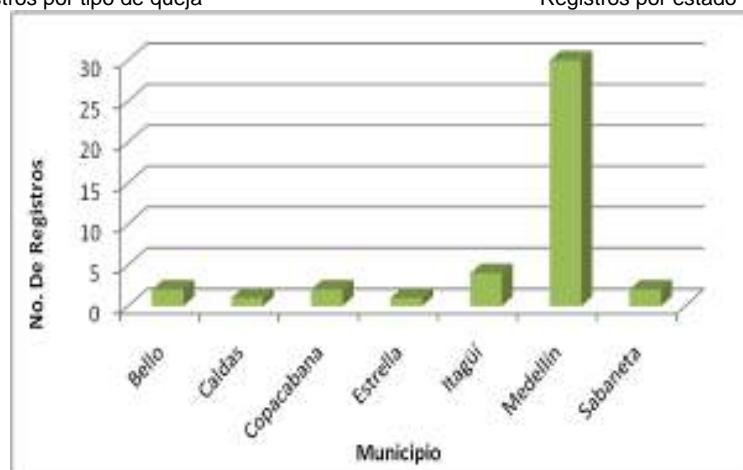
Por último, los municipios que más reportaron inconformidades concernientes al uso del recurso hídrico fueron Medellín con el 77,22% de las quejas, seguido por los Municipios de La Estrella con 6,33%, Barbosa y Sabaneta con 5,06%.



Registros por tipo de queja



Registros por estado de la queja



Registros por municipio

Figura 15. Información de quejas reportadas por el AMVA en el año 2014

Para el 2014, las quejas más frecuentes en el Área Metropolitana del valle de Aburrá, estuvieron representadas en un 64,29% por vertimientos de agua residual que causaron afectación en cuerpos de agua no especificados (información incompleta), el 26,19% correspondió a vertimientos directos sobre el río Aburrá-Medellín. A diferencia del año 2013, se destaca que un 7,11% de las quejas estuvieron relacionadas con captaciones no autorizadas de agua para abastecimiento.

Con respecto al estado de cada queja, se resalta que el 52,38% estaban pendiente de actuación jurídica para ese año, mientras que el 21,43% fueron trasladadas por competencia a otras áreas. Adicionalmente se resalta que un 11,90 % de las quejas fueron acumuladas en un expediente ambiental o en otra queja.

Finalmente los municipios que más reportaron quejas al AMVA en el año 2014, fueron Medellín con 71,43%, siendo similar la representatividad con respecto al año anterior. En segundo lugar se ubicó Itagüí con 9,52% y en porcentajes menores se encontraron registros de Copacabana, Bello y Sabaneta con un 4,72%.

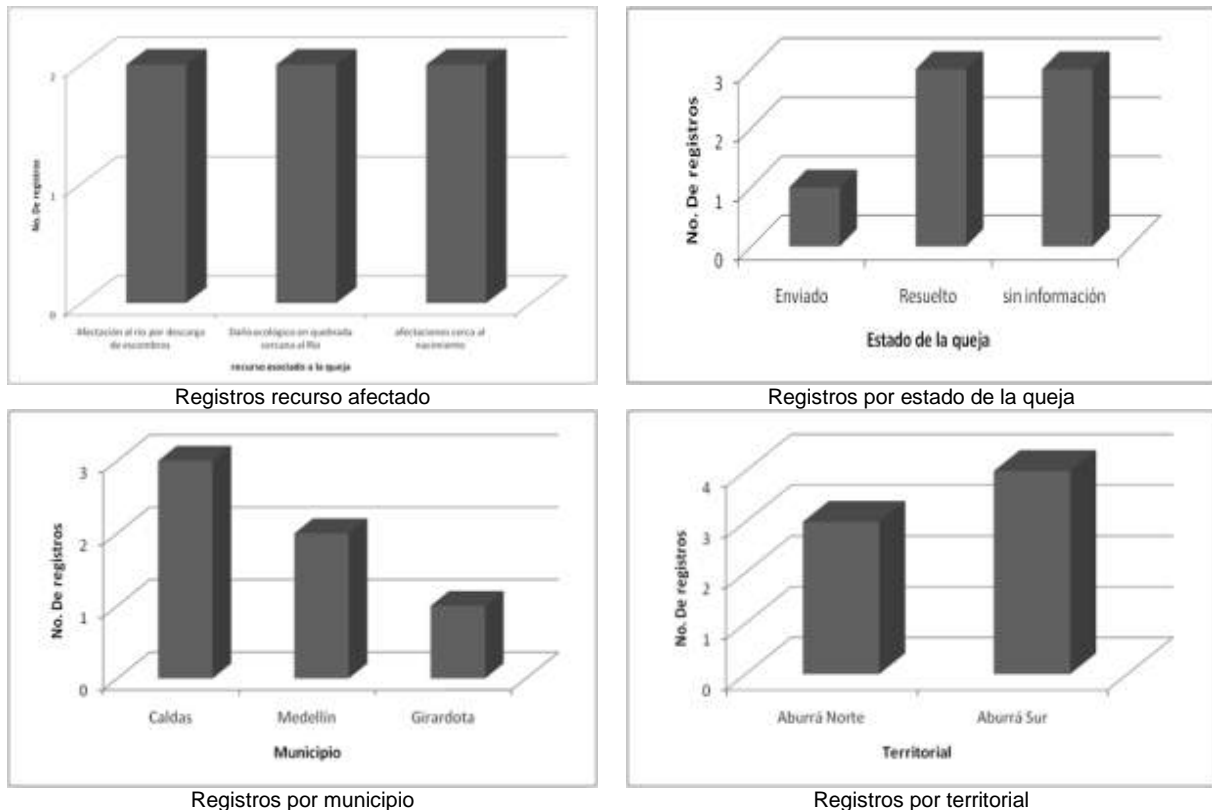


Figura 16. Información de quejas reportadas por CORANTIOQUIA entre los años 2012 y 2015

Por otro lado, la corporación ambiental del centro de Antioquia, reportó solamente siete registros de quejas asociadas al recurso hídrico objeto de estudio, dentro de las cuales dos quejas, estuvieron asociadas con la afectación del río Aburrá- Medellín y las otras cinco a nacimientos, lecho y cauce del río, humedales entre otros.

Adicionalmente se encontró que de estas siete quejas, tres ya fueron resueltas y pertenecen a la territorial Aburrá Norte Mientras que una se registra como enviada a la subdirección competente y pertenece a la territorial Aburrá Sur.

Finalmente el municipio con mayor número de quejas fue Caldas con cuatro registros, seguido por Medellín con dos registros.



6.8 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN

Para el diseño del proceso de participación se partió de la consolidación de la base de datos con todos los usuarios de concesiones y vertimientos que se ubican a lo largo de la ladera del río Aburrá Medellín, la que fue suministrada por las tres autoridades ambientales, así como otros actores estratégicos necesarios dentro del proceso de participación tal es el caso de los Entes Territoriales, las Secretarías de Medio Ambiente y de Agricultura, Planeación e Infraestructura de todos los municipios del valle de Aburrá, representantes de Empresas Públicas de Medellín, Empresas del Servicio Públicos de Aseo, el Sector Gremial y Académico, Gobernación de Antioquia y el Sector Empresarial e Industrial del valle de Aburrá.

Los aspectos metodológicos e instrumentales tenidos en cuenta para el desarrollo de los talleres, incluyeron exposiciones temáticas y sesiones prácticas desde la técnica grupal o mesas de trabajo, soportadas en el diseño de instrumentos y herramientas de trabajo como mapas impresos, fichas guías de taller, tarjetas de colores, textos impresos, textos digitales, matriz de socialización de resultados y finalmente el diseño del formato de evaluación del taller.

En las sesiones prácticas de trabajo en cada taller se empleó la metodología de trabajo por subgrupos o mesas de trabajo. Así para el taller N°1 y N°2 se conformaron siete mesas de trabajo correspondientes a cada uno de los tramos establecidos para el río Aburrá-Medellín. Para el taller N°3 se conformaron seis mesas de trabajo cada una correspondiente a los seis objetivos de la Política Nacional del Recurso Hídrico, y para el taller N°4 de socialización de resultados de los talleres ante las Autoridades Ambientales se trabajó la técnica grupal de la discusión dirigida.

La metodología empleada para consolidar la base de los actores representativos y tenidos en cuenta para convocar a los talleres, se basó en la técnica del mapeo de actores que permitió identificar, clasificar y reconocer los usuarios del recurso hídrico para su proceso de implementación, ya que éstos son los que aportan en los momentos de análisis de la concertación, de discusión y puesta en común de la información relacionada con la calidad del recurso, los usos actuales, la oferta y demanda, así como los usos potenciales teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la modelación de la calidad de agua del río Aburrá – Medellín.

En la Tabla 13 se presenta un cuadro resumen con las fechas y las temáticas de los talleres que fueron realizados durante el proceso de participación dentro de la de formulación del diagnóstico del PORH.

Es importante precisar que se realizaron tres encuentros o talleres participativos donde las temáticas tratadas y que se describen en la tabla antes mencionada fueron desarrolladas en dos (2) fechas de manera consecutiva cuya población objetivo variaba en cada fecha lo cual permitió tener un mayor tiempo de análisis de los temas a tratar por parte de los convocados a cada encuentro.



 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V</p>	
--	---	---

Tabla 13. Talleres realizados dentro del proceso de participación

TALLERES	N° DE ENCUENTROS	FECHAS	TEMATICAS TRATADAS
Presentación de aprestamiento del PORH e identificación de los usos actuales del río Aburrá Medellín	1	Octubre 21	Conceptualización, diseño e implementación de RedRío. Usos del agua de acuerdo con el Decreto 3930 de 2010. Trabajo colectivo y participativo por mesas de trabajo
		Octubre 22	
Identificación de las tensiones por uso y posibles imaginarios de usos potenciales del agua del río Aburrá Medellín y socialización de los resultados obtenidos en la identificación de los usos actuales del río.	2	Noviembre 11	Socialización de los resultados de los usos actuales identificados en el taller 1 Conceptualización y resultados de la modelación del río Aburrá Medellín. Resultados de la oferta y demanda determinada sobre el río. Trabajo colectivo y participativo por mesas de trabajo.
		Noviembre 12	
Socialización de resultados de iniciativas de usos posibles y del río Aburrá Medellín.	3	Noviembre 25	Socialización de los resultados de los usos actuales identificados en el taller 2
		Noviembre 26	

6.8.1 Metodología del Proceso de Participación

La metodología utilizada para cada uno de los encuentros se basó en actividades grupales, donde cada uno de los asistentes fueron agrupados por mesas las cuales representaban cada una los tramos sobre el río Aburrá- Medellín, quienes definieron de manera colectiva y participativa los usos actuales y expresaron algunos usos posibles para el río a partir de sus intervenciones y apreciaciones basadas en sus conocimientos y experiencias sobre esta corriente de agua. En la Foto 1, Foto 2 y Foto 3 se presenta el registro fotográfico de la actividad realizada en cada encuentro.

Para cada taller se utilizó material didáctico, consistente en fichas que indicaron a cada uno de los asistentes las instrucciones de las actividades grupales, planos con cada uno de los tramos a analizar sobre el río los cuales eran entregados a las respectivas mesas de trabajo, además de los demás materiales de apoyo necesarios para cada actividad.

Los encuentros se llevaron a cabo en el auditorio Guayacanes, del segundo piso del Edificio del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y cada sesión tuvo una duración de tres (3) horas, comprendidas entre las 2:00 y 5:00 pm.

Para lograr la atención de los actores en las presentaciones y el correcto desarrollo del trabajo grupal se acordó la distribución que se muestra en la Figura 17, y que se conservó para los tres (3) talleres con unas mínimas variaciones.

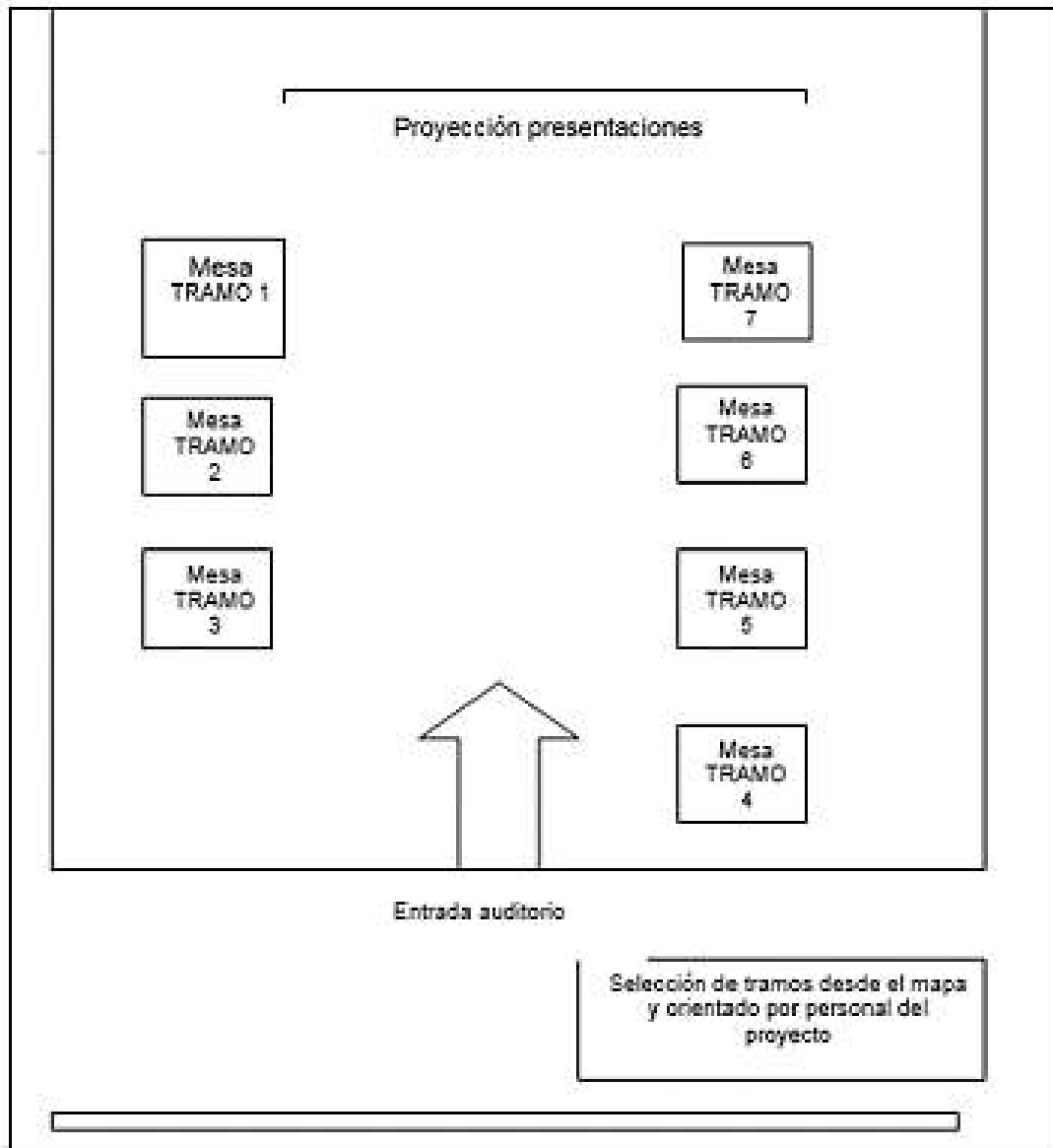


Figura 17. Distribución Auditorio – Taller Nº 1



Foto 1. Trabajo participativo taller 1- identificación de usos actuales el río



Foto 2. Trabajo grupal – taller de identificación de usos posibles del río



Foto 3. Trabajo grupal – Taller de socialización de resultados, usos potenciales y estrategias de intervención

El registro de los convocados se llevó a cabo en la entrada al edificio del AMVA donde se dispuso una mesa con tres integrantes del equipo técnico del proyecto para hacer el registro de los actores asistentes al taller, entregar suvenir del proyecto a cada participante, y diligenciar el formato de asistencia por cada actor antes de pasar al auditorio Guayacanes. Ver Foto 4.



Foto 4. Registro de actores y entrega de suvenir -Taller N°1

6.8.2 Taller N °1. Identificación y definición de los usos actuales del río Aburrá-Medellín

Este taller de identificación de usos actuales del río Aburrá-Medellín se realizó con el fin de propiciar procesos de participación para el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del Río Aburrá-Medellín, con los actores asociados al cuerpo de agua, quienes aportaron en la identificación y definición de los usos actuales del agua, apoyados en el marco legal vigente.

Actividades realizadas en el taller N° 1

El taller N°1 consistió en un ejercicio participativo desarrollado según la agenda de trabajo visualizada en la Tabla 14.

Tabla 14. Agenda de trabajo taller N° 1

TIEMPO	ACTIVIDAD
2:00 a 2:15	Apertura del evento: inscripción de participantes y elección del tramo o mesa de trabajo acorde a los conocimientos, intereses y/o expectativas por parte de cada participante.
2:15 a 2:25	Palabras de bienvenida a cargo de la Subdirectora Ambiental del AMVA
2:25 a 2:40	Presentación Red Río
2:40 a 3:05	Presentación proceso de formulación del PORH y puesta en común de las expectativas de los participantes
3:05 a 3:15	Presentación de la metodología y dinámica de trabajo durante el taller
3:15 a 4:00	Desarrollo de la actividad del taller en las 7 mesas de trabajo, cada una correspondiente a los 7 tramos establecidos para el río Aburrá-Medellín
4:00 a 4:20	Receso para refrigerio Compilación de los resultados de cada mesa de trabajo
4:20 a 4:45	Socialización de resultados de las 7 mesas de trabajo
4:45 a 5:00	Conclusiones Evaluación del taller Cierre de la jornada

Después de la apertura del evento y de las palabras de bienvenida, se continuó con la exposición central del taller sobre el Proyecto RedRío donde se realizó la socialización sobre el proyecto y sus antecedentes, describiendo cada una de las cinco (5) fases que se han ejecutado desde el año 2003 hasta la fecha, así como las generalidades del PORH a cargo de los profesores de la Universidad de Antioquia Rubén Alberto Agudelo García y Lina Claudia Giraldo Buitrago respectivamente. Igualmente se generó un espacio para recoger las expectativas de los actores frente al taller. Ver Foto 5.



Foto 5. Presentación Proyecto RedRío - Taller N°1

Una vez terminada la presentación se dio inicio al espacio para que los actores manifestaran sus expectativas sobre el taller, el cual tuvo una duración aproximada de 30 minutos, donde los asistentes expresaron los intereses particulares con los que llegaban a aportar en los talleres. La Tabla 15 expresa algunas de las expectativas manifestada por los actores.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Tabla 15. Expectativas de los participantes en el Taller N° 1.

ACTOR	SECTOR QUE REPRESENTA	EXPECTATIVA
Guillermo Piedras	J.A.C. Corregimiento Botero, municipio de Santo Domingo	Antes de llegar al corregimiento se encuentra una hidroeléctrica que represa el agua y una vez la liberan el lodo y el barro con que viene el agua produce la muerte de los peces por falta de oxígeno. Dice que ya le han manifestado esta situación a CORNARE que están dentro de su jurisdicción. También se han visto afectados por las crecientes súbitas un grupo de mineros legales reconocidos. Además manifiesta que EMVARIAS vierte en su tramo (Tramo 7) lixiviados del relleno sanitario, lo que causa malos olores, el aumento de los caudales y la coloración del agua.
Beatriz Jaramillo	Docente Universidad Santo Tomás y Presidente de la Asociación Colombiana de Arquitectos	Manifiesta que en años anteriores han trabajado con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en la propuesta del Parque de los Meandros en la zona del norte del Valle de Aburrá (Girardota y Barbosa), el proyecto RedRío viene trabajando desde hace varios años y de hecho fue un insumo para la propuesta de los meandros y quiere conocer si los meandros se van a concluir o si este taller trabajará una temática diferente.
José Edilberto Saldarriaga	Pro Aburrá Norte	Considera que desde este taller se obtendrá un insumo muy importante para el POMCA que ordenará toda la cuenca, el cual va a recibir un insumo especial del ordenamiento del Río. Dice que deberán trabajar conjuntamente en algún momento para no hacer las cosas aisladamente y deberá haber una coherencia importante ahí.
Carlos Viviescas	Corporación Empresarial del Aburrá	Expresó sus inquietudes enfocado en que no tiene claridad en la relación del PORH con el POMCA y si este taller hace parte del nuevo convenio Nuestro Río, se desprende de aquí o está alimentado o está conectado en ese sentido?. Además de la posibilidad de dialogar dos problemáticas como la contaminación del río desde sus inicios, Primavera - Ancón y San Miguel - Primavera no hay alcantarillado, el río nace contaminado dado que no hay alcantarillado en los Municipios de Caldas y una parte importante de La Estrella y si esto va resolver las problemáticas del Río que se han presentado dado el funcionamiento del Metro.
Rodrigo Tirado Sánchez	Acueducto Barrio Mandalay - Caldas	Manifiesta que el río empieza a contaminarse desde vereda La Clara. Igualmente se tiene desde los acueductos independientes que derraman sus aguas al río Medellín alrededor de 43 acueductos y no se saben si los colectores de EPM van a llegar hasta Ramo o van a interceptar hasta la parte de La Clara o hasta Primavera que son los afluentes principales que están afectando en gran parte la calidad del río.
José Miguel Gómez	Representante legal de la empresa Ospina, Grasas y Pielés	Su expectativa está en saber los impactos y beneficios sobre las empresas ubicadas en el sector de influencia de la nueva planta de tratamiento que se construye; además de la responsabilidad por parte de las empresas una vez la planta de tratamiento de agua residual arranque su operación, la fecha de operación y su cubrimiento sobre las industrias del sector.
Felipe Molina	Presidente de la Junta de Acción Comunal de la Vereda la Clara	Su expectativa está relacionada con las condiciones que están afectando el nacimiento del Río en el Alto de San Miguel por el lavado de vehículos y la extracción de materiales sin control.
Funcionaria	Fabricato	Su expectativa está relacionada con la posibilidad de que el PORH esté acorde a la realidad que se tiene hoy en día y que los usos sean muy acordes con la realidad. A ellos les interesa continuar asistiendo a los talleres para aportar desde el punto de vista textil e industrial.

6.9 CENSO DE USUARIOS

A partir de la información de usuarios suministrada por las tres autoridades ambientales que integran la Comisión Conjunta, se hizo la revisión de expedientes y se consolidó un archivo en Excel cuyos resultados se presentan a continuación.

- **Usuarios con captaciones legalizadas**

En total se identificaron 21 usuarios con captaciones legalizadas, de los cuales 18 son usuarios activos y tres (3) inactivos ubicados en los municipios de Envigado, Bello y Girardota. Esta información se presenta en la Tabla 16 y en la Figura 18.

Tabla 16. Usuarios registrados con captaciones legales

MUNICIPIO	TOTAL ACTIVOS	TOTAL INACTIVOS	TOTAL USUARIOS
La Estrella	1	0	1
Sabaneta	2	0	2
Envigado	0	1	1
Bello	0	1	1
Girardota	3	1	4
Itagüí	6	0	6
Santo Domingo	6	0	6
Totales	18	3	21

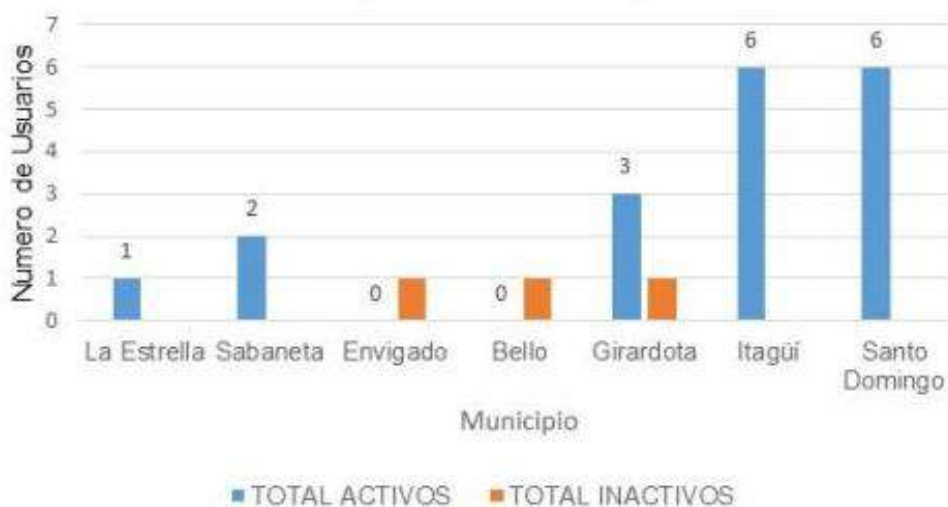


Figura 18. Usuarios registrados con captaciones legales

- **Usuarios no conectados con permiso**

Para el análisis de la información relacionada con aquellos usuarios que aunque cuentan con permiso para captar agua, cuyos permisos no han sido efectivos o utilizados por los solicitantes o usuarios de los mismos. Para este análisis se utilizaron 96 registros que fueron obtenidos una vez se depuraron las bases de datos suministradas por las tres autoridades ambientales donde el 27,08% de los usuarios están ubicados en el municipio de Bello, seguido por los usuarios identificados en el municipio de Medellín con el 23,96%. Estos datos se presentan en la Tabla 17 y la Figura 19.

Tabla 17. Registro de usuarios no conectados

MUNICIPIO	USUARIOS NO CONECTADOS CON PERMISO
Caldas	3
La Estrella	13
Sabaneta	1
Medellín	23
Bello	26
Copacabana	10
Girardota	10
Barbosa	8
Itagüí	2
Total	96



Figura 19. Usuarios no conectados con permiso

- **Vertimientos**

En total se encontraron 84 registros que están asociados al tema de vertimientos de agua residual doméstica e industrial, los cuales están ubicados en toda el Área Metropolitana, especialmente en Municipios como Bello con una representatividad del 21,43%, Barbosa y Copacabana cada uno con el 15,48%. Los resultados de estos datos se presentan en la Tabla 18 y la Figura 20.

En el Anexo 15 se adjunta el mapa con la ubicación de los usuarios que presentan vertimientos sobre el río Aburrá- Medellín.

Tabla 18. Vertimientos

MUNICIPIO	N° DE VERTIMIENTOS
Caldas	7
La Estrella	7
Sabaneta	1
Itagüí	1
Medellín	11
Bello	18
Copacabana	13
Girardota	9
Barbosa	13
Guarne	2
Santo Domingo	2
Total	84

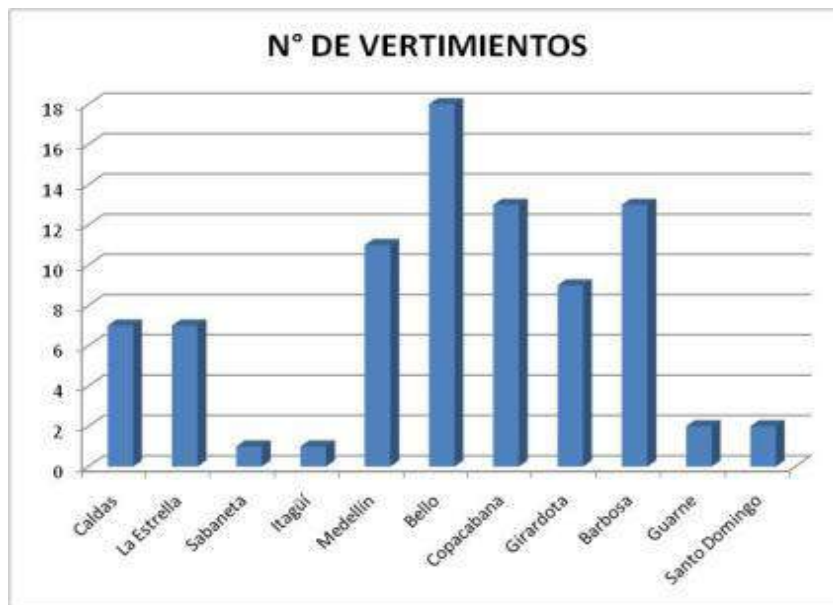


Figura 20. Vertimientos

- **Usuarios con sistema de tratamiento de agua residual**

Para los 93 usuarios identificados en la base de datos se obtuvo que el 89,25% (83 registros) de los usuarios tienen planta de tratamiento de las aguas residuales, cuyos sistemas están conformados por pretratamientos tales como: trampas de grasas, rejas, bombes y bombas de extracción de arenas, en cuanto a los sistemas primarios se identificó en la información suministrada: tanques sépticos, flotación por aire disuelto FAD, neutralización y sedimentadores primarios, desde el punto de vista de los tratamientos secundarios se identificaron: los filtros anaerobios, sedimentadores, lodos activados, aireación, sopladores, y sedimentadores secundarios, es importante manifestar que de este total solo el 7,53% manifiestan el tipo de tratamiento empleado para las aguas residuales, el restante 81,72% está sin información.

Es importante manifestar que el 10,75% de los usuarios no tienen ningún tipo de tratamiento de las aguas residuales, especialmente aquellos que están ubicados en el municipio de Medellín (80%), Copacabana y Girardota con el 10% respectivamente. (Tabla 19 y Tabla 20).

Tabla 19. Usuarios con sistemas de tratamiento de Agua Residual

MUNICIPIO	PLANTAS DE TRATAMIENTO A.R
Caldas	7
La Estrella	9
Sabaneta	2
Envigado	2
Itagüí	6
Medellín	4
Bello	8
Copacabana	6
Girardota	6
Barbosa	25
Guarne	2
Santo Domingo	6
Total	83

Tabla 20. Usuarios sin planta de tratamiento

MUNICIPIO	SIN PLANTAS DE TRATAMIENTO A.R
Caldas	0
La Estrella	0
Sabaneta	0
Itagüí	0
Medellín	8
Bello	0
Copacabana	1
Girardota	1
Barbosa	0
Guarne	0
Santo Domingo	0
Total	10

Los resultados de la información de manera gráfica están en las Figura 21 y Figura 22.

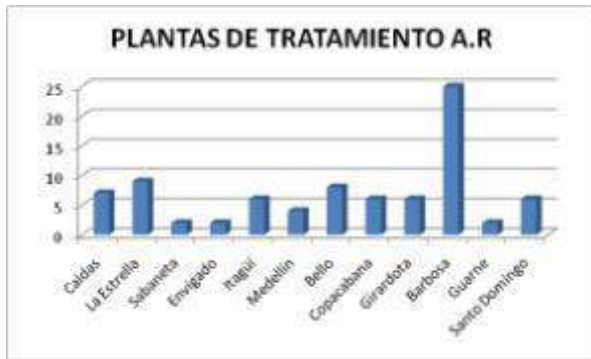


Figura 21. Usuarios con sistema de tratamiento A.R

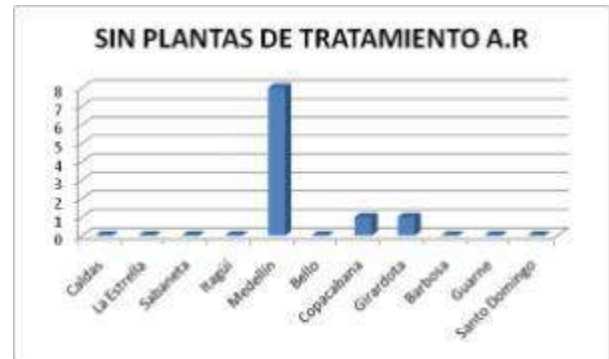


Figura 22. Usuarios sin sistema de tratamiento de A.R

6.10 DEFINICIÓN DE TRAMOS O SECTORES DE ANÁLISIS

Se propone considerar siete tramos para la cuenca del río Aburrá Medellín, que han sido monitoreados durante las diferentes campañas de cada una de las fases de implementación de RedRío, teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los criterios considerados al momento de definir estos tramos, que permiten realizar seguimiento a la calidad del recurso de acuerdo con los usos del agua predominantes en cada uno de los transectos seleccionados y considerando el Decreto 1076 de 2015, además de la Resolución Metropolitana 2016 de 2012

Los criterios considerados para definir los tramos para el río Aburrá – Medellín, se realizaron de acuerdo a :

- Cobertura usos del suelo, con el fin de establecer compatibilidad con las determinaciones ambientales y los usos que se establecieron.
- Calidad del agua de acuerdo con los índices de calidad (ICACOSU) e ICA/global estadístico, descritos detalladamente en el documento Índice de calidad Ambiental para el Río Aburrá – Medellín. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010).
- Características físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas (cuenca).
- Impacto de la descarga de la PTAR San Fernando .
- Seguimiento y control a las obras del PSMV proyectadas en el río Aburrá – Medellín y principales quebradas afluentes.
- Estaciones de monitoreo definidas en la Red de monitoreo del río Aburrá – Medellín (proyecto RedRío).

- Resultados de la modelación en Qual 2K, para las condiciones actuales y diferentes escenarios de saneamiento.

Tabla 21. Tramos propuestos para el río Aburrá-Medellín

TRAMO	SITIO	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN
1	Nacimiento Río Aburrá -Medellín – Límite zona de reserva Ecológica	Zona declarada de reserva ecológica, mediante acuerdo N°48 del 30 de agosto de 1993 en el municipio de Caldas. Esta zona corresponde a bosque muy húmedo montaña abajo, con pendientes mayores al 50%, la vegetación es nativa con rastrojos altos. Es una área excepcional: protege al principal sistema hidrográfico del Valle de Aburrá, posee un patrimonio florístico importante para su conservación, investigación y es de gran riqueza paisajística (Municipio de Caldas, 1993)	Por ser una zona declarada de reserva ecológica es fundamental garantizar el uso del agua para la preservación de la fauna y la flora en este tramo, lo que hace necesario propender por mantener buenas condiciones de calidad de agua, que permitan la protección y conservación del recurso.
2	Límite de Reserva Ecológica – Estación Primavera	Población rural dispersa, predomina explotación forestal, agrícola y minera, coberturas de suelo para usos pecuario, agrícola y protector forestal. En la parte alta de la cuenca se utiliza el río con fines recreativos.	Este tramo es de un cuidado especial por sus buenas condiciones de calidad, que vienen siendo amenazadas, por un deterioro progresivo con el paso del tiempo, producto de actividades como la extracción de material de arrastre, lavado de vehículos y explotación forestal, lo cual se soporta con las mediciones que se han obtenido a lo largo del proyecto Redrío.
3	Primavera - Ancón Sur	Predominan coberturas y suelo para usos pecuario, agrícola y protector forestal. En cercanías a la estación Ancón Sur se desarrollan actividades industriales.	Este tramo se plantea con el propósito de tener en cuenta los diversos usos del suelo que se proyectan desarrollar en esta zona, y que probablemente demandarán agua para el desarrollo de sus actividades. En este tramo se observa que los usos del suelo son variados donde por un costado se tienen usos de protección forestal y por el otro costado usos industriales. Por lo anterior, se considera importante dejar la parte alta de la cuenca en tramos separados, ya que se espera ser más restrictivos en los objetivos de calidad en esta zona, dado que los usos en este tramo son más rurales, a diferencia del tramo Primavera – Ancón Sur.
4	Ancón Sur – Aula Ambiental	Zona altamente urbanizada e industrializada, se presenta la descarga de la PTAR San Fernando, también vertimientos directos sobre la corriente y la confluencia de quebradas con calidad de agua regular - aceptable (Doña María, La Aguacatala, La Presidenta, La Ayurá, La Altavista, La Hueso y La Iguaná)	Este tramo se plantea, por considerar que tanto los usos del suelo como del agua son muy homogéneos, caracterizándose por la alta intervención antrópica e ingreso de aguas residuales.



**RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V**



5	Aula Ambiental – Ancón Norte	Zona altamente urbanizada, descarga de interceptores oriental y occidental de Medellín. Vertimientos directos sobre la corriente y la confluencia de quebradas con calidad del agua regular - aceptable como (La Rosa , La Madera, El Hato y La García entre otras). A futuro sobre este tramo descargará el efluente de la PTAR Bello.	Este tramo es de especial interés, debido a que presenta las condiciones más críticas de calidad del agua, razón por la cual se propone trabajar este tramo con un rango estrecho. Adicionalmente, con la definición de este tramo se pretende a futuro tener un referente que permita evaluar el impacto que se genera una vez entre en operación la PTAR de Bello y se realicen las obras de saneamiento sobre algunas quebradas ubicadas en dicha zona como lo son: La Rosa, La Herrera, Cañada Negra. La García, La Madera.
6	Ancón Norte – Papelsa	Municipios de Copacabana, Girardota y Barbosa, poblaciones de crecimiento lento, alojan un pequeño grupo de industrias importantes. Existen áreas extensas dedicadas a la agricultura y la ganadería. Con reservas para el crecimiento Metropolitano.	Con la propuesta de este tramo se pretende analizar el cambio de las condiciones de calidad de agua una vez el río inicia a cruzar zonas menos urbanas y con usos diferentes al tramo anterior. Adicionalmente, es de especial interés porque en este transepto el río recibe las aguas de los excedentes de Tasajera, que favorecen la capacidad de dilución..
7	Papelsa – Puente Gabino	Población rural dispersa, bajo asentamiento industrial, predominan uso agrícola y pecuario. Pendientes del cauce que propician reaireación (especialmente entre estaciones Popalito y Pradera). Cerca al cierre de la cuenca se presentan entradas de quebradas de calidad de agua aceptable (La Santiago).	Este tramo se plantea desde la Estación Papelsa hasta la estación Puente Gabino, debido a que a partir de Papelsa se da un cambio significativo de las actividades socioeconómicas, se dejan las actividades industriales para dar paso al desarrollo de actividades tendientes a la agricultura, ganadería y minería en ciertos sectores, se abre lugar a un sector más rural, con poca densificación urbana y con condiciones de calidad del agua más favorables que en los tramos centrales. Adicionalmente las condiciones hidráulicas del río cambian, lo que favorece la re-aireación y el contacto entre sustancias que facilitan su degradación (oxidación).

6.11 DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL PARA LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Dado que el proceso de modelación de la corriente Aburrá-Medellín se ha llevado a cabo durante las distintas fases de implementación del proyecto RedRío, se hace necesario presentar en este ítem el desarrollo de los diferentes avances que se han tenido en las fases de desarrollo del mismo.

6.11.1 Fase I

En esta fase realizada entre 2004 y 2005, se logró un primer acercamiento a la calidad del agua del río, permitiendo definir una base para la planeación y diseño de la red en su conjunto, lo cual incluye entre otros, el diseño de las campañas apropiadas para la obtención de la información de calidad y sobre todo de los cambios o puntos de inflexión en la calidad a lo largo de la corriente, la búsqueda de equipos de medición en línea, la evaluación del



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



impacto de las industrias y aguas domésticas del valle de Aburrá que se vierten al río, la evaluación del impacto de las obras hidráulicas como resaltos, cambios de sección, cambios de pendiente, ingresos de afluentes, canales entre otros. En el tema de modelación no se lograron avances importantes dado que no se alcanzó un diseño pleno de la red y la información obtenida era insuficiente a la hora de realizar modelaciones con adecuada precisión.

El componente de modelación de la calidad del agua del río Aburrá-Medellín en su primera fase reunió toda la información obtenida en los diferentes monitoreos realizados. Dicha información constaba de datos recolectados en campo a lo largo del río en 10 jornadas diferentes, dividida en los siguientes componentes:

- Localización de los puntos de descarga de contaminantes y demás tributarios.
- Datos geográficos y climatológicos, coordenadas geográficas, altitud, tasas de radiación, luz y calor, corrección de temperatura.
- Características hidráulicas.
- Parámetros de simulación de la calidad del agua

6.11.2 Fase II

El principal componente de la modelación de calidad de agua en la Fase II fue la obtención del comportamiento de algunas variables que explican fenómenos como los procesos de autodepuración de la corriente, los cuales se pronostican en la medida en que se conozcan las cinéticas y tasas de cambio dentro de la corriente, las cuales dependen de diferentes factores asociados a condiciones naturales, ambientales, antrópicas y las propias del río.

Con el fin de conocer y entender la cinética propia del río Aburrá – Medellín se tuvieron para la Fase II los siguientes alcances:

- Se identificaron y exploraron comportamientos de la calidad del agua a partir del estudio de las constantes biocinéticas propias del río, inicialmente, en los tramos predominantes, con base en grandes descargas, condiciones climáticas y demás aspectos que influyen en los cambios en la dinámica de la corriente.
- La información obtenida se utilizó para complementar el modelo de simulación QUAL2K (Q2k) desarrollado por la EPA, con datos reales considerando la utilización de las constantes biocinéticas, dentro de las cuales se consideraron: reaireación (reacción), desoxigenación y sedimentación, fotosíntesis-respiración y demanda béntica; además de otras constantes relacionadas con la hidráulica como por ejemplo la constante de dispersión longitudinal.



- Se propuso una metodología de investigación y aplicación de dichas constantes en función del modelo propuesto, en períodos de invierno y verano (previa discusión) para los siguientes tramos:
 - Alto de San Miguel-Ancón Sur
 - Ancón Sur-Ancón Norte
 - Ancón Norte-Puente Gabino

Se realizó una modelación utilizando el modelo Q2k con la información del día 11 de marzo de 2006. Ese día estuvo influenciado por niveles bajos de caudales, altas concentraciones de contaminantes y un flujo estable a lo largo de la corriente. En esta ocasión, se obtuvieron ajustes adecuados entre la curva obtenida para cada parámetro medido y la predicción del modelo, encontrándose los mejores ajustes para las variables: oxígeno, DBO rápida, conductividad eléctrica, pH y caudal. Además, se llevó a cabo una investigación acerca de las constantes biocinéticas propias del río en la que se encontraron por tramos, la constante de desoxigenación de la DBO carbonácea, la constante de hidrólisis de la DBO y la constante de reacción de la DBO nitrogenacea sea (k_1 , k_h y k_N), el coeficiente de dispersión longitudinal (EL), y las longitudes de mezcla (L_m), todas halladas en diferentes tramos (San Miguel - Ancón Sur, Ancón Sur - Ancón Norte y Ancón Norte - Puente Gabino).

6.11.3 Fase III

Esta Fase fue realizada entre 2010 y 2011 y se avanzó en la utilización de un modelo de calidad, capaz de auto calibrar las constantes biocinéticas e hidráulicas más importantes, la consecución de un mayor volumen de datos, la disminución del error en la toma de los mismos y determinación en laboratorio de nuevos parámetros. Todo esto permitió llegar a un modelo calibrado para condiciones de flujo estable y niveles bajos de caudal simulando las condiciones más críticas del río con un ajuste adecuado en curvas como el oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO rápida, nitrógeno, fósforo y pH. Así mismo, variables hidráulicas como el caudal, la velocidad y la profundidad.

Se implementó el programa Q2Kw (Chapra y Pelletier, 2003) en el río Aburrá - Medellín, en el tramo comprendido entre la estación de monitoreo San Miguel y la estación Puente Gabino.

Para realizar la calibración y verificación de un modelo de simulación, fue necesario contar con un grupo de datos en las fronteras de este, que permita realizar las simulaciones hasta lograr reproducir con precisión los registros observados en campo en diferentes estaciones, mediante el ajuste de los parámetros físicos y numéricos del modelo. Por esta razón, la recolección de datos de la corriente resulta fundamental, ya que todos los resultados producidos por el modelo están basados en los datos de entrada de las fronteras.

Con el objetivo de realizar la calibración y verificación del modelo Q2Kw del río Aburrá - Medellín, se diseñó una base de datos con la información registrada de tal manera que se



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



calibró considerando dos escenarios periodo seco y lluvioso esperando aumentar la representatividad del modelo.

El modelo calibrado proporcionó un ajuste óptimo global de los datos medidos, puesto que a la vez que se calibra con los datos de una campaña, permite verificar esa información con datos de otra campaña con condiciones climáticas diferentes. Se definió utilizando el Q2Kw que se tomarían dos campañas para la calibración, una de caudales bajos a la cual se le dio un peso dentro de la calibración del 80% y una campaña de caudales altos a la cual se le dio una relevancia del 20% verificando en simultaneo, la calibración que entregaba el modelo.

En resumen, en la Fase III de RedRío se realizó la calibración y verificación del modelo de simulación y se establecieron 14 escenarios bajo diversas alternativas de saneamiento sobre el río y sus tributarios, lo cual sirvió de apoyo para proponer los objetivos de calidad del río Aburrá - Medellín.

6.11.4 Protocolo de modelación

Tal y como se manifestó anteriormente, durante las diferentes fases del proyecto RedRío, se implementaron los modelos Q2k y Q2w razón por la cual se describirán la información relacionada con estos dos modelos.

En las fases iniciales de RedRío el modelo que se adoptó fue el Q2k, protocolo de modelación de la calidad del agua del río Aburrá - Medellín, que se basó en el protocolo propuesto por Camacho y Díaz (2003), tal y como se presenta en la Figura 23 los cuales plantearon una modificación del marco de modelación general propuesto por Rientjes y Boekelman (1998).

El proceso comenzó con la selección del modelo de calidad de agua, lo que implicó observar las características de la corriente estudiada, las capacidades del modelo a implementar y las propiedades del programa en sí; con el fin de seleccionar el modelo que mejor se adapte a estas restricciones. En este caso el modelo a seleccionar debía:

- representar los fenómenos de transporte propios de un río de montaña ante escenarios de carga altos,
- tener una representación matemática de los procesos físico-químicos y las interacciones agua-sedimentos,
- estar acorde con la capacidad técnica y económica disponible para la consecución de los datos de entrada del mismo (calidad de agua y caudales).

Considerando estas condiciones y dado que el principal objetivo del modelo se centró en apoyar las tareas asociadas a la definición de objetivos de calidad, se planteó la implementación del Q2k (Chapra y Pelletier, 2003).

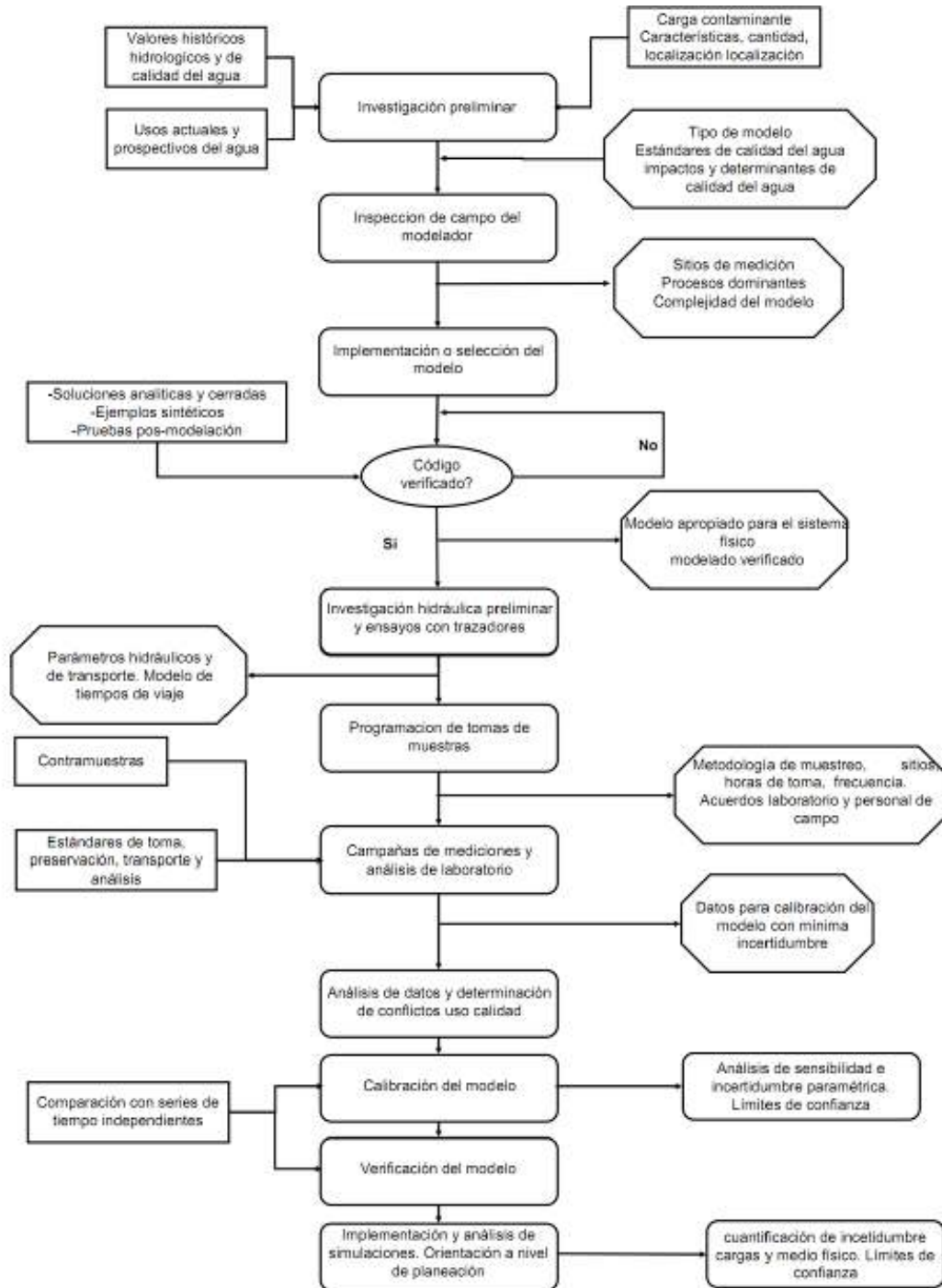


Figura 23. Protocolo de modelación Camacho y Díaz (2003).



En las fases III, IV y V se ha utilizado el modelo Q2Kw (Chapra, Pelletier y Tao, 2008), el cual es una versión nueva que incluye características que facilitaron su calibración entre campañas y el análisis de sensibilidad. Una vez seleccionado el modelo se programaron las campañas de muestreo necesarias para la calibración, proceso en el cual se determinaron las velocidades de los procesos que no puedan ser determinadas directamente.

6.11.5 Forma en que opera el Q2Kw

El modelo Q2Kw es una versión nueva del modelo Q2K y ambos permiten evaluar la capacidad asimilativa de agua residual de un sistema de corrientes mediante la simulación de varios constituyentes de calidad del agua en el sistema, utilizando una solución en diferencias finitas de las ecuaciones de advección-dispersión y de reacción.

Conceptualmente el río se divide en tramos y cada uno de ellos se divide en una sucesión de pequeños subtramos o elementos computacionales y para cada elemento se realiza un balance hidrológico en términos del caudal, un balance térmico en términos de la temperatura, y un balance de masa en términos de concentración de cada constituyente.

En cada elemento puede haber ganancia o pérdida de masa debido a procesos de transporte (advección y dispersión), fuentes o sumideros externos (captaciones, vertimientos, entre otros) o por fuentes y sumideros internos (demanda béntica, transformaciones bioquímicas, entre otros).

Las ecuaciones de balance resultante se resuelven en estado estable para el caso de flujo permanente, con un método de diferencias finitas implícito y en una dimensión. Los resultados finales se traducen en curvas que muestran la variación de los parámetros modelados a lo largo de la corriente.

El programa Q2Kw incluye los siguientes nuevos elementos:

- Entorno de software y la interfaz Q2Kw se lleva a cabo dentro del Microsoft Excel / VBA.
- Se programa en el idioma de Windows macro: para Aplicaciones Visual Basic (VBA), y Excel se utiliza como la interfaz gráfica de usuario.
- Anoxia: Q2Kw simula anoxia mediante la reducción de las reacciones de oxidación a niveles bajos de oxígeno. Además, la desnitrificación también se modela.
- La eliminación de patógenos: Este indicador se determina en función de la temperatura, la luz y la solución o medio de reacción.
- Interacciones agua - sedimentos: Sedimentos y flujos de agua, de oxígeno disuelto y los nutrientes son simulados internamente en lugar de ser prescritas. La demanda de oxígeno en sedimentos (SOD) y los flujos de nutrientes se simulan en función de la solución de partículas de materia orgánica, reacciones de diagénesis dentro de los sedimentos y las concentraciones de las formas solubles en las aguas supra yacentes.

- Calibración automática: La diferencia más relevante, la cual consiste en un algoritmo genético que se incluye para determinar los valores óptimos de los parámetros cinéticos, para optimizar la tasa de ajuste del modelo en comparación con los datos observados. XQ2Kw tiene la capacidad para calibrar automáticamente los parámetros de tipo seleccionado. El usuario tiene la opción de especificar los valores para cada tipo de parámetro que se utilizarán, o seleccionar para auto-calibrar.

Antes de la calibración automática, se debió introducir una fórmula en la celda G3 de la hoja de valores "Rates" que calcula la bondad del ajuste de los resultados del modelo en comparación con los datos medidos. El usuario puede introducir cualquier fórmula, siempre que el incremento del valor resultante mejore el ajuste de la calibración.

6.11.6 Topología del modelo

La topología o esquematización de un modelo matemático de simulación corresponde a la representación de las características del sistema que se requiere modelar. En el caso de la modelación en corrientes superficiales dicha representación se refiere a las características hidrogeométricas y la definición de las fronteras del modelo (fronteras internas y externas). Las fronteras externas corresponden a las estaciones de monitoreo ubicadas aguas arriba y aguas abajo del tramo en estudio. Las fronteras internas corresponden a los ríos tributarios, las extracciones y los vertimientos para los cuales se dispone de información de caudales y calidad del agua.

QUAL2Kw
Stream Water Quality Model
Aburra (3/23/2010)
Reach Data:

Run Fortran

Reach Label	Downstream end of reach label	Number	Reach length (km)	Downstream		Elevation		Downstream						
				Latitude	Longitude	Location (km)	Upstream (m)	Downstream (m)	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds
San Miguel		0		6.07	75.63	0.000		1927.000	6.00	4	5	75.00	37	54
Primavera		1	4.75	6.07	75.63	4.749	1927.000	1782.000	6.00	4	5	75.00	37	54
Ancon Sur		2	10.91	6.15	75.63	15.661	1782.000	1611.000	6.00	9	8	75.00	37	51
Antes San Fernando		3	6.46	6.19	75.62	22.123	1611.000	1516.000	6.00	11	12	75.00	37	8
Despues San Fernando		4	1.08	6.19	75.58	23.202	1516.000	1507.000	6.00	11	41	75.00	34	54
Puente Guayaquil		5	4.43	6.23	75.58	27.628	1507.000	1478.000	6.00	14	3	75.00	34	32
Aula Ambiental		6	3.70	6.26	75.57	31.329	1478.000	1461.000	6.00	15	53	75.00	34	19
Puente Acevedo		7	5.22	6.31	75.56	36.547	1461.000	1438.000	6.00	18	36	75.00	33	24
Puente Machado		8	4.30	6.34	75.54	40.846	1438.000	1421.000	6.00	20	9	75.00	32	16
Metromezclas		9	7.72	6.37	75.49	48.563	1421.000	1405.000	6.00	22	16	75.00	29	21
Puente Girardota		10	4.85	6.38	75.45	53.409	1405.000	1349.000	6.00	22	49	75.00	27	7
Parque de Las Aguas		11	5.79	6.41	75.42	59.196	1349.000	1332.000	6.00	24	21	75.00	25	5
Hatillo		12	5.72	6.41	75.39	64.912	1332.000	1334.000	6.00	24	44	75.00	23	36
Papelisa		13	10.17	6.45	75.33	75.086	1334.000	1283.000	6.00	26	46	75.00	19	53
Popalito		14	8.88	6.48	75.28	83.967	1283.000	1236.000	6.00	28	38	75.00	16	46
Pradera		15	6.47	6.52	75.25	90.434	1236.000	1120.000	6.00	31	10	75.00	15	14
EADE		16	7.87	6.56	75.21	98.300	1120.000	1063.000	6.00	33	22	75.00	12	25
Puente Gabino		17	0.89	6.56	75.21	99.186	1063.000	1052.000	6.00	33	34	75.00	12	26

Figura 24. Topología del Modelo



La esquematización del río Aburrá - Medellín corresponde a una red construida entre la abscisa 00.0 Km (San Miguel) al inicio del tramo simulado y la abscisa 99 Km (Puente Gabino) en la salida del tramo de modelación (Figura 24). Se definieron tramos entre estaciones, y para la segmentación interna de los tramos se tuvo en cuenta que las propiedades físicas e hidráulicas (sección transversal, pendiente de la corriente, rugosidad entre otras), químicas y biológicas fuesen estables a lo largo de cada tramo.

6.11.7 Información de entrada del Modelo

La hoja de trabajo Q2K, corresponde a la hoja de control, donde se identifican las características de la corrida Nombre del río: se relaciona el nombre del río para el cual se realiza la modelación.

- Nombre del archivo guardado: corresponde al nombre del archivo de datos que se genera cuando se ejecuta Q2K.
- Directorio en el archivo guardado: éste especifica la ruta completa donde está guardado el archivo, mes, día, año y horario.
- La hora de verano: un menú desplegable que permite especificar si el horario de verano está en vigor (Sí o No).
- Paso de cálculo: éste es el paso de tiempo utilizado para solucionar las ecuaciones diferenciales incluidas en el modelo. Se debe seleccionar de la lista desplegable.
- Número de días: define la duración de la simulación, debe ser un entero mayor o igual a dos días. Esta restricción se impone porque el modelo se ejecuta en un modo de tiempo variable hasta alcanzar un estado estable. Por lo tanto, el primer día de la simulación es, por definición, dominado abrumadoramente por sus condiciones iniciales.
- Si el usuario introduce un valor inferior a dos días, el programa establece automáticamente dos días. El tiempo final debe ser al menos dos veces el tiempo de viaje del río. Para las corrientes con los tiempos de viaje cortos en los que se simulan algas del fondo, debe ser por lo general más largo.
- Método de solución (la integración): un menú desplegable le permite elegir entre tres métodos numéricos para la solución de las ecuaciones diferenciales para los parámetros por simular. Estos son (1) el método de Euler, (2) Runge-Kutta (RK4), y (3) un método de adaptación al paso del tiempo. Las descripciones detalladas de estos métodos se pueden encontrar en Chapra y Canale (2002). El método de Euler, se sugiere por defecto, ya que por lo general obtiene resultados suficientemente precisos, a una tasa de cálculo moderada.

6.11.7.1 Hoja de información inicial o de cabecera (Headwater).

Esta hoja de cálculo se utiliza para ingresar el flujo y la concentración del límite superior o cabecera con información de calidad y cantidad del sistema, en otras palabras es el punto del

río a partir del cual ingresarán todas las cargas puntuales y distribuidas aguas abajo en la corriente (Figura 25).

QUAL2Kw										
Stream Water Quality Model										
Rio Aburra (3/23/2010)										
Headwater and Downstream Boundary Data:										
Headwater Flow	0.221 m3/s									
Prescribed downstream boundary?	No									
Headwater Water Quality	Units	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM
Temperature	C	18.24	19.26	17.92	18.94	17.60	18.62	16.70	16.00	17.1
Conductivity	umhos	30.42	30.82	30.69	31.09	30.96	31.37	33.00	33.60	33.1
Inorganic Solids	mgD/L	2.60	3.27	2.53	3.21	2.47	3.15	2.78	2.78	2.7
Dissolved Oxygen	mg/L	6.96	6.93	7.04	7.01	7.12	7.10	7.59	7.79	7.5
CBODslow	mgO2/L	3.46	6.49	3.19	6.22	2.91	6.94	4.29	4.29	4.2
CBODfast	mgO2/L	0.43	0.49	0.44	0.50	0.44	0.51	0.56	0.61	0.7
Organic Nitrogen	ugN/L	980.00	1605.33	1269.33	1894.67	1558.67	2184.00	3920.00	1350.00	1143.6
NH4-Nitrogen	ugN/L									
NO3-Nitrogen	ugN/L	8.24	9.18	9.18	10.12	10.12	11.06	16.71	7.00	6.7
Organic Phosphorus	ugP/L	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.0
Inorganic Phosphorus (SRP)	ugP/L	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.0
Phytoplankton	ugA/L									
Detritus (POM)	mgD/L									
Pathogen	cfu/100 mL									
Generic constituent	user defined									
Alkalinity	mgCaCO3/L	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0
pH	s.u.	7.17	7.22	7.16	7.21	7.16	7.20	7.16	7.24	7.2
Downstream Boundary Water Quality (optional)	Units	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM
Temperature	C									
Conductivity	umhos									
Inorganic Solids	mgD/L									
Dissolved Oxygen	mg/L									
CBODslow	mgO2/L									
CBODfast	mgO2/L									
Organic Nitrogen	ugN/L									
NH4-Nitrogen	ugN/L									
NO3-Nitrogen	ugN/L									

Figura 25. Hoja de datos de cabecera

6.11.7.2 Hoja de tramos (Reach)

Aguas abajo del punto establecido como cabecera o inicio, el modelo muestra la latitud y longitud de los extremos aguas abajo de cada uno de los tramos establecidos en grados decimales. En esta hoja también deben ser definidos los siguientes parámetros: coeficiente de velocidad, exponente de la velocidad, profundidad y ancho, pendiente del canal en metros de caída por metro de distancia y coeficiente de Manning entre otros.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



6.11.7.3 Hoja de tasas (Rates)

Esta hoja se utiliza para introducir la información relacionada con las constantes de velocidad específica de reacción de los parámetros involucrados en el análisis o en la modelación.

Las tasas de aireación, velocidad de sedimentación de sólidos inorgánicos en suspensión, tasas de DBO carbonácea lenta (CBOD), hidrólisis o tasas de oxidación de DBO carbonácea rápida, hidrólisis del nitrógeno orgánico, nitrificación de amonio, las tasas de nitratos, desnitrificación, las tasas de hidrólisis de fósforo orgánico, tasa máxima de crecimiento, respiración o muerte del fitoplancton, tasas de biomasa inicial, la tasa de crecimiento máxima de primer orden, respiración, excreción y muerte, la velocidad de absorción máxima de nitrógeno, la velocidad de absorción máxima de fósforo, absorción de nitrógeno en la columna de agua y absorción de fósforo en la columna de agua, entre otros.

En ésta hoja, además de realizar los ajustes necesarios y opcionales para la calibración automática, se define los operadores que empleará el modelo en su calibración, las variables que se desean auto calibrar y sus rangos, entre otras opciones de la calibración automática

6.11.7.4 Hoja de cálculo para fuentes fijas o tributarios (Point Sources)

Esta hoja de cálculo se utiliza para introducir la información de fuentes fijas o tributarios relacionados con el eje principal de la corriente (por ejemplo vertimientos directos al río y quebradas afluentes). Para el caso de la modelación del río Aburrá – Medellín se ingresaron las principales quebradas afluentes monitoreadas en el proyecto RedRío Fase III y algunos vertimientos directos como, la descarga de aguas turbinadas de la central hidroeléctrica La Tasajera, la descarga de aguas residuales de los interceptores oriental y occidental, la descarga de las aguas residuales tratadas de San Fernando, la descarga del relleno sanitario “La Pradera”, entre otras.

Se deben ingresar los siguientes campos

- Nombre: etiqueta Especificada por el usuario para identificar la fuente o entrada.
- Ubicación: el kilómetro donde la fuente de punto o la abstracción entra o sale del río.
- Caudal entradas y salidas: una fuente puede ser una entrada (carga o tributario) o una salida (abstracción). Tenga en cuenta que no puede ser ambas cosas. Si hay un flujo de abstracción (es decir, un valor positivo en la columna C), el resto de la información en las columnas D a través de la Z será ignorado.

6.11.8 Información salida del modelo

Una vez que el modelo Q2Kw ha realizado los cálculos necesarios para ejecutar las corridas de simulación (Figura 26), se generan diferentes hojas de cálculo y gráficas con los resultados en el mismo libro de Excel. En las figuras resultantes se pueden comparar las curvas



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



correspondientes al perfil de concentraciones de los diferentes parámetros estimados por el modelo a lo largo del río (línea sólida continua), con los datos medidos en campo en las estaciones de monitoreo (puntos sólidos).

QUAL2Kw Fortran output

Stream Water Quality Model

Rio Aburra (3/23/2010)

Source Summary (Hourly)

Run Fortran

Time	Reach	Downstream	Up Dist	Down Dist	Abstraction	Inflow	Temp	Cond	ISS	Oxygen	CBODs	CBODf	No	NH4	NO3	Po	Inorg P	Phyt
	Label	Label	x(km)	x(km)	cms	cms	C	umhos	mg/DL	mgO2/L	mgO2/L	mgO2/L	ugN/L	ugN/L	ugN/L	ugP/L	ugP/L	ugA/L
3/23/10 12:00 AM		Primavera	0.00	4.75	0.00	0.16	20.00	0.00	30.00	6.00	75.00	0.00	175.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
		Ancon Sur	4.75	15.66	0.00	1.44	19.60	123.37	78.09	6.10	49.18	25.28	1486.93	3513.15	363.00	405.75	594.84	0
		Antes San Fernando	15.66	22.12	0.00	0.61	23.14	290.78	25.13	3.60	60.99	14.66	1556.76	2797.29	991.17	524.77	380.88	0
		Despues San Fernando	22.12	23.20	0.00	1.33	23.68	672.51	76.67	5.61	114.04	69.07	5455.31	20272.30	4465.67	1101.56	1797.51	0
		Puente Guayaquil	23.20	27.63	0.00	0.05	23.01	315.69	6.93	4.66	18.47	10.62	2135.17	2299.66	2579.14	147.76	442.62	0
		Aula Ambiental	27.63	31.33	0.00	0.87	21.75	336.89	398.70	3.74	173.99	57.39	6754.99	10940.63	616.10	1198.40	1666.89	0
		Puente Acevedo	31.33	36.55	0.00	3.10	23.48	655.81	311.62	0.88	282.12	207.83	29012.93	18564.83	435.58	354.92	2267.12	0
		Puente Machado	36.55	40.85	0.00	1.19	24.18	487.16	1067.62	3.04	415.01	136.63	9593.87	11416.88	1653.68	1381.01	1022.71	0
		Metromezclas	40.85	48.56	0.00	0.84	22.50	222.83	115.49	6.94	111.63	40.93	4330.65	1839.12	1335.64	495.35	27.31	0
		Puente Girardota	48.56	53.41	0.00	0.07	20.00	0.00	700.00	5.00	700.00	175.00	24500.00	0.00	0.00	3500.00	0.00	0
		Parque de Las Aguas	53.41	59.20	0.00	0.09	20.00	0.00	700.00	5.00	700.00	175.00	24500.00	0.00	0.00	3500.00	0.00	0
		Hatillo	59.20	64.91	0.00	17.86	20.00	38.02	47.61	6.99	17.96	15.44	6238.08	0.00	150.22	22.77	5.97	0
		Papelsa	64.91	75.09	0.00	0.15	20.00	0.00	700.00	5.00	700.00	175.00	24500.00	0.00	0.00	3500.00	0.00	0
		Popalito	75.09	83.97	0.00	0.25	20.00	216.69	432.75	3.12	442.00	163.86	16092.54	0.00	0.00	1854.24	0.00	0
		Pradera	83.97	90.43	0.00	0.10	20.00	0.00	700.00	5.00	700.00	175.00	24500.00	0.00	0.00	3500.00	0.00	0
		EADE	90.43	98.30	0.00	0.12	20.00	73.32	690.96	4.88	736.66	224.49	24690.14	502.49	7.48	3415.19	61.15	0
	Puente Gabino	98.30	99.19	0.00	15.92	20.32	64.27	59.68	6.86	11.42	10.41	5314.82	0.00	150.81	8.92	6.00	0	
3/23/10 1:00 AM		Primavera	0.00	4.75	0.00	0.16	20.00	0.00	30.00	6.00	75.00	0.00	175.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
		Ancon Sur	4.75	15.66	0.00	1.44	19.60	123.37	78.09	6.10	49.18	25.28	1486.93	3513.15	363.00	405.75	594.84	0
		Antes San Fernando	15.66	22.12	0.00	0.61	23.14	290.78	25.13	3.60	60.99	14.66	1556.76	2797.29	991.17	524.77	380.88	0
		Despues San Fernando	22.12	23.20	0.00	1.33	23.68	672.51	76.67	5.61	114.04	69.07	5455.31	20272.30	4465.67	1101.56	1797.51	0
		Puente Guayaquil	23.20	27.63	0.00	0.05	23.01	315.69	6.93	4.66	18.47	10.62	2135.17	2299.66	2579.14	147.76	442.62	0
		Aula Ambiental	27.63	31.33	0.00	0.87	21.75	336.89	398.70	3.74	173.99	57.39	6754.99	10940.63	616.10	1198.40	1666.89	0
		Puente Acevedo	31.33	36.55	0.00	3.10	23.48	655.81	311.62	0.88	282.12	207.83	29012.93	18564.83	435.58	354.92	2267.12	0
		Puente Machado	36.55	40.85	0.00	1.19	24.18	487.16	1067.62	3.04	415.01	136.63	9593.87	11416.88	1653.68	1381.01	1022.71	0
		Metromezclas	40.85	48.56	0.00	0.84	22.50	222.83	115.49	6.94	111.63	40.93	4330.65	1839.12	1335.64	495.35	27.31	0

WQ Data (1) WQ Data Min (1) WQ Data Max (1) Diel Data (1) Source Summary (1) Hydraulics Summary (1) Temperature Output (1) WQ Output (1) WQ Output (brwmp) WQ Min (1) WQ

Figura 26. Sumario de la información de salida del modelo



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Las hojas de cálculo color verde entregan los datos tabulados del modelo y a su vez las hojas de cálculo color rosado entregan los mismos datos en forma gráfica donde se muestra en la abscisa horizontal, la longitud del río y en la abscisa vertical los datos del constituyente.

6.11.9 Ajuste del modelo de simulación obtenido en fase III

En este escenario se tomó la modelación realizada en la Fase III y se ajustó con información de niveles bajos de otras campañas realizadas dentro de la red de monitoreo para obtener un mejor ajuste entre las curvas del modelo y la de datos recolectados en campo. Se incluyó la información de la Fase III y la utilizada en las fases anteriores.

6.11.9.1 Información utilizada por el modelo

Para realizar la calibración y verificación de un modelo de simulación, es necesario contar con un conjunto de datos en las fronteras de éste, que permita realizar las simulaciones, hasta lograr reproducir con precisión las series de datos observados en campo en diferentes estaciones, mediante el ajuste de los parámetros físicos del modelo. Por esta razón, la recolección de datos de la corriente resulta fundamental, ya que todos los resultados reproducidos por el modelo están basados en los datos de entrada de las fronteras.

Con el objetivo de realizar la calibración y verificación del modelo Q2Kw del río Aburrá - Medellín, se construyó una base de datos con la información registrada en las quince (15) campañas de monitoreo realizadas durante el 2010, de las cuales se utilizaron dos campañas de caudales bajos: 23 y 17 de marzo de 2010.

Además para la fase IV, se realizó una clasificación hidráulica de caudales bajos, medios y altos a través de la curva de duración de caudales realizada por los técnicos de la Universidad Nacional la cual arrojó para un periodo de estudio desde que comenzó la red hasta el presente (2004 – 2012) una curva para cada estación, la cual clasifica los niveles bajos, medios y altos de acuerdo al caudal.

Con la información anterior, se clasificaron los datos de calidad encontrados en todas las Fases de acuerdo con el nivel de caudal y se utilizaron en el modelo con el fin de refinar la matriz de datos del modelo generado en la Fase III. Fue así, como se obtuvo un modelo generado con un monitoreo clasificado como de niveles bajos de la Fase III y reforzado con información de niveles bajos de las demás Fases, el cual mostró mejores ajustes de las curvas de oxígeno y DBO5 en algunos sectores del río.

6.11.9.2 Modelo de clasificación de caudales

Utilizando los registros históricos de aforos en las anteriores fases del proyecto, se le ajusta una función de distribución de probabilidad (fdp) en cada una de las estaciones de medición, de esta manera se pueden determinar caudales para distintas probabilidades de excedencia y se podrán definir los límites que delimitan los caudales como altos medios y bajos.

Teniendo en cuenta los resultados de ajuste de las fdp, se definieron los caudales correspondientes a las probabilidades de excedencia del 33% y el 66%, los cuales definen los límites de régimen de aguas bajas, medias y altas. Se considera que aquellos datos de caudal inferiores al correspondiente a una probabilidad de 33% serán considerados como régimen de aguas bajas, aquellos superiores al correspondiente a una probabilidad del 66% serán considerados como régimen de aguas altas y aquellos entre estos dos valores serán considerados como régimen de aguas medias.

En la Tabla 22 se presenta para cada estación el rango de caudales para cada régimen de aguas.

Tabla 22. Rango de caudales para cada régimen y estación de medición

ESTACIÓN	RÉGIMEN AGUAS BAJAS	RÉGIMEN AGUAS MEDIAS	RÉGIMEN AGUAS ALTAS
San Miguel (E1)	$Q < 0.44 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.44 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 0.67 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 0.67 \text{ m}^3/\text{s}$
Primavera (E2)	$Q < 1.47 \text{ m}^3/\text{s}$	$1.47 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 1.96 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 1.96 \text{ m}^3/\text{s}$
Ancón Sur (E3)	$Q < 3.79 \text{ m}^3/\text{s}$	$3.79 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 6.22 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 6.22 \text{ m}^3/\text{s}$
Antes de San Fernando (E5)	$Q < 5.60 \text{ m}^3/\text{s}$	$5.60 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 8.96 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 8.96 \text{ m}^3/\text{s}$
Después de San Fernando (E6)	$Q < 8.17 \text{ m}^3/\text{s}$	$8.17 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 11.64 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 11.64 \text{ m}^3/\text{s}$
Puente de Guayaquil (E7)	$Q < 7.68 \text{ m}^3/\text{s}$	$7.68 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 9.68 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 9.68 \text{ m}^3/\text{s}$
Aula Ambiental (E8)	$Q < 12.11 \text{ m}^3/\text{s}$	$12.11 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 16.70 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 16.70 \text{ m}^3/\text{s}$
Puente Acevedo (E9)	$Q < 14.87 \text{ m}^3/\text{s}$	$14.87 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 21.70 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 21.70 \text{ m}^3/\text{s}$
Puente Machado (E11)	$Q < 16.51 \text{ m}^3/\text{s}$	$16.51 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 25.88 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 25.88 \text{ m}^3/\text{s}$
Ancón Norte (E12)	$Q < 20.09 \text{ m}^3/\text{s}$	$20.09 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 27.29 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 27.29 \text{ m}^3/\text{s}$
Girardota (E13)	$Q < 29.06 \text{ m}^3/\text{s}$	$29.06 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 41.62 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 41.62 \text{ m}^3/\text{s}$
Papelsa (E16)	$Q < 33.83 \text{ m}^3/\text{s}$	$33.83 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 50.13 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 50.13 \text{ m}^3/\text{s}$

6.11.10 Información de cargas puntuales y dispersas

Las cargas puntuales corresponden a los vertimientos de aguas residuales o industriales y a los ríos o quebradas tributarias que descargan de manera puntual a la corriente en estudio. Esta información involucra la abscisa del lugar o el kilómetro, medido desde la cabecera, donde ocurre el vertimiento o captación de agua, al igual que las características de calidad y cantidad de agua. En el modelo estos valores se ingresan en la hoja de cálculo y son llamados “Point Sources”, como se observa en la Figura 27.

La información que se encuentra registrada en la Figura 27, fue levantada en los monitoreos de 2010 y 2011, correspondiente a las quebradas tributarias más importantes sobre el río Aburrá Medellín. Estas entradas de caudal fueron escogidas de acuerdo con dos criterios principales; el grado de contaminación y la cantidad de agua que transporta, todo ello relacionado a las cuencas adyacentes, red de drenaje y descargas o vertimientos sobre cada uno de los tramos del río. Para el caso de la modelación del río Aburrá – Medellín, se

ingresaron las principales quebradas afluentes monitoreadas en el proyecto RedRío Fase III y algunos vertimientos directos como la descarga de aguas turbinadas de la central hidroeléctrica La Tasajera, la descarga de aguas residuales de los interceptores oriental y occidental, la descargas de aguas residuales tratadas de la PTAR San Fernando, la descarga del relleno sanitario “Pradera”, entre otras.

Stream Water Quality Model
Río Aburrá (7/1/2015)
Point Source Data:

Run Fortran

Name	Location (km)	Point		Temperature			Specific Conductance			Inorganic
		Abstraction m ³ /s	Point m ³ /s	mean °C	range/2 °C	time of max	mean umhos	range/2 umhos	time of max	
Polanco Ltda	9.900		0.00	20.00						54.00
Nancy de Jesús	14.632		0.00	20.00						11.00
Descarga San Fernando	23.000		1.25	27.50			1,031.00			101.00
Interceptor Oriental	33.000		1.40	23.97			738.00			248.00
Interceptor Occidental	33.100		1.17	23.97			1,142.79			374.02
SOCLA	38.000		0.00	20.00						293.00
ALMACAFÉ (ARE)	38.500		0.00	20.00						6.00
ALMACAFÉ (ARE)	38.500		0.00	20.00						16.00
PTAR Bello	41.273									70.00
CALARCOL	45.000		0.00	20.00						11.00
PETROQUÍMICOS S.A	45.000		0.00	20.00						50.00
PELES S.A.S.	45.000		0.02	20.00						106.00
INVATAM (Inversiones Arango Tamayo y Cia LTDA)	45.000		0.00	20.00						683.00
CANTERA LAGOS - Planta de beneficio y acople de	46.000		0.00	20.00						896.50
PURO CUERO (C/L CUEROS Y DISEÑO PURO CUERO)	46.000		0.00	20.00						159.30
Pavimentar S.A.	50.581		0.02	20.00						2,276.00
YAMAHA S.A.	51.571		0.00	20.00						49.30
AGREGADOS GARANTIZADOS DEL NORTE	54.000		0.00	20.00						112.88
COLCERÁMICA	55.000		0.00	20.00						26.40
PIGMENTOS Y PRODUCTOS QUÍMICOS S.A (HUBBOL	56.000		0.01	20.00						81.00
INTERQUIM S.A ARZO NOBEL	56.000		0.00	20.00						29.00
BODEGAS FAMILIA SANCELA	56.000		0.00	20.00						77.50
ABIVÁ (Parque de las aguas)	59.225		0.00	20.00						29.00
Descarga Tasajera	59.273		7.70	22.90			49.40			7.70
TAN EMAC MOB	75.000		0.00	20.00						8.20
COLOMBIANA DE KIMBERLY	75.300		0.07	20.00						62.00
PLANTA DE BENEFICIO BARBOSA	75.500		0.00	20.00						89.70
Pradera	90.636		0.00	20.00						330.00

Figura 27. Hoja de cargas puntuales con la información de las empresas que descargan al río (base de datos AMVA)

6.11.11 Cargas difusas

En el proyecto RedRío Fase III, se aforaron y midieron parámetros de calidad fisicoquímica y biológica en la desembocadura de las principales quebradas tributarias y efluentes del tratamiento de aguas residuales (descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando) que llegan al río Aburrá Medellín. De igual manera, se realizaron aforos y muestreos para determinar la calidad del agua en las estaciones a lo largo de la corriente. Sin embargo, existen vertimientos distribuidos o descargas dispersas de difícil identificación y caracterización, que afectan significativamente la calidad y cantidad del agua. Las principales descargas distribuidas corresponden a tributarios no monitoreados.

Los parámetros fisicoquímicos correspondientes a las cargas dispersas se estimaron a partir de un balance de caudales y cargas en los diferentes tramos en estudio. Adicionalmente, se



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



empleó la información de cargas contaminantes y caracterización de vertimientos industriales reportadas en los muestreos históricos registrados por la autoridad ambiental, en este caso el AMVA y los rangos de caracterización típica de aguas residuales domésticas reportada por la experiencia en el río Aburrá- Medellín.

6.11.12 Datos hidráulicos – componente de modelación-

En el caso del río Aburrá - Medellín, el componente hidráulico se trabajó con las ecuaciones de Manning en cada tramo para las diferentes secciones transversales de aforo.

6.11.13 Datos climatológicos

En el modelo los datos climatológicos (temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, velocidad del viento, nubosidad y sombra) de los tramos en estudio, se introducen en las hojas “Air Temperature”, “Dew Point Temperature”, “WindSpeed”, “Cloud Cover” y “Shade”. Esta información junto con la temperatura del agua del río y de los tributarios, permite realizar un balance de energía térmica para el cálculo de la temperatura del agua cauce principal, proceso que influencia los valores de las constantes cinéticas o tasas de reacción o degradación (generalmente estas constantes se reportan a 20° C).

En el Anexo 16 se presenta los resultados de la calibración del modelo del río Aburrá – Medellín.

6.12 DISEÑO Y EJECUCIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO

Para el AMVA, CORANTIOQUIA y CORNARE, es fundamental como Autoridades Ambientales velar por la recuperación y protección de la principal fuente hídrica, articuladora de la Región Metropolitana, el río Aburrá – Medellín, para tal fin es clave disponer de información periódica que dé cuenta de su estado, mediante el monitoreo y seguimiento de los parámetros físico-químicos y biológicos, considerando variables hidrogeológicas, hidráulicas, antrópicas, geomorfológicas, biocinéticas y físico espaciales, hidrobiológicas y microbiológicas.

A través de las diferentes fases de RedRío se han llevado a cabo varias campañas de monitoreo tanto del río Aburrá – Medellín como de sus quebradas afluentes y algunas descargas directas, donde los objetivos y los puntos de monitoreo en cada una de ellas fue cambiando de acuerdo con las necesidades de información, es así que se precisó la localización de estaciones representativas en cada uno de los tramos a monitorear, se seleccionaron puntos específicos para las diferentes mediciones, se construyó la metodología para la recolección de las muestras en campo y se definieron las determinaciones analíticas a efectuar in situ y en laboratorio; así como la cantidad de parámetros a medir. Cabe destacar que las muestras fueron procesadas y analizadas en laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad de Medellín y de la Universidad de Antioquia, acreditados por el IDEAM tal y como lo estipula la normatividad vigente.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Otro aspecto que se tuvo presente dentro del plan de monitoreo fue la determinación y obtención de la información necesaria e importante para la modelación de la calidad del río Aburrá – Medellín, además de la obtención de información relacionada con el comportamiento de variables que explican fenómenos como los procesos de autodepuración de la corriente, los cuales se pueden pronosticar en la medida en que se conozcan las cinéticas y tasas de cambio dentro de la fuente, las cuales dependen de diferentes factores, entre los cuales se encuentran los asociados a condiciones naturales, ambientales, antrópicas y las propias del río.

La información obtenida sirvió para alimentar el modelo de simulación Q2K; donde se consideró además de la utilización de las “constantes biocinéticas”, como son reaireación (reacción), desoxigenación y sedimentación, fotosíntesis-respiración y demanda béntica; otras constantes, aquellas relacionadas con la hidráulica, como la constante de dispersión longitudinal.

Es por esto que al año 2015 se continuo con la ejecución de la red de monitoreo ambiental de la cuenca hidrográfica del río Aburrá Medellín, RedRío en su Fase V, la cual inició en el segundo semestre del 2014, con que se pretendía continuar recopilando información para su consolidación, los cuales deben persistir para el seguimiento del recurso y la determinación de los indicadores de calidad del agua establecidos en la Resolución Metropolitana 2016 de 2012, los ajuste del modelo de simulación (Q2K) y la socialización de los objetivos de calidad propuestos con los diferentes actores involucrados con el recurso hídrico.

6.12.1 Monitoreo de objetivos de calidad

Se definió la ejecución de una campaña de objetivos de calidad por semestre, para generar los insumos necesarios que le permita a las Autoridades Ambientales realizar el seguimiento al cumplimiento de los objetivos de calidad en sus respectivas jurisdicciones.

Se deben hacer las mediciones en diez (10) estaciones fijas (punto de apertura y cierre de cada uno de los tramos definidos en el PORH y otras que sean solicitadas para el seguimiento al proceso de metas de reducción de cargas contaminantes), mediante la determinación de variables fisicoquímicas en el agua en cada una de las estaciones definidas.

Los muestreos de este tipo tienen una duración de 12 horas continuas en las estaciones establecidas para cada tramo, se debe componer una muestra con alícuotas tomadas cada hora, a la que se le midieron las variables objeto de cumplimiento para los objetivos de calidad (Tabla 23), sumado a las sustancias de interés sanitario: cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel y plomo o aquellas que consideren pertinente por parte de CORANTIOQUIA, AMVA y CORNARE.

Durante cada hora se debe medir in situ la temperatura del agua, pH, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica, además de potencial de óxido reducción y turbiedad donde se contó con equipos multiparamétrico IQ Net, donde cada uno de estos cuenta con 5 sondas, donde

cada sonda se encarga de medir la conductividad, oxígeno disuelto, pH, potencial Redox y la turbiedad.

Tabla 23. Parámetros de monitoreo para el seguimiento de los objetivos de calidad

PARÁMETRO	UNIDAD
pH	U de pH
Temperatura del Agua	°C
Conductividad eléctrica	μS/cm
OD	mg/L
SST	mg/L
DBO ₅	mg/L
DQO	mg/L
Coliformes totales	NMP
Coliformes fecales	NMP
Grasas y Aceites	mg/L
Color verdadero	Pt -Co
Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/L
Nitrógeno Total (NTK)	mg/L
Fósforo T	mg/L
Olor	Ausente
BMWP-COL	BMWP-Col

6.12.2 Monitoreo de muestra compuesta

La Campaña de Muestra compuesta se debe realizar dos (2) veces por semestre, para continuar con el seguimiento a la calidad de agua del río Aburrá – Medellín y sus quebradas afluentes en diferentes periodos climáticos, mediante la medición de las variables que hacen parte de la ecuación para el cálculo de los índices de calidad aplicados en el proyecto RedRío (ICACOSU e ICA-global), lo que permitió comparar las condiciones de calidad en diferentes años.

Para el cumplimiento de este propósito se deben monitorear las estaciones sobre el eje del río Aburrá – Medellín, y en los afluentes, de acuerdo con las necesidades del CORNARE, CORANTIOQUIA y el AMVA.

Se debe componer una muestra con toma de alícuota cada hora, para realizar el respectivo análisis en laboratorio de los parámetros especificados en la Tabla 24.

Tabla 24. Parámetros a medir en las campañas denominadas compuestas

PARÁMETRO	UNIDAD
DBO5	mg/L
pH	U de pH
Temperatura del Agua	°C
Conductividad eléctrica	μS/cm
OD	mg/L
Sólidos Totales	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
Sólidos Sedimentables	mg/L
Sólidos volátiles Totales	mg/L
DQO	mg/L
DBO5	mg/L
Nitrógeno Total (NTK)	mg/L
Nitrógeno Orgánico	mg/L
Nitratos	mg/L N – NO3
Nitritos	mg/L N – NO2
Fosfatos	mg/L
Fósforo T	mg/L
Fósforo Orgánico	mg/L
Coliformes fecales y totales	NMP

6.12.3 Monitoreo de calidad en quebradas

El monitoreo de calidad en quebradas se deberá realizar una por cada semestre, para continuar evaluando el estado de calidad de las mismas. Los muestreos se desarrollaron en un total de 14 quebradas, de las cuales once (11) se monitorearon en cada campaña, correspondientes a Doña María (E4), Altavista (Q8), La Picacha (Q20), La Hueso (Q8), La Iguaña (Q11), Santa Elena (Q10), La Rosa (Q12), La Madera (Q13), El Hato (Q14), La García (E10) y La Señorita (Q17); mientras que las 3 restantes variaran en cada jornada, acorde a las necesidades de información de las Autoridades Ambientales.

Las alícuotas se deben tomar cada hora para la composición de una muestra compuesta a la cual se le medirá los parámetros listados en la Tabla 25, además de las variables de campo antes mencionadas.

Tabla 25. Parámetros a monitorear en las campañas denominadas quebradas

PARÁMETRO	UNIDAD
pH	U de pH
Temperatura del Agua	°C
Conductividad	μS/cm
OD	mg/L
Sólidos Totales	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
Sólidos Sedimentables	mg/L
Sólidos volátiles Totales	mg/L
DQO	mg/L
DBO5	mg/L
Nitrógeno Total (NTK)	mg/L
Nitrógeno Orgánico	mg/L
Nitratos	mg/L N – NO ₃
Nitritos	mg/L N – NO ₂
Fosfatos	mg/L
Fósforo T	mg/L
Fósforo Orgánico	mg/L

En la Tabla 26, se resume el tipo de muestreo, los parámetros medidos en cada uno así como las estaciones medidas y la duración de cada monitoreo realizado.

Tabla 26. Resumen de trabajo de campo

TIPO DE CAMPAÑA	TIPO DE MUESTREO	PARÁMETROS	ESTACIONES	DURACIÓN
Objetivos de Calidad	Manual	pH , Temperatura del agua, Conductividad, OD, SST, DQO, DBO5, Coliformes totales y fecales, Grasas y aceites, Color verdadero, SAAM, Nitrógeno Total – NTK, Fósforo Total, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel , Plomo	10 (San Miguel, Primavera, Ancón Sur, Antes de San Fernando, Después de San Fernando, Aula Ambiental, Niquía, Ancón Norte, Papelsa, Puente Gabino)	12 horas
Compuesta	Manual	pH , Temperatura del agua, Conductividad, OD, ST, SST, Sólidos Sedimentables, Sólidos volátiles Totale, DQO, DBO5, Nitrógeno Total – NTK, Nitrógeno org, Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Fósforo Total, Fósforo org, Coliformes totales y fecales.	12 (San Miguel, Ancón Sur, Antes de San Fernando, Después de San Fernando, Aula Ambiental, Puente Acevedo, Niquía, Puente Machado, Ancón Norte, Puente Gabino) y dos quebradas a precisar por parte de AMVA.	12 horas
Quebradas	Manual	PH, TEMPERATURA DEL AGUA, CONDUCTIVIDAD, OD, ST, SST, SÓLIDOS SEDIMENTABLES, SÓLIDOS VOLÁTILES Y FIJOS, DQO, DBO5, NITRÓGENO TOTAL – NTK, NITRÓGENO ORG, NITRATOS, NITRITOS, FOSFATOS, Fósforo Total, Fósforo org.	14 (Doña María, Altavista, La Picacha, La Hueso, La Iguaná, Santa Elena, La Rosa, La Madera, El Hato, La García y La Señorita; las otras tres Se precisarán con el grupo coordinador del Área Metropolitana del Valle de Aburrá)	10 horas

Para continuar con la actividad de monitoreo al río Aburrá – Medellín se definieron tres (3) estaciones automáticas para San Miguel, Ancón Sur y Aula Ambiental, cuya información será capturada por medio de equipos automáticos donde la lectura se hace periódica.

6.13 DETERMINACIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES

La estimación de la carga contaminante sobre fuentes superficiales, permite tener información más precisa sobre la contaminación presente en un cuerpo de agua en términos de cantidad. En la Red de Monitoreo Ambiental del recurso hídrico del valle de Aburrá, RedRío, la carga se calcula en Toneladas producidas por día, tanto en el cauce principal como en los principales tributarios y vertimientos, permitiendo tener un indicio más certero sobre la afectación real de las fuentes.

Desde la Figura 28 hasta la Figura 33 están representadas las cargas contaminantes semestrales de los parámetros DBO₅, DQO, NTK Ptotal y SST, sobre el río Aburrá – Medellín y sus principales quebradas afluentes durante las fases IV y V del proyecto RedRío, ejecutadas entre 2012 y 2015.

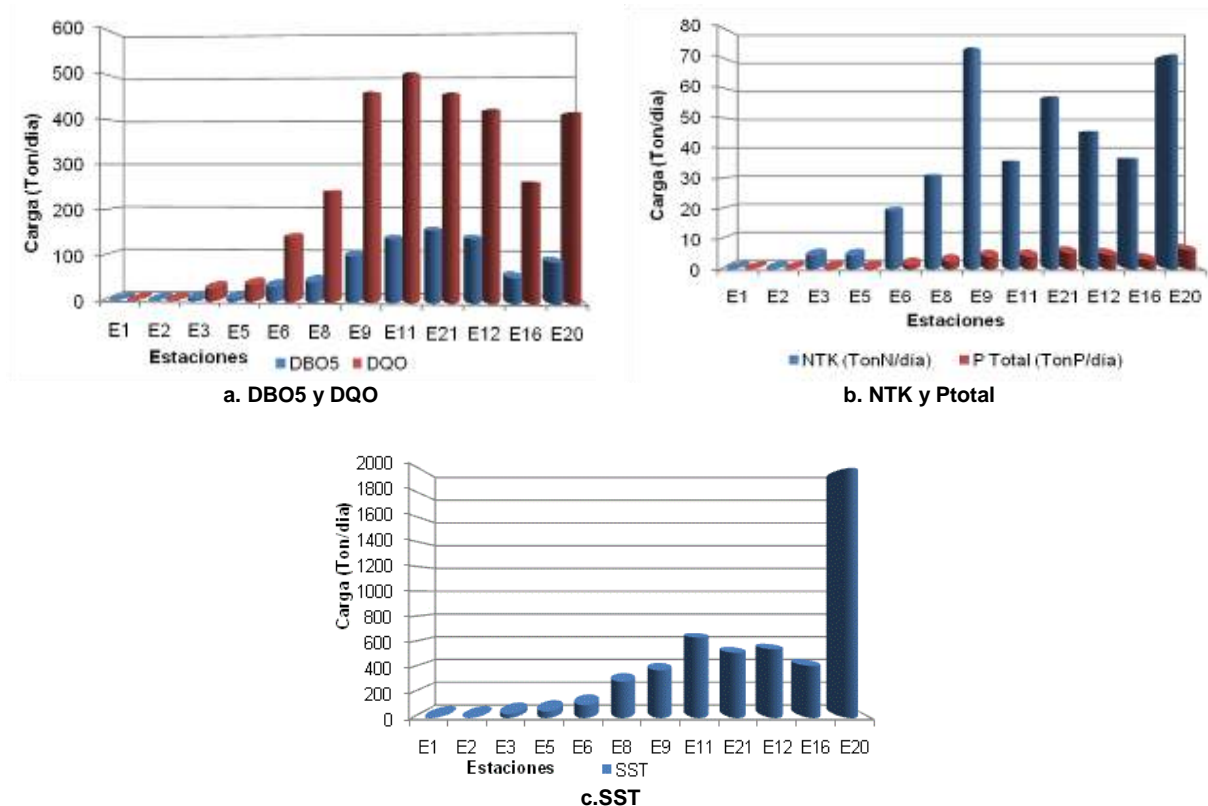


Figura 28. Cargas contaminantes en el río halladas durante el segundo semestre de 2012



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



La Figura 28a, muestra el comportamiento de la carga contaminante asociada a los parámetros DBO₅ y DQO a lo largo del río Aburrá-Medellín y en una estación ubicada en el río Porce, luego de la confluencia entre río Grande y el río Aburrá-Medellín, durante el inicio de la fase IV del proyecto RedRío.

Puede observarse que según los resultados obtenidos, el deterioro de la fuente se incrementa conforme avanza en su recorrido, registrándose el reporte mínimo en la estación San Miguel (E1) con valores de 0,196 y 1,023 Ton/día para DBO₅ y DQO respectivamente, seguido por Primavera y Ancón Sur. Entre las estaciones Después de San Fernando (E6) y Ancón Norte (E12), es donde se nota el mayor deterioro del río, alcanzando valores superiores a las 150 Ton/día de DBO₅ y 450 Ton/día de DQO.

Este comportamiento es resultado de las descargas de aguas residuales e industriales realizadas de manera directa sobre el río, como también, sobre las quebradas afluentes, y donde el río en la zona norte se caracteriza por evidenciar un mayor deterioro y transportar mayores cargas contaminantes, dado que tiene la influencia de las actividades realizadas en la zona sur y centro de la cuenca hidrográfica. Entre los vertimientos más representativos realizados sobre la corriente de agua se destacan los provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, los interceptores oriental y occidental que descargan su caudal a la altura de Moravia y la llegada de diferentes quebradas que son los medios para evacuar residuos sólidos y líquidos generados en las respectivas subcuencas.

En cuanto a los nutrientes, el comportamiento fue similar al descrito anteriormente, siendo las estaciones más críticas en términos de nitrógeno Puente Acevedo (E9), Niquía (E21) y Puente Gabino (E20), con cargas correspondientes a 73,048; 56,96 y 70,79 Ton/día de NTK respectivamente, mientras que las cargas registradas para el fósforo presentaron su mayor relevancia en las estaciones Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Niquía (E21), Ancón Norte (E12) y Puente Gabino (E20) con valores asociados de 4,08; 4,14; 5,36; 4,73 y 6,30 Ton/día de P total respectivamente. Las cargas de nutrientes observadas en el río se asocian principalmente con los vertimientos de agua residual doméstica, los cuales son ricos en materia orgánica además de detergentes que representan un aporte importante de compuestos fosforados al cauce.

Por su parte los sólidos suspendidos presentaron los registros más bajos en la zona sur, donde el impacto por actividades antrópicas es menor. A partir de la estación Después de San Fernando (E6), la cual se caracteriza por la descarga que hace la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, se evidencia un incremento considerable, en donde la carga reportada correspondió a 102,58 Ton/día de SST, en contraste con la estación precedente (E5) la cual obtuvo un valor de 52,09 Ton/día.

Las estaciones que mostraron mayor impacto por la cantidad de sólidos que transportan fueron Puente Machado (E11), Niquía (E21), Ancón Norte (E12) y Puente Gabino (E20), siendo esta última la que sostuvo el mayor nivel durante el primer semestre de 2012 con una carga de 1.972,11 Ton/día. Esta situación se relaciona con el deterioro generado por las

actividades de explotación de material para la construcción, las cuales se llevan a cabo en el centro de la cuenca como en la zona norte del misma, y cuyas aguas residuales producidas como resultado de su operación son vertidas sobre quebradas como Ana Díaz (que entrega sus aguas a la quebrada La Hueso a la altura del complejo acuático de la Unidad Deportiva Atanasio Girardot), La Picacha, La García y El Hato.

Así mismo, los resultados obtenidos hacia Puente Gabino se relacionan con que la corriente presenta el mayor caudal durante su recorrido, por lo cual se favorece el incremento de las cargas contaminantes, como también, con la presencia de lluvias en la cuenca las cuales generan un incremento en el caudal que ocasiona una resuspensión del material sedimentado previamente en el lecho.

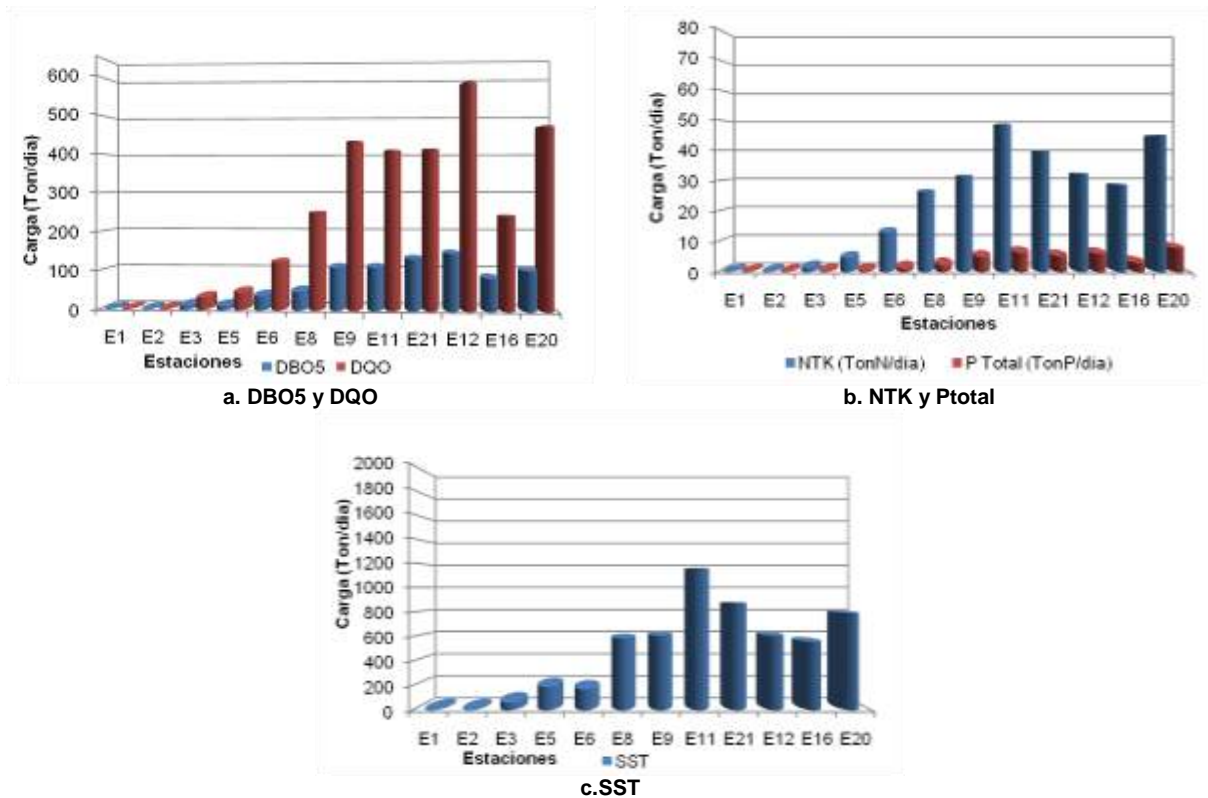


Figura 29. Cargas contaminantes en el río halladas durante el primer semestre de 2013

Para el primer semestre de 2013, las cargas contaminantes encontradas fueron similares a las del 2012-2, con los mayores impactos en las estaciones Puente Machado (E11), Niquía (E21), Ancón Norte (E12) y Puente Gabino (E20). El único cambio importante con respecto a la Figura 28, se dio en los sólidos suspendidos en la estación Puente Gabino, donde se presentó

una disminución importante pasando de 1.972,11 Ton/día en 2012-2 a 792,87 Ton/día en 2013-1.

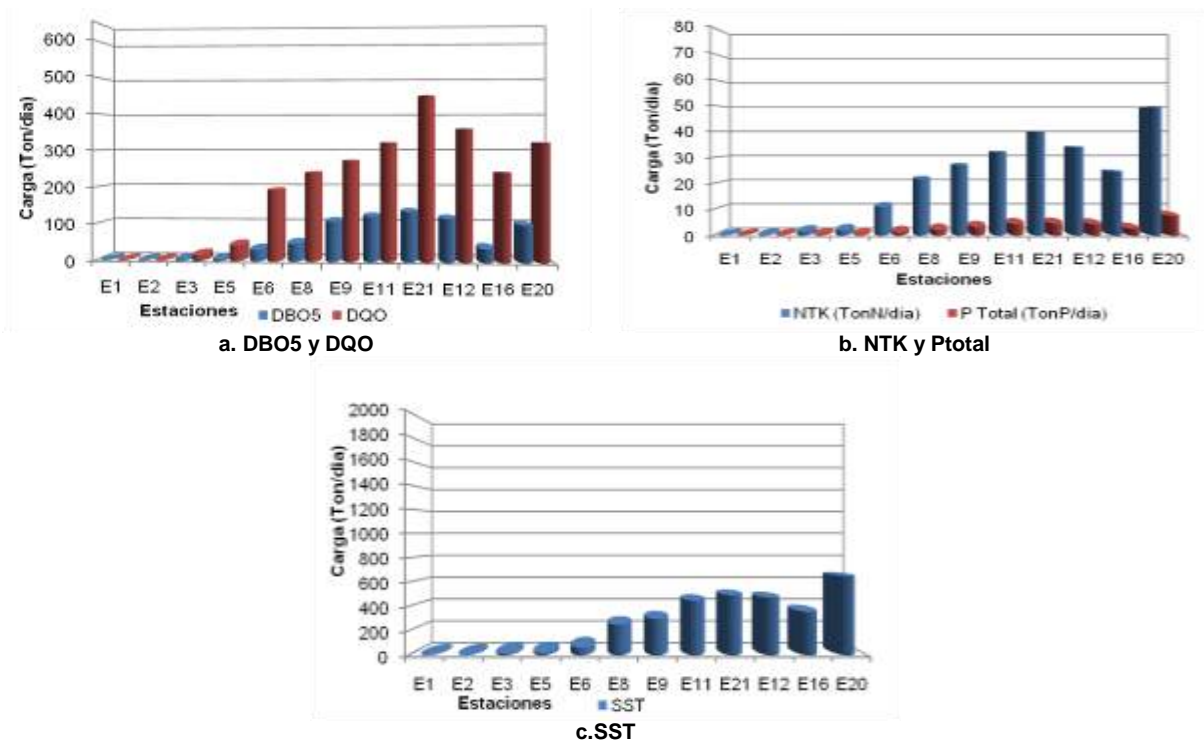


Figura 30. Cargas contaminantes en el río halladas durante el segundo semestre de 2013

Hacia el segundo semestre de 2013 los cambios más representativos se dieron en la DQO de algunas estaciones que mostraron fluctuaciones con respecto al semestre anterior, en especial las estaciones Ancón Norte (E12) la cual pasó de una carga de 579,58 Ton/día en el 2013-1 a 358,49 Ton/día en el segundo semestre; así mismo la estación Puente Gabino mostró una variación de 147,47 Ton/día entre los dos semestres.

En cuanto a los nutrientes, las cargas contaminantes fueron similares a las registradas en 2013-1 y los mayores valores se registraron en las estaciones Puente Machado (E11), Niquía (E21), Ancón Norte (E12) y Puente Gabino (E20). Cabe resaltar que en E20, las cargas están influenciadas por el caudal que transporta el río en este punto, puesto que en él las concentraciones de nutrientes son más bajas que en las estaciones precedentes, asociado a los aportes de la central eléctrica La Tasajera y de río Grande, las cuales generan un efecto de dilución sobre el material contaminante transportado por el río Aburrá – Medellín.

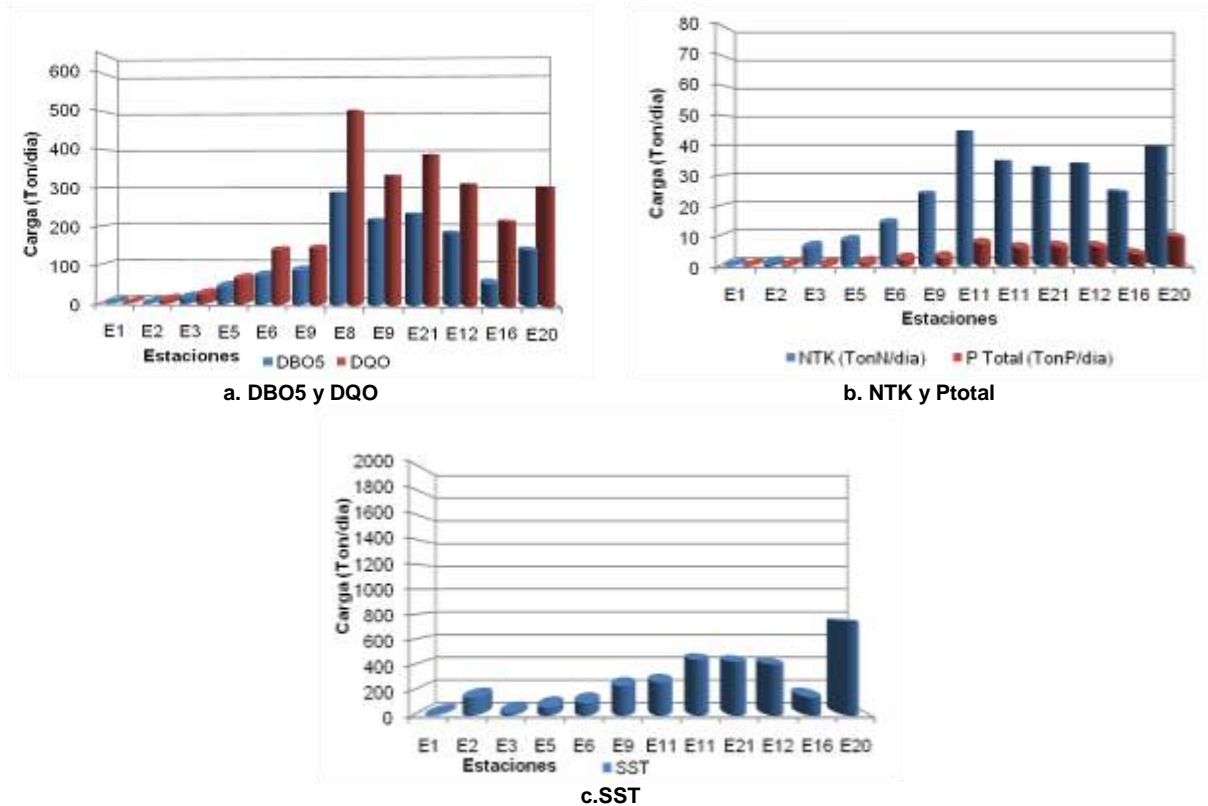


Figura 31. Cargas contaminantes en el río halladas durante el primer semestre de 2014.

En la etapa final de la fase IV del proyecto RedRío se encontraron cambios en el comportamiento de la DBO₅ y la DQO, presentándose incrementos en las estaciones Aula Ambiental (E8), Puente Acevedo (E9) y Niquía (E21) con cargas correspondientes de DBO₅ 87,83; 288,77 y 233,24 Ton/día respectivamente, mientras que la DQO mantuvo valores de 145,60; 499,40; 386,21 Ton/día influenciadas principalmente por los vertimientos de agua residual que se hacen directamente sobre la corriente y que fluctúan en su composición y caudal.

A partir de la estación San Fernando se evidencia un incremento en las cargas, luego de la descarga de las aguas tratadas provenientes de la PTAR San Fernando y se extiende por la zona Norte inducida además por los tributarios de mala calidad que ingresan al cauce principal. Finalmente, se resalta que el perfil seguido por los sólidos suspendidos y los nutrientes no mostraron cambios significativos con respecto a los semestres anteriores.

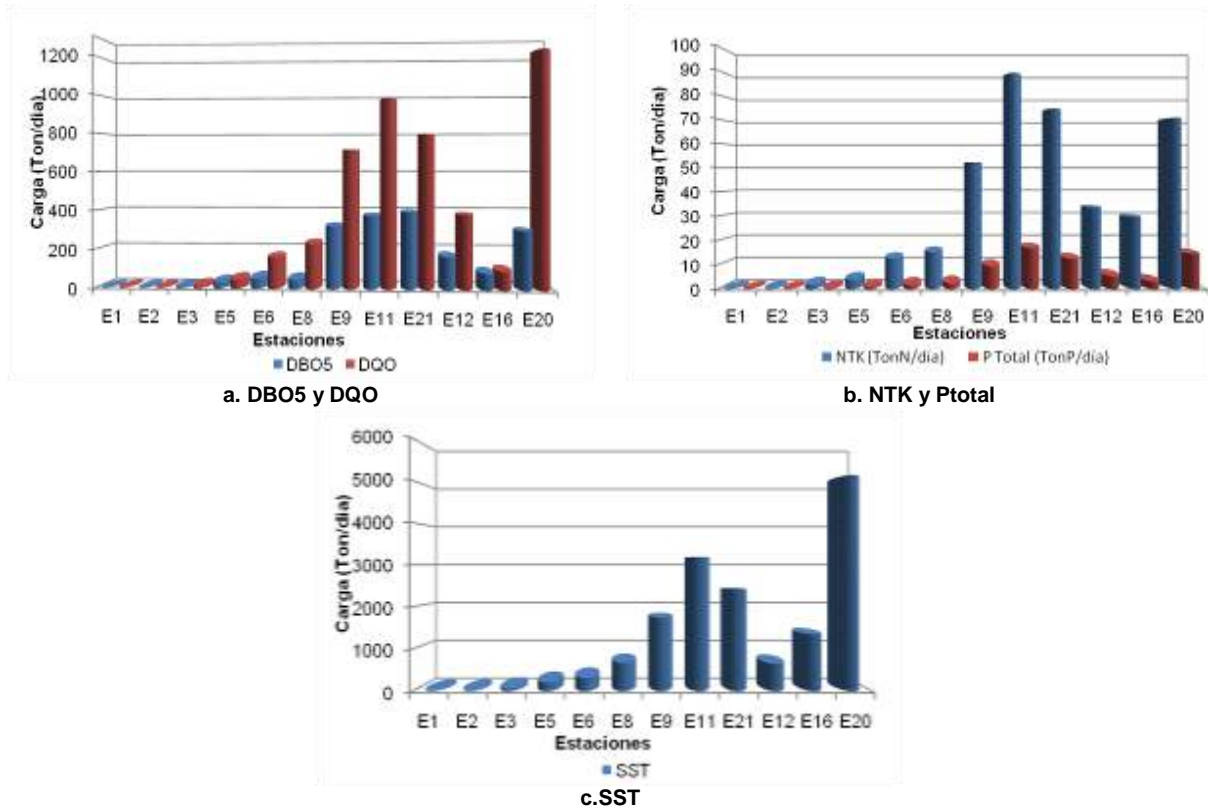


Figura 32. Cargas contaminantes en el río halladas durante el segundo semestre de 2014.

Para el segundo semestre de 2014 llama la atención el incremento en la DQO en las estaciones E9, E11, E21 y E20, donde para la última estación, las cargas aumentaron de 303,48 Ton/día en el primer semestre a 1.219,20 Ton/día para el segundo.

Adicionalmente, se resaltan aumentos en las cargas de Nitrógeno y sólidos suspendidos, estos últimos con cargas cercanas a las 6.000 Ton/día debido a que todos los monitoreos realizados durante ese periodo estuvieron influenciados por fuertes lluvias, lo que generó un aumento considerable en los caudales y la resuspensión del material sedimentado en el lecho del río Aburrá-Medellín.

Así como en los semestres anteriores se destacan las estaciones Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Niquía (E21) y Puente Gabino (E20), como los puntos donde se registraron las mayores cargas contaminantes para nutrientes, sólidos y materia orgánica.

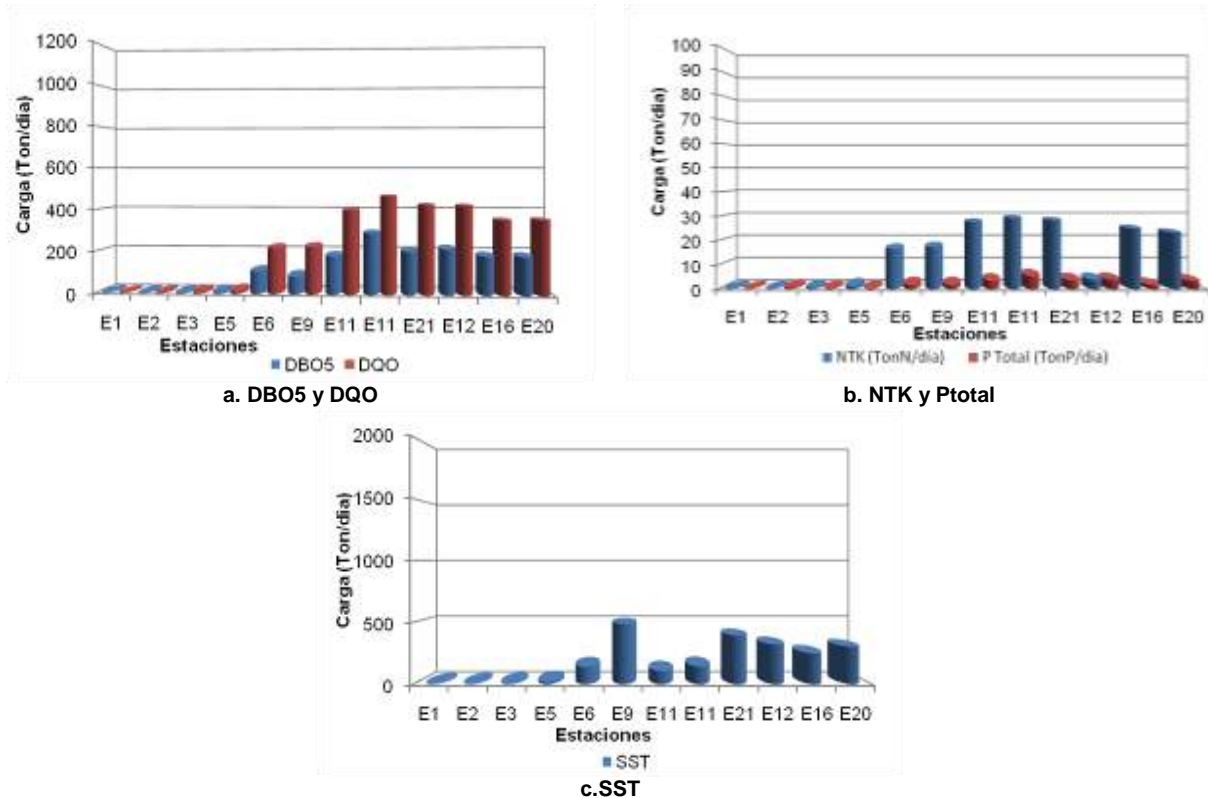


Figura 33. Cargas contaminantes en el río halladas durante el primer semestre de 2015

Finalmente, las cargas encontradas durante el primer semestre de 2015 evidencian una disminución importante en todos los parámetros, teniendo en cuenta que las condiciones climáticas correspondieron a un clima seco y los caudales bajaron. No obstante, se observa el mismo deterioro en las estaciones mencionadas anteriormente ubicadas en la zona Norte del valle de Aburrá las cuales tienen una mayor intervención antrópica lo que ha afectado la hidráulica, calidad y cantidad de agua del eje principal del recurso hídrico del valle de Aburrá. En el Anexo 17, Anexo 18, Anexo 19, Anexo 20, Anexo 21, Anexo 22 y Anexo 23, se presentan los mapas relacionados con la conductividad, DBO₅, DQO, nitrógeno total, oxígeno disuelto, fosforo total, y sólidos suspendidos totales, respectivamente durante las diferentes fases de RedRío

En el microsítio del AMVA se encuentran cargados cada uno de los informes de calidad que fueron elaborados durante cada una de las fases que se han implementados de RedRío. Para acceder al microsítio se tiene el siguiente link, <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Pages/Informes.aspx>. Que los dirige directamente a los informes.



6.14 ELABORACIÓN DE PERFILES DE CALIDAD ACTUAL DE CADA TRAMO DEL RÍO ABURRÁ MEDELLÍN

A través de las diferentes campañas de monitoreo ejecutadas por la Red, en cada una de sus fases de ejecución han permitido obtener, consolidar y sintetizar información que dé cuenta de la variación de los diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos en todo el perfil del río Aburrá –Medellín.). Esto ha facilitado la consolidación del diagnóstico y ha permitido identificar cuáles son los puntos más críticos en todo el recorrido del cuerpo de agua. La información más relevante se presenta en la Figura 34.

A partir de las gráficas antes presentadas, se puede establecer que la estación San Miguel (E1) presentó la menor oscilación en las diferentes variables graficadas, solamente el índice BMWP-COL presentó la mayor variación en lo referente a los organismos macroinvertebrados, debido al efecto de la velocidad del flujo sobre el sustrato donde se adhieren, puesto que a esta altura, el río posee marcadamente características de una fuente de alta montaña.

En lo referente a los parámetros fisicoquímicos a lo largo de la corriente objeto del ordenamiento, es evidente que los parámetros DQO, DBO₅, nutrientes, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales, muestran un comportamiento con tendencia al incremento hasta las estaciones Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), posteriormente se observan decrementos. En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, su comportamiento es inverso a la de los parámetros anteriores, decae hasta la estación E12 y nuevamente se incrementa hasta la estación Puente Gabino (E20).

Finalmente el BMWP mostró un cambio Abrupto de la estación E1 hacia la estación E3; sin embargo se observa que dicho sitio de muestreo presentó una variedad de microorganismos mayor a la de las siguientes estaciones, ya que presenta un canal natural y los siguientes se encuentran ubicadas en el tramo canalizado y han expuesto una mayor carga contaminante, principalmente en las estaciones Niquía (E21) y Ancón Norte (E12).

En la estación Puente Gabino, de manera similar a la estación San Miguel, también se encontró cierta estabilidad para el BMWP y disminuciones en la concentración de los parámetros fisicoquímicos, debido a efectos de dilución y circulación del cauce por un canal natural.

Es importante resaltar que los sólidos suspendidos totales describieron una tendencia irregular y los valores más altos se hallaron en el tramo medio de estudio, ya que este parámetro se encuentra altamente asociado a la explotación arenas y gravas para cubrir parte de la demanda del sector constructivo en el valle de Aburrá. En la Figura 35 se presenta por medio de diagramas de cajas esquemáticas el comportamiento a los largo del río Aburrá-Medellín en las diferentes estaciones las variables que fueron monitoreadas.

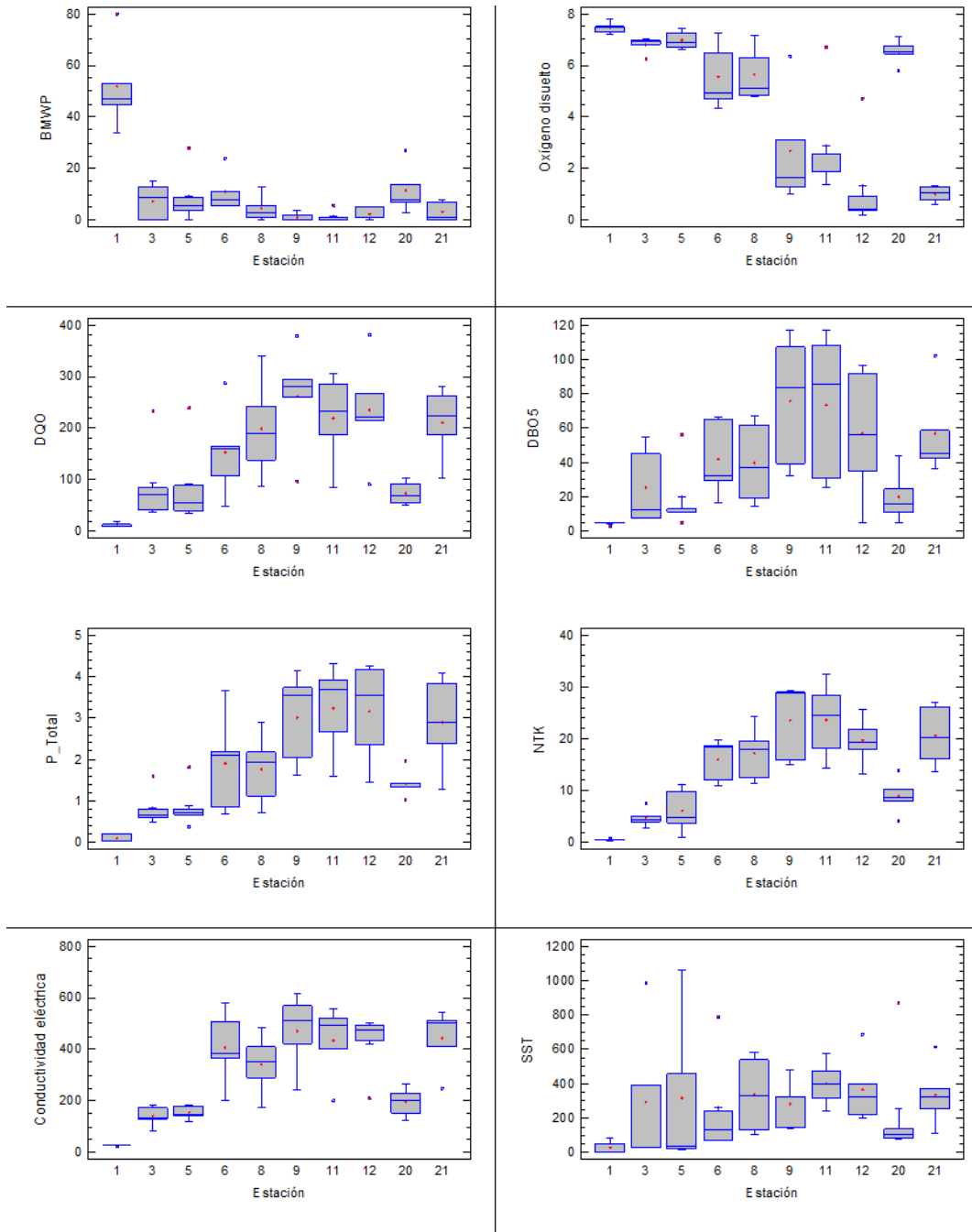


Figura 34. Diagrama de cajas esquemáticas de las diversas variables por estación durante el año 2013

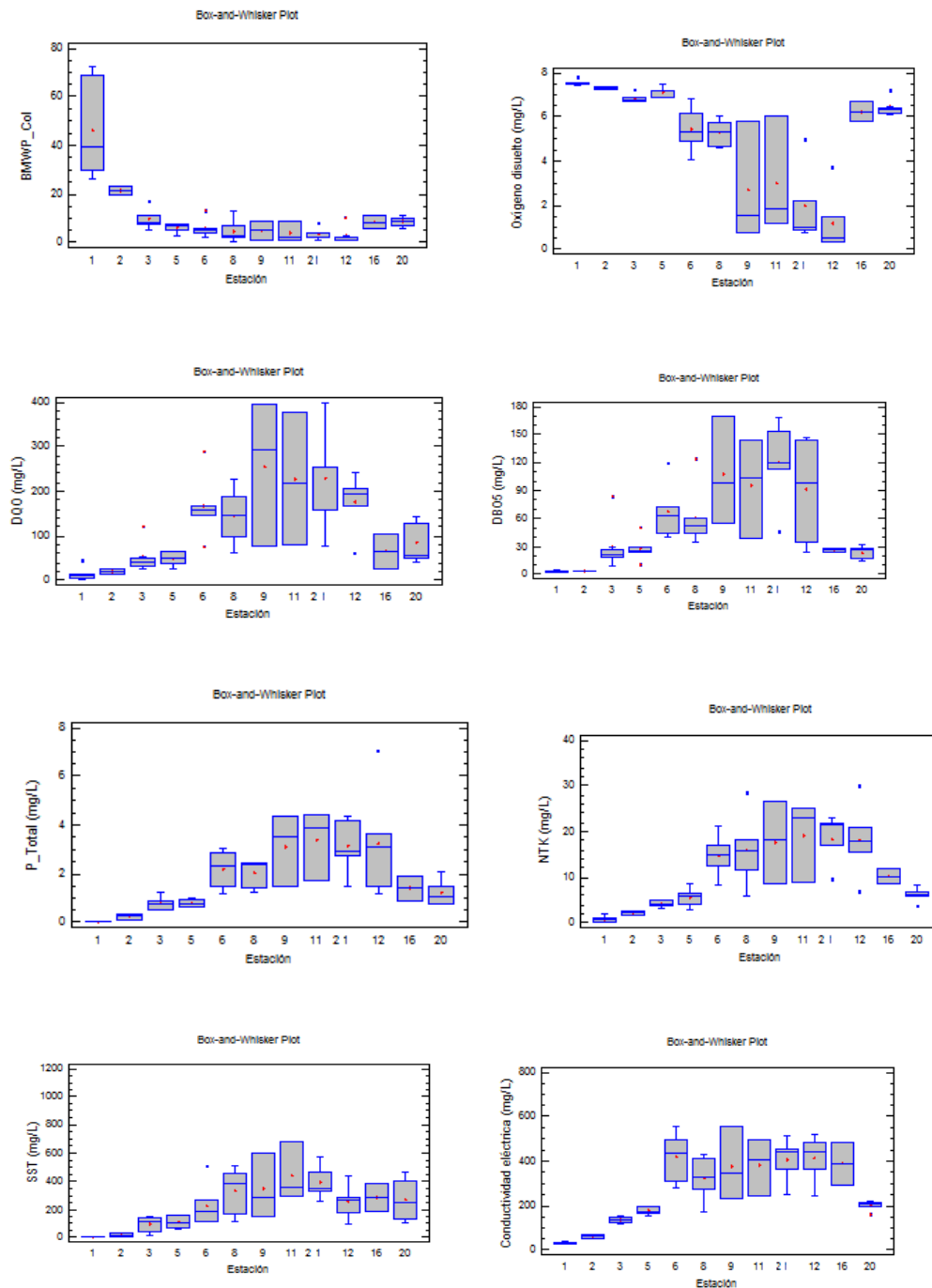


Figura 35. Diagrama de cajas esquemáticas de las diversas variables por estación durante el año 2014



Con base en las gráficas presentadas en la Figura 35, pudo notarse que a excepción del BMWP, el cual evidenció un favorable desarrollo de organismos, San Miguel presentó la menor variación en los parámetros fisicoquímicos analizados, teniendo en cuenta que en comparación a las demás estaciones, es la menos impactada debido a que fluye por zona rural y la actividad antrópica es baja. Hacia las estaciones Primavera (E2) y Ancón Sur (E3), el BMWP tuvo un cambio notable con respecto a E1, debido a que en este punto ya se ha generado un deterioro considerable a causa de los vertimientos de agua residual de los municipios de Caldas, la Estrella y Sabaneta.

Las estaciones posteriores mostraron baja variabilidad de BMWP y una marcada tendencia al descenso, en especial sobre las estaciones Niquía y Ancón Norte, en donde las condiciones de vida son críticas debido a los bajos niveles de oxígeno y las altas cargas contaminantes que transporta el río a esta altura de su recorrido.

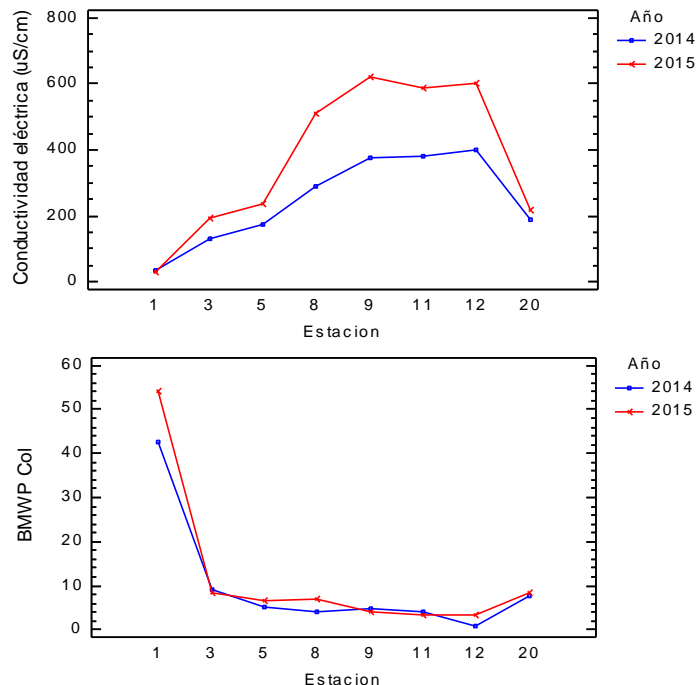
Concerniente a los parámetros DBO₅ y DQO, se destaca una alta variabilidad en Puente Acevedo y Puente Machado, estaciones que junto con Niquía y Ancón Norte representan las condiciones más críticas del río, ya que transportan más de 300 mg/L de DQO y concentraciones superiores a 200 mg/L de DBO₅. Las estaciones ubicadas en la zona sur en el tramo San Miguel- Antes de San Fernando, fueron las más estables y las que presentaron los mínimos valores debido a que parte de esta zona ha sido saneada y las aguas residuales generadas van directamente a la planta de tratamiento de aguas residuales de San Fernando. Por su parte el oxígeno disuelto, presentó un mayor rango de variabilidad en las estaciones Puente Acevedo y Puente Machado en donde los valores encontrados oscilaron en un rango entre 1,00 y 5,00 mg/L aproximadamente. Este comportamiento puede explicarse, teniendo en cuenta que en las campañas del 22 de octubre y en la del 12 de noviembre de 2014, se presentaron lluvias en estas estaciones, lo cual favoreció los procesos de dilución en el cuerpo de agua y así mismo la solubilidad de oxígeno en el mismo. Hacia el tramo final del río, (Papelsa (E16) - Puente Gabino (E20)), se observó una recuperación en todos los parámetros, influenciada por el hecho de que la corriente vuelve a fluir por zona rural, lo que disminuye el impacto generado por la actividad antrópica y facilita los procesos de autodepuración.

Entre tanto la mayor variabilidad en los nutrientes, de nuevo se encontró en las estaciones Puente Machado y puente Acevedo, evento que, así como para el oxígeno disuelto, también se asoció a la dilución generada por las lluvias ocurridas durante las campañas de monitoreo del 22 de octubre y 12 de noviembre. Se destaca que la tendencia tanto para NTK, como para fósforo total fue ascendente entre las estaciones San Miguel (E1) - Niquía (E21), tramo en el que se genera el mayor deterioro del río, debido al impacto que se deriva de las descargas de agua residual y abandono de residuos sólidos sobre la corriente. Hacia las estaciones Papelsa y Puente Gabino, como se ha observado para los demás parámetros, se notó una disminución, lo que argumenta el hecho de que el río comienza a recuperarse en este tramo de su recorrido.

Es importante resaltar que los sólidos suspendidos totales, mostraron gran variabilidad en diferentes estaciones, dentro de las cuales se destacaron Aula ambiental (E8), Puente Acevedo (E9) y puente Machado (E11). Las estaciones San Miguel y Primavera fueron las más estables y en coherencia con los otros parámetros analizados, también se notó una recuperación en las estaciones ubicadas al Norte, Papelsa y Puente Gabino. Además de presentar una alta variabilidad, las estaciones E8, E9 y E11, también exhibieron los mayores registros, influenciados por el ingreso de las quebradas La Hueso, antes de la estación Aula ambiental, y La García y El Hato, Antes de la estación Puente Machado, teniendo en cuenta que estas fuentes están altamente impactadas debido a la explotación minera que se hace de manera intermitente en la parte media de cada una de estas microcuencas.

Finalmente, la conductividad eléctrica fue uno de los parámetros que presentó mayor variación, oscilando en un rango aproximado de 250 y 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el tramo que comprende las estaciones Después de San Fernando y Papelsa. Es importante resaltar que este parámetro también se vio influenciado por las lluvias antes mencionadas, ya que si se hace una comparación con el resultado obtenido en la fase anterior, estos varían considerablemente.

Se destaca que las estaciones San Miguel, Primavera, antes de San Fernando y Puente Gabino las más estables y las que mantuvieron los registros mínimos. En la Figura 36 se presenta los resultados de las de las diversas variables por estación durante el año 2014 y 2015.



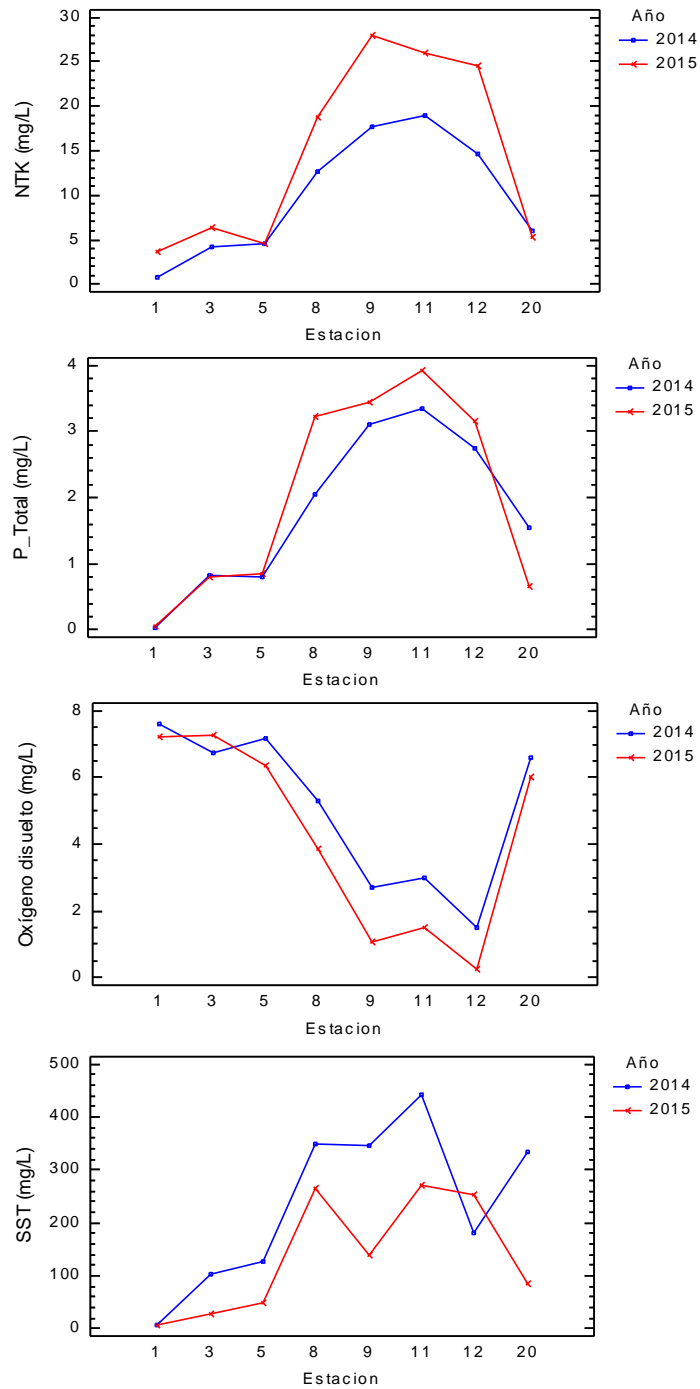


Figura 36. Graficas con las diversas variables por estación durante los años 2014-2015.

6.14.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA CAMPAÑA OBJETIVOS DE CALIDAD PARA LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN PERIODO 2012 – 2014

En la Tabla 27, se presentan los objetivos de calidad planteados para la cuenca del río Aburrá – Medellín en el periodo de los 0 a 2 años (2012 – 2014), y en la Tabla 28 la comparación de los resultados en donde se resume de manera cualitativa y cuantitativa, en cuales de las estaciones de la red de monitoreo se da o no el cumplimiento de los objetivos de calidad del agua planteados en la Resolución 002016 del 26 de octubre de 2012, con respecto a los resultados obtenidos en la presente campaña de monitoreo.

Tabla 27. Objetivos de calidad ponderados para el río Aburrá – Medellín periodo de 0 a 2 años

Estacion	Código	DBO5	DQO	pH	OD	SST	Conductividad eléctrica	NTK	Fosforo total
		(mg/L)	(mg/L)	(U. de pH)	(mg/L)	(mg/L)	(µS/cm)	(mg/L)	(mg/L)
San Miguel	E1	< 8	< 10,0	> 6,5 - < 8,5	> 7,0	< 15,0	< 50,0	< 2,0	< 0,30
Primavera	E2	< 15,0	< 20,0	> 6,5 - < 8,5	> 5,0	< 15,0	< 50,0	< 2,0	< 0,30
Ancón Sur	E3	< 30,0	< 40,0	> 4,5 - < 9,0	> 4,0	< 140	< 100	< 3,5	< 1,5
Antes de San Fernando	E5	< 70,0	< 120	> 6,5 - < 8,5	> 4,0	< 250	< 250	< 10,0	< 2,0
Niquía	E21	< 100	< 200	> 6,5 - < 8,5	> 2,0	< 400	< 350	< 15,0	< 6,0
Ancón Norte	E12	< 100	< 200	> 6,5 - < 8,5	> 2,0	< 500	< 350	< 15,0	< 5,0
Papelsa	E16	< 40,0	< 100	> 5,0 - < 9,0	> 4,0	< 400	< 250	< 10,0	< 4,0
Puente Gabino	E20								

Tabla 28. Comparación de resultados campaña objetivos de calidad del 24 de julio de 2013 con objetivos de calidad del río Aburrá – Medellín periodo 0 a 2 años

Estación	Código	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	pH (U. de pH)	OD (mg/L)	SST (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	NTK (mg/L)	P total (mg/L)
San Miguel	E1	4,86	6,86	CUMPLE	1,59	9,90	20,90	1,15	0,28
Primavera	E2	11,86	16,86	CUMPLE	2,15	2,90	49,90	0,07	0,27
Ancón Sur	E3	21,08	4,20	CUMPLE	2,40	96,90	-55,90	0,55	0,85
Antes de San Fernando	E5	61,99	84,20	CUMPLE	2,56	233,90	76,10	6,17	1,29
Después de San Fernando	E6	15,80	-89,10	CUMPLE	0,00	152,90	-306,10	-6,90	-0,63
Aula Ambiental	E8	40,10	-3,10	CUMPLE	0,79	114,90	-176,10	-6,30	0,06
Niquía	E21	14,20	-139,10	CUMPLE	-1,32	46,90	-158,10	-15,10	2,18
Ancón Norte	E12	38,50	-22,10	CUMPLE	-1,63	94,90	-160,84	-14,20	2,56
Papelsa	E16	30,62	38,10	CUMPLE	2,53	300,90	31,90	2,03	2,95
Puente Gabino	E20	29,80	54,40	CUMPLE	2,35	292,90	60,80	2,07	3,09

En el desarrollo de ésta campaña, se determinó un régimen de caudales medios, excepto para las estaciones Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), presentando asimismo una tendencia normal o habitual en las concentraciones o valores de los diferentes parámetros de calidad analizados.

De acuerdo a lo descrito en la Tabla 27 y Tabla 28, el parámetro de pH del agua registrado para las estaciones sobre el río en la campaña del 24 de julio 2013, se encuentran dentro del rango permisible para cada estación, cumpliendo así con los objetivos de calidad propuestos por la resolución. Los valores de pH encontrados durante esta campaña oscilaron en un rango de 6,46 a 7,68 unidades de pH.

En lo referente al parámetro de conductividad eléctrica del agua, las estaciones que cumplieron con los objetivos de calidad propuestos: San Miguel (E1), Primavera (E2), Antes de San Fernando (E5), Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20). Las demás estaciones ubicadas en la zona céntrica se encontraron por encima de los límites establecidos en los objetivos, como por ejemplo la estación Después de San Fernando (E6), en la cual se incumplió con mayor magnitud el límite permitido del parámetro, reportando 306,1 µS/cm, por encima del valor objetivo el cual es < 250,0 µS/cm.

Los resultados de la DBO₅ para esta campaña de monitoreo, reflejaron un cumplimiento del objetivo de calidad para este parámetro en todas las estaciones monitoreadas, destacándose las estaciones Aula Ambiental (E8) y Ancón Norte (E8), en las cuales se registraron valores de



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



DBO₅ de 29,8 y 61,4 mg/l, respectivamente; mientras que los límites permisibles para cada una son < 70,0 mg/L y < 100,0 mg/L, respectivamente.

Por otro lado, el parámetro de la DQO, evidenció que las estaciones después de San Fernando (E6), Aula Ambiental (E8), Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), no cumplieron con los objetivos de calidad para este parámetro. Donde E6 y E21, estuvieron por encima del límite permitido con una diferencia 89,10 y 139,10 mg/L, respectivamente.

Respecto al oxígeno disuelto, las únicas estaciones donde no se cumplieron con lo indicado en la resolución, fueron Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), con déficits de 1,32 y 1,62 mg/L respectivamente, y en las cuales se esperan valores superiores a 2,0 mg/L. Por otro lado la estación que tuvo una mayor ventaja en comparación del objetivo de calidad definido fue la estación Primavera (E2), con una diferencia favorable de 2,40 mg/L.

De otro lado, las estaciones E6, E8, E21 y E12 no cumplen con la concentración establecida para el parámetro NTK, cuyo límite es 10,0 mg/L para las dos primeras estaciones, y 15,0 mg/L en las dos restantes. En cuanto al fósforo total, solamente la estación E6 no cumple con el límite definido para este parámetro (2,0 mg/L).

En lo referente a los sólidos suspendidos totales (SST), los valores registrados cumplieron en cada estación con los objetivos de calidad que se definieron para cada tramo. Siendo la estación con el mejor resultado, es decir, la que tuvo una diferencia favorable mayor, fue Antes de San Fernando (E6), con un resultado de 16 mg/L de SST, valor que al compararlo con 250 mg/L que establece el objetivo, es bastante positivo.

6.15 CÁLCULO DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Para conocer el grado de calidad de las aguas, independientemente del posible uso al que vayan a ser destinadas, inicialmente se parte de la toma de muestras para la obtención de una serie de parámetros fisicoquímicos e indicadores. Estos datos, analizados y procesados, posteriormente se convierten en un valor numérico, que permite obtener una serie de índices que determinan el estado general de las aguas en función de unos rangos de calidades establecidos. Dichos índices se pueden clasificar fundamentalmente en dos tipos: fisicoquímicos y biológicos.

La valoración de la calidad del agua, mediante parámetros fisicoquímicos puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química y física, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Con el fin de hacer más simple la interpretación de los datos de los monitoreos, es cada vez más frecuente el uso de índices de calidad de agua, los cuales son herramientas prácticas que reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco unificado. El indicador o índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso, un color (Fernández y Solano, 2005). Su ventaja radica en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos. Consecuentemente, un índice de calidad de agua es una



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



herramienta comunicativa para transmitir información. Los usuarios de esta información pueden estar estrechamente relacionados, como: biólogos, ingenieros sanitarios y ambientales, químicos, administradores de recursos hídricos; o en su defecto profesionales y personas apenas familiarizadas con la misma, y público en general; sin embargo, unos y otros podrán rápidamente tener una idea clara de la situación que expresa el índice.

Para representar de la mejor manera la calidad del agua en una zona de estudio, se utilizan los índices o indicadores de calidad de agua con el objetivo de unificar, informar y clasificar, el estado de calidad de las fuentes hídricas.

Los índices de calidad de agua (ICAS) se pueden formular y plantear de diversas maneras, pero las más utilizadas son las cuantitativas y las cualitativas, sus diferencias radican como lo indica su nombre en que unas se basan en métodos numéricos y la otra en métodos conceptuales. Es decir, la formulación con métodos cuantitativos, se realiza mediante técnicas estadísticas y matemáticas, las cuales producen una ecuación, con la combinación de variables que reflejan la calidad de un ambiente mediante un resultado numérico. En cambio para los ICA cualitativos, se generan conceptos y valoraciones de diversas variables, indicadores de la calidad, lo cual se traduce en una selección de variables, una valoración de calidad de cada variable de manera conceptual y con bases teórico - prácticas del ambiente analizado. Seguidamente las variables son agrupadas y ponderadas dentro de un grupo de parámetros respuesta seleccionados, para luego mediante una combinación estadística simple, obtener el porcentaje o fracción que represente la calidad del recurso (Ramírez y Viña 1998).

En el ámbito nacional e internacional, diversos índices son utilizados para diagnosticar la calidad de las aguas de las fuentes hídricas, bajo diferentes técnicas y tipos de cuantificación, algunos se restringen a un espacio en particular, como es el caso de los ICAS del río Aburrá-Medellín, pero existen otros que a través de los años se ha demostrado su solidez teórica y validez de sus resultados que permiten su aplicación en diferentes latitudes y tipos de corriente, como es el caso del ICA WQI formulado por la entidad estadounidense NSF (Ramírez et al., 1999), el cual es aplicado con éxito en diversas regiones y tipos de corriente del mundo. En el ámbito local existen ICAS formulados y adaptados para las condiciones ambientales de Colombia, como es el índice cualitativo ICACOSU formulado por el IDEAM. Este índice se formuló en el 2009 y se encuentra como herramienta principal de acuerdo con las políticas nacionales para el recurso hídrico publicadas en el año 2010.

En las fases I y II del proyecto RedRío se formularon índices de calidad del agua para el río Aburrá-Medellín, contruidos de diferente forma. Para la fase I, se desarrolló un indicador integral cualitativo, el cual fue posteriormente mejorado (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007) debido a que se contó con mayor información y la caracterización espacio-temporal fue más completa en términos del diseño del muestreo, lo que permitió que se formularan diversos índices cuantitativos, dependiendo del tipo de muestras tomadas y de las condiciones de caudal (altos, bajos y medios) asociados a las condiciones climáticas presentadas.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Estos índices cuantitativos se formularon considerando la correlación de las diferentes variables que fueron monitoreadas durante las campañas realizadas, concluyendo así un grupo de parámetros a partir de los cuales fue posible resumir o rebajar la dimensión de la información, obteniéndose un factor que da respuesta en un alto porcentaje a la variabilidad de la calidad del agua en el río, a saber: DQO, nitrógeno total NTK, fósforo total, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y el BMWP. A partir de la relación de estas variables, se conformó un índice cuantitativo de calidad aplicable a las condiciones particulares del río.

Durante la fase III del proyecto RedRío se evaluó la calidad del agua a través de los índices ICACOSU y el ICA Global, este último con el paquete estadístico Statgraphics CenturionXVI. Para ello se emplearon los estimadores estadísticos en periodo de estiaje, se estructuraron y se evaluaron diferentes escenarios.

Teniendo en cuenta lo anterior, y buscando representar de la mejor manera la calidad del agua actual en una zona de estudio, se utilizan los resultados de los índices o indicadores de calidad de agua aplicados en las fases IV y V del proyecto con el objetivo de unificar, informar y clasificar, el estado de calidad del río Aburrá Medellín y sus afluentes, los cuales se presentan a continuación.

Es importante establecer en este tema, que a pesar que la formulación del Plan está enfocado sobre el ordenamiento del río Aburra- Medellín, es necesario precisar sobre la calidad de las aguas de las quebradas que confluyen al río, pues ellas influyen de manera directa en su calidad a lo largo de todos los tramos de esta corriente. Incluir también este análisis permite interpretar de una forma más global e integra los resultados que sobre la calidad del mismo se han obtenidos en el transcurso de cada una de las campañas que se han realizado en las diferentes fases de RedRío.

6.15.1 Calidad de agua superficial río Aburrá – Medellín (ICACOSU)

El índice de calidad general para corrientes superficiales ICACOSU formulado por el IDEAM (2009), y aplicado en el desarrollo del proyecto permite realizar un diagnóstico de la calidad hídrica en la cuenca del río Aburrá – Medellín de acuerdo con lo planteado por el IDEAM y el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco de la formulación de la Política Hídrica. De esta manera se diagnosticó la calidad del río con un índice formulado para las condiciones del país y cumpliendo con las directrices de la política establecidas, a pesar de las limitantes que presenta dicho índice, ya que al ser un índice general para diversos tipos de corrientes y condiciones de calidad en Colombia, la evaluación específica sobre la cuenca en estudio, para ciertas condiciones de calidad y respuestas de variables fisicoquímicas de las corrientes de la cuenca, al agruparlos y valorarlos numéricamente, podrían estar subvalorando o sobrevalorando la calidad de agua e incurriendo posiblemente en una calificación un poco desviada de las condiciones de calidad del agua superficial.



El índice de calidad ICACOSU parte de un concepto cualitativo en su formulación y sobre la base de los siguientes procedimientos:

- Selección de Parámetros.
- Determinación de los valores para cada parámetro: subíndices.
- Determinación del Índice por la agregación de los subíndices.

6.15.1.1 Cálculo de subíndices de calidad para el componente fisicoquímico

- **Porcentaje de saturación (PS) de oxígeno disuelto (OD)**

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

$$PS = \frac{(O_x \times 100)}{C_p}$$

Ecuación 1. Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto

Dónde:

O_x = Oxígeno disuelto medido en campo (mg/L) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

C_p = Concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

$$C_p = C * P[\{(1 - P_w/P)(1 - \theta P)\}/\{(1 - P_w)(1 - \theta P)\}]$$

Ecuación 2. Concentración de equilibrio de oxígeno

Dónde:

C* = concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión estándar de 1 atmósfera, P = presión no estándar (atmósferas), P_w = presión parcial de vapor de agua (atmósferas.), θ = Factor de corrección de la temperatura (°C) a condiciones estándar

TE: Temperatura (°K)

$$TE = T + 273.15.$$

Una vez calculado el porcentaje de saturación del OD el subíndice se calcula con la fórmula:

$$I_{\% \text{ sat OD}} = 1 - (1 - 0.01 \times \% \text{ saturación de OD})$$

Ecuación 3. Subíndice de saturación de oxígeno

- **Sólidos Suspendedos**

Su presencia en los cuerpos de agua es un indicador de cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente y puede relacionarse con la presión por erosión, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad.

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \times SST \frac{mg}{L})$$

Si $SST \leq 4.5$, entonces $I_{sst} = 1$

Si $SST \geq 320$, entonces $I_{sst} = 0$

Ecuación 4. Subíndice del cálculo de saturación de oxígeno

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Es un indicador de vertimientos de origen doméstico e industrial, que expresa la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar biológicamente la materia orgánica; la fórmula para el cálculo del subíndice es:

$$I_{DBO_5} = 1 - (0.05 + 0.70 \log_{10} DBO_5)$$

Ecuación 5. Subíndice de DBO5

Para $DBO_5 > 30 \text{ mg O}_2/\text{L}$ tienen $IDBO_5 = 0$

Para $DBO_5 < 2.0 \text{ mg O}_2/\text{L}$ tienen $IDBO_5 = 1$

- **Demanda Química de Oxígeno**

A través de este indicador se determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica en agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo, según método estandarizado para este efecto. Se calcula de la siguiente manera:

Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0.91$

Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0.71$

Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0.51$

Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0.26$

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0.125$

Ecuación 6. Subíndice de DQO

- **Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)**

Es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. También se constituye en una medida indirecta de los sólidos disueltos (Sierra, 2011).

El subíndice se calcula de la siguiente forma:

$$I_{\text{Cond}} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 \log_{10} \text{Conductividad})}$$

Cuando $I_{\text{cond}} < 0$ (negativo)

Entonces $I_{\text{cond}} = 0$

Ecuación 7. Subíndice de conductividad eléctrica

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Mide la acidez total o la alcalinidad total, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

Si $\text{pH} < 4$, entonces $I_{\text{pH}} = 0.10$

$$I_{\text{pH}} = 0.02628419 \times e^{(\text{pH} \cdot 0.520025)}$$

Si pH está entre 8.1 y 11, entonces

$$I_{\text{pH}} = 1 \times e^{((\text{pH} - 8) \cdot 0.5187742)}$$

Si pH es > 11.1 $I_{\text{pH}} = 0.10$

Ecuación 8. Subíndice de pH

- **Nitrógeno total NTK / Fósforo Total**

Mide la degradación de la cuenca por intervención antrópica, es una forma de tomar prestado el concepto de saprobiedad aplicado a cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.) como 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 ríos neotropicales (desde el Norte de Argentina hasta el centro de Méjico).

La fórmula para calcular el subíndice de calidad para N/P es:

$$\text{Si } N:P \geq 15, \text{ entonces } I_{N/P} = 0.80$$

$$\text{Si } 10 < N:P < 15, \text{ entonces } I_{N/P} = 0.60$$

$$\text{Si } 5 < N:P \leq 10, \text{ entonces } I_{N/P} = 0.35$$

$$\text{Si } N:P \leq 5, \text{ entonces } I_{N/P} = 0.15$$

Ecuación 9. Subíndice de Nitrógeno/Fosforo

6.15.1.2 Factores de ponderación de acuerdo con las variables fisicoquímicas

Luego de la asignación de este valor adimensional y una ponderación (porcentaje) dada a cada parámetro fisicoquímico, se obtiene el valor del ICACOSU y se adopta su convención de acuerdo con la clasificación dada en la Tabla 29.

Tabla 29. Ponderación propuesta para disponibilidad de información de seis (6) variables – Red básica de calidad hídrica del IDEAM

VARIABLE	EXPRESADA COMO	PESO DE IMPORTANCIA
Oxígeno Disuelto, OD	% Saturación	0,17
Sólidos Suspendidos	mg/L	0,17
DQO	mg/L	0,17
Conductividad Eléctrica	μS/cm	0,17
Relación N Total/P Total	N/P	0,17
pH	Unidades de pH	0,15



Para calcular el ICACOSU se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices. Estas agregaciones ponderadas se expresan matemáticamente mediante la sumatoria del producto del peso de importancia por el subíndice. El descriptor del índice corresponderá según su magnitud a los rangos de calidad que también se puede representar gráficamente por un color, la clasificación va de acuerdo con el valor numérico (de 0 a 1) y su respectivo código de colores (Tabla 30).

Tabla 30. Clasificación de la calidad del recurso hídrico de acuerdo al valor numérico obtenido del ICACOSU y su respectivo código de colores

CLASIFICACION DE LA CALIDAD DEL RECURSO HIDRICO	RANGO NUMERICO DE VALORES	COLOR
Buena	0,91 – 1,00	Azul
Aceptable	0,71 – 0,90	Verde
Regular	0,51 – 0,70	Amarillo
Mala	0,26 – 0,50	Naranja
Muy Mala	0,00 – 0,25	Rojo

- **Usos del agua con base en el índice de calidad de agua superficial ICACOSU**

En la Tabla 31, se plantean los posibles usos del agua de acuerdo con la clasificación realizada con el ICACOSU. Asimismo, los usos del agua se agrupan en las actividades más importantes y comunes que se pueden realizar, si se cumple con el criterio de calidad establecido. El cumplimiento de un criterio no significa que el agua se pueda utilizar para las actividades especificadas, simplemente dichos usos planteados sirven como guía.

Además, estos se pueden plantear como objetivos o metas de calidad futuras de acuerdo con las restricciones impuestas por la normatividad ambiental vigente y exigir que dichos objetivos se cumplan con la aplicación de planes de ordenamiento de cuencas (POMCA), planes de saneamiento y manejo de vertimientos PSMV, decreto 1541 de 1978, entre otras normatividades ambientales como son el decreto 1594 de 1984, decreto 3930 de 2010, decreto 4728 de 2010, resolución 075 de 2011, resolución 1514 de 2012, resolución 2115 del 22 de junio de 2007 (destinación para consumo humano), decreto 2667 de 2012 y resolución 0631 de 2015.

La Tabla 31 se plantea con base a la información y clasificación planteada por Guzmán y Merino, 1992, Montoya et al, (1997) y modificada por Gómez, et al, 2007 teniendo en cuenta la normatividad Colombiana.

Tabla 31. Principales usos del agua de acuerdo con los valores obtenidos del índice ICACOSU

VALORES ICACOSU Y CONVENCION	CLASIFICACION DE LA CALIDAD DEL RECURSO HIDRICO	CONSUMO HUMANO Y POTABILIZACION	RECREO	VIDA ACUATICA	AGRICOLA	INDUSTRIAL	NAVEGACION	PECUARIO	TRANSPORTE DE DESECHOS TRATADOS
0,91 - 1,00	Buena	Requiere de procesos de tratamiento mínimo o primario	Aceptable para todo tipo de deporte acuático (Natación, Buceo, etc.)	Aceptable para todo tipo de organismos	Riego de cualquier tipo de cultivos (Frutales, Hortalizas)	Aceptable sin tratamiento para la industria común	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable sin tratamiento para especies adaptadas a este tipo de ecosistema	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos tratados
0,71 - 0,90	Aceptable	Requiere de procesos de tratamiento de potabilización primarios y secundarios	Aceptable pero no recomendable para contacto directo	No apta para especies acuáticas sensibles	Con restricción para riego a ciertos tipos de cultivos o con lavado posterior	Aceptable con tratamiento para la industria común	Navegable con restricción de contacto humano	Aceptable con tratamiento para la mayoría de las especies	
0,51 - 0,70	Regular	Riesgo Consumo o Requiere de procesos de tratamiento de potabilización terciarios o avanzados	Actividades sin contacto humano directo con el agua (Deportes náuticos)	Organismos acuáticos resistentes y especies específicas					
0,26 - 0,50	Mala	Inaceptable para potabilización y consumo humano	Inaceptable	Especies específicas adaptadas a las condiciones de este tipo de ecosistema	Uso muy restringido, solo para ciertos casos	Uso restringido	Uso restringido		
0,0 - 0,25	Muy Mala				Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	

(Tomada de Guzmán y Merino, 1992, Montoya et al, 1997 y modificada por Gómez, et al, 2007 teniendo en cuenta la normatividad Colombiana).

6.15.2 Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá-Medellín para el segundo semestre de 2012

En la Tabla 32 se presentan los resultados promedio para el índice de calidad del agua ICACOSU en las estaciones sobre el río, para el segundo semestre de 2012.

Tabla 32. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín segundo semestre 2012

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN ICACOSU
San Miguel	E1	0,90	Aceptable
Primavera	E2	0,86	Aceptable
Ancón Sur	E3	0,68	Regular
Antes de San Fernando	E5	0,66	Regular
Después de San Fernando	E6	0,54	Regular
Aula Ambiental	E8	0,45	Mala
Puente Acevedo	E9	0,40	Mala
Puente Machado	E11	0,33	Mala
Niquía	E21	0,34	Mala
Ancón Norte	E12	0,32	Mala
Papelsa	E16	0,49	Mala
Puente Gabino	E20	0,53	Regular



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



La Figura 37, muestra que las estaciones San Miguel (E1) y Primavera (E2), presentaron en promedio una calidad del agua **aceptable**, donde la estación E1 está muy cercana a una calidad buena, condición que se vio reflejada en la mayoría de los muestreos realizados durante 2012.

Entre las estaciones Ancón Sur (E3) y Después de San Fernando (E6), el río exhibió una calidad del agua **regular**, correspondiente con el efecto de las aguas residuales de los Municipios de Caldas y La Estrella, así como del aporte que carga contaminante de quebradas como La Doctora, Doña María, La Ayurá, y la descarga de la PTAR San Fernando.

En el tramo comprendido entre las estaciones Aula Ambiental (E8) hasta la estación Papelsa (E16), se encontró una calidad **mala** del agua, aunque ésta última estación, ha mostrado una tendencia a presentar una mejor calidad del agua y por consiguiente puede verse en ocasiones con un indicador regular.

La estación Puente Gabino (E20), tuvo una calidad del agua **regular**, reflejando en todos los monitoreos del semestre, una recuperación respecto a las estaciones del tramo medio a bajo de la cuenca. Lo que se ha atribuido a fenómenos de dilución, asimilación y sedimentación de contaminantes en este tramo del río.

Es pertinente relacionar la información de aquellas quebradas que presentaron una **mala** calidad del agua son: La Altavista (Q8), La Hueso (Q9), Santa Elena (Q10), La Rosa (Q12), La Madera (Q13) La García (E10), La Señorita (Q17) y La Picacha (Q20). Las cuales mostraron un aumento considerable en los parámetros de interés para el cálculo del índice, principalmente en lo relacionado con la DBO₅, DQO, fósforo total, nitrógeno total, SST y conductividad eléctrica.

Estos valores son consistentes con resultados obtenidos durante la fase III, en los cuales se reportó el mismo índice de calidad para éstas quebradas.

De igual manera, los afluentes anteriores, confluyen en el río Aburrá - Medellín, en un tramo identificado ya como crítico, que va desde antes de la estación Aula Ambiental hasta la estación Niquía y como características generales, en estas quebradas, se presentan descargas de aguas residuales domésticas y en algunos casos industriales (como en la quebrada la García), además de intervenciones del cauce por extracción de material de playa, sumado a la inadecuada disposición de residuos sólidos en sus márgenes o directamente a la corriente.

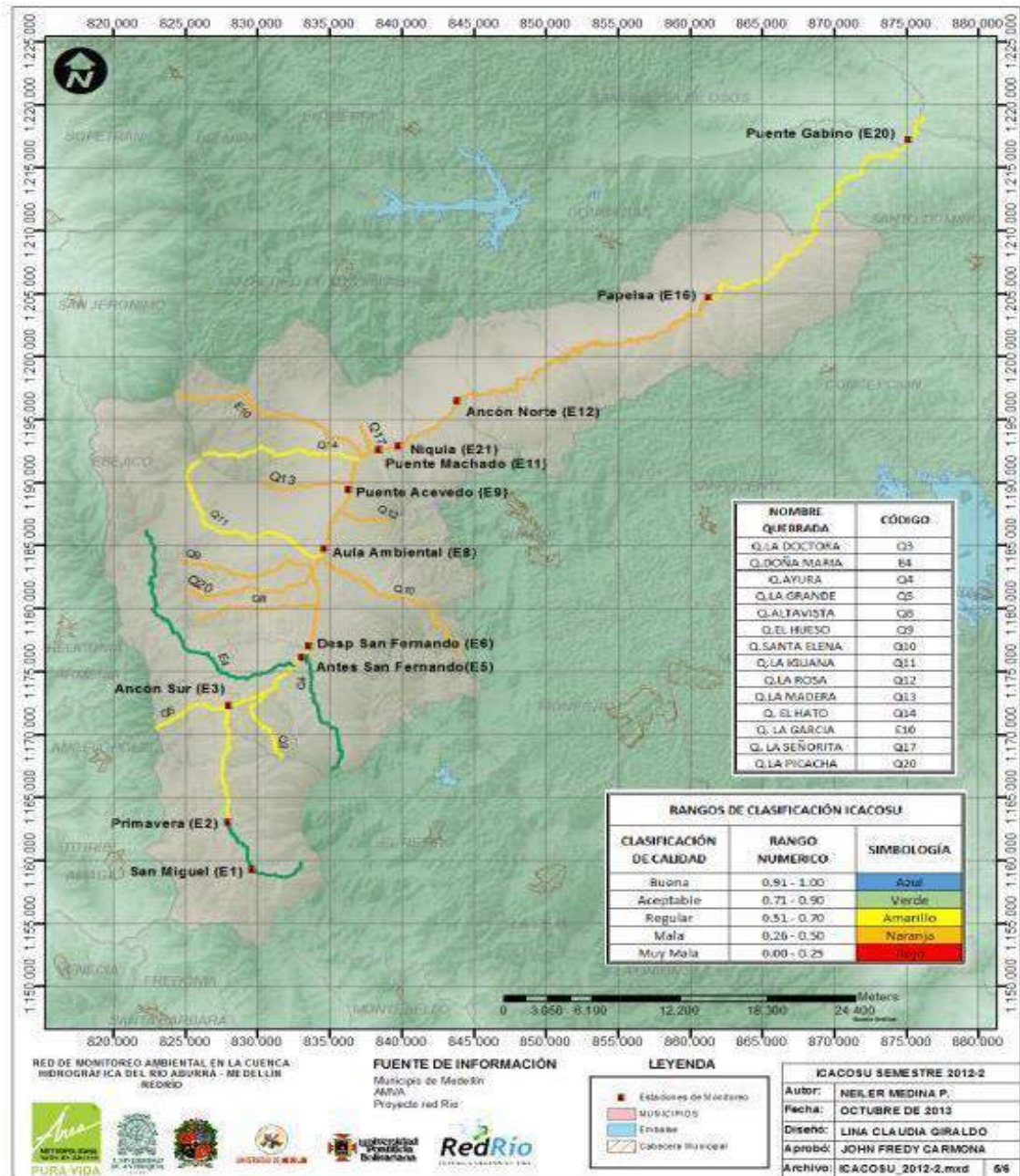


Figura 37. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del segundo semestre de 2012 (septiembre-noviembre)

6.15.3 Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá-Medellín para el primer semestre de 2013

Durante el primer semestre del 2013, la Red de Monitoreo Ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín - RedRío, se realizaron 6 campañas de monitoreos de agua superficial en las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín. A continuación se presentan los resultados del Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales – ICACOSU, aplicado para determinar la calidad del agua de esta corriente (Tabla 33).

Tabla 33. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín primer semestre

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN ICACOSU
San Miguel	E1	0,84	Aceptable
Primavera	E2	0,86	Aceptable
Ancón Sur	E3	0,61	Regular
Antes de San Fernando	E5	0,60	Regular
Después de San Fernando	E6	0,48	Mala
Aula Ambiental	E8	0,45	Mala
Puente Acevedo	E9	0,34	Mala
Puente Machado	E11	0,32	Mala
Niquía	E21	0,32	Mala
Ancón Norte	E12	0,31	Mala
Papelsa	E16	0,59	Regular
Puente Gabino	E20	0,53	Regular

Como se observa en la tabla anterior, las estaciones San Miguel y Primavera, obtuvieron una calidad del agua **aceptable** durante el primer semestre de 2013; sin embargo, la calidad en ambas estaciones estuvo cerca de una calidad **buena**.

Ésta clasificación se debe, a que en la parte alta de la cuenca, la población asentada es poca y por consiguiente las actividades que causan contaminación en el cuerpo de agua generan bajo impacto y pueden ser asimiladas por la corriente.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



En este tramo del río, se han identificado principalmente, vertimientos de agua residual doméstica, pastoreo de ganado lechero y la extracción de material aluvial; no obstante, dichas prácticas son de baja intensidad. Siguiendo aguas abajo, se encuentran las estaciones Ancón Sur y Antes de San Fernando, en las cuales se obtuvo una calidad del agua **regular**.

Lo anterior, se atribuye principalmente al vertimiento de las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, de los municipios de Caldas y parte de La Estrella, directamente sobre el río o las quebradas afluentes, siendo notable el deterioro que sufre este tramo del río en comparación con las estaciones San Miguel y Primavera.

Así mismo, debido al aumento de las actividades humanas a lo largo de la cuenca, en el tramo comprendido entre la estación Después de San Fernando y Ancón Norte, se observa una **mala** calidad del agua, presentando el punto más crítico en ésta última estación, en la que el río se acerca a una **muy mala** calidad.

El deterioro del recurso hídrico en este tramo, se debe a la alta carga de contaminantes generados en los municipios de Medellín y Bello que son vertidos al río, hasta tanto se construya y entre el operación la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Norte, la cual se espera inicie operaciones en el año 2015.

Además, cabe resaltar que en el tramo más crítico, ubicado entre la estación Aula Ambiental y Ancón Norte, se presentan vertimientos importantes como el de los interceptores oriental y occidental, a la altura del sector de Moravia, los cuales están en proceso de extensión para transportar las aguas residuales hasta la mencionada planta y adicionalmente están los aportes en cargas contaminantes que se vierten a las cuencas de las quebradas afluentes como La Señorita, La García y el Hato, las cuales se han encontrado en avanzado estado de deterioro.

En el tramo final del río, las estaciones Papelsa y Puente Gabino, presentaron recuperación de la calidad del agua, pasando de una **mala** calidad a una **regular**. En este tramo, se han presentado la confluencia de afluentes con mejor calidad a la del río, y que ayudan en los procesos de dilución y re-oxigenación de la corriente, ocasionando un mejoramiento de la calidad del agua en el mismo.

Es importante enfatizar, como se indicó anteriormente, que con la entrada operación la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Bello se espera que las condiciones actuales del río mejoren sustancialmente.

En la Tabla 34, se presentan los resultados del ICACOSU para 14 quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín durante la campaña efectuada el 6 de marzo de 2013. Los resultados obtenidos reflejan las condiciones globales de cada quebrada puesto que los análisis respectivos se realizaron sobre muestras compuestas.

Tabla 34. Resultado ICACOSU quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín marzo 6 de 2013

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACION CALIDAD
Q. Doña María	E4	0,66	Regular
Q. Altavista	Q8	0,32	Mala
Q. La Picacha	Q20	0,26	Mala
Q. La Hueso	Q9	0,28	Mala
Q. La Iguaná	Q11	0,43	Mala
Q. Santa Elena	Q10	0,37	Mala
Q. La Rosa	Q12	0,37	Mala
Q. La Madera	Q13	0,39	Mala
Q. La Seca	Q21	0,42	Mala
Q. El Hato	Q14	0,47	Mala
Q. La García	E10	0,18	Muy Mala
Q. La Señorita	Q17	0,36	Mala
Q. El Molino	Q22	0,34	Mala
Q. La Bermejala	Q23	0,34	Mala

La quebrada Doña María (E4) exhibió durante esta campaña la mejor calidad entre las diferentes quebradas monitoreadas, presentando una calidad del agua **regular**. Es muy importante resaltar, que está quebrada se encuentra en proceso de saneamiento, y que visualmente se ha podido constatar el efecto de dichas obras, no obstante, durante la campaña de monitoreo se observó el nivel del agua demasiado bajo, situación que coadyuvó a una concentración mayor de los contaminantes en la corriente, y por ende su calificación regular. Los afluentes restantes al río Aburrá – Medellín, excepto la quebrada La García (E10) que tuvo una calidad del agua **muy mala**, se clasificaron con una calidad **mala** del agua. Entre los afluentes con calidad mala del agua, se destacaron por presentar condiciones de menor deterioro, las quebradas El Hato (Q14) y La Iguaná (Q11), donde la primera estuvo cercana a una calidad regular del agua, obteniendo un valor de calificación de 0,47 y que para una calidad regular, la calificación mínima sería de 0,50. En contraparte, los tributarios que dentro del rango de calificación mala del agua evidenciaron un mayor grado de contaminación, fueron las quebradas La Picacha (Q20) y La Hueso (Q9), con calificaciones de 0,26 y 0,28; respectivamente, muy cercanas al valor de un agua con calidad muy mala, cuyo límite superior es de 0,25.

Como se mencionó anteriormente, la quebrada La García (E10), presentó una calidad **muy mala** del agua, estando casi un punto por debajo de la calidad reportada para la quebrada La Picacha (Q20), que entre las que mostraron una calidad mala, lució más deteriorada que el resto. Los resultados de la presente campaña, en comparación con los obtenidos durante la del 31 de octubre de 2012, reflejan un deterioro en la calidad del agua en los afluentes monitoreados durante ambas campañas. En especial, se destaca el deterioro observado en las quebradas La Iguaná (Q11) y La García (E10), que de una calidad del agua **regular** y **mala**, pasaron a una calidad **mala** y **muy mala**, respectivamente.

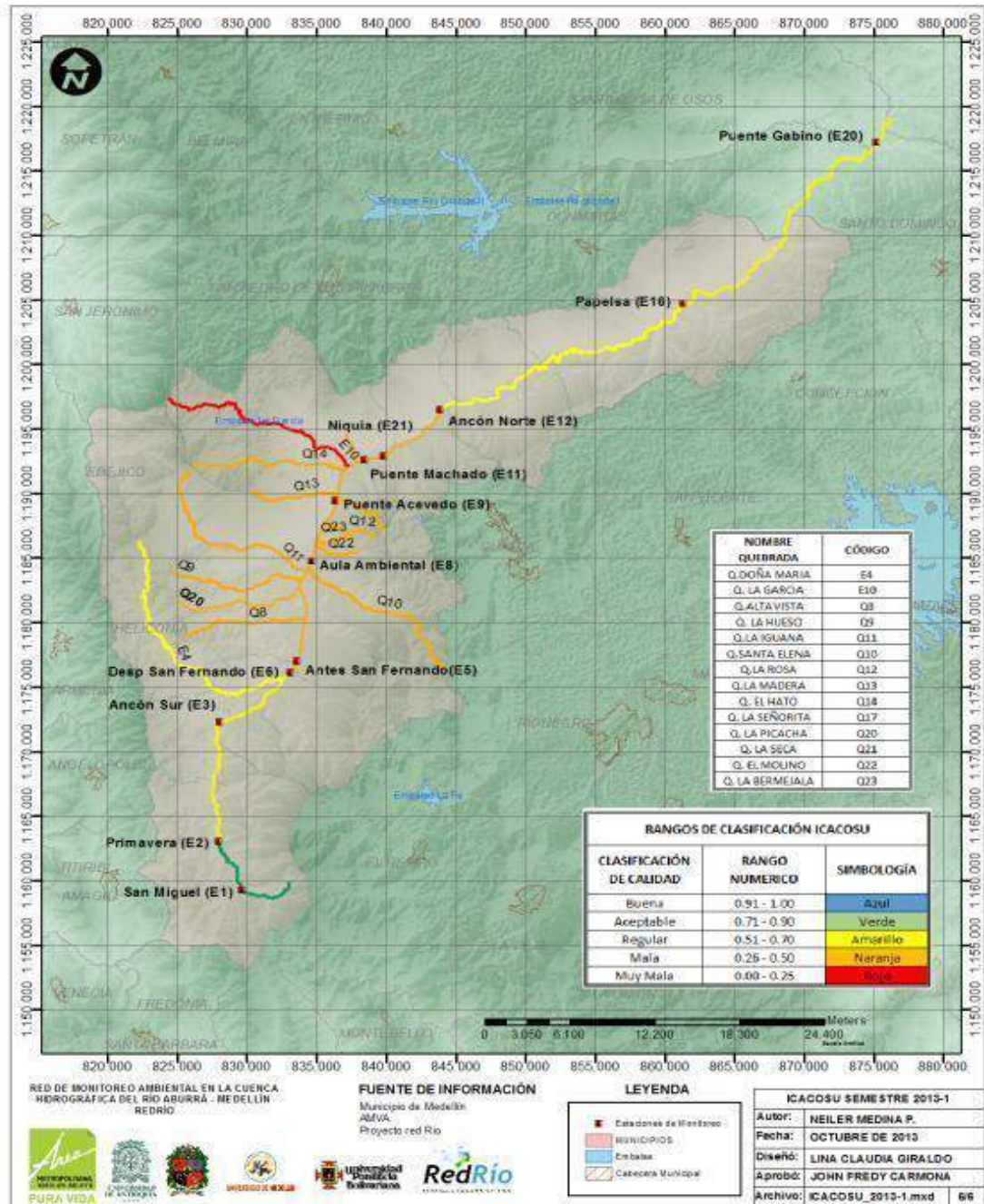


Figura 38. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del primer semestre de 2013

6.15.4 Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá-Medellín para el segundo semestre de 2013

En la Tabla 35, se presenta los resultados promedio para el índice de calidad del agua ICACOSU en las estaciones sobre el río, para el segundo semestre de 2013.

Tabla 35. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín. Segundo semestre de 2013

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN ICACOSU
San Miguel	E1	0,88	Aceptable
Primavera	E2	0,90	Aceptable
Ancón Sur	E3	0,64	Regular
Antes de San Fernando	E5	0,65	Regular
Después de San Fernando	E6	0,47	Mala
Aula Ambiental	E8	0,41	Mala
Puente Acevedo	E9	0,25	Muy Mala
Puente Machado	E11	0,27	Mala
Niquía	E21	0,30	Mala
Ancón Norte	E12	0,29	Mala
Papelsa	E16	0,55	Regular
Puente Gabino	E20	0,57	Regular

Como se observa en la Figura 39, Las estaciones San Miguel (E1) y Primavera (E2), obtuvieron una calidad del agua **aceptable** durante el segundo semestre de 2013; a pesar de ello, la calidad en ambas estaciones estuvo cerca de una calidad buena. Dicha calidad se debe, a que en la zona donde se ubican ambas estaciones, se presenta una intervención antrópica sobre el cauce, relativamente baja o moderada; siendo asimilada por la corriente sin comprometer significativamente sus condiciones de calidad. Aguas abajo, se encuentran las estaciones Ancón Sur (E3) y Antes de San Fernando (E5), en las cuales se obtuvo una calidad del agua **regular**. Lo anterior, se atribuye a la carga contaminante transportada por el río, proveniente de los municipios de Caldas y La Estrella; disminuyendo apreciablemente su calidad con respecto a las estaciones E1 y E2.

Por su parte, el tramo del río comprendido entre la estación Después de San Fernando (E6) y Ancón Norte (E12), exhibió una **mala** calidad del agua, presentando el punto más crítico en la estación Puente Acevedo (E9), con una calidad del agua **muy mala**; seguida además por la estación Puente Machado (E11) muy cercana a ésta misma calidad. El deterioro del río Aburrá – Medellín en este tramo, se debe a la alta carga contaminante transportada por el río, sumada al vertimiento de los interceptores de EPM, y al aporte de contaminantes desde quebradas afluentes como La Rosa, La Señorita, La Madera y La García, las cuales se han encontrado en avanzado estado de deterioro. En el tramo final del río, las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20), presentaron recuperación de la calidad del agua, pasando de una **mala** calidad a una **regular**. Efecto que se atribuye principalmente a fenómenos de dilución por efecto del incremento de caudales del río y la entrada de afluentes con calidades aceptables o regulares, así como a procesos de asimilación de la corriente, favorecidos por

las características naturales del canal y su interacción con la vegetación y el mismo lecho del río.

Resumiendo, los resultados de calidad durante el segundo semestre de 2013 en comparación con los resultados obtenidos durante el primer semestre del mismo año, muestran una leve disminución de la calidad del agua; específicamente en el tramo entre las estaciones E6 y E12. Sin embargo, dichas diferencias no son amplias y cabe anotar que durante los muestreos realizados en ambos semestres, las condiciones climáticas fueron relativamente similares.

6.15.5 Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá-Medellín para el primer semestre de 2014

En la Tabla 36, se presenta los resultados promedio para el índice de calidad del agua ICACOSU en las estaciones sobre el río, para el primer semestre de 2014.

Tabla 36. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín. Primer semestre de 2014

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN ICACOSU
San Miguel	E1	0,87	ACEPTABLE
Primavera	E2	0,57	REGULAR
Ancón Sur	E3	0,61	REGULAR
Antes de San Fernando	E5	0,59	REGULAR
Después de San Fernando	E6	0,43	MALA
Aula Ambiental	E8	0,41	MALA
Puente Acevedo	E9	0,34	MALA
Puente Machado	E11	0,28	MALA
Niquía	E21	0,27	MALA
Ancón Norte	E12	0,26	MALA
Papelsa	E16	0,42	MALA
Puente Gabino	E20	0,52	REGULAR

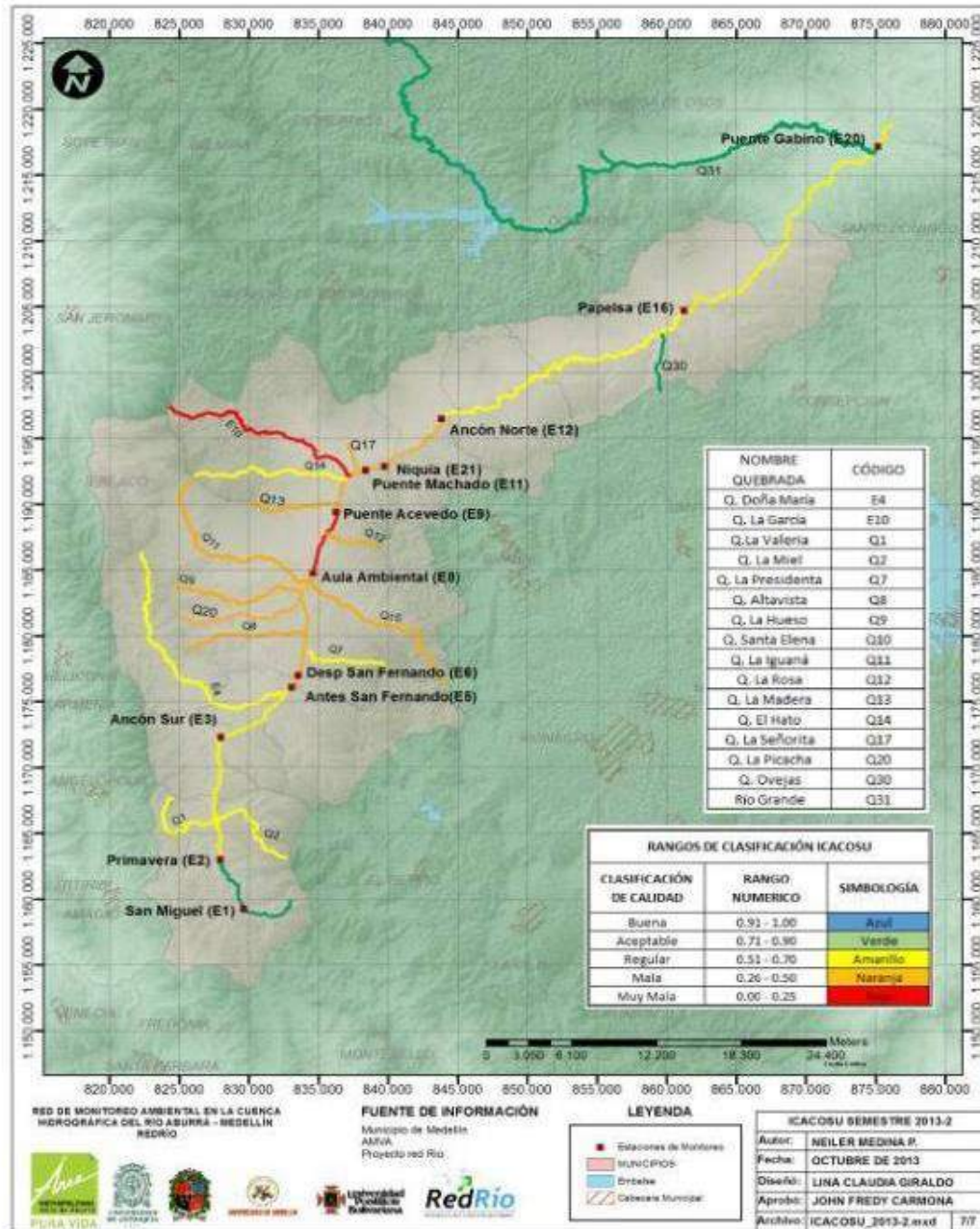


Figura 39. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del segundo semestre de 2013



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



En la Tabla 36, se muestra el comportamiento de la calidad del agua a lo largo de las 12 estaciones de monitoreo para el primer semestre de 2014. Allí, la estación San Miguel (E1) obtuvo una calidad del agua **aceptable** durante el primer semestre de 2014; muy cerca de una calidad buena.

En general, se han visto actividades en este sector de la cuenca como pastoreo de ganado vacuno, extracción de material del playa, asentamientos de vivienda dispersa, entre otros; que generan una leve presión o contaminación sobre el recurso hídrico, sin embargo, dichos impactos son de baja intensidad y no han significado un deterioro considerable de la calidad del agua en la parte alta de la cuenca. Aguas abajo, las estaciones Primavera (E2), Ancón Sur (E3) y Antes de San Fernando (E5), presentaron en promedio una calidad del agua **regular**.

Lo anterior, se atribuye al efecto de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, provenientes de los municipios de Caldas y La Estrella. Debe anotarse, que la calidad del agua en la estación E2 se ve un poco por debajo de las estaciones E3 y E5, debido a que solo se contó con el dato de un solo monitoreo para dicha estación, y por lo tanto representa solo las condiciones particulares de la campaña de monitoreo efectuada el 19 de febrero de 2014.

De otro lado, el tramo del río comprendido entre la estación Después de San Fernando (E6) y Papelsa (E16), exhibió una **mala** calidad del agua, siendo la estación Ancón Norte (E12) la de condición más crítica, muy cercana a una muy mala calidad del agua; seguida por la estación Niquía (E21). Como se ha visto reiteradamente, en la estación Papelsa (E16) se observó una recuperación de las condiciones ambientales del río, que pese a presentarse en promedio para este semestre una calidad mala del agua, ésta se encuentra próxima a una calidad regular.

Para la estación Puente Gabino (E20), se encontró una calidad del agua **regular**, evidenciando una disminución de la carga contaminante respecto al tramo anterior. Esto se justifica por los procesos de dilución debidos al incremento de caudales en este punto del río, la entrada de afluentes con mejor calidad como el Río Grande y la descarga de la Tasajera; así como a procesos de asimilación de la corriente.

Al comparar los promedios del primer semestre de 2014 con los del segundo semestre de 2013, se destaca principalmente una disminución de la calidad del agua en las estaciones Primavera (E2) y Papelsa (E16), que ostentaron durante el semestre anterior calidad aceptable y regular, respectivamente que pasaron a calidad regular y mala durante el primer semestre de 2014.

En la Tabla 37, se presentan los resultados del índice de calidad del agua ICACOSU para 14 afluentes al río Aburrá – Medellín, monitoreados durante la campaña de quebradas efectuada el 12 de marzo 2014.

Tabla 37. Resultado ICACOSU quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín marzo 12 de 2014

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN CALIDAD
Q. La Grande	Q5	0,55	REGULAR
Q. Altavista	Q8	0,53	REGULAR
Q. La Hueso	Q9	0,35	MALA
Q. Santa Elena	Q10	0,45	MALA
Q. La Iguaná	Q11	0,38	MALA
Q. La Rosa	Q12	0,39	MALA
Q. La Madera	Q13	0,40	MALA
Q. El Hato	Q14	0,49	MALA
Q. La Señorita	Q17	0,38	MALA
Q. La Picacha	Q20	0,38	MALA
Q. La García	E10	0,35	MALA
Q. El Tábano	Q26	0,48	MALA
Q. El Salado	Q27	0,64	REGULAR

Como puede verse, de las 14 quebradas monitoreadas, 10 presentaron una mala calidad del agua, en un rango de calificación de 0,35 a 0,49. De otro lado, las quebradas La Grande (Q5), Altavista (Q8) y El Salado (Q27) ostentaron una calidad del agua regular, siendo la quebrada El Salado la de mejores condiciones. Por otra parte, para la quebrada Doña María (E4) no fue calculado el índice, ya que no se determinaron los parámetros de temperatura del agua ni el oxígeno disuelto, debido a que no fue posible utilizar el equipo automático (IQ) dadas las condiciones de alto caudal en la corriente.

Debe decirse, que de manera general, la calidad reportada en las quebradas durante la presente jornada estuvo fuertemente influenciada por los eventos de lluvia previos al monitoreo y durante el transcurso del mismo; ya que se presentó un aumento en el contenido de sólidos suspendidos totales (SST) como consecuencia del arrastre de sedimentos debido al aumento del caudal en las quebradas como consecuencia de las fuertes lluvias. En la Figura 40 se presenta el resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del primer semestre de 2014, sobre el río Aburrá –Medellín.

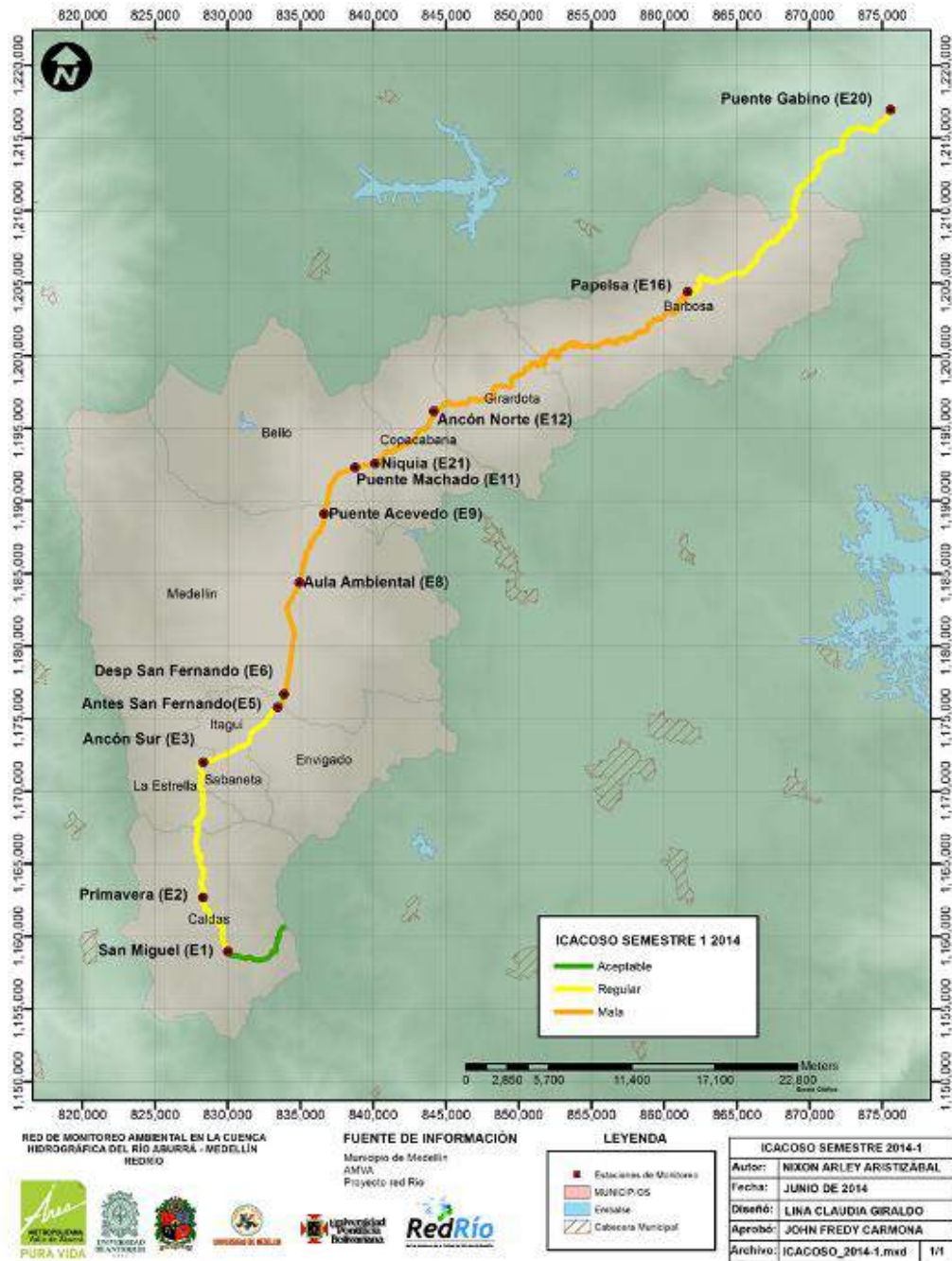


Figura 40. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del primer semestre de 2014

6.15.6 Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá-Medellín para el segundo semestre de 2014

En la Tabla 38, se presenta los resultados promedio para el índice de calidad del agua ICACOSU e ICA GLOBAL en las estaciones sobre el río, obtenidos para el segundo semestre de 2014. (Figura 41).

Tabla 38. Resultado del índice ICACOSU e ICA GLOBAL promedio para el río Aburrá – Medellín. Segundo semestre de 2014

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN CALIDAD	VALOR ICA GLOBAL	CLASIFICACIÓN CALIDAD
San Miguel	E1	0,91	BUENA	1,95	BUENA
Primavera	E2	0,85	ACEPTABLE	4,52	ACEPTABLE
Ancón Sur	E3	0,60	REGULAR	7,94	REGULAR
Antes de San Fernando	E5	0,59	REGULAR	8,61	REGULAR
Después de San Fernando	E6	0,44	MALA	11,25	MALA
Aula Ambiental	E8	0,33	MALA	10,95	MALA
Niquía	E21	0,27	MALA	12,87	MUY MALA
Ancón Norte	E12	0,30	MALA	12,83	MUY MALA
Papelsa	E16	0,43	MALA	9,39	MALA
Puente Gabino	E20	0,45	MALA	9,55	MALA

De acuerdo con la clasificación de los ICAS mostrados, el río Aburrá-Medellín presentó calidad **buena** en la cabecera o cercanías de su nacimiento, en donde se encuentra ubicada la estación San Miguel (E1). Seguidamente, se encuentra la estación Primavera (E2), en la que se obtuvo una calidad del agua **aceptable** a través de los dos índices empleados, esto refleja la incidencia de los primeros asentamientos urbanos en el área de influencia de la cuenca y la incidencia negativa sobre esta, en relación con los vertimientos generados por actividades antrópicas y usos del suelo. En las estaciones Ancón Sur (E3) y Antes de San Fernando (E5), ambos índices arrojaron una calificación de calidad **regular** del agua, que se puede atribuir, a que aguas arriba de las mismas se presentan las descargas de aguas residuales provenientes de los Municipios de Caldas y La Estrella, además del aporte de las quebradas tributarias en el tramo Primavera-Antes de San Fernando.

Para las estaciones restantes, esto es, entre Después de San Fernando (E6) y Puente Gabino (E20), el índice ICACOSU arrojó una calificación **mala** del agua. Siendo los resultados más críticos para las estaciones Aula Ambiental (E8), Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), lo que se ratifica por medio del ICA Global ya que éste, siendo más estricto, arrojó una clasificación de calidad **muy mala** para E21 y E12, evidenciando así el notable empobrecimiento de la calidad del agua en respuesta a la importante cantidad de vertimientos recibidos por el río a la altura de las estaciones mencionadas, entre ellos, la contaminación proveniente de las zonas Sur y Centro del Valle de Aburra, el efluente de la PTAR San Fernando, aguas arriba de la estación E6, la descarga de los interceptores occidental y oriental en el sector de Moravia, siendo los dos últimos latentes a la altura de las estaciones mencionadas, por lo cual se manifiestan con mayor magnitud en las mismas. Finalmente, en las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino

(E20) se apreció cambio con relación a las estaciones E21 y E12, aportado por el ICA Global, ya que la calidad pasó de **muy mala** a **mala**, obedeciendo a procesos de dilución ocurridos a la altura de las estaciones, coadyuvados por las condiciones locales de la hidráulica del río, definidas por el lecho natural, los tramos de alta pendiente y la confluencia con otras corrientes.

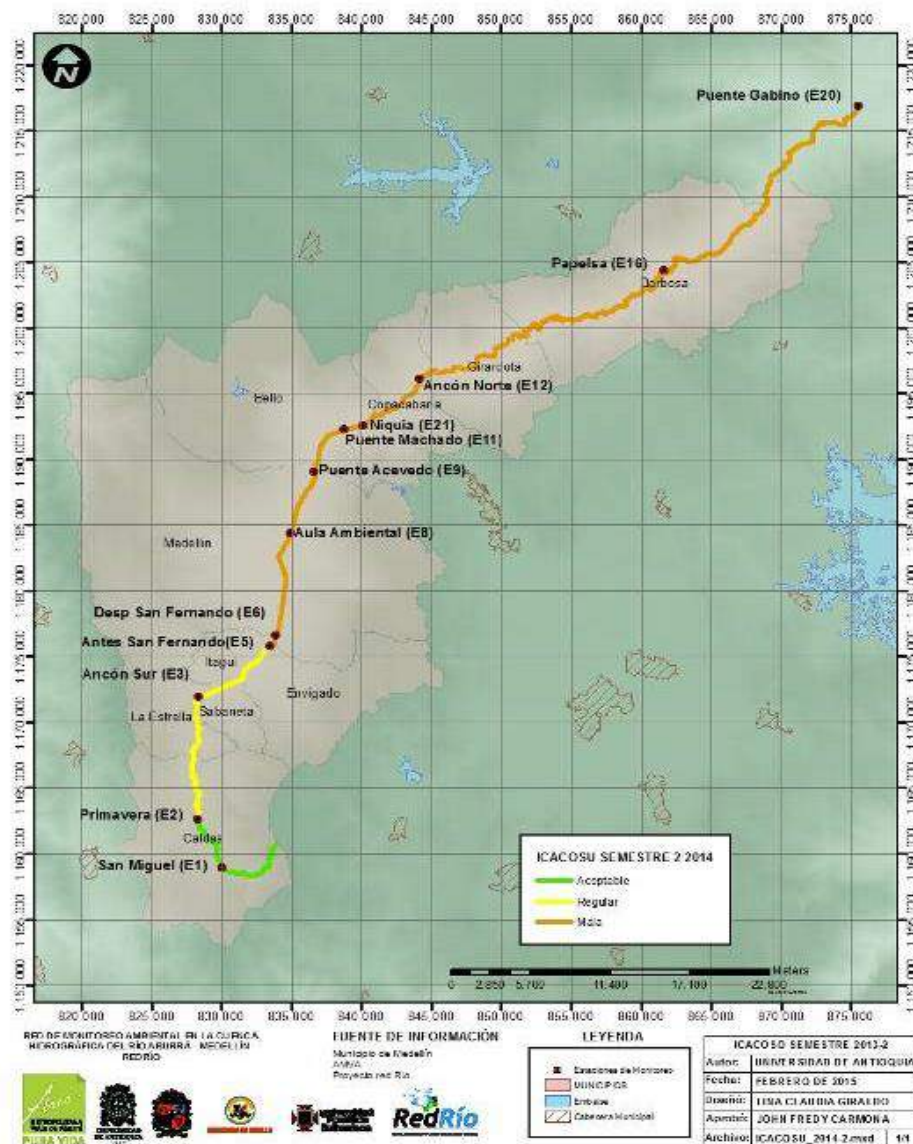


Figura 41. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del segundo semestre de 2014

En la Tabla 39, se presentan los resultados de los índices de calidad del agua ICACOSU e ICA Global para 14 quebradas afluentes río Aburrá–Medellín, monitoreadas durante la campaña ejecutada el 5 de noviembre de 2014.

Tabla 39. Resultado de los índices de calidad para las principales quebradas afluentes al río Aburrá–Medellín noviembre 5 de 2014

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN CALIDAD	VALOR ICA GLOBAL	CLASIFICACIÓN CALIDAD
Q. Doña María	E4	0,73	ACEPTABLE	3,96	ACEPTABLE
Q. Altavista	Q8	0,29	MALA	11,00	MALA
Q. La Hueso	Q9	0,32	MALA	10,56	REGULAR
Q. Santa Elena	Q10	0,42	MALA	10,78	REGULAR
Q. La Iguaná	Q11	0,56	REGULAR	7,48	REGULAR
Q. La García	E10	0,28	MALA	9,46	REGULAR
Q. La Rosa	Q12	0,45	MALA	12,45	MALA
Q. La Madera	Q13	0,47	MALA	10,14	REGULAR
Q. El Hato	Q14	0,60	REGULAR	3,37	BUENA
Q. La Señorita	Q17	0,34	MALA	13,21	MALA
Q. La Picacha	Q20	0,46	MALA	10,88	MALA
Q. El Tábano	Q26	0,36	MALA	9,91	REGULAR
Q. La López	Q28	0,55	REGULAR	6,62	ACEPTABLE
Q. El Matadero	Q33	0,29	MALA	14,04	MALA

Se resalta que los resultados presentados si bien corresponden a muestras compuestas, no reflejan la dinámica propia de las quebradas, dado que el monitoreo se realiza en un solo sitio del cauce de las mismas, contiguo al punto de afluencia al río Aburrá-Medellín. Igualmente, es necesario declarar que el soporte en cantidad de información es limitada, dado que los Indicadores de Calidad para Quebradas están apenas en construcción, por lo que no es notable la diferencia en exigencia en los indicadores. Por tanto el presente análisis se concibe a la luz de la calidad de agua aportada al río desde dichos afluentes.

La mejor clasificación de calidad obtenida a través del ICACOSU para la campaña, fue **aceptable** en la quebrada Doña María (E4), mismo resultado arrojado por el ICA Global y que puede relacionar con las obras de saneamiento desarrolladas en la microcuenca. No obstante, ésta quebrada es bastante intervenida ya que en la parte alta de su cuenca se realiza explotación forestal y ganadería, y la parte media baja es afectada por el mayor conglomerado



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



humano, constituido por los municipios de Itagüí y San Antonio de Prado, siendo el segundo un casco urbano en continuo crecimiento.

De otro lado, la mejor clasificación de calidad por medio del ICA Global fue **buena** para la quebrada El Hato (Q14), y por su parte el ICACOSU arrojó una valoración **regular**. La dualidad que suponen ambos índices se sustenta por un lado, en la afectación que presenta sobre la fuente la considerable actividad de explotación de canteras para la extracción de arenas y gravas para la industria de construcción, actividad que aporta grandes concentraciones de sólidos a las corrientes. Por otro lado, se resalta que obras como la canalización total o en tramos del cauce, pueden generar o inducir condiciones de arrastre de macroinvertebrados y sustrato a la altura de afluencia con el río Aburrá-Medellín, lo que puede coadyuvar a la obtención del índice mostrado.

En un orden decreciente de calidad, respecto al ICACOSU se encuentran las quebradas La Iguaná (Q11), y la López (Q28) con una clasificación **regular**; la primera obtuvo un ICA Global **regular** y la segunda **aceptable**. Para Q11, se resalta que ésta quebrada cuenta con obras de saneamiento por tramos, no obstante es receptora de numerosas descargas de agua residual doméstica y en su cauce se presenta inadecuada disposición de residuos sólidos. De otro lado, la López que desciende por el casco urbano del municipio de Barbosa, es receptora de parte sus aguas residuales y carece de infraestructura de saneamiento.

Con una clasificación de calidad **mala** (ICACOSU) y **regular** (ICA Global), se encuentran las quebradas La Hueso (Q9), Santa Elena (Q10), La García (E10), la Madera (Q13) y el Tábano (Q26); microcuencas que presentan un alto deterioro por agua residual doméstica e industrial, como es el caso de E10 en la que se evidencia además la inadecuada disposición de residuos sólidos, descargas directas y olores ofensivos (observaciones de campo) además de un elevado aporte de sólidos suspendidos proveniente de las actividades realizadas en ladrilleras y canteras. En cuanto a la Madera, la calidad de agua aportada por ésta al río se relaciona también con el impacto en zonas de invasión de cauce, y para el caso particular de Q26 por la descarga de un matadero ubicado a pocos metros antes del punto de muestreo.

Para las quebradas Altavista (Q8), La Rosa (12), La Señorita (17), La Picacha (Q20) y El Matadero, ambos índices arrojaron una clasificación de calidad **mala**; la contribución de estas corrientes al río en general refleja el transporte de agua residual por las mismas, pese a que algunas cuentan con obras de saneamiento (La Hueso y La Picacha) existen descargas directas y conexiones erradas sobre sus caudales.

Finalmente, en la quebrada El Matadero (Q33), se encontró la calidad más baja; **mala** para ICACOSU y **muy mala** para ICA Global, dicho resultado responde a las condiciones de bajo caudal de la microcuenca, ante lo cual se percibe en mayor magnitud la contaminación generada a la fuente, por parte de asentamientos ubicados en el área de influencia de la quebrada.

En la Figura 42 se presenta los resultados del indicador de calidad de agua ICACOSU en las quebradas segundo semestre de 2014.

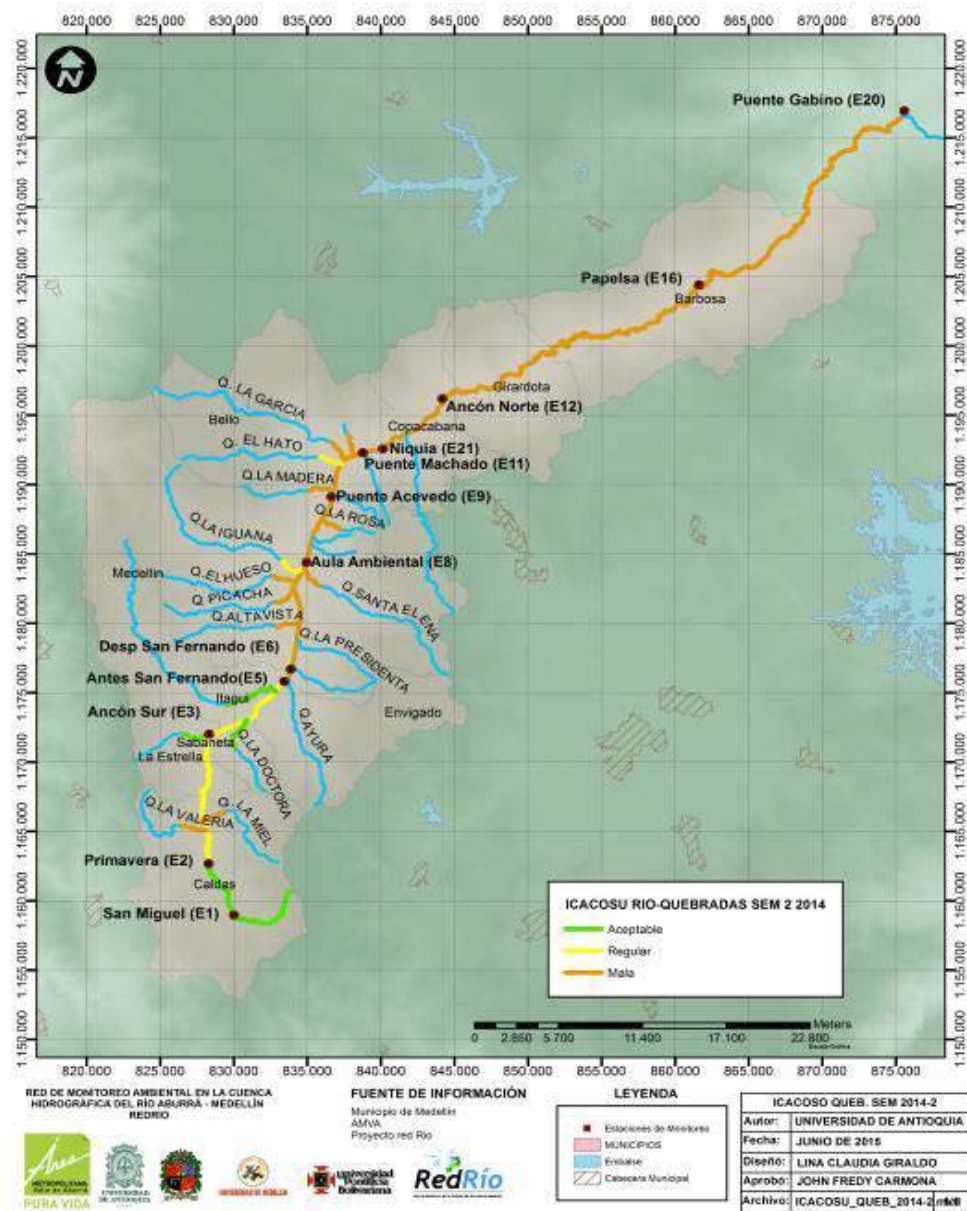


Figura 42. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU en las quebradas segundo semestre de 2014

6.15.7 Aplicación del índice de calidad del agua ICACOSU promedio en la cuenca del río Aburrá-Medellín para el primer semestre de 2015

En la Tabla 40, se presenta los resultados promedio para el índice de calidad del agua ICACOSU e ICA GLOBAL en las estaciones sobre el río Aburrá-Medellín, para el primer semestre de 2015.

Tabla 40. Resultado del índice ICACOSU promedio para el río Aburrá – Medellín primer semestre de 2015

ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	VALOR ICACOSU	CLASIFICACIÓN ICACOSU	VALOR ICA GLOBAL	CLASIFICACIÓN ICA GLOBAL
San Miguel	E1	0,91	BUENA	2,05	BUENA
Primavera	E2	0,76	ACEPTABLE	4,58	ACEPTABLE
Ancón Sur	E3	0,59	REGULAR	7,80	REGULAR
Antes de San Fernando	E5	0,57	REGULAR	8,57	REGULAR
Después de San Fernando	E6	0,39	MALA	13,32	MUY MALA
Aula Ambiental	E8	0,35	MALA	13,46	MUY MALA
Puente Acevedo	E9	0,37	MALA	14,66	MUY MALA
Puente Machado	E11	0,37	MALA	14,68	MUY MALA
Niquía	E21	0,34	MALA	14,71	MUY MALA
Ancón Norte	E12	0,33	MALA	17,25	MUY MALA
Papelsa	E16	0,54	REGULAR	11,23	MALA
Puente Gabino	E20	0,56	REGULAR	8,83	REGULAR

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 38, la calidad inicial del agua en el río Aburrá-Medellín se encontró entre **buena** y **aceptable** para las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca, a saber, San Miguel (E1) y Primavera (E2). Dicho resultado es esperado teniendo en cuenta las observaciones de campo y los resultados históricos expuestos anteriormente, dado que a esta altura el cuerpo de agua presenta una afectación antrópica moderada por la baja densidad poblacional en su área de influencia. De igual forma y correspondiendo con las condiciones de campañas anteriores, en las estaciones Ancón Sur (E3) y Antes de San Fernando (E5) la clasificación de calidad asignada por ambos índices fue **regular**, resultado que refleja la incidencia de descargas provenientes del municipio de Caldas, parte de La Estrella y demás tributarios que no cuentan con saneamiento total y por tanto incrementan la contaminación en la masa de agua. El tramo comprendido entre las estaciones Después de San Fernando (E6) y Ancón Norte (E12) plantea la condición más crítica del río Aburrá -Medellín, con clasificación predominante **mala** ICACOSU y **muy mala** ICA Global. La calificación obtenida en el segmento mencionado es habitual ya que en este trayecto ingresan al río importantes vertimientos como la descarga de la PTAR San Fernando, los interceptores oriental y occidental de EPM, microcuencas con mala calidad y algunas prácticas inadecuadas en la fuente como vertimientos clandestinos, inadecuada disposición de residuos sólidos y la fuerte explotación de material para construcción en algunas quebradas. Finalmente, hacia las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) los índices arrojaron clasificación **regular** (ICACOSU) y **mala** (ICA Global), estos resultados se han presentado en campañas anteriores y en el histórico empleado para comparación (Fase IV).

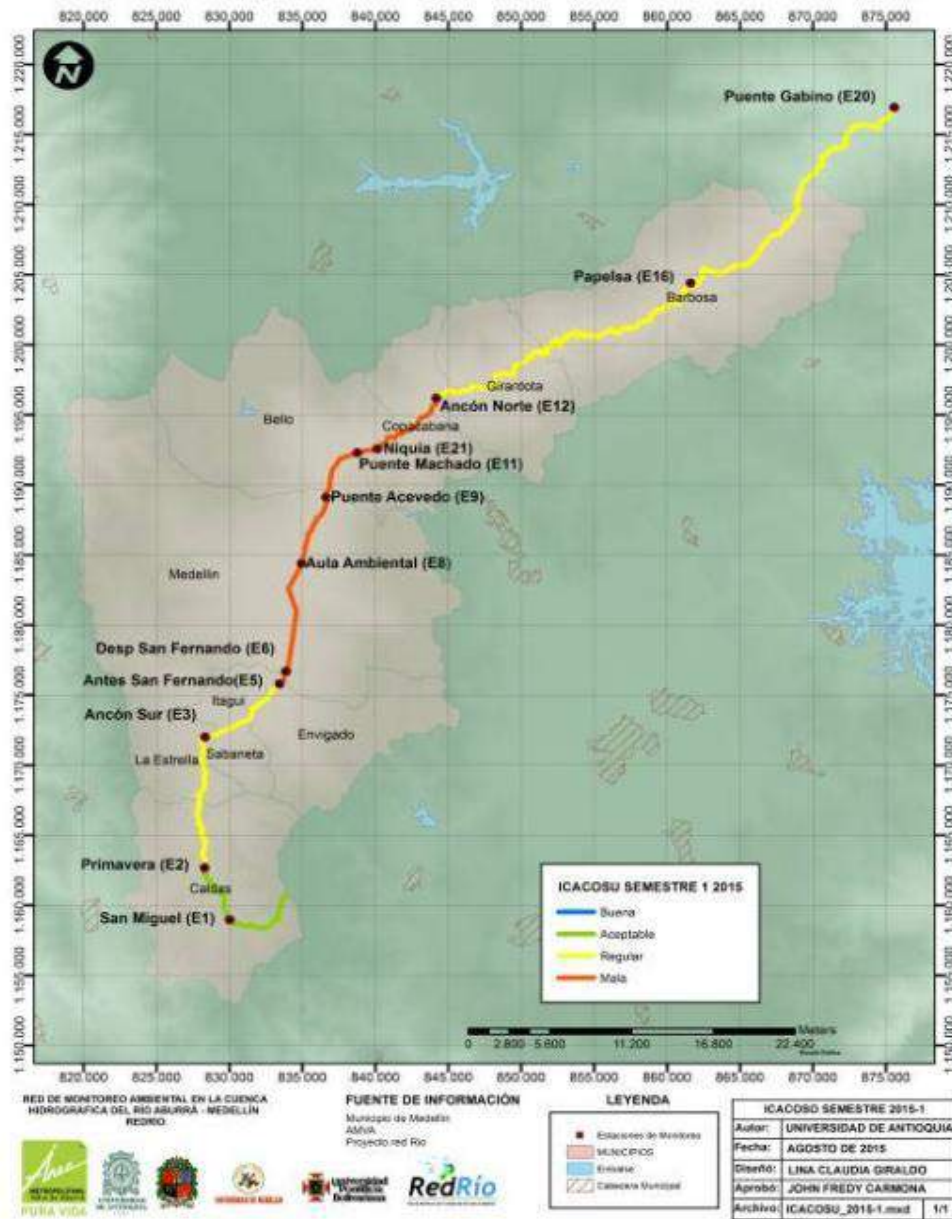


Figura 43. Resultado del indicador de calidad de agua ICACOSU promedio de los muestreos del primer semestre de 2015

En el Anexo 24, se adjunta los mapas con los resultados obtenidos del índice ICACOSU obtenido en cada una de las fases de RedRío.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



6.15.8 Indicador de calidad del agua – ICA GLOBAL -

Para el desarrollo del componente de índices se consideró como esencial ordenar y tabular los datos registrados en las campañas de muestreo realizadas durante las tres fases anteriores y actuales del proyecto, y se consideraron las diferentes condiciones climáticas que afectan la cantidad y calidad de agua del río Aburrá-Medellín, dando origen a un índice o ecuación única que representase bastante bien las condiciones globales más ajustadas para el río, acorde con el efecto de la modelación de los caudales, es decir, que el índice contemplara la muestra conjunta de las variables de calidad del agua afectadas a su vez por los rangos de caudal (alto, medio y bajo), con definición previa del peso o importancia de cada variable que interviene en el cálculo o construcción de dicho índice.

Tal y como se mencionó anteriormente para realizar el análisis estadístico que permitiera respaldar y consolidar la validez de los indicadores establecidos se siguieron los siguientes pasos: definición de los parámetros de calidad del agua, clasificación de campañas, validación de datos para el chequeo de valores atípicos, evaluación estadística de la normalidad y homoscedasticidad de los datos y análisis factorial en el programa Statgraphics Centurion XVI. Es así como se realizó un análisis de correlación de las diferentes variables que fueron monitoreadas durante las campañas del año 2006 (BMWP col, conductividad eléctrica, diversidad, dominancia, temperatura del agua, pH, nitrógeno total, fósforo, DQO, DBO₅ y SST), de lo que se concluyó que los parámetros con los cuales es posible resumir o rebajar la dimensión de la información obteniéndose un factor que da respuesta en un alto porcentaje a la variabilidad de la calidad del agua en el río Aburrá-Medellín son: DQO, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y el BMWP, por lo cual con estos parámetros se conformó el índice cuantitativo de calidad aplicable a las condiciones del río.

- **Definición de los rangos de caudales**

Con el fin de determinar el régimen de caudales (caudales altos, medios y bajos) para cada una de las estaciones de medición sobre el río Aburrá – Medellín, se tienen en cuenta los registros históricos de aforo de todas fases.

Utilizando los registros históricos de aforos en las anteriores fases del proyecto, se le ajusta una fdp (función de distribución de probabilidad) en cada una de las estaciones de medición, de esta manera se pueden determinar caudales para distintas probabilidades de excedencia y se podrán definir los límites que delimitan los caudales como altos medios y bajos. Las fdp consideradas en este análisis son la Normal, Lognormal de 3 parámetros, Gumbel y LogGumbel, para verificar la bondad de ajuste de cada una de estas a los registros de aforos se utiliza la prueba de Smirnov – Kolmogorov.

En la Tabla 41 se detalla para cada estación de medición sobre el río Aburrá – Medellín la fdp que presentaba el mejor ajuste de los registros de caudales.

Tabla 41. fdp con el mejor ajuste para cada una de las estaciones sobre las estaciones de medición del río Aburrá - Medellín

ESTACIÓN	FDP MEJOR AJUSTE
San Miguel (E1)	LogGumbel
Primavera (E2)	LogNormal 3 parámetros
Ancón Sur (E3)	Gumbel
Antes de San Fernando (E5)	LogGumbel
Después de San Fernando (E6)	Gumbel
Puente de Guayaquil (E7)	LogNormal 3 parámetros
Aula Ambiental (E8)	LogGumbel
Puente Acevedo (E9)	LogNormal 3 parámetros
Puente Machado (E11)	Lognormal 3 parámetros
Ancón Norte (E12)	Normal
Girardota (E13)	LogGumbel
Papelsa (E16)	LogGumbel

De la Tabla 41 se observa como 9 de las 12 estaciones de medición sobre el río se ajustan mediante fdp de tipo logarítmico, otro aspecto importante es que la única que se ajusta mediante una fdp normal es Ancón Norte. De la Figura 44 a la Figura 55 se presentan los gráficos de ajuste de las fdp en cada una de las estaciones, junto con los datos de aforos históricos.

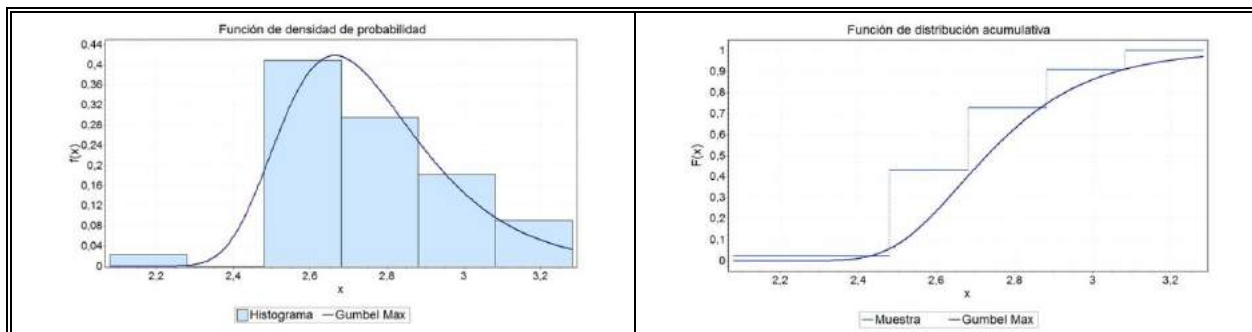


Figura 44. fdp de mejor ajuste en la estación San Miguel

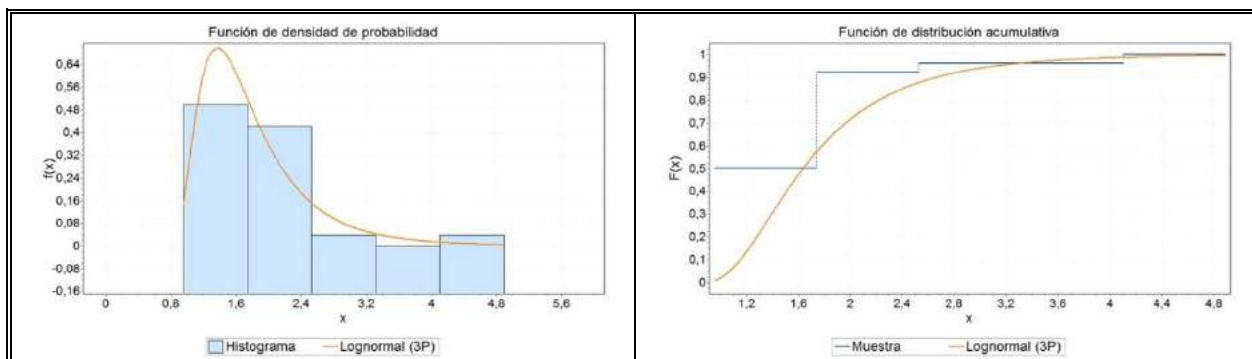


Figura 45. fdp de mejor ajuste en la estación Primavera

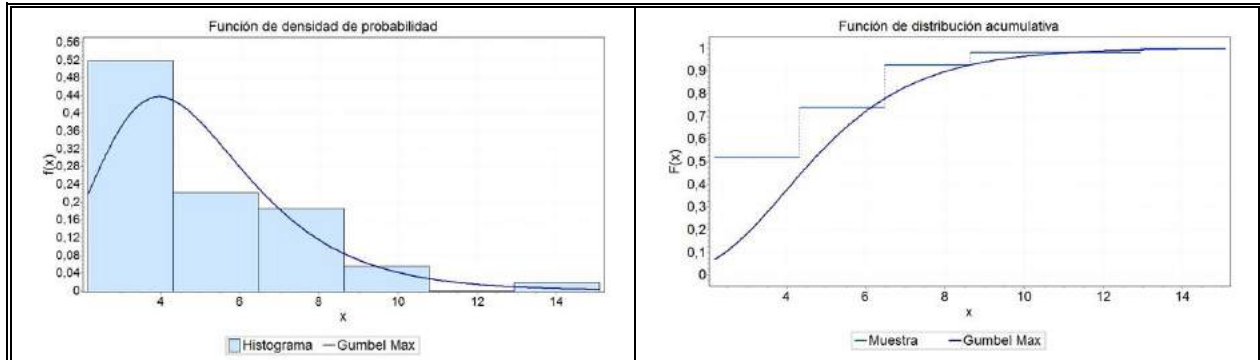


Figura 46. fdp de mejor ajuste en la estación Ancón Sur

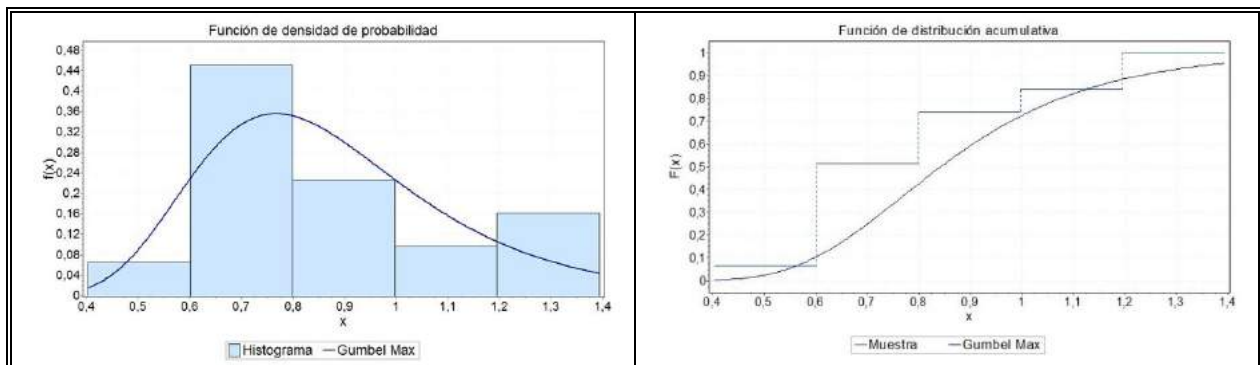


Figura 47. fdp de mejor ajuste en la estación Antes de San Fernando

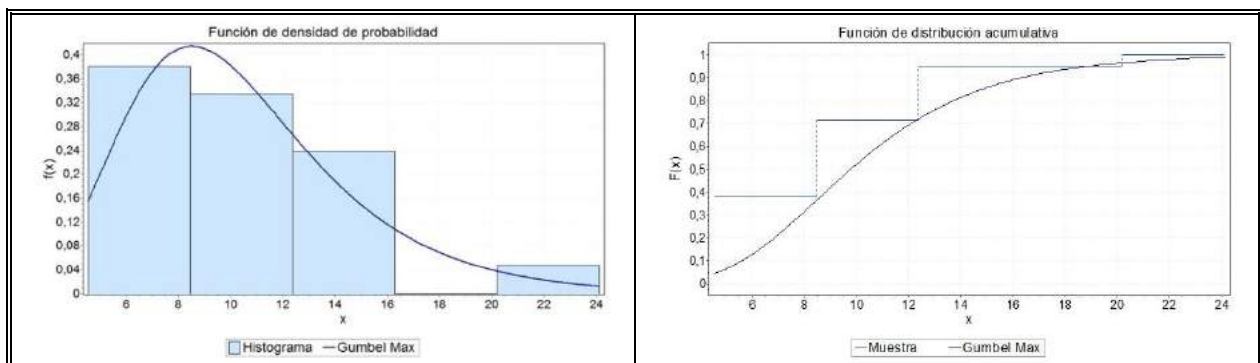


Figura 48. fdp de mejor ajuste en la estación Después de San Fernando

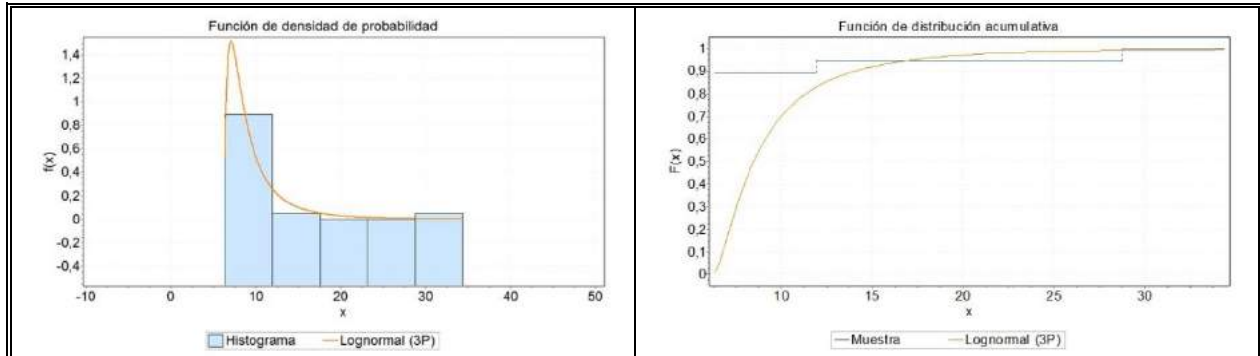


Figura 49. fdp de mejor ajuste en la estación Puente de Guayaquil

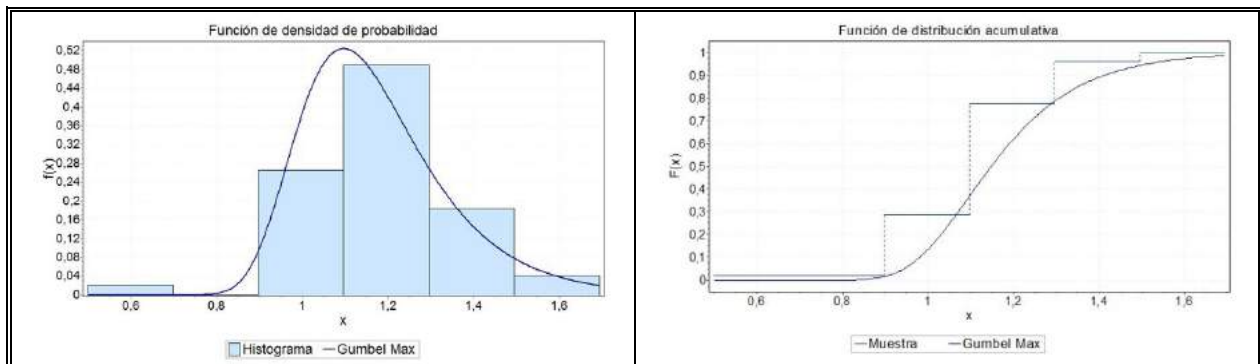


Figura 50. fdp de mejor ajuste en la estación Aula Ambiental

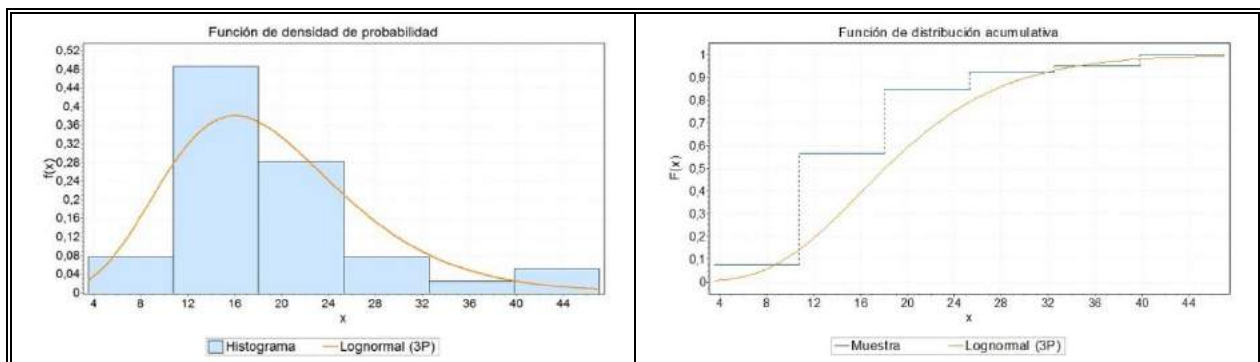


Figura 51. fdp de mejor ajuste en la estación Puente Acevedo

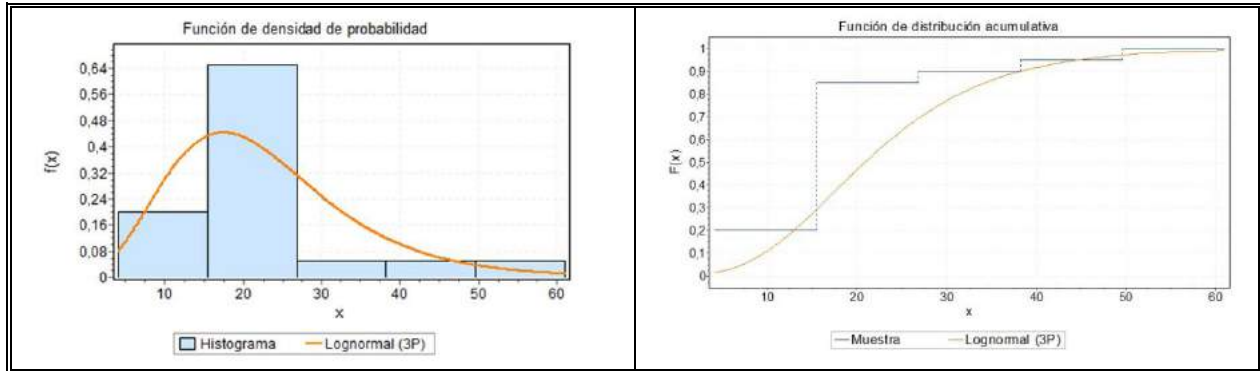


Figura 52. fdp de mejor ajuste en la estación Punto Machado

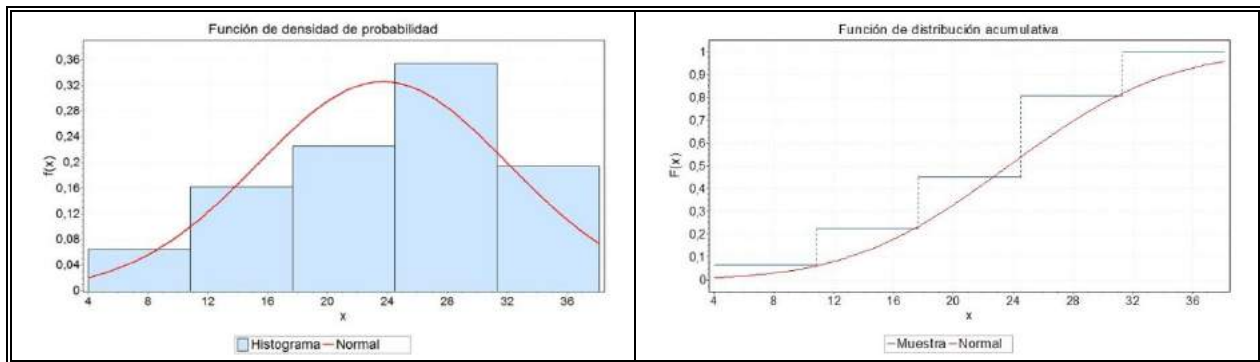


Figura 53. fdp de mejor ajuste en la estación Ancón Norte

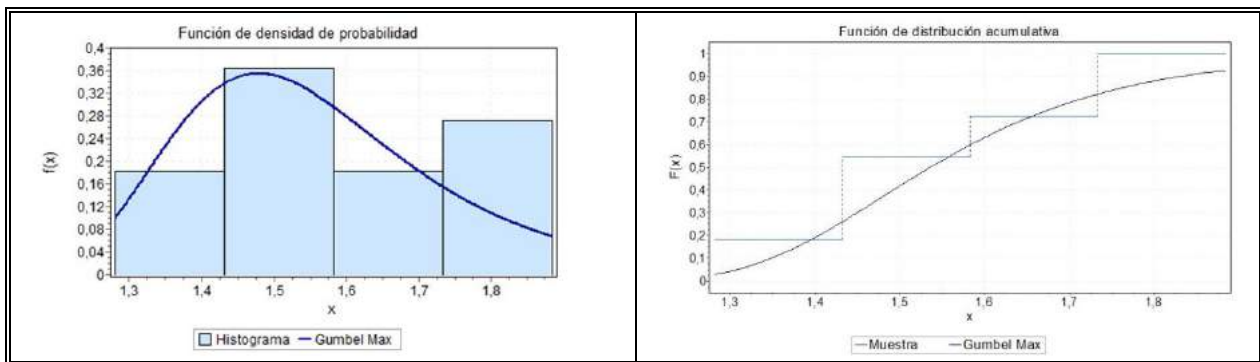


Figura 54. fdp de mejor ajuste en la estación Girardota

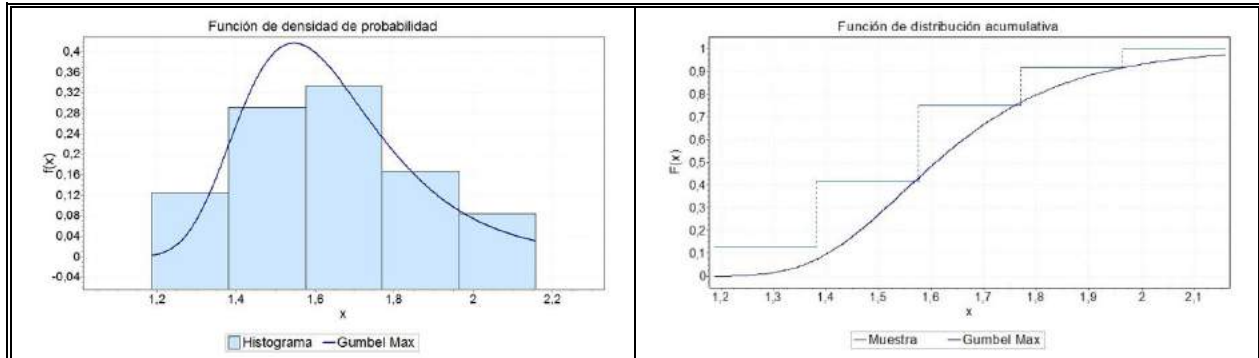


Figura 55. fdp de mejor ajuste en la estación Girardota

Teniendo en cuenta los resultados de ajuste de las fdp, se definirán los caudales correspondientes a las probabilidades de excedencia del 33% y el 66%, los cuales definirán los límites de régimen de aguas bajas, medias y altas. Se considerará que aquellos datos de caudal inferiores al correspondiente a una probabilidad de 33% serán considerados como régimen de aguas bajas, aquellos superiores al correspondiente a una probabilidad del 66% serán considerados como régimen de aguas altas y aquellos entre estos dos valores serán considerados como régimen de aguas medias.

En la Tabla 42 se presenta para cada estación el rango de caudales para cada régimen de aguas.

Tabla 42. Rango de caudales para cada régimen y estación de medición

ESTACIÓN	RÉGIMEN AGUAS BAJAS	RÉGIMEN AGUAS MEDIAS	RÉGIMEN AGUAS ALTAS
San Miguel (E1)	$Q < 0.44 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.44 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 0.67 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 0.67 \text{ m}^3/\text{s}$
Primavera (E2)	$Q < 1.47 \text{ m}^3/\text{s}$	$1.47 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 1.96 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 1.96 \text{ m}^3/\text{s}$
Ancón Sur (E3)	$Q < 3.79 \text{ m}^3/\text{s}$	$3.79 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 6.22 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 6.22 \text{ m}^3/\text{s}$
Antes de San Fernando (E5)	$Q < 5.60 \text{ m}^3/\text{s}$	$5.60 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 8.96 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 8.96 \text{ m}^3/\text{s}$
Después de San Fernando (E6)	$Q < 8.17 \text{ m}^3/\text{s}$	$8.17 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 11.64 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 11.64 \text{ m}^3/\text{s}$
Puente de Guayaquil (E7)	$Q < 7.68 \text{ m}^3/\text{s}$	$7.68 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 9.68 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 9.68 \text{ m}^3/\text{s}$
Aula Ambiental (E8)	$Q < 12.11 \text{ m}^3/\text{s}$	$12.11 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 16.70 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 16.70 \text{ m}^3/\text{s}$
Puente Acevedo (E9)	$Q < 14.87 \text{ m}^3/\text{s}$	$14.87 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 21.70 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 21.70 \text{ m}^3/\text{s}$
Puente Machado (E11)	$Q < 16.51 \text{ m}^3/\text{s}$	$16.51 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 25.88 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 25.88 \text{ m}^3/\text{s}$
Ancón Norte (E12)	$Q < 20.09 \text{ m}^3/\text{s}$	$20.09 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 27.29 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 27.29 \text{ m}^3/\text{s}$
Girardota (E13)	$Q < 29.06 \text{ m}^3/\text{s}$	$29.06 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 41.62 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 41.62 \text{ m}^3/\text{s}$
Papelsa (E16)	$Q < 33.83 \text{ m}^3/\text{s}$	$33.83 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 50.13 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 50.13 \text{ m}^3/\text{s}$



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



- **Clasificación de las campañas**

Con base en la información anterior, se clasificó el caudal de las estaciones sobre el río durante las tres fases del proyecto y posteriormente, teniendo en cuenta la categorización predominante se hizo la clasificación de cada campaña de acuerdo al régimen de caudal.

- **Validación de datos para el chequeo de selección de datos atípicos**

A partir de las campañas seleccionadas se tomaron los resultados de las variables de interés en las muestras compuestas y se organizaron en una matriz cuyos factores de clasificación fueron jerarquizados así: rango de caudal, campaña y estación. Una vez conformadas las tres matrices (caudales altos, caudales medios y caudales bajos), se observaron variables que fueron reportadas por los laboratorios por debajo del límite de detección del equipo, por lo que se decidió colocar en esta casilla el límite suministrado por cada laboratorio.

Adicionalmente, en cada matriz se evaluó la existencia de valores atípicos por medio de las cajas esquemáticas en el programa Statgraphics Centurion XVI previamente verificados.

- **Evaluación estadística de la normalidad y homocedasticidad de los datos**

La validación de los datos se complementa con un análisis univariado, donde se observa la distribución de los datos y la forma (asimetría y Curtosis), es decir, se evalúan problemas de asimetría y homoscedasticidad (homogeneidad de varianzas) por medio de la gráfica de probabilidad normal y de la prueba de chequeo de varianzas de Bartlett's en Statgraphics Centurión, como estos supuestos no se cumplieron en las cuatro matrices, se hizo necesario realizar la transformación de todos los datos, para lo cual se encontró que la raíz cuadrada era la mejor opción de la transformación.

- **Análisis factorial**

El análisis factorial tiene como objeto reducir la dimensión de los datos y entregar nuevas variables (factores) no correlacionadas. Para ello se buscan factores comunes o factores que ligan a las aparentemente no relacionadas variables. Básicamente se trata de encontrar factores no observables directamente que expliquen suficientemente las variables observadas perdiendo el mínimo de información, de modo que sean fácilmente interpretables y que los factores no observables directamente sean mínimos. El análisis factorial es una técnica de reducción de datos que examina la interdependencia de variables y proporciona conocimiento de la estructura subyacente de los datos.

- **Factores de análisis para el índice de calidad del agua para caudales globales**

De acuerdo con el análisis factorial, una sola combinación lineal de los parámetros explica el 95,3% de la variabilidad de los datos (Tabla 43), por lo que se descartan las demás combinaciones, obteniéndose un índice (factor) que solo se debe utilizar para el río Aburrá-Medellín.

Tabla 43. Factor de análisis para caudales globales en el río Aburrá–Medellín

NUMERO DE FACTOR	PORCENTAJE DE VARIANZA	PORCENTAJE ACUMULADO
1	95,327	95,327
2	2,960	98,287
3	1,252	99,539

$$\text{ICA CAUDALES GLOBALES} = - 0,575404*(\text{BMWP}) + 0,957495*(\text{CONDUCTIVIDAD}) + 0,792174*(\text{DQO}) + 0,79681*(\text{P TOTAL}) + 0,939852*(\text{NTK}) - 0,610925*(\text{OD})$$

Una vez calculado el índice para el río Aburrá–Medellín, se buscó distribuir la variación proporcionalmente en rangos con igual incremento dejando el rango superior abierto con el fin de abarcar valores atípicos que se presentan esporádicamente.

En la Tabla 44 se plantea la clasificación de acuerdo con el valor numérico y su respectivo código de colores para el índice de caudales globales. Los cuales presentan mejores calificaciones en términos de calidad a menores valores y a medida que estos aumentan, indican un deterioro progresivo de la calidad del recurso.

Tabla 44. Clasificación de la calidad del recurso hídrico de acuerdo al valor numérico obtenido del índice de calidad ICA GLOBAL y su respectivo código de colores

CALIFICACION DE LA CALIDAD DEL RECURSO HIDRICO	RANGO NUMERICO DE VALORES	COLOR
Buena	<=3,00	Azul
Aceptable	3,10 - 6,00	Verde
Regular	6,10 – 9,00	Amarillo
Mala	9,10 - 12,00	Naranja
Muy Mala	>12,00	Rojo

En el Anexo 25 se presenta el resumen de los resultados por cada monitoreo de los resultados obtenidos del indicador de calidad ICA GLOBAL.

6.15.9 Comparación de resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global a las campañas de muestreo sobre el río Aburrá – Medellín

En la Tabla 45 y Tabla 46, presenta la comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad para caudales globales a las muestras compuestas obtenidas en los primeros años de monitoreo del proyecto.

Tabla 45. Comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global de los muestreos realizados en las tres fases del proyecto. Años 2004- 2010

ESTACIONES DE MUESTREO	PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2004		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2006		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2010	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
San Miguel (E1)	3,24	Buena	2,51	Buena	3,64	Aceptable
Ancón Sur (E3)	7,29	Regular	7,16	Regular	7,74	Regular
Antes de San Fernando (E5)	10,71	Mala	8,79	Regular	8,72	Regular
Aula Ambiental (E8)	11,40	Mala	10,62	Mala	11,38	Mala
Puente Acevedo (E9)	14,05	Muy mala	12,50	Mala	14,46	Muy mala
Puente Machado (E11)	13,09	Mala	13,52	Mala	14,96	Muy mala
Ancón Norte (E12)	12,76	Mala	12,50	Mala	15,00	Muy mala
Puente Gabino (E20)	10,01	Regular	7,90	Regular	9,87	Regular

Tabla 46. Comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global de los muestreos realizados en las tres fases del proyecto. Años 2011- 2013

ESTACIONES DE MUESTREO	PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2011		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2012		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2013	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
San Miguel (E1)	2,94	Buena	1,89	Buena	2,06	Buena
Ancón Sur (E3)	6,91	Aceptable	8,05	Regular	8,21	Regular
Antes de San Fernando (E5)	7,33	Regular	8,49	Regular	8,83	Regular
Aula Ambiental (E8)	10,07	Regular	11,35	Mala	11,65	Mala
Puente Acevedo (E9)	12,51	Mala	14,10	Muy mala	14,50	Muy Mala
Puente Machado (E11)	12,24	Mala	12,90	Muy mala	14,64	Muy Mala
Ancón Norte (E12)	12,39	Mala	13,96	Muy Mala	12,09	Muy Mala
Puente Gabino (E20)	7,89	Regular	9,75	Mala	9,27	Mala



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



De acuerdo con la información consignada en la Tabla 45, se puede observar que en general las condiciones del año 2006 son similares a las del año 2011 resaltándose una mejoría en las estaciones Ancón Sur (E3) y Aula Ambiental (E8) donde la estimación pasó de regular a aceptable y de mala a regular, respectivamente.

En el 2004 se presentan unas condiciones similares a 2006, no obstante, se aprecia un río más crítico, donde la calidad mala se inicia desde la estación Antes de San Fernando llegando a las condiciones más críticas en Puente Acevedo “muy mala”, esta recuperación puede ser respuesta del avance en el plan de saneamiento del río, que inicio principalmente en las quebradas del sur.

En el año 2010 se incrementaron las condiciones de criticidad y en especial en las estaciones Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11) y Ancón Norte (E12), lo cual es correspondiente con las condiciones climáticas, dado que durante este año se tuvieron los caudales más bajos registrados en el proyecto (incluso en los históricos presentados en el POMCA) y esta temporada de verano se inició desde el año 2009 (fenómeno del niño), por lo cual para el primer semestre se encontró un río bastante afectado en su calidad debido a que estaba transportando más caudal proveniente de las aguas residuales del Valle de Aburrá que el propio del río, posteriormente en el segundo semestre del año se inició la temporada de invierno incluso con presencia de caudales altos extremos, lo que generó en principio un deterioro de la calidad del agua dado que se re-suspendieron los sedimentos que se habían acumulado durante todo el verano para posteriormente darse un lavado del lecho.

La situación anteriormente descrita, favoreció las condiciones del río para el 2011, que también se caracterizó por un año lluvioso con predominios de caudales medios y altos, pero con un lecho renovado durante todas las campañas. Se resalta que para el año 2012 aunque los caudales presentados en el segundo semestre correspondieron a medios, las condiciones de calidad fueron similares en la zona central a las de 2010, lo que puede deberse a que en este último año se promediaron dos condiciones climáticas que generaron unas condiciones medias de calidad.

Igualmente, llama la atención al comparar los años 2004, 2006 y 2011 que tuvieron niveles de caudales similares, la mejoría en escala que se da entre las estaciones iniciales, es decir, la recuperación gradual evidenciada hasta la estación Puente Acevedo, lo que puede deberse entre otros factores, al avance en las obras de saneamiento y número de eventos de lluvias presentados por año.

En la Tabla 47, se presenta la comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad para caudales globales a los datos de calidad de agua de las muestras compuestas obtenidas todas las fases del proyecto.

Tabla 47. Comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global de los datos de calidad de agua de las muestras compuestas obtenidas todas las fases del proyecto

ESTACIONES DE MUESTREO	RESULTADO DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA GLOBAL PARA LAS CAMPAÑAS DE LA FASE II		RESULTADO DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA GLOBAL PARA LA PRIMERA ETAPA DE LA FASE III		RESULTADO DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA GLOBAL FASE IV		RESULTADO DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA GLOBAL FASE V	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Clasificación
San Miguel (E1)	2,51	Buena	3,64	Aceptable	1,99	Buena	1,82	Buena
Ancón Sur (E3)	7,16	Regular	7,74	Regular	8,25	Regular	7,86	Aceptable
Antes de San Fernando (E5)	8,79	Regular	8,72	Regular	8,61	Regular	8,42	Regular
Aula Ambiental (E8)	10,62	Mala	11,38	Mala	11,49	Mala	12,18	Regular
Puente Acevedo (E9)	12,5	Mala	14,46	Muy mala	14,34	Muy Mala	13,38	Muy Mala
Puente Machado (E11)	13,52	Mala	14,96	Muy mala	13,81	Muy Mala	13,59	Muy Mala
Ancón Norte (E12)	12,5	Mala	15	Muy mala	13,05	Muy Mala	15,13	Muy Mala
Puente Gabino (E20)	7,9	Regular	9,87	Regular	9,35	Mala	9,14	Muy Mala

De acuerdo con los resultados obtenidos de aplicar el indicador de calidad para caudales globales se observan diferencias de calificación de calidad de agua de acuerdo con los rangos establecidos entre la fase II y la fase III de RedRío, para la estación San Miguel (E1), se presenta una disminución de la calidad, pasando de buena a aceptable, por su parte, el valor asignado en el tramo Puente Acevedo (E9) – Ancón Norte (E12) muestra una valoración de calidad levemente mejor en los resultados obtenidos de la fase II. Como factor que puede influenciar en estas diferencias está el régimen de caudales de ambos escenarios de muestreo, ya que durante la fase II se presentó un régimen de caudales muy variable sin valores extremos, mientras que en la fase III se tuvieron caudales extremos altos y bajos.

En la estación Puente Gabino (E20) se observa una mejoría en las condiciones de calidad del agua para las dos fases, pasando de mala y muy mala en 2006 y 2010, respectivamente, a regular, este hecho se puede deber a factores como la confluencia de cuerpos de agua de mejor calidad y la topografía de la zona, la cual favorece la re-aireación del cuerpo de agua, sumado a todo ello se tiene la reducción considerable en los asentamientos poblacionales alrededor del mismo, por lo cual también se da una disminución en la afectación de la calidad del agua por actividades antrópicas.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Por su parte, en la fase IV se destaca que los resultados presentaron en el tramo más crítico, entre Después de San Fernando (E6) y Ancón Norte (E12), una calidad del agua muy mala, siendo el ICA global más estricto que el ICACOSU. Dicha diferencia se presenta fundamentalmente por el componente biológico que es tenido en cuenta dentro de éste indicador, respecto al del ICACOSU.

De igual manera el tramo entre Puente Acevedo (E9) y Ancón Norte (E12), se presentó como el más crítico debido a que se reciben los interceptores de EPM a la altura del barrio Moravia, además de las quebradas más críticas en su calidad del Valle de Aburrá, sumado a las aguas residuales crudas y tratadas que ya ha recibido el río desde el sur y centro de la cuenca, y que tienen un efecto acumulativo hacia la estación E12.

Finalmente, se pudo corroborar cómo a medida que discurre el río, desde su nacimiento hacia la zona central del Valle de Aburrá va desmejorando la calidad del agua, acentuada entre las estaciones Aula Ambiental (E6) y Ancón Norte (E12).

En el tramo comprendido por las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) se observa en general una “aparente recuperación del río”, generada por agentes físicos como el cambio creciente de pendiente y de lecho del río, el cual en este tramo no ha perdido su condición meándrica y cauce natural; así mismo, los efectos de dilución que introducen las descargas de Tasajera y Río Grande, como de las quebradas en este tramo, que tienen una intervención igualmente moderada.

En el Anexo 26, se adjunta los mapas con los resultados obtenidos del índice ICA GLOBAL obtenido en cada una de las fases de RedRío y los resultados promedio de la aplicación de calidad de agua para caudales globales durante los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014

6.16 CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO CON EL COMPONENTE BIOLÓGICO

Las aguas corrientes superficiales han sido empleadas últimamente como vía para la eliminación de residuos, lo cual ha traído como consecuencia una degradación de estos ecosistemas acuáticos fluviales. Allan (1995) y Wetzel (2001) entre otros, consideran que son varias las causas de degradación de la calidad del agua con influencia en las comunidades biológicas que habitan estos ecosistemas. Estos autores mencionan entre otras causas de deterioro, la contaminación por materia orgánica, la rectificación y canalización de ríos y la regulación de cauces.

Para evaluar la calidad biológica de las aguas superficiales se aplican criterios que definen un ecosistema sano, o sea aquel que posee un alto nivel de diversidad, habitabilidad y productividad (Arango et al, 2008). Otro concepto sobre este tema es el expresado por Alba-Tercedor (1996) el cual considera que un ecosistema acuático presenta una buena calidad biológica cuando mantiene condiciones que permiten el establecimiento de organismos que le son propios.



En RedRío se ha utilizado como método de evaluación de las condiciones ambientales de las aguas superficiales del río Aburrá-Medellín el índice biótico BMWP/Col. Para la aplicación del índice BMWP, Armitage et al (1983), ordenaron las familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. Para el empleo de este índice se asigna un puntaje a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos, donde cada familia se ubica en una escala de valores entre 1 y 10.

6.16.1 Algas Perifíticas

En los ambientes loticos uno de los componentes bióticos más importantes es el perifiton, constituido principalmente por hongos, bacterias y algas que viven adheridos a sustratos vivos o inertes y que varían en abundancia de acuerdo con las características físicas del sistema. En particular, las algas perifíticas cumplen el rol productor o fotosintetizador dentro de la comunidad y el sistema, por esta razón son un componente de especial importancia en el estudio de las comunidades acuáticas de ambientes de corriente.

Las algas perifíticas se refiere a las algas microscópicas que crecen adheridas a sustratos orgánicos e inorgánicos. Su utilidad como indicadores de la calidad del agua en función de su ausencia o presencia, y de la abundancia se relaciona con su permanencia en el sustrato, de modo que, constituyen un testigo de los procesos que ocurren en el ecosistema acuático.

La toma de muestra de las algas perifíticas se realiza sobre sustratos rocosos recolectados del lecho del río, principalmente del punto medio del cuerpo de agua en zona de corriente (donde sea posible), evitando zonas de estancamiento o de excesiva corriente, tramos sombreados, áreas emergidas o que presumiblemente lo hubieran estado en un momento reciente, sitios cercanos a las orillas, así mismo, deben eludirse zonas localizadas debajo de puentes o intervenidas recientemente por obras de ingeniería o que hayan afectado el lecho fluvial. Las rocas seleccionadas deben presentar una morfología similar en el punto de muestreo y se deben seleccionar al azar, pero su cobertura algar deber ser similar.

Posteriormente, deben rasparse profundamente 30 áreas diferentes de la cara superior de las rocas seleccionadas (la cara expuesta al sol), usando un cepillo de dientes suave y una filmina. El material obtenido del proceso mencionado anteriormente se almacena en un envase plástico opaco con agua destilada (ocupa la mitad del volumen del recipiente) y se fija con lugol, entre 5 y 10 gotas. El recipiente se rotula previamente con el nombre de la estación, la fecha de muestreo y el responsable y se transporta a temperatura ambiente al laboratorio para su identificación.

En las estaciones existió variedad de disposición de sustratos lo que influye en una mayor o menor colonización en algunos lugares con respecto a otros, por ejemplo, es notable que en estaciones no canalizadas como San Miguel, la disposición natural de sustratos evita que ante cambios de caudal se reduzca la densidad de organismos como sucede en aquellos lugares canalizados donde la densidad y la riqueza disminuyen drásticamente.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Al igual que para las densidades, los índices de riqueza numérica son bajos con excepción de la estación San Miguel, ésta también es una clara evidencia de que el río no posee condiciones ecológicas ni ambientales propicias para la colonización de algas perifíticas ya que la temporada invernal puede potenciar las bajas densidades y en consecuencia también las bajas riquezas; sin embargo, se hace hincapié en que la calidad del agua representa la principal barrera ecológica para el establecimiento de una comunidad perifítica con mayor diversidad.

Adicionalmente, se tuvo en consideración el uso del coeficiente de pérdida, ya que la estación San Miguel es un sitio libre de contaminación con respecto a los demás sitios considerados sobre el río, en torno a este índice se encontró que al comparar campañas entre los años 2004 y 2006, 2004 y 2010, se evidenció un incremento hacia mayor pérdida biológica para las algas perifíticas y que esencialmente en el 2010 tienden a registrarse los mayores índices de pérdida, los cuales para este período estuvieron especialmente asociados a las estaciones Después de San Fernando (E6), Puente Guayaquil (E7), Aula ambiental (E8), Puente Acevedo (E8) y Puente Gabino (E20). A pesar de que las tendencias muestran que durante el 2010 se presentan mayores índices de pérdida, se considera que estas comparaciones son de tipo cualitativo ya que las metodologías de muestreo difieren entre los años de muestreo.

Para establecer particularidades de la comunidad en torno a su establecimiento y grado de sucesión en relación con el efecto de la contaminación y variación respecto a parámetros ambientales como el caudal y la velocidad, sería necesario considerar ensayos que incluyan el seguimiento continuo de la colonización de organismos durante varios días. El diseño de este tipo de monitoreo debe discriminarse en torno a diferentes escenarios ambientales, sitios no canalizados, sitios canalizados y quebradas (canalizadas y no canalizadas).

La estación San Miguel fue la estación con mejor condición ambiental y ecológica según los indicadores de densidad y riqueza de morfotipos. En contraste, estaciones ubicadas en la zona centro y norte, aunque con disponibilidad de diferentes tipos de sustratos, se encuentran afectadas por diferentes factores de estrés que restringen la ocurrencia de otros géneros, los cuales no son resistentes a la contaminación o en el caso del año 2011 a una fuerte temporada invernal.

A través de los perfiles temporales, se encontró que algunos morfotipos pertenecientes a estos géneros representan los organismos con mayor frecuencia y abundancia registrados en el año 2011, especialmente los pertenecientes a la familia Naviculaceae, este tipo de organismos es de presencia frecuente en la mayoría de las comunidades de algas perifíticas y están adaptadas a corrientes que presenten variaciones en el caudal y velocidad de la corriente influenciados por las precipitaciones (Ramírez, 2000). Este hecho es importante ya que las campañas de muestreo del año 2011 estuvieron influenciadas por una temporada invernal prolongada.

El tamaño de los representantes de Naviculaceae es menor con respecto a otras algas perifíticas encontradas en el reporte, lo cual hace que su tasa de generación sea rápida



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



después del arrastre provocado por perturbaciones naturales en el ambiente como la que tuvo lugar, por lo que se supone que después de la temporada invernal estos morfotipos producen una alta colonización.

En el año 2013, los morfotipos de algas perifíticas registradas en el río Medellín pertenecen a las divisiones Cianobacteria, Chlorophyta, Euglenophyta, Dynophyta y la división con mayor número de representantes correspondió a Bacillariophyta (Diatomeas), la mayoría de ellos de tipo unicelular. Estos organismos están incluidos en una pared celular de silicio, lo que les confiere adaptación para colonizar sustratos firmes inmersos en las corrientes expuestas al caudal y velocidad de la corriente.

Al analizar la estructura general de las algas registradas se observa que las diatomeas pertenecientes a la familia Naviculaceae son los organismos de mayor frecuencia dentro de la comunidad. Adicionalmente, las cianobacterias filamentosas como *Oscillatoria* y *Pseudoanabaena*, también registraron densidades importantes dentro de la comunidad. Particularmente la familia Naviculaceae, se caracteriza por crecer en aguas turbias y su tasa de generación es rápida, por lo cual están adaptadas a corrientes con importantes caudales o sistemas con alta incidencia de arrastre influenciados por altos caudales.

Comparación interanual

Los morfotipos de algas perifíticas registradas en el río Aburrá -Medellín, pertenecen a las divisiones Cianobacteria, Chlorophyta, Euglenophyta, Dynophyta y la división con mayor número de representantes correspondió a Bacillariophyta (Diatomeas), la mayoría de ellos de tipo unicelular. Estos organismos están incluidos en una pared celular de silicio, lo que les confiere adaptación para colonizar sustratos firmes inmersos en las corrientes expuestas al caudal y velocidad de la corriente.

Al analizar la estructura general de las algas registradas, la distribución de los morfotipos mostró que las diatomeas pertenecientes a la familia Naviculaceae son los organismos de mayor frecuencia dentro de la comunidad. Adicionalmente, las cianobacterias filamentosas como *Oscillatoria* y *Pseudoanabaena* también registraron densidades importantes dentro de la comunidad. Las diatomeas son referenciadas en la literatura como propias de aguas corrientes y las cianoprocariontes como un grupo oportunista que prospera en ambientes inestables y con altas concentraciones de fósforo. Estos dos grupos poseen importantes rangos de tolerancia ambiental (Ramírez y Viña 1998). Por estas razones los morfotipos mencionados, son los más frecuentes y abundantes en medio de variaciones de caudal y velocidad en el Río, además de su adaptación fisiológica a la contaminación presente. Particularmente la familia Naviculaceae, se caracteriza por crecer en aguas turbias y su tasa de generación es rápida, por lo cual están adaptadas a corrientes con importantes caudales o sistemas con alta incidencia de arrastre influenciados por altos caudales.

De acuerdo con los resultados se determinó que la estación E1 (San Miguel), es la estación que tiende a registrar la mayor densidad de organismos por unidad de área en la mayoría de



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



los muestreos, esta densidad es considerablemente mayor en la campaña de campo realizada el 17 de marzo de 2010, presentándose una disminución aproximada de 35.000 a 12.500 ind/cm², solo entre la primera y segunda campaña de muestreo.

Es importante mencionar que en otros sitios como Ancón Sur, Aula Ambiental, Puente Acevedo, Puente Machado, Ancón Norte y Puente Gabino, también es evidenciada una mayor densidad de individuos durante la campaña del 17 de marzo de 2010 con una importante disminución en los valores de las campañas siguientes.

Bajo este panorama, la mayoría de los registros espaciales y temporales de densidad de organismos por unidad de área en los sitios ubicados sobre el río se encuentran por debajo 5000 ind/cm², valores que fueron disminuyendo en torno a un orden cronológico en el tiempo.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, al considerar las quebradas, un importante número de casos entre estaciones y muestreos registraron densidades inferiores a 2000 ind/cm².

En la mayoría de estaciones ubicadas sobre el río, las densidades medias fueron menores a 2500 ind/cm². Las mayores variaciones en las estaciones sobre el río tuvieron lugar en la estación San Miguel. Es importante mencionar que tanto en estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín como en quebradas fueron detectadas diferencias estadísticamente significativas en las medianas de las densidades considerando como factor de análisis las estaciones.

El carácter de las densidades y la riqueza numérica es bajo a excepción de la estación San Miguel, lo que está indicando que el río no posee condiciones ecológicas ni ambientales favorables para la colonización de algas perifíticas. Adicionalmente, la temporada invernal agudizó el efecto abrasivo sobre los sustratos inmersos en la corriente, sustratos que disminuyen en disponibilidad en aquellas estaciones canalizadas, esta combinación de factores no favorece el establecimiento natural de la comunidad perifítica.

La composición del perifiton dependió de las características del sustrato: tipo, rugosidad, estado trófico circundante y obviamente disponibilidad, ya que su colonización se desarrolla adherida a un sustrato (Roldán y Ramírez, 2008). En las estaciones de estudio existió variedad de disposición de sustratos lo que influye en una mayor o menor colonización en algunos lugares con respecto a otros.

Para establecer particularidades de la comunidad en torno a su establecimiento y grado de sucesión en relación con el efecto de la contaminación y variación en torno a parámetros como el caudal y la velocidad, sería necesario considerar ensayos que incluyan el seguimiento continuo de la colonización de organismos durante varios días. El diseño de este tipo de monitoreo debe discriminarse en torno a diferentes escenarios ambientales, es decir, en estaciones sobre el río y quebradas canalizadas y no canalizadas.

6.16.2 Plantas Acuáticas

Las plantas acuáticas o macrófitas están representadas por todas aquellas plantas vasculares que crecen asociadas a los sistemas acuáticos lenticos o loticos. Según Lyon y Gross (2005) citado por Mancilla et al (2009) la vegetación de ribera es un factor significativo en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales dado que participa en la estabilización de laderas, regulación térmica de los sistemas loticos, filtrado y retención de nutrientes, proporciona hábitat a una biota acuática diversa y mantiene la estabilidad de los sistemas acuáticos.



En algunas publicaciones se resalta la importancia de este componente biológico como indicador de la calidad del agua por contaminación orgánica (Arocena y Mazzeo, 1994) así como también en la remoción de las aguas residuales y metales pesados (Spangler et al, 1976; Flórez, 1990; Klumpp et al, 2002, citado por Meerhoff y Mazzeo, 2004).



Durante los muestreos del 2010, no se encontró una comunidad consolidada de macrófitas acuáticas y semiacuáticas en la zona de estudio en el río Aburrá-Medellín . Su presencia fue eventual, lo cual está relacionado con el grado de urbanización y canalización del río. Sin embargo, algunas especies de plantas acuáticas, especialmente de naturaleza semiacuática, se desarrollan en las riveras indicando su capacidad de colonización, constituyéndose así en especies colonizadoras de ambientes altamente intervenidos por el hombre.

En la Tabla 48, se presenta el reporte visual e información de las especies de macrófitas asociadas a la cuenca urbanizada del río Medellín.

Tabla 48. Características de las macrofitas encontradas en el río Aburrá - Medellín durante el estudio.

	<p>Clasificación:</p> <p>Reino: Plantae División: Magnoliophyta Clase: Magnoliopsida Orden: Apiales Familia: Aiaceae Género: Hydrocotyle Especie: H. bonplandii</p> <p>Nombre común</p> <p>Falso abeto. Hierba oreja. Sombrero de agua.</p>
<p>Hydrocotyle bonplandii</p>	<p>Se encuentra tanto en ecosistemas lóticos como lénticos.</p>

<p>Características</p> <p>Son hierbas perennes y esbeltas, con raíces en los nodos. Hojas pecioladas, estípulas presentes, membranosas, hojas orbiculares o reniformes. Pedúnculos axilares, hasta mucho más largo que las hojas. Flores bisexuales. Pétalos blancos, verdes o amarillos y ovaladas. Fruto globoso o elipsoide, semillas cóncavas.</p>	
<p>Cibergrafía: http://zipcodezoo.com/Plants/H/Hydrocotyle_bonplandi/</p>	
	<p>Clasificación:</p> <p>Reino: Plantae División: Magnoliophyta Clase: Liliopsida Orden: Poales Familia: Cyperaceae Género: Cyperus Especie: <i>C. alternifolius</i></p> <p>Nombre común</p> <p>Paragüitas, Planta paraguas, Cipero, Planta sombrilla, Quitasol.</p>
<p><i>Cyperus alternifolius</i></p>	<p>Propia de márgenes de ríos y cursos de agua.</p>
<p>Características</p> <p>Es una planta del género <i>Cyperus</i>, de la familia de las ciperáceas. Se relaciona con el verdadero papiro (<i>Cyperus papyrus</i>). Con tallos altos y delgados con las hojas en barras radiales similar a un paraguas abierto. Es una planta emergente que se encuentra en las riberas de los cuerpos de agua.</p>	
<p>Cibergrafía: http://es.wikipedia.org/wiki/Cyperus_alternifolius</p>	
	<p>Clasificación:</p> <p>Reino: Plantae División: Magnoliophyta Clase: Liliopsida Orden: Liliales Familia: Pontederiaceae Género: <i>Heteranthera</i> Especie: <i>H. reniformis</i></p> <p>Nombre común</p> <p>Riñón de plátano. Hoja de barro.</p>
<p><i>Heteranthera reniformis</i></p>	<p>Se encuentra en aguas poco profundas, áreas pantanosas a lo largo de ríos, canales, acequias y zanjas húmedas</p>
<p>Características</p> <p><i>Heteranthera reniformis</i>, una hierba común, enmalezada, que se encuentra en sitios muy húmedos, es de las especies de Pontederiaceae una de la más ampliamente distribuida y frecuentemente encontrada. Se distingue fácilmente por sus tallos florales glabros, hojas cordadas a reniformes, y flores blancas y pequeñas. Resistente a los herbicidas, es considerada una maleza.</p>	
<p>Cibergrafía: http://damis.inbio.ac.cr/FMPro?-DB=UBIpub.fp3&-lay=WebAll&-Format=/ubi/detail.html&-Op=bw&id=1847&-Find</p>	

	<p>Clasificación:</p> <p>Reino: Plantae División: Magnoliophyta Clase: Liliopsida Orden: Zingiberales Familia: Zingiberaceae Género: Hedychium Especie: H. coronarium</p> <p>Nombre común</p> <p>Mariposa, caña de ámbar.</p>
<p>Hedychium coronarium</p>	<p>Requiere buena iluminación y luz solar directa. Puede prosperar en suelos pobres en nutrientes, necesita abundante riego.</p>
<p>Características</p> <p>Hedychium coronarium es una planta herbácea con dos tipos de tallos. Unos son subterráneos rizomatosos gruesos. Los otros son aéreos, finos, rectos, rígidos. Los tallos aéreos tienen hojas grandes, de más de 25 cm y lanceoladas. El tallo aéreo puede llegar de 60 a 180 cm de alto y su desarrollo termina en una espiga floral cubierta de hojas modificadas que protegen los capullos de flores.</p>	
<p>Cibergrafía: http://es.wikipedia.org/wiki/Hedychium_coronarium</p>	
	<p>Clasificación:</p> <p>Reino: Plantae División: Magnoliophyta Clase: Magnoliopsida Orden: Caryophyllales Familia: Polygonaceae Género: Polygonum Especie: P. punctatum</p> <p>Nombre común</p> <p>Chilillo, catay dulce, picantilla.</p>
<p>Polygonum punctatum</p>	<p>Se encuentra presente a lo largo de bordes de caminos, bancos de arena de los ríos y en terrenos inundados.</p>
<p>Características</p> <p>Es una especie acuática o semiacuática, de hojas grandes, angostas, alternas. Tallo simple o ramificado, erguido o ascendente, de color verde o verdoso rojizo. Fruto aquenio, seco, de superficie brillante. Es considerada una maleza.</p>	
<p>Cibergrafía: http://es.wikipedia.org/wiki/Polygonum_punctatum</p>	



6.16.3 Comunidad de Macroinvertebrados acuáticos

Una de las comunidades biológicas que habitan los sistemas acuáticos, son los macroinvertebrados acuáticos, los cuales comprenden el estudio de turbelarios, anélidos, moluscos y artrópodos (Margalef, 1983), siendo las larvas y ninfas de los insectos (artrópodos) los más importantes al constituirse en el grupo más predominante. Estos son invertebrados acuáticos que habitan en la zona bentónica y se pueden observar a simple vista y son útiles como bioindicadores de la calidad del agua puesto que son sensibles a los cambios que ocurren en el ambiente y ello se refleja en la estructura de la comunidad.

El empleo de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad biológica del agua se fundamenta en que estos organismos son sedentarios, presentan ciclos de vida más prolongados en relación con otros organismos acuáticos inferiores y una alta diversidad, todos estos aspectos se integran como una respuesta a la evaluación espacio-temporal de las condiciones ambientales de los sistemas lóticos (Hawkes, 1979; Rosenberg y Resh, 1993).

El procedimiento de muestreo se realiza tomando con las manos piedras y rocas, hojas o sustratos similares del canal (hasta donde sea posible acceder) y se deposita el material recogido en una bandeja blanca o de color claro. Posteriormente, con una pinza de punta fina se recolectan y se depositan en un frasco pequeño, previamente rotulado, con alcohol para fijarlos en el campo. Adicionalmente, en puntos donde las condiciones lo permitan se puede emplear la red triangular para hacer un “barrido” a lo largo de las orillas con vegetación para atrapar insectos nadadores o que viven adheridos a la vegetación sumergida.

6.16.3.1 Metodología de índice biótico BMWP/Col

El Biological Monitoring Working Party (BMWP), presenta una metodología sencilla y rápida que permite evaluar la calidad del agua a partir de la utilización de los macroinvertebrados como bioindicadores de fácil utilización y de gran importancia al momento de la obtención de la calidad biológica del agua pues pueden ser utilizadas como testigos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes de agua superficiales, dado que estos organismos por ser sedentarios se vean afectados por cualquier tipo de sustancia que esté presente en la corriente de agua que además por su largo ciclo de vida permite estudiar los cambios acontecidos durante largos periodos de tiempo.

El muestreo realizado es de tipo cualitativo, donde se efectúan batidas con varias redes en diferentes zonas del río: orillas con o sin vegetación, zona de piedras, de arenas y partes con o sin corriente.

Luego de que las muestras son colectadas, se rotulan de acuerdo a la estación muestreada y se fijan con alcohol al 90%. Las muestras se trasladan al laboratorio donde los estudiantes se identifican a los macroinvertebrados acuáticos de cada una de las estaciones mediante el uso de un estereomicroscopio.

Con base a esta información, se construyeron tablas que presentan el orden, la familia, el género, el número de individuos y la bioindicación de cada uno de los organismos encontrados.

Se representa la calidad del agua en cada estación de acuerdo a una escala de valores donde estos se identifican de acuerdo a diferentes colores, donde el azul indica aguas muy limpias con buena calidad y el rojo identifica a las aguas fuertemente contaminadas con mala calidad.

Tabla 49. Valores del BMWP y significados

BMWP	COLOR	SIGNIFICADO
101 -150 en adelante	Azul	Aguas muy limpias a limpias
61 - 100	Verde	Aguas ligeramente contaminadas
36 - 60	Amarillo	Aguas moderadamente contaminadas
16 - 35	Naranja	Aguas muy contaminadas
15 y menores	Rojo	Aguas fuertemente contaminadas

Conjuntamente con el AMVA se determinarán los demás indicadores biológicos que considere necesarios sean medidos para tener más herramientas de análisis de la calidad de las aguas del río Aburrá – Medellín.

6.16.3.2 Comportamiento espacio-temporal de los macroinvertebrados acuáticos.

A continuación se relacionan los resultados obtenidos durante las diferentes fases de RedRío, los cuales serán descritos por años de ejecución.

- **Año 2010**

El comportamiento espacio-temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrado durante el 2010, muestra a la estación San Miguel (E1) como el sector con mejores condiciones ambientales, sustentado en un mayor número de organismos que representan una buena calidad biológica del agua.

En la Tabla 50, se registra la calidad del agua para los sitios de muestreo ubicados sobre el río Aburrá - Medellín, de acuerdo con las características de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos determinada en cada estación, con excepción de la estación Pradera (E18), donde no se encontraron organismos. Las categorías de muy contaminadas con ocho (44%) estaciones y medianamente contaminadas a muy contaminadas con seis (33%) fueron las de mayor representación.

El tramo comprendido entre la estaciones Puente Machado (E11) y Popalito (E17), registra la mayor contaminación de acuerdo con la evaluación de la calidad de agua determinada a

través del análisis de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Esta zona comprende las estaciones, Ancón Norte (E12), Niquía (E21), Puente Girardota (E13), Parque de las Aguas (E14), Hatillo (E15) y Papelsa (E16).

Tabla 50. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2010.

CÓDIGO	ESTACIÓN	CALIDAD DE AGUA
E1	San Miguel	Buena calidad
E2	Primavera	Medianamente contaminada
E3	Ancón Sur	Buena calidad a medianamente contaminada
E5	Antes de San Fernando	Medianamente contaminada a muy contaminada
E6	Después de San Fernando	Medianamente contaminada a muy contaminada
E7	Puente Guayaquil	Medianamente contaminada a muy contaminada
E8	Aula Ambiental	Medianamente contaminada a muy contaminada
E9	Puente Acevedo	Medianamente contaminada a muy contaminada
E11	Puente Machado	Muy contaminada
E21	Niquía	Muy contaminada
E12	Ancón Norte	Muy contaminada
E13	Puente Girardota	Muy contaminada
E14	Parque de las Aguas	Muy contaminada
E15	Hatillo	Muy contaminada
E16	Papelsa	Muy contaminada
E17	Popalito	Muy contaminada
E18	Pradera	No se encontraron organismos
E19	EADE	Medianamente contaminada a muy contaminada
E20	Puente Gabino	Medianamente contaminada

A partir de los valores obtenidos desde el comportamiento de los macroinvertebrados acuáticos, las estaciones se agruparon en cinco categorías, la primera la constituye la estación San Miguel (E1) que presentó la mejor calidad biológica del agua. En la segunda categoría, se incluyen aquellos sitios medianamente contaminados como Primavera (E2) y Puente Gabino (E20). La tercera está representada por la estación establecida en Ancón Sur (Buena calidad a medianamente contaminados). La cuarta categoría ambiental (medianamente contaminados a muy contaminados), involucra las estaciones Antes de San Fernando, Después de San Fernando, Puente Guayaquil, Aula Ambiental, Puente Acevedo y EADE. En la quinta, se ubican aquellas estaciones que se relacionan con aguas muy contaminadas: Puente Machado (E11), Ancón Norte (E12), Puente Girardota, Parque de las Aguas, Hatillo, Papelsa, Popalito y Niquía.

En la mayoría de los casos, se presentó una mayor riqueza de macroinvertebrados acuáticos en las campañas de campo realizadas en el segundo semestre de 2010. Lo anterior, está relacionado con un aumento en las concentraciones de oxígeno por acción de una mayor



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



turbulencia como consecuencia de un aumento de caudal y de la velocidad de la corriente registrada durante este momento de muestreo. Lo antes expresado, se sustenta por la presencia de organismos que se relacionan con una mejor calidad del agua en sitios en los cuales solo se presentaron en la segunda etapa y no en la primera. Es posible también suponer un efecto de barrido que sobre algunos de estos organismos, haya ejercido la velocidad de la corriente desde aguas arriba.

Aunque los resultados de los muestreos de los años 2004, 2006 y 2010, acerca de la composición de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos y de los valores del índice BMWP/Col, muestran que en la estación ubicada en San Miguel (E1), se presenta una buena calidad del agua, algunos resultados admiten condiciones aunque no muy críticas, si preocupantes de acuerdo con los obtenidos en 2010 y comparados con los registrados en 2004 y 2006. Esto como consecuencia de algunas actividades que se desarrollan en este sector entre las que se destacan la extracción de material de playa, observado aguas arriba del sitio de toma de muestras, vertimiento de aguas residuales domésticas aguas arriba y aguas abajo del sitio de muestreo, presencia de residuos tanto en el lecho como en las riberas del río, lavado de automotores dentro y fuera del cauce, entre otras actividades que afectan la calidad del agua. Las variaciones temporales indican, o por lo menos así parece, un incremento de estas acciones en frecuencia e intensidad.

La calidad biológica del agua en la estación Puente Gabino (E20), presenta condiciones ambientales algo similares a las registradas en Primavera (E2) y Ancón Sur (E3). La carga contaminante que lleva el río se incrementa en la parte media de su recorrido hasta la estación situada en Popalito y disminuye un poco en las estaciones EADE y Puente Gabino, principalmente en esta última, donde, además de organismos indicadores de contaminación, también se presentan invertebrados que frecuentan ambientes de buena calidad (*Lachlania*, *Anacroneuria*), otros que habitan aguas de transición entre buena calidad a ligeramente contaminados (*Leptohyphes*, *Corydalis*, *Hetaerina*) y algunos taxa relacionados con una contaminación media como *Tricorythodes* y *Brechmorphoga*.

En la mayoría de las quebradas, como en gran parte del tramo que comprende la red del río Aburrá - Medellín, se presentan situaciones que impactan la calidad del agua y que se manifiestan a través de la dinámica espacio-temporal de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y de los valores del índice BMWP/Col (Roldán, 2003).

- **Año 2011**

En la Tabla 51, se presenta un resumen sobre el estado de la calidad del agua en las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá-Medellín durante los muestreos realizados en 2011.

La condición de muy contaminada, sobresale con el 52.6% de las estaciones. Le siguen aquellas establecidas dentro de un rango de moderadamente a muy contaminada (26,3%), moderadamente contaminadas con 10,5% y de buena calidad (San Miguel) con un porcentaje de 5,3.

Tabla 51. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2011

CÓDIGO	ESTACIÓN	CALIDAD DE AGUA
E1	San Miguel	Buena calidad
E2	Primavera	Moderadamente contaminada
E3	Ancón Sur	Moderadamente contaminada
E5	Antes de San Fernando	Moderadamente contaminada a muy contaminada
E6	Después de San Fernando	Moderadamente contaminada a muy contaminada
E7	Puente Guayaquil	Muy contaminada
E8	Aula Ambiental	Muy contaminada
E9	Puente Acevedo	Muy contaminada
E11	Puente Machado	Muy contaminada
E21	Niquía	Muy contaminada
E12	Ancón Norte	Muy contaminada
E13	Puente Girardota	Muy contaminada
E14	Parque de las Aguas	Muy contaminada
E15	Hatillo	Muy contaminada
E16	Papelsa	Muy contaminada
E17	Popalito	Moderadamente contaminada a muy contaminada
E19	EADE	Moderadamente contaminada a muy contaminada
E20	Puente Gabino	Medianamente contaminada a muy contaminada

- Año 2012**

El mayor número de taxa se registró en E1 (San Miguel) con un valor 25, le siguen en orden de abundancia E2 (Primavera) con 15, Ancón Sur (E3) con 13, Puente Gabino (E20) con 11, E5 (Antes de San Fernando) con 10 y E6 (Después de San Fernando) con nueve. Estos resultados reflejan las condiciones ambientales que se presentan en el río Aburrá, al concordar el más alto número de taxa y calidad del agua, en especial en los sitios E1, E2, E3 y E20. En contraste, una riqueza muy baja se encontró en E9 (Puente Acevedo) y E12 (Ancón Norte) con tres taxa diferentes en cada una de estas, y E8 (Aula Ambiental) y E16 (Papelsa) con cuatro. La mayoría de los macroinvertebrados identificados en estos sitios se relacionan con ambientes deteriorados.

En la Tabla 52, se registra la condición ambiental de acuerdo con las características de los macroinvertebrados acuáticos identificados en las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín durante los muestreos realizados en 2012. De acuerdo con lo anterior, se establecieron cinco categorías, buena calidad en San Miguel (E1), buena calidad a moderadamente contaminadas en Primavera E2 y moderadamente contaminadas en Ancón Sur (E3), representan un porcentaje de 8,3 cada una de estas. El 33% de moderadamente contaminadas a muy contaminadas incluye las estaciones; Antes de San Fernando (E5), Después de San Fernando (E6), Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20). Por su parte, la

condición de muy contaminada representa el porcentaje más alto (42%) en la cual se agrupan los sitios ubicados en el trayecto comprendido entre la estación Aula Ambiental (E8) y Ancón Norte (E12).

Tabla 52. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín en los muestreos realizados en 2012

CÓDIGO	ESTACIÓN	CALIDAD DE AGUA
E1	San Miguel	Buena calidad
E2	Primavera	Buena calidad a moderadamente contaminada
E3	Ancón Sur	Moderadamente contaminada
E5	Antes de San Fernando	Moderadamente contaminada a muy contaminada
E6	Después de San Fernando	Moderadamente contaminada a muy contaminada
E8	Aula Ambiental	Muy contaminada
E9	Puente Acevedo	Muy contaminada
E11	Puente Machado	Muy contaminada
E21	Niquía	Muy contaminada
E12	Ancón Norte	Muy contaminada
E16	Papelsa	Moderadamente contaminada a muy contaminada

- Año 2013**

En la Tabla 53, se presenta un resumen sobre el estado de la calidad del agua en las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín durante los muestreos realizados en 2013. La condición de muy contaminada a fuertemente contaminadas sobresale en el 33,30 % de las estaciones junto con las aguas fuertemente contaminadas (33,30 %). En menor porcentaje siguen aquellas estaciones establecidas dentro de un rango de moderadamente contaminada a muy contaminadas con un valor de 16,60%, mientras que las clasificadas como aguas moderadamente contaminadas les corresponde un 8,30 %. Por último, en la clasificación de buena calidad a moderada contaminación, se encuentra la estación San Miguel (E1) con un porcentaje de 8,30 %.

Tabla 53. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2013

CÓDIGO	ESTACIÓN	CALIDAD DE AGUA
E1	San Miguel	Buena calidad a moderadamente contaminadas
E2	Primavera	Moderadamente contaminada
E3	Ancón Sur	Moderadamente contaminada a muy contaminadas
E5	Antes de San Fernando	Moderadamente contaminada a muy contaminadas
E6	Después de San Fernando	Muy contaminada a fuertemente contaminadas
E8	Aula Ambiental	Aguas fuertemente contaminadas
E9	Puente Acevedo	Aguas fuertemente contaminadas
E11	Puente Machado	Aguas fuertemente contaminadas
E21	Niquía	Muy contaminada a fuertemente contaminadas
E12	Ancón Norte	Aguas fuertemente contaminadas
E16	Papelsa	Muy contaminada a fuertemente contaminada
E20	Puente Gabino	Muy contaminada a fuertemente contaminadas



Es importante resaltar que en el sitio del nacimiento del río Aburrá - Medellín, no se encontraron organismos que signifiquen una alta contaminación orgánica. Sin embargo en algunos muestreos la calidad biológica del agua fue mala, debido al efecto de la ausencia de taxa más que a la contaminación en sí misma, lo que puede deberse a efectos del muestreo y lluvia permanente, la cual es característica en esta zona y que genera pérdida de los macroinvertebrados por deriva béntica.

- **Año 2014**

En la Tabla 54, se registra la calidad del agua para los sitios de muestreo ubicados sobre el río Aburrá-Medellín, de acuerdo con las características de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos capturados durante los momentos de muestreo en 2014. De acuerdo con las cinco categorías, buena calidad representa el 9,1 % con San Miguel (E1). La condición de aguas moderadamente contaminadas constituye el 18,2 % en las estaciones Primavera (E2) y después de San Fernando (E6). Le siguen en porcentaje, la clasificación de muy contaminadas con 27,3 % y en la que se incluyen las estaciones del tramo comprendido entre Puente Acevedo (E9) y Ancón Norte (E12). Por su parte, el estado de aguas moderadamente contaminadas a muy contaminadas representa el porcentaje más alto (45,5 %), y hacen parte de este grupo las estaciones Ancón sur (E3), Antes de San Fernando (E5), Aula Ambiental (E8), Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20).

Tabla 54. Calidad de agua para las estaciones ubicadas sobre el río Aburrá - Medellín, en los muestreos de 2014.

CÓDIGO	ESTACION	CALIDAD DE AGUA
E1	San Miguel	Buena calidad
E2	Primavera	Moderadamente contaminadas
E3	Ancón Sur	Moderadamente contaminadas a muy contaminadas
E5	Antes de San Fernando	Moderadamente contaminadas a muy contaminadas
E6	Después de San Fernando	Moderadamente contaminadas
E8	Aula Ambiental	Moderadamente contaminadas a muy contaminadas
E9	Puente Acevedo	No se encontraron organismos
E21	Niquía	Muy contaminadas
E11	Puente Machado	Muy contaminadas
E12	Ancón Norte	Muy contaminadas
E16	Papelsa	Moderadamente contaminadas a muy contaminadas
E20	Puente Gabino	Moderadamente contaminadas a muy contaminadas

6.16.3.3 Comparación espacio temporal de los macroinvertebrados acuáticos

Durante los últimos cinco años de monitoreo del río Aburrá-Medellín se han determinado 75 taxa en 2010, 67 en 2011, 49 en 2012, 61 en 2013 y 34 en los muestreos efectuados 2014, pero cabe destacar que solo se realizaron en el último año cuatro campañas de monitoreo biológico.

En la Tabla 55, se presentan las tendencias espaciales del número de taxa registrado durante las últimas fases de monitoreo para las estaciones con mayor representación. Debe aclararse



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



que el valor reportado dentro del paréntesis corresponde al número de taxa total identificado para cada estación durante cada año de muestreo.

En la estación ubicada en Antes de San Fernando (E5) a pesar de registrarse en los cinco años un número intermedio de taxa (14 en 2010, 10 en 2011, nueve en 2012, seis en 2013 y cuatro en 2014), las características eco-fisiológicas de los organismos determinados en este sitio se asocian con un rango de calidad que se establece desde moderadamente contaminada a muy contaminada. En este sector del río se nota claramente una reducción en el número de taxa lo cual puede ser indicativo de un incremento en el deterioro de las condiciones fisicoquímicas del agua.

Al comparar la calidad a partir del comportamiento de la comunidad de los macroinvertebrados, se manifiesta en algunos casos, cierta diferencia espacio-temporal. Un ejemplo típico puede ser la estación ubicada en Primavera (E2) donde la condición ambiental varió de moderadamente contaminada en 2010 y 2011, a de buena calidad a moderadamente contaminada en 2012 y moderadamente contaminada en 2013 y 2014.

Otro caso a tener en cuenta es en Ancón Sur (E3) sitio en el cual la calidad osciló dentro de un rango de buena calidad a moderadamente contaminada en 2010, a moderadamente contaminada en 2011, 2012 y 2013. En 2013 y 2014, la condición se tornó más crítica alcanzando un nivel de contaminación que fluctuó entre moderadamente contaminado a muy contaminado. En estaciones como E9, E11 y E12 no se perciben cambios en el tiempo, dado que los resultados analizados siempre indican una contaminación temporal alta.

Desde el año 2010 hasta el año 2013 no se ve una diferencia marcada en el comportamiento de la riqueza de cada estación, sin embargo, al compararse con la tendencia del año 2014 se observa una reducción marcada en dichos valores para la mayoría de las estaciones con mayor representación. Dicho resultado no puede explicarse como un deterioro en la calidad del agua para los momentos de muestreo de dicho año sino evaluarse desde la poca intensidad de muestreos realizados (3). Esto puede corroborarse al analizar la biota de macroinvertebrados asociados con cada fecha de monitoreo y la que permite ver que las condiciones ambientales de un año a otro no difieren significativamente.

Siguen siendo los dípteros de la familia Chironomidae, los anélidos del grupo haplotaxida, los de la clase hirudinea y el díptero *Chironomus* los organismos más frecuentemente encontrados año a año. La mayoría de estos organismos asociados a condiciones biológicas del agua de moderadamente contaminadas a muy contaminadas.

Es notorio de igual manera como San Miguel (E1) en el tiempo se conserva como la estación con la mayor riqueza. A partir del año 2011 se observa una reducción importante en su riqueza. Sin embargo, las características eco-fisiológicas de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos indican una buena calidad del sistema durante las diferentes fases de monitoreo.

Tabla 55. Tendencia de la variación del número de taxa reportado en las estaciones sobre el río Aburrá-Medellín con mayor representación en los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014

AÑO	TENDENCIA
2010	E1 (51), E3 (23), E20 (20), E9 y E5 (14), E6, E11, E12 y E16 (10)
2011	E1 (45), E2 y E20 (18), E3 (14) y E5 (10).
2012	E1 (25), E2 (15), E3 (13), E20 (11) y E5 (10).
2013	E1 (34), E2 (18), E3 (13), E5 (13), E6(14), E16(12) y E20(18).
2014	E1 (25), E2 (5), E3(7), E5(4), E6(7) y E20(6).

En la Figura 56, se muestra la red hidrográfica de la zona de estudio y algunos organismos representativos de cada estación de muestreo ubicada sobre el río Aburrá en 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014. En la Figura 57, se ilustra la condición ambiental espacio-temporal en el río, donde se comparan las estaciones muestreadas en 2014 con las mismas de 2010, 2011, 2012 y 2013. Las categorías de moderadamente contaminada a muy contaminada y la condición de muy contaminada son las que más prevalecen en el tiempo, sin que se presenten variaciones espaciales drásticas entre un año y otro.

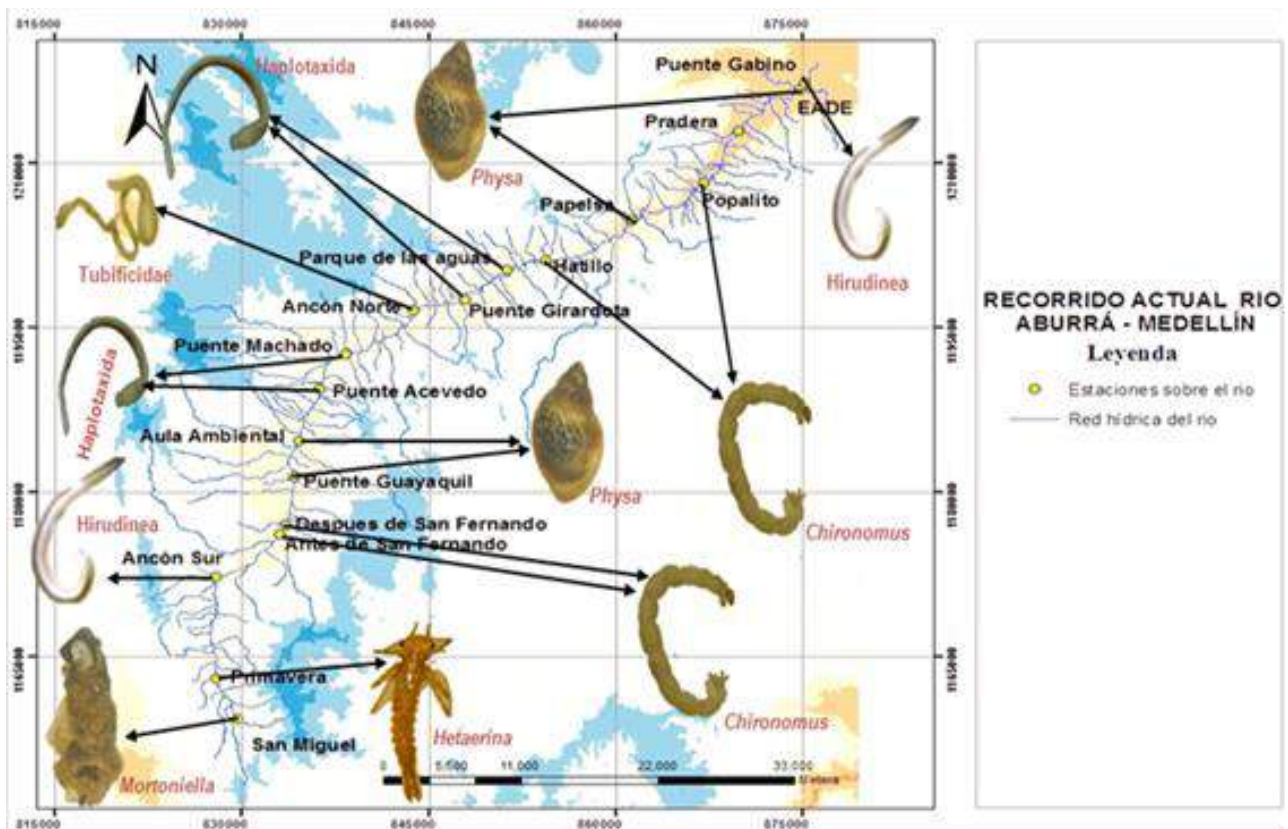


Figura 56. Macroinvertebrados acuáticos más representativos determinados en el río Aburrá-Medellín en 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014

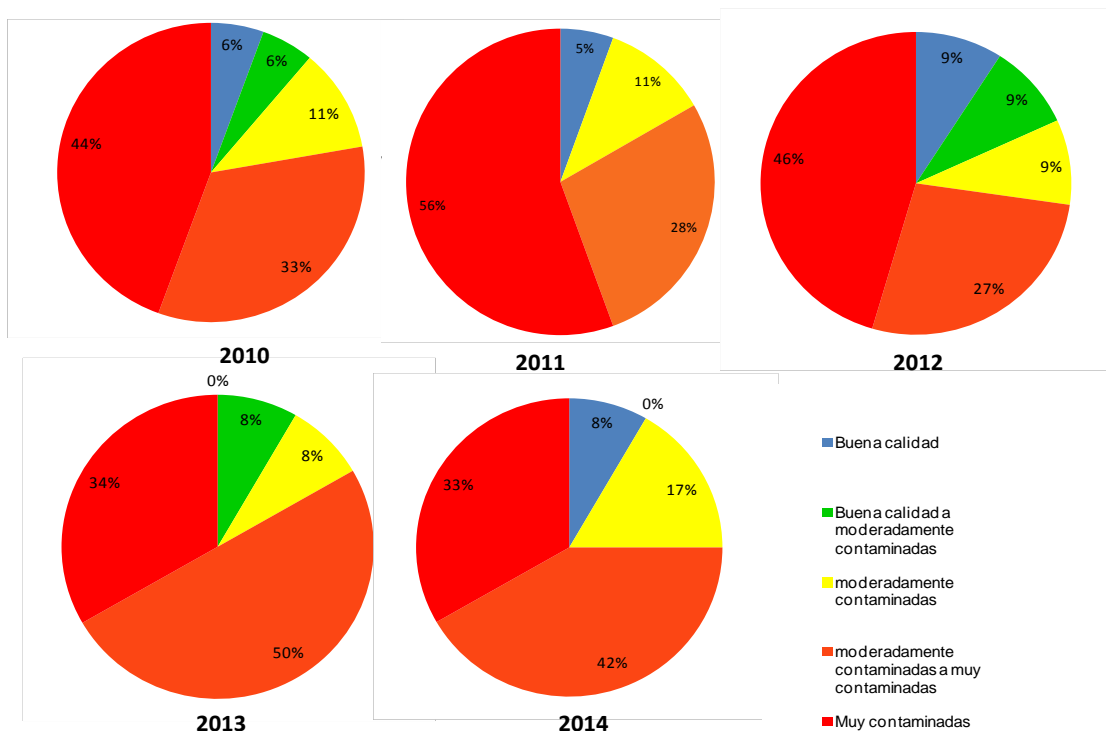


Figura 57. Porcentaje de calidad de agua sobre las estaciones ubicadas en el río Aburrá-Medellín en 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014

En el Anexo 27 se adjunta los resultados correspondientes a las jornadas realizadas en el Río Aburrá distribuidas en 18 estaciones a lo largo del río Aburrá. Estos muestreos se efectuaron durante los meses de febrero a septiembre de 2015).

6.16.3.4 Análisis espacio-temporal de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos capturados en campañas realizadas desde el 2004 al 2015

La Figura 58 muestra mediante los colores en barras los muestreos históricos realizados en las diferentes fases del proyecto asociados al valor del BMWP/col. Para poder realizar una comparación entre estaciones y también observar la sucesión de algunos de los puntos importantes (estaciones). Se puede destacar la variación que presenta el punto de nacimiento del río Aburrá-Medellín en la estación San Migue (E1) con valores que superan el 60 incluidos los datos históricos hasta febrero de 2014. A partir de ahí se produce un descenso significativo para octubre de 2014 con un valor de 26. De ahí que en el año 2015 se presenta nuevamente un incremento en este índice. Esta oscilación asociada a la época del año es muy importante ya que evidencia un patrón de comportamiento.

Por otra parte las estaciones que presentan una importante tendencia a presentar valores por encima de los 35 en el BMWP/col son Primavera (E2), Ancón sur (E3), Después de San Fernando (E6) y Puente Gabino (E20). Aunque dentro del análisis mensual presentan intermitencias en el índice.

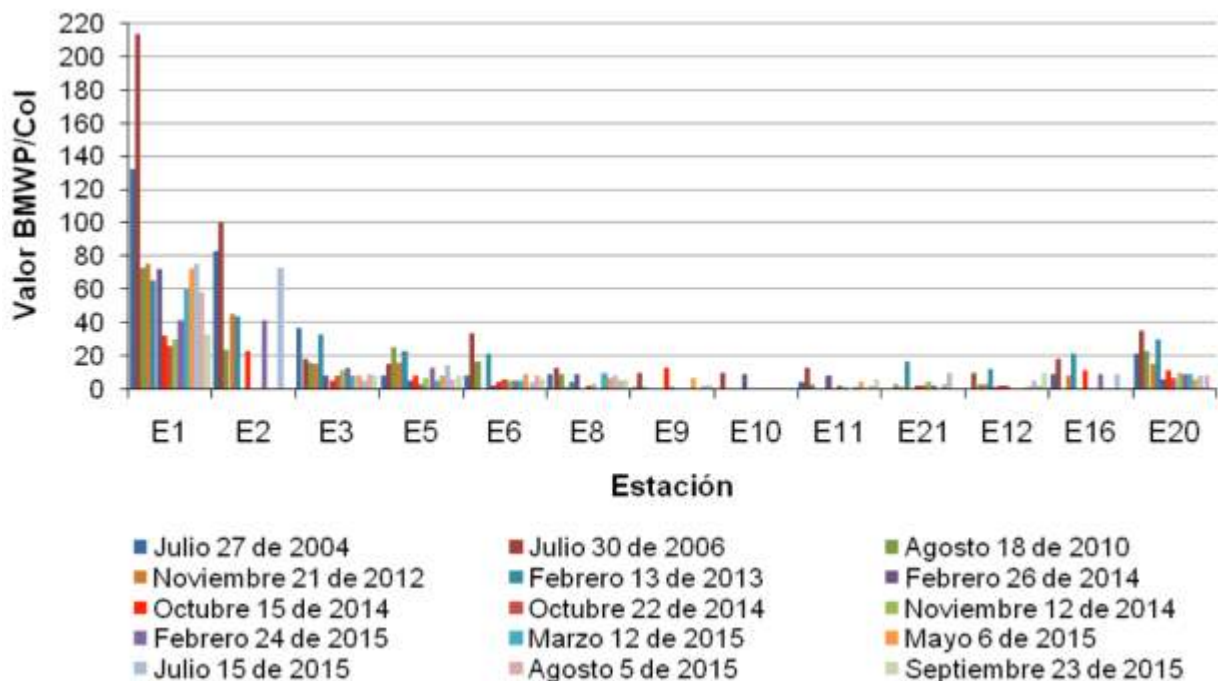


Figura 58. Valores multimensuales del índice BMWP/col en el río Aburra en los años 2004, 2006, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015

De acuerdo con los anteriores resultados se puede establecer que la estación San Miguel (E1) es la única que conserva una estabilidad en la riqueza de especies y valores en el BMWP/col a pesar de ello se hace importante prestar atención ya que en el último muestreo (23 de septiembre de 2015) se evidenció un deterioro importante bajando su calificación a crítica, donde los organismos más representativos durante las campañas el año 2015 y que se presentaron en todas la mayoría de campañas fueron de la familia: Physidae, Tubificidae, Chironomidae, Erpobdellidae, indicadoras de contaminación orgánica. De las campañas realizadas en el año 2015 la que correspondió al 15 de julio fue la que presentó los valores de riquezas de especies más altos para las estaciones San Miguel (E1) y Primavera (E2) con valores de 18 y 15 taxás respectivamente indicando una buena presencia de organismos ya que valores altos en la riqueza se encuentra asociados con buenas condiciones del ecosistema. Caso contrario se presentó el 6 mayo donde las estaciones Puente Acevedo (E9), Ancón Norte (E12) y Niquía (E21) tan solo se encontró una riqueza de 1 taxa. En todas las campañas realizadas en el río a partir de Ancón sur (E3) la calidad disminuye considerablemente debido

a que el BMWP/ col no sobrepasan el valor de 15. Comportamiento repetitivo y que evidencia una calidad muy crítica usando este índice. Es necesario establecer que en los diferentes muestreos realizados en 2012, 2013, 2014 y 2015, existe un importante deterioro ambiental en su avance temporal según el índice del BMWP/col asociados a las características que determinan la composición de macroinvertebrados acuáticos tanto en las estaciones en el río como en las quebradas asociadas. Existen casos puntuales donde se produce una mejoría como lo es San Miguel (E1) y Primavera (E2) esto asociado a su ubicación geográfica y su poca perturbación de carácter antrópico.

6.17 SÍNTESIS RESULTADOS ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICO - QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL AÑO MÁS CRÍTICO DE MONITOREO – 2010

En los ítems anteriores se mostraron por separado los resultados del índice de calidad ICACOSU, el ICA/global y el índice biótico BMWP/Col para cada una de las estaciones fijas sobre el río Aburrá- Medellín y sus principales quebradas afluentes. Si bien es cierto que estos índices tienen diferentes metodologías de cálculo, y no podrían ser comparables numéricamente, muestran una tendencia en términos cualitativos que permiten agruparlos y mirar de manera general por estaciones el comportamiento del río en términos de calidad del agua. Por lo anterior, se incorpora en la Tabla 56 un resumen de los resultados encontrados a través de los índices de calidad de agua aplicados en el año 2010.

Tabla 56. Síntesis resultados índices de calidad de agua, aplicados en el proyecto RedRío

ESTACIONES DE MUESTREO	RESULTADO PROMEDIO ICACOSU DE LAS MUESTRAS COMPUESTAS PRIMER SEMESTRE 2010		RESULTADO PROMEDIO ICACOSU DE LAS MUESTRAS COMPUESTAS SEGUNDO SEMESTRE 2010		RESULTADO PROMEDIO DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA GLOBAL DE LAS MUESTRAS COMPUESTAS 2010		RESULTADO BMWP/COL 2010
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Clasificación
San Miguel (E1)	0.81	Aceptable	0.87	Aceptable	3.6	Aceptable	Buena Calidad
Ancón Sur (E3)	0.59	Regular	0.64	Regular	7.7	Regular	Buena Calidad a mediana/e contaminada
Antes de San Fernando (E5)	0.55	Regular	0.57	Regular	8.7	Regular	Medianamente contaminada a muy contaminada
Aula Ambiental (E8)	0.45	Mala	0.49	Mala	11.4	Mala	Medianamente contaminada a muy contaminada
Puente Acevedo (E9)	0.32	Mala	0.39	Mala	14.5	Muy mala	Medianamente contaminada a muy contaminada
Puente Machado (E11)	0.29	Mala	0.34	Mala	15.0	Muy mala	Muy contaminada
Ancón Norte (E12)	0.24	Muy Mala	0.33	Mala	15.0	Muy mala	Muy contaminada
Puente Gabino (E20)	0.43	Mala	0.54	Regular	9.9	Regular	Medianamente contaminada a muy contaminada
Escenario Caudal	Caudales bajos		Caudales medios - altos		Caudales promedio		Caudales promedio



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



El comportamiento de calidad obtenido en la Tabla 56 resume las valoraciones realizadas de manera individual para cada índice de calidad, afirmándose el gradual deterioro que presenta el río Aburrá - Medellín desde su cuenca alta, donde presenta una valoración de calidad entre buena y aceptable, seguido de un notable deterioro con una calidad entre regular y muy mala en su tramo medio y ya en la parte baja de la cuenca sufre una leve recuperación con una calidad que pasa de muy mala a simplemente mala y regular. Llama la atención, en que independientemente de que el índice aplicado sea físico químico, biológico o combinado, los resultados han mostrado tendencias muy similares, lo que evidencia que el ICA/global desarrollado en el proyecto RedRío, cumple satisfactoriamente como herramienta de gestión en la toma de decisiones frente a la calidad de agua del río Aburrá – Medellín.

Adicionalmente, se hace evidente que el ICA/global es más drástico en la clasificación del comportamiento de la calidad del agua, en comparación al ICACOSU y el BMWP/Col, mostrando un reflejo de las condiciones propias de calidad en el río.

6.18 ANÁLISIS DE LOS CONFLICTOS ACTUALES DE USO, POR CALIDAD

Después de evaluar las quejas registradas en las bases de datos de cada Autoridad Ambiental, se encontró que los usuarios de la zona urbana no perciben conflictos por disponibilidad del recurso hídrico, lo que se asocia a la disponibilidad permanente de éste en la Región y al suministro que está a cargo (en gran parte del territorio) de Empresas Públicas de Medellín, lo cual es paradójico dado que para abastecer una porción de la población es necesario importar o traer el recurso de otras regiones, es decir, el valle de Aburrá para su abastecimiento de agua es dependiente de otras cuencas, lo que genera un alto riesgo asociado a la disponibilidad.

Por la razón anterior, las principales quejas registradas están asociadas a vertimientos que la comunidad identifica y que alteran visualmente las propiedades organolépticas del río. No obstante, es importante resaltar que a partir del trabajo de campo en el proyecto RedRío se han identificado otros conflictos por ejemplo, en la parte alta de la cuenca que están relacionados con el uso del recurso, dado que éste es afectado por la extracción de material de playa para la construcción y el paso de volquetas sobre el cauce, deteriorando la calidad del agua y el sustrato para la sobrevivencia de especies, adicionalmente, en este sector también se encuentran personas que se sienten afectadas por el uso recreativo primario los fines de semana, ya que congrega una gran cantidad de población foránea, que además de hacer un mal uso del recurso hídrico, dejan residuos que alteran la estética y el paisaje de la zona.

De igual manera, se logró identificar algunos usuarios que tienen concesión de aguas en el sector de Ancón Sur, quienes presentan quejas por coloración de la fuente durante la noche y en ocasiones frena los procesos productivos ya que es inviable el uso del recurso bajo esas condiciones.



Otro conflicto evidente relacionado con el uso del recurso hídrico son los habitantes de calle que se ubican en las riberas del río Aburrá- Medellín para proveerse de este, cuyo problema social se ha incrementado ocasionando incomodidad y temor lo que ha generado un problema de salud pública, seguridad y conflictos sociales, que limita el uso del espacio para el libre esparcimiento.

Adicional a lo antes mencionado dentro del taller participativo para la identificación de los usos actuales del río Aburrá-Medellín, realizado en el marco de la estrategia de participación, se consideró en uno de los momentos desarrollados, la identificación por parte de los asistentes de las tensiones o conflictos que se han evidenciado a lo largo del eje de río Aburra-Medellín. Este trabajo fue realizado por mesas o tramos del río, cuyos resultados son presentados en la Tabla 57.

Tabla 57. Tensiones o conflictos identificados

¿CUÁLES SON LAS TENSIONES GENERADAS POR CADA UNO DE LOS USOS ACTUALES DEL AGUA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN QUE USTED CONOZCA?:		
MESA	TENSIÓN	EXPLICACIÓN
Mesa 1	Ganadería, campistas, público visitante, explotación forestal, áreas de reserva y uso industrial.	Debido que la ganadería existía antes de ser declarada zona de reserva ecológica, acuerdo 048 de 1993, ésta genera restricciones de uso. Ampliación de la frontera pecuaria que afecta la preservación de fauna y flora, uso de herbicidas selectivos para control de maleza que llega al río. Los campistas generan corte de vegetación, quema de material vegetal, generación de residuos sólidos sin manejo, entre otros.
Mesa 2	Vertimientos de aguas residuales, contaminación residuos industriales, intervención ilegal del cauce, minería, escombreras y asentamientos humanos en las riberas del río.	Se presentan vertimientos de aguas residuales y las comunidades no tienen como realizarle tratamientos al agua, contaminación por residuos sólidos, ocupación informal de áreas cercanas al cauce, hay explotación de materiales que generan deslizamientos.
Mesa 3	Vertimientos, contaminación industrial, captaciones, falta de estudios de oferta y demanda, falta mayor control y vigilancia, falta de colectores,	Vertimientos de aguas residuales directamente sobre el río, algunas empresas captan el agua directamente desde el río (Se da un ejemplo sobre una captación en el municipio de Sabaneta), desde el sector de Ancón Sur hasta el municipio de Caldas no se cuenta actualmente con colectores, y se deben realizar buenos estudios de oferta y demanda en el sector para evitar tensiones a futuro. No se evidencia suficiente control y vigilancia por parte de las entidades competentes.
Mesa 4	Incumplimiento de la normatividad, captaciones y vertimientos industriales, límites de concesiones, inconformidad con la planta de tratamiento de San Fernando. Usos no planificados sobre el río.	Se presentan conflictos con respecto a la planeación de las zonas de retiro del cauce con las obras de saneamiento. Se deben regular las actividades legales y establecer un límite de usuarios. Los actores no están de acuerdo en que después de la descarga de la planta de tratamiento de San Fernando se presente un mayor deterioro del cauce. Se genera conflicto debido a que algunas empresas captan agua para la realización de sus procesos, no hay control en las concesiones ni vertimientos (conflicto de doble vía), aún más con la nueva normativa de vertimientos 631 de 2015, la cual es más rigurosa (No es lo mismo lo que consume que lo que vierte, EPM no debería basar sus vertimientos en el consumo, el conflicto es la capacidad del río que tiene para recibir estos vertimientos).



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



¿CUÁLES SON LAS TENSIONES GENERADAS POR CADA UNO DE LOS USOS ACTUALES DEL AGUA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN QUE USTED CONOZCA?:		
MESA	TENSIÓN	EXPLICACIÓN
Mesa 5	Vertimientos, depósitos de escombros, captaciones, invasión del cauce, disposición inadecuada de residuos. Falta de intervención por parte de la autoridad ambiental. Extracción de material de playa. Afectación del paisaje por parte de la población en situación de calle.	Se presentan vertimientos por parte de la comunidad en donde se depositan sustancias que alteran la dinámica del río lo que se ve reflejado en el vertimiento de pinturas, aceites, combustibles, maderas, entre otros materiales. Por otro lado, algunas comunidades y empresas no respetan las zonas de retiro. En general las actividades antrópicas y económicas no contraladas aumentan la contaminación del Río.
Mesa 6	Falta de planificación, vertimientos, malos olores, inundaciones. Alteración de la dinámica hidráulica.	Se menciona que hay una alta urbanización en la zona de interés sin la debida implementación de obras de saneamiento presentándose entonces falta de planificación del territorio y eventos naturales de riesgo. En épocas de sequía se generan malos olores provocados por la actividad minera que modifica el cauce del río. Se menciona que en épocas de invierno se podría presentar inundaciones en la vía Hatillo al quedar paralela al río. Insuficientes plantas de tratamiento para vertimientos.
Mesa 7	Otorgamiento de licencias, tensiones asociadas al funcionamiento de la hidroeléctrica, vertimientos residuos de industria porcícola	Evaluar las licencias ambientales que se les da a las actividades mineras y de extracción, se dice que la hidroeléctrica presente en la zona genera afectaciones a la comunidad y a la hidráulica del río. También se mencionan vertimientos por actividades como la porcicultura.

En términos generales se puede plantear que las tensiones generadas por los usos actuales del río Aburrá-Medellín, se expresan principalmente en función de tres categorías básicas: las tensiones sobre los usos; las tensiones sobre el control y vigilancia; y la ausencia de planificación ejercida en lo relacionado con el recurso hídrico.

Con relación a la tensión entre los usos normativos y los identificados por los actores, la más recurrente tiene que ver con los casos de los vertimientos, las captaciones del recurso sin control y la minería. Seguidamente se encuentran los usos que no están permitidos para determinados tramos según la normatividad, especialmente por la mala calidad, y que no obstante se presentan como el consumo humano y doméstico.

Respecto al control y vigilancia de la autoridad ambiental, se identifica inconformidad con el ejercicio de las funciones cuando se trata de corregir o sancionar los usos indebidos que se hacen del agua del río Aburrá – Medellín. De especial atención son las concesiones de agua sin mayor control y vigilancia; y los vertimientos no permitidos.



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Finalmente, se destaca la tensión sobre la ausencia de planificación ejercida en lo relacionado con el recurso hídrico del río Aburrá – Medellín, lo cual coincide justamente con el objetivo del proyecto. Sobre esta tensión, es necesario advertir la diferencia entre las afectaciones que la planeación y uso del suelo definidos en los Planes de Ordenamiento Territorial generen sobre el río Aburrá – Medellín; y las afectaciones que sufre el agua del río por ausencia de la planificación de este recurso.

Tabla 58. Tensiones recurrentes y descripción

TIPO DE TENSIÓN	DESCRIPCIÓN
Usos normativos vs Usos empíricos	Uso del agua del río Aburrá – Medellín en determinados tramos cuando la normativa no lo contempla o permite.
Autoridad ambiental	Laxitud o incapacidad burocrática en el control y vigilancia de la Autoridad Ambiental que impide corregir o sancionar los usos y los vertimientos indebidos.
Planificación	Ausencia de un proceso de planificación del recurso hídrico que mitigue e intervenga las problemáticas que se presentan; y planear acciones estratégicas para su recuperación o para habilitar otros usos en el corto, mediano y largo plazo.

Finalmente es importante resaltar que esta información se obtuvo a partir de los talleres que se realizaron durante los meses de octubre y noviembre del año 2015 (ver numeral 6.8), donde los actores asistentes a los mismos fueron los encargados de dicha identificación, a través de la realización de mesas de trabajo, correspondientes con los siete tramos identificados en el río Aburrá-Medellín.

6.19 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA DEL ACUÍFERO

Las zonas de recarga tenidas en cuenta son las delimitadas en el estudio “Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del valle de Aburrá” (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013), en el cual, como se observa en la Figura 59, se obtuvo que la mayor parte del valle corresponde a la categoría de zona de recarga de importancia media; la siguiente categoría con mayor área corresponde a la zona de recarga directa, la cual está limitada al acuífero libre; la zona de recarga de importancia alta, sólo se presenta con áreas mayores a 2 km² en el extremo sur–occidental del valle y al nor–occidente del municipio de Bello, en el resto del valle el área que cubre esta categoría es menor; la importancia baja se encuentra en pequeñas áreas de los municipios de Caldas, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello y Copacabana.

La Tabla 59, muestra las unidades geológicas agrupadas de acuerdo a la zona de recarga a la cual pertenecen y al municipio en el cual se encuentran.

Tabla 59. Categorización de zonas de recarga por unidad litológica.

Zona de recarga	Unidad litológica	Municipio
Directa	Depósitos Aluviales (Qal)	Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, Envigado, La Estrella, Sabaneta, Caldas.
	Depósitos Aluviotorrenciales (Qat)	
	Depósitos de Flujos de Escombros (QFIII, QFIV, NQFII, NFI)	
Importancia alta	Depósitos Aluviales (Qal)	Bello, Caldas.
	Depósitos Aluviotorrenciales (Qat)	
	Depósitos de Flujos de Escombros (QFIII, QFIV, NQFII, NFI)	
	Llenos Antrópicos (QII)	
	Stock de Amagá (TRgA)	Caldas
Importancia media	Batolito Antioqueño (KcdA)	Barbosa, Girardota, Copacabana, Medellín
	Esquistos de Cajamarca (TReC)	Barbosa, Copacabana, Medellín, Envigado, Sabaneta, La Estrella, Caldas
	Anfibolitas de Medellín (TRaM)	Girardota, Copacabana, Medellín
	Gneis de La Ceja (TRgLC)	Copacabana, Medellín
	Dunitas de Medellín (JKuM)	Bello, Medellín, Envigado
	Metabasitas del Picacho (JKmbP)	Bello, Medellín
	Migmatitas de Puente Peláez (TRmPP)	Medellín, Envigado, Itagüí
	Esquistos de Caldas (PZeC)	La Estrella, Caldas
	Stock de Las Estancias (KcdE)	Medellín
	Anfibolita granatífera de Caldas (PZagC)	Caldas
	Anfibolitas del Alto de Minas (PZaAM)	Caldas
	Miembro Volcanosedimentario (KvsQG)	Medellín, La Estrella, Caldas
	Miembro volcánico (KvQG)	Medellín, La Estrella
	Stock de Altavista (KdA)	Medellín
	Peridotita de Romeral (JuR)	Medellín
	Gabros de Romeral (JgR)	Medellín
	Gneis de Palmitas (TRgP)	Medellín
	Milonita de La Iguaná (Jml)	Medellín
	Esquistos anfibólicos de Baldías (TReaB)	Bello
	Tonalita de Ovejas (KtO)	Bello
Importancia baja	Miembro volcánico (KvQG)	Medellín, Caldas
	Gabro de San Diego (KgSD)	Medellín
	Stock de Media Luna (KcdML)	Medellín
	Gneis Milonítico de Sajonia (JKgMS)	Copacabana, Bello, Medellín, Envigado.
	Anfibolitas de Medellín (TRaM)	Girardota, Copacabana, Bello, Medellín
	Gabros de Copacabana (KgC)	Copacabana

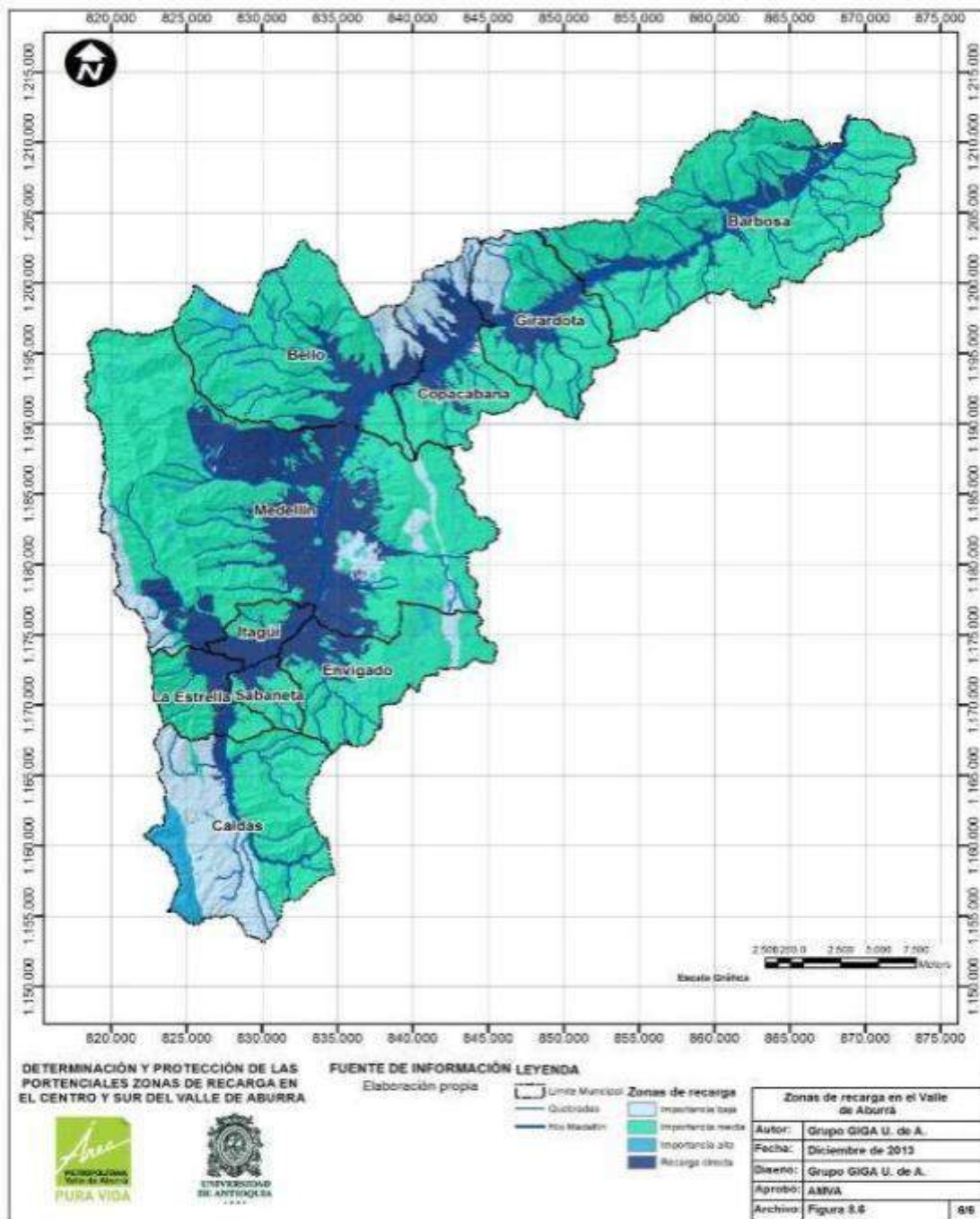


Figura 59. Zonas de recarga del valle de Aburrá



Con respecto a la zona de descarga, se consideraron los manantiales como zonas en donde aflora el agua subterránea de manera natural por lo cual su información es vital para conocer cuáles son los flujos de tránsito y descarga del agua que fluye por el subsuelo.

En la Figura 60, se observa los manantiales identificados en el centro y Sur del valle de Aburrá mediante el estudio “Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá” AMVA, 2013).

6.20 ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA Y DEMANDA TOTAL.

El área de estudio, comprende la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín, que tiene su nacimiento en el alto de San Miguel y termina antes de la descarga del río Grande, donde cambia su nombre a Río Porce. Hasta este punto la cuenca tiene un área aproximada de 1220 km² y corresponde al límite de este estudio.

En el marco del desarrollo del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH, se hace necesaria la estimación de diversos elementos como la oferta, demanda, índice de uso e índice de aridez en varios puntos a lo largo del eje principal de la cuenca de estudio (informe Hidráulica e hidrología Fase V). Aquellos puntos de importancia para la definición de elementos para el PORH, coinciden con estaciones de monitoreo continuo de la cantidad y calidad del agua en el río Aburrá – Medellín, estas se presentan en la Tabla 60 junto con su ubicación.

Tabla 60. Estaciones de interés para el PORH

ESTACIÓN	ESTE	NORTE
San Miguel	829715.02	1159338.98
Primavera	827665.20	1162866.07
Ancón Sur	827320.22	1171958.91
Aula Ambiental	834160.21	1184920.971
Ancón Norte	843497.07	1196642.66
Papelsa	861081.07	1204915.81
Gabino	874316.11	1216895.05

En la Figura 61 se muestra la localización de las estaciones de monitoreo continuo de la cantidad y calidad del agua en el río Aburrá – Medellín en la zona de estudio.

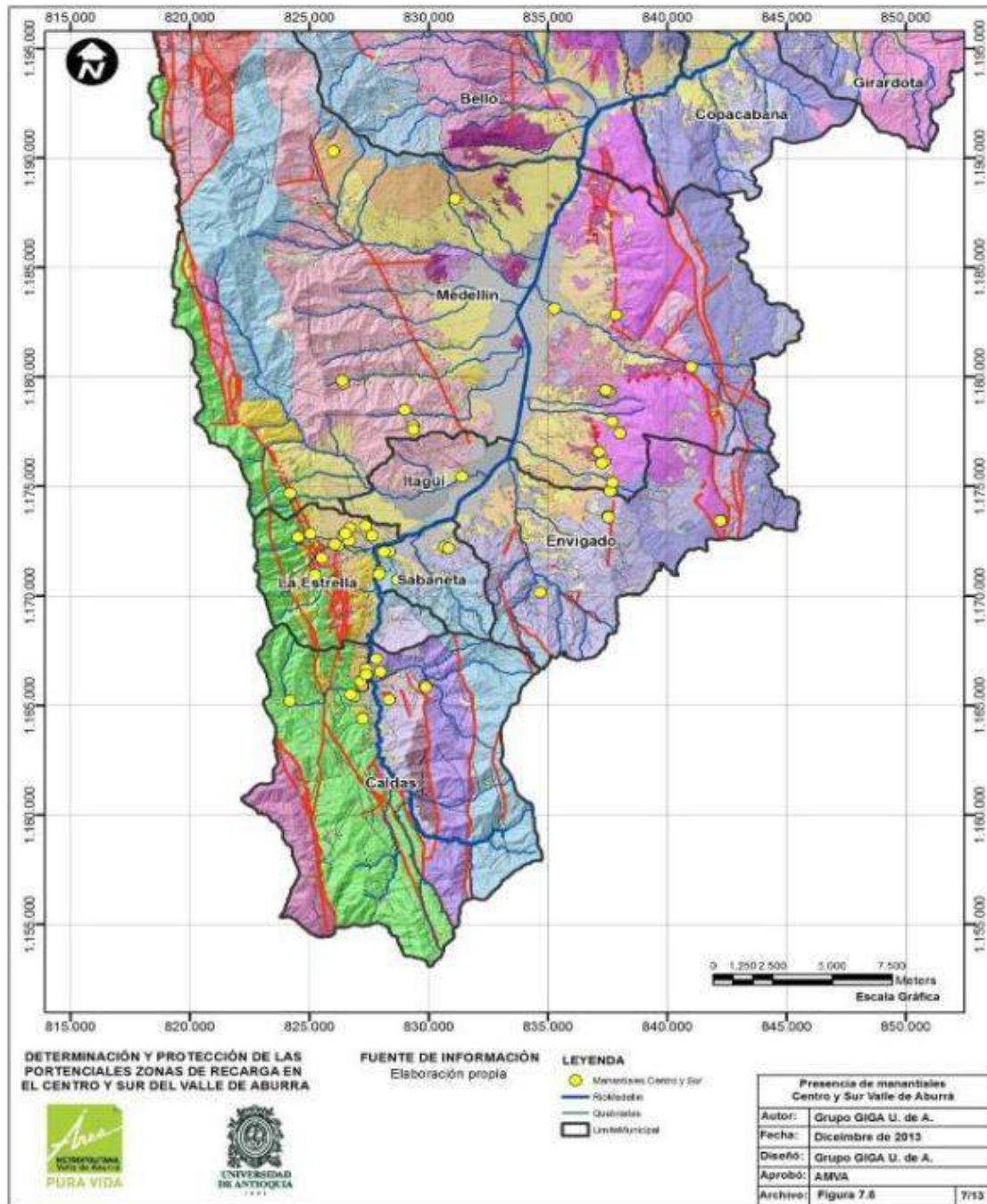


Figura 60. Manantiales en el Centro y Sur del valle de Aburrá.

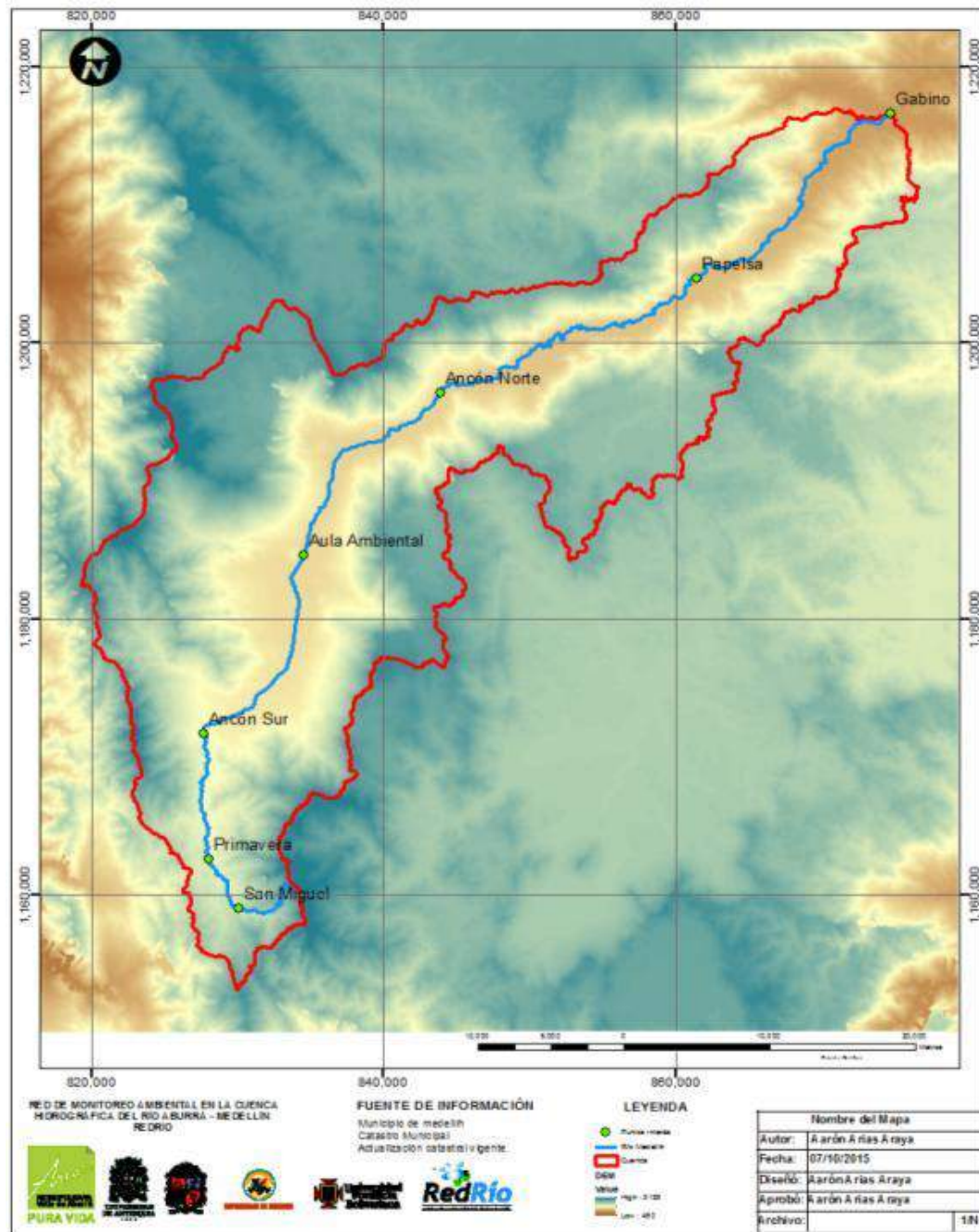


Figura 61. Puntos de interés en el área de estudio



6.21 ESTIMACIÓN DE LA OFERTA

Para la estimación de la oferta se emplearon los resultados de la calibración de un modelo lluvia escorrentía en distintas estaciones de medición de caudal (propiedad de EPM) sobre el río Aburrá – Medellín, estos fueron extraídos del informe final del proyecto Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá – Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana – Red Río Fase IV. Las estaciones de medición y calibración del modelo lluvia escorrentía se presentan en la Tabla 61.

Tabla 61. Estaciones de caudal a lo largo del río Medellín – Aburrá (Componente Hidrológica e Hidráulica Red Río Fase IV)

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE LA CUENCA (KM ²)	PRECIPITACIÓN MEDIA (MM/AÑO)	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (MM/AÑO)
2701733	SALADA_LA_RMS_11	42.50	2304.49	1101.07
2701716	CALDAS_RM_16	98.59	2295.38	1113.91
2701727	ANCON_SUR_RMS_17	119.36	2282.98	1117.15
2701734	MACHADO_RMS.12	634.41	1944.60	1128.73
2701781	ANCON_NORTE_RMS_20	731.48	1917.39	1129.02
2701803	GIRARDOTA	775.74	1906.92	1130.80
2701738	HATILLO_EL_RMS.13	855.70	1900.74	1134.81
2701735	YARUMITO_RMS_14	1087.34	1983.45	1136.31

Debido a que no se tienen estaciones de caudal ubicadas en cada una de los puntos de interés de la oferta y demanda, por lo tanto se planteó una forma alterna para poder estimar los caudales en estas. La utilización de modelos lluvia – escorrentía es una clara opción para esto, estos modelos permiten representar de manera simplificada los procesos que ocurren dentro de una cuenca y como son determinados por el clima y la geomorfología; partiendo del principio de continuidad permiten determinar en el largo plazo el caudal en un punto dado.

El modelo empleado fue el GR4J debido a la sencillez en el proceso de calibración de sus principales parámetros. Este requiere de datos de caudal y precipitación a nivel diario, teniendo esto en cuenta, para cada estación de caudal se definen unas estaciones de precipitación asociadas con registro diario, y tomando los períodos de registro común se realiza la calibración de cada uno de los modelos. Una vez se realizó este proceso de calibración, el proceso de generación de series sintéticas de caudal se realiza teniendo en cuenta todo el registro de lluvias a nivel diario disponible.

Con el fin de realizar la estimación de la oferta total en los 7 puntos de interés sobre el río Medellín, se determinó cuáles de las cuencas definidas por las estaciones de medición de caudal y modelos lluvia – escorrentía se emplearán.

Teniendo en cuenta la ubicación de las estaciones de medición de caudal y de interés, se definió para cada punto, cual modelo lluvia – escorrentía será aplicado. En la Tabla 62 se presentan los puntos de interés con su respectiva estación a utilizar, y en la Figura 62 se

presenta la ubicación de los puntos de interés junto con la de las estaciones de medición de caudal.

Tabla 62. Modelo lluvia escorrentía a utilizar en cada estación de interés

ESTACIÓN DE INTERÉS	ÁREA DE LA CUENCA (KM ²)	MODELO LLUVIA ESCORRENTIA A UTILIZAR
San Miguel	14.76	La Salada
Primavera	51.63	Ancón Sur
Ancón Sur	121.42	Ancón Sur
Aula Ambiental	340.53	Machado
Ancón Norte	739.69	Ancón Norte
Papelsa	1014.53	Yarumito
Puente Gabino	1195.17	Yarumito

Una vez se definió el modelo lluvia – escorrentía a utilizar en cada uno de los puntos de interés, se empleó la metodología propuesta en la “Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso Hídrico”, en esta se definen 3 tipos de años donde para cada uno se debe de estimar la oferta total.

- Año hidrológico medio: Definido como el promedio de los caudales medios mensuales multianuales.
- Año hidrológico seco: Definido como el promedio de los caudales medios mensuales mínimos (incluye años niño y niña). Se consideran como mínimos los caudales inferiores al año hidrológico medio.
- Año hidrológico húmedo: Definido como el promedio de los caudales medios mensuales máximos (incluye años niño y niña). Se consideran como máximos los caudales superiores al año hidrológico medio.

Teniendo en cuenta cada uno de estos años hidrológicos, la oferta total en cada punto de interés se presenta en la Tabla 63.

Tabla 63. Oferta total en cada punto de interés y condición hidrológica

ESTACIÓN DE INTERÉS	ÁREA CUENCA (KM ²)	OFERTA TOTAL AÑO SECO (M ³ /S)	OFERTA TOTAL AÑO PROMEDIO (M ³ /S)	OFERTA TOTAL AÑO HÚMEDO (M ³ /S)
San Miguel	14.76	0.330	0.520	0.761
Primavera	51.63	0.724	1.041	1.436
Ancón Sur	121.42	1.703	2.448	3.377
Aula Ambiental	340.53	7.740	10.634	14.202
Ancón Norte	739.69	20.614	28.194	38.068
Papelsa	1014.53	24.492	35.886	48.693
Puente Gabino	1195.17	28.853	42.275	57.363

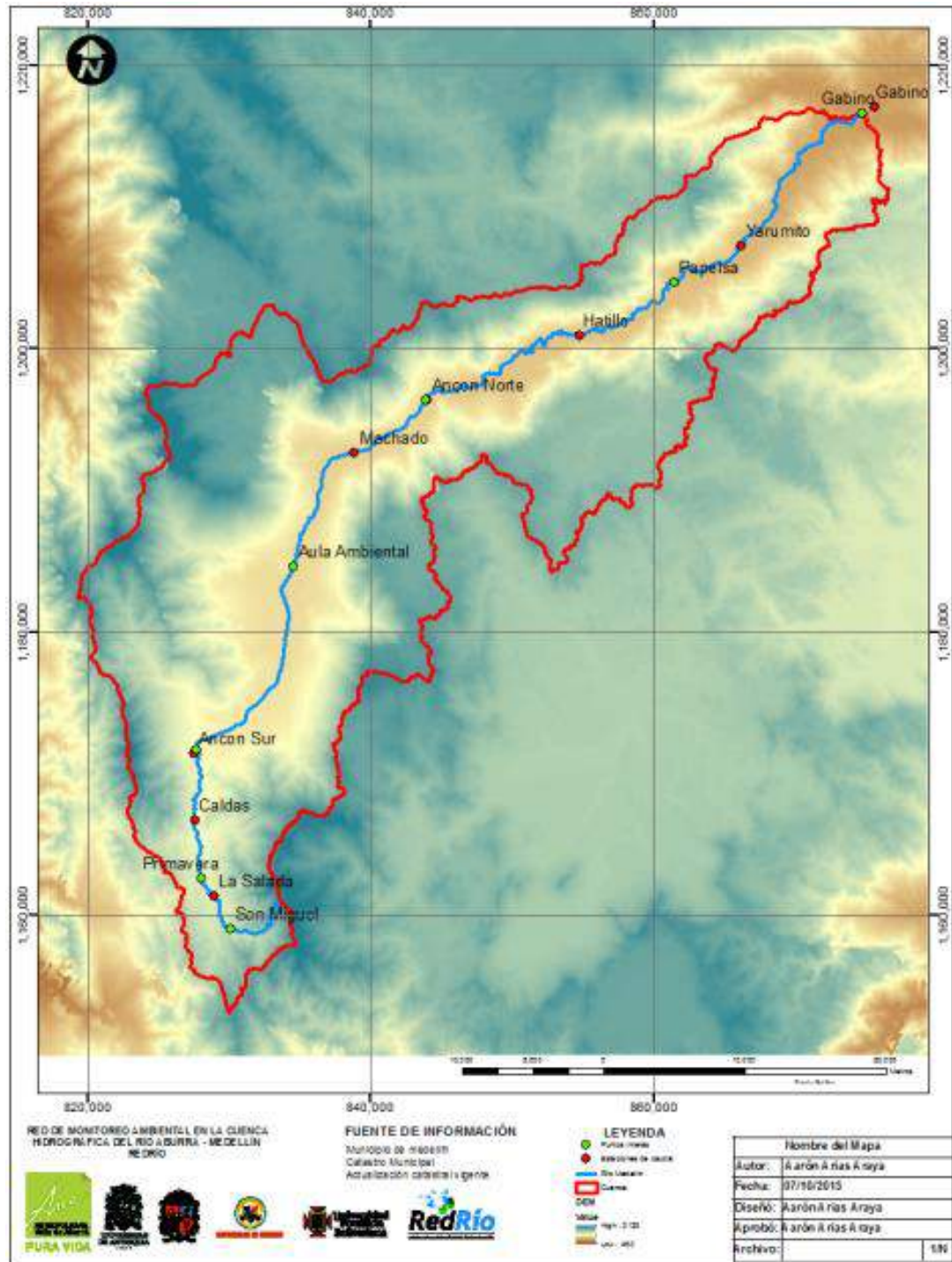


Figura 62. Ubicación de los puntos de interés y estaciones de medición de caudal

Caudal Ambiental

- **Metodología 1**

Siguiendo la resolución 865 del año 2004, como primera aproximación al caudal ambiental puede adoptarse el valor máximo de caudal ecológico obtenido mediante la aplicación de las siguientes metodologías: Mínimo histórico, porcentaje de descuento del IDEAM y reducción por caudal ambiental.

- **Metodología 2**

Basándose en el ENA 2010 (Estudio nacional del agua) el criterio de estimación del caudal ambiental es hidrológico, y tiene en cuenta la capacidad de la cuenca de retener y regular el agua existente en ella; para esto se define un factor conocido como el índice de regulación hídrico (IRH).

- **Metodología 3**

Se deben estimar los índices 7Q10 (caudal promedio mínimo semanal con período de retorno 10 años) y Q95 discriminados por mes y para cada una de las tres condiciones hidrológicas (húmeda, promedio y seca).

De la Tabla 64 a la Tabla 68 se presentan los resultados de la estimación de caudal ambiental por cada una de las metodologías consideradas.

Tabla 64. Caudal ambiental – metodología 1

ESTACIÓN DE INTERÉS	ÁREA CUENCA (KM ²)	CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S)
San Miguel	14.76	0.133
Primavera	51.63	0.295
Ancón Sur	121.42	0.694
Aula Ambiental	340.53	5.700
Ancón Norte	739.69	10.662
Papelsa	1014.53	11.613
Puente Gabino	1195.17	13.680

Tabla 65. Caudal ambiental – metodología 2

ESTACIÓN DE INTERÉS	ÁREA CUENCA (KM ²)	IRH	CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S)
San Miguel	14.76	0.78	0.239
Primavera	51.63	0.87	0.453
Ancón Sur	121.42	0.87	1.064
Aula Ambiental	340.53	0.77	7.247
Ancón Norte	739.69	0.82	15.815
Papelsa	1014.53	0.82	19.644
Puente Gabino	1195.17	0.82	23.142

Tabla 66. Caudal ambiental años seco – metodología 3

PUNTO INTERÉS	ÁREA (KM ²)	CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	14.76	0.114	0.086	0.072	0.111	0.110	0.138	0.115	0.120	0.140	0.233	0.256	0.180
Primavera	51.63	0.218	0.205	0.197	0.222	0.209	0.219	0.201	0.221	0.320	0.320	0.282	0.283
Ancón Sur	121.42	0.512	0.481	0.464	0.521	0.492	0.514	0.473	0.519	0.752	0.753	0.663	0.666
Aula Ambiental	340.53	3.848	3.452	2.992	3.835	4.807	4.516	3.795	4.117	4.573	5.461	5.280	4.695
Ancón Norte	739.69	9.528	8.647	7.929	10.056	11.952	9.412	8.630	9.611	11.998	13.121	12.422	11.511
Papelsa	1014.53	6.869	6.818	6.129	9.576	9.381	12.575	10.572	11.521	13.201	12.812	9.143	6.969
Puente Gabino	1195.17	8.092	8.031	7.220	11.282	11.051	14.814	12.454	13.572	15.552	15.093	10.771	8.210

Tabla 67. Caudal ambiental años normal – metodología 3

PUNTO INTERÉS	ÁREA (KM ²)	CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	14.76	0.116	0.086	0.072	0.113	0.165	0.152	0.118	0.124	0.149	0.246	0.265	0.188
Primavera	51.63	0.221	0.205	0.199	0.223	0.301	0.232	0.202	0.231	0.328	0.347	0.303	0.296
Ancón Sur	121.42	0.520	0.482	0.468	0.524	0.708	0.546	0.474	0.543	0.773	0.816	0.713	0.697
Aula Ambiental	340.53	3.894	3.457	3.022	3.981	5.660	4.636	3.885	4.379	4.722	5.848	5.698	4.847
Ancón Norte	739.69	9.623	8.690	8.009	10.394	13.058	10.853	8.841	10.289	12.446	15.221	13.252	11.851
Papelsa	1014.53	7.078	7.012	6.253	9.906	15.415	13.370	10.938	12.026	13.541	13.933	9.977	7.411
Puente Gabino	1195.17	8.338	8.260	7.366	11.670	18.159	15.750	12.885	14.167	15.953	16.414	11.753	8.731

Tabla 68. Caudal ambiental años húmedo – metodología 3

PUNTO INTERÉS	ÁREA (KM ²)	CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	14.76	0.378	0.432	0.353	0.291	0.375	0.382	0.356	0.382	0.297	0.422	0.464	0.332
Primavera	51.63	0.531	0.487	0.608	0.544	0.460	0.515	0.484	0.503	0.515	0.576	0.543	0.508
Ancón Sur	121.42	1.249	1.145	1.431	1.278	1.081	1.210	1.138	1.182	1.212	1.355	1.277	1.196
Aula Ambiental	340.53	8.496	8.330	8.375	6.848	7.847	6.848	7.580	7.641	5.871	6.733	8.170	7.774
Ancón Norte	739.69	21.066	23.651	20.783	18.368	18.044	19.449	18.541	18.379	14.816	20.683	21.850	19.403
Papelsa	1014.53	23.653	24.610	26.606	21.147	27.258	25.492	28.871	28.560	26.263	25.249	27.729	25.149
Puente Gabino	1195.17	27.864	28.991	31.343	24.912	32.112	30.031	34.011	33.645	30.939	29.745	32.666	29.627

6.22 OFERTA NETA

La oferta total es una medida de la cantidad de agua disponible en una cuenca, sin embargo esta cantidad de agua no es la misma que la cantidad de agua utilizable. La cantidad de agua disponible en una cuenca debe de ser castigada por algún factor, con el fin de no secar la corriente de agua y permitir siempre la existencia de posibles ecosistemas. Este factor de castigo es el caudal ambiental, por lo tanto la oferta neta, la cual sería la cantidad de agua disponible para uso se obtiene como la resta entre la oferta total y el caudal ambiental.

De la Tabla 69 a la Tabla 73 se presenta la oferta neta considerando cada una de las metodologías de estimación del caudal ambiental. En general se observa que la metodologías 2 y 3 de estimación del caudal ambiental, son las que generan los mayores caudales, y por lo tanto la menor oferta neta, mientras que la metodología 1 es aquella que castiga menos la oferta neta ya que estima los menores caudales.

Tabla 69. Oferta neta– metodología 1 caudal ambiental

ESTACIÓN DE INTERÉS	ÁREA CUENCA (KM ²)	OFERTA NETA AÑO SECO (M ³ /S)	OFERTA NETA AÑO PROMEDIO (M ³ /S)	OFERTA NETA AÑO HÚMEDO (M ³ /S)
San Miguel	14.76	0.198	0.388	0.628
Primavera	51.63	0.429	0.746	1.141
Ancón Sur	121.42	1.009	1.754	2.683
Aula Ambiental	340.53	2.040	4.934	8.502
Ancón Norte	739.69	9.952	17.532	27.406
Papelsa	1014.53	12.880	24.273	37.080
Puente Gabino	1195.17	15.173	28.595	43.683

Tabla 70. Oferta neta– metodología 2 caudal ambiental

ESTACIÓN DE INTERÉS	ÁREA CUENCA (KM ²)	OFERTA NETA AÑO SECO (M ³ /S)	OFERTA NETA AÑO PROMEDIO (M ³ /S)	OFERTA NETA AÑO HÚMEDO (M ³ /S)
San Miguel	14.76	0.092	0.282	0.522
Primavera	51.63	0.271	0.588	0.983
Ancón Sur	121.42	0.638	1.383	2.312
Aula Ambiental	340.53	0.493	3.387	6.956
Ancón Norte	739.69	4.799	12.379	22.253
Papelsa	1014.53	4.848	16.242	29.049
Puente Gabino	1195.17	5.711	19.133	34.221

Tabla 71. Oferta neta año seco – metodología 3 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ÁREA (KM ²)	OFERTA NETA (M ³ /S)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	14.76	0.216	0.245	0.259	0.219	0.220	0.193	0.215	0.210	0.190	0.097	0.074	0.151
Primavera	51.63	0.506	0.519	0.527	0.502	0.515	0.505	0.523	0.503	0.404	0.404	0.442	0.441
Ancón Sur	121.42	1.191	1.222	1.239	1.181	1.210	1.188	1.230	1.183	0.951	0.950	1.040	1.037
Aula Ambiental	340.53	3.891	4.287	4.748	3.905	2.932	3.224	3.945	3.622	3.167	2.279	2.460	3.044
Ancón Norte	739.69	11.086	11.967	12.685	10.558	8.661	11.202	11.984	11.003	8.616	7.493	8.192	9.102
Papelsa	1014.53	17.623	17.675	18.364	14.916	15.112	11.917	13.921	12.972	11.291	11.681	15.349	17.524
Puente Gabino	1195.17	20.761	20.822	21.633	17.572	17.803	14.039	16.400	15.281	13.302	13.761	18.082	20.644

Tabla 72. Oferta neta año normal – metodología 3 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ÁREA (KM ²)	OFERTA NETA (M ³ /S)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	14.76	0.406	0.435	0.449	0.410	0.410	0.383	0.405	0.400	0.380	0.287	0.264	0.341
Primavera	51.63	0.823	0.836	0.843	0.819	0.831	0.822	0.840	0.820	0.721	0.721	0.759	0.758
Ancón Sur	121.42	1.936	1.967	1.984	1.927	1.955	1.933	1.975	1.929	1.696	1.695	1.785	1.782
Aula Ambiental	340.53	6.786	7.182	7.642	6.799	5.827	6.118	6.839	6.516	6.061	5.173	5.354	5.938
Ancón Norte	739.69	18.666	19.547	20.265	18.138	16.241	18.782	19.564	18.583	16.196	15.073	15.772	16.682
Papelsa	1014.53	29.017	29.068	29.757	26.309	26.505	23.311	25.314	24.365	22.685	23.074	26.743	28.917
Puente Gabino	1195.17	34.183	34.244	35.055	30.994	31.225	27.461	29.822	28.703	26.724	27.183	31.504	34.066

Tabla 73. Oferta neta año húmedo – metodología 3 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ÁREA (KM ²)	OFERTA NETA (M ³ /S)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	14.76	0.383	0.329	0.408	0.469	0.386	0.379	0.405	0.378	0.464	0.339	0.297	0.429
Primavera	51.63	0.905	0.949	0.828	0.892	0.976	0.921	0.952	0.933	0.921	0.859	0.893	0.927
Ancón Sur	121.42	2.128	2.232	1.946	2.098	2.296	2.167	2.239	2.195	2.165	2.021	2.099	2.181
Aula Ambiental	340.53	5.706	5.873	5.827	7.355	6.355	7.354	6.622	6.561	8.331	7.469	6.032	6.428
Ancón Norte	739.69	17.001	14.416	17.285	19.700	20.024	18.619	19.527	19.688	23.251	17.385	16.218	18.665
Papelsa	1014.53	25.040	24.084	22.087	27.546	21.435	23.201	19.822	20.133	22.431	23.444	20.964	23.544
Puente Gabino	1195.17	29.499	28.372	26.020	32.451	25.251	27.333	23.352	23.718	26.424	27.619	24.697	27.736

6.23 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

Con el fin de estimar la demanda de agua sobre el río Aburrá – Medellín, se contó con una base de datos de concesiones, suministrada por las 3 entidades actuantes en la zona de estudio (AMVA, CORNARE y CORANTIOQUIA). De esta base de datos se extraen los permisos de concesión que se encuentran ubicados sobre el cauce del río Aburrá – Medellín. Se obtienen que existen 13 concesiones en total en toda la cuenca, las cuales al ubicar cada una espacialmente, se obtiene el valor de la demanda hídrica en cada una de las subcuencas de interés. En la Tabla 74 se presenta el valor de la demanda para cada una de estas.

Tabla 74. Demanda en cada subcuenca de estudio

PUNTO INTERÉS	CAUDAL (L/S)	CAUDAL (M ³ /S)
San Miguel	0.00	0.000
Primavera	0.00	0.000
Ancón Sur	14.33	0.014
Aula Ambiental	144.18	0.144
Ancón Norte	155.18	0.155
Papelsa	181.02	0.181
Puente Gabino	181.02	0.181

6.24 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE USO

La estimación del índice de uso en una cuenca se hace importante ya que es una medida de la presión a la cual se ve sometida debido a la utilización del recurso hídrico en esta. Teniendo esto en cuenta, el índice de uso se define como la relación entre la demanda total y oferta neta, clasificándose como alto cuando es mayor al 40%, medio entre el 20% y 40%, Moderado entre el 10% y 20% y bajo siendo inferior al 10%. Este índice es estimado cada una de las subcuencas en cada uno de los períodos hidrológicos considerados, y considerando cada una de las metodologías de estimación del caudal ambiental, sus resultados se presentan de la Tabla 75 a la Tabla 79.

Tabla 75. Índice de uso – metodología 1 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ÍNDICE DE USO AÑO SECO (%)	ÍNDICE DE USO AÑO PROMEDIO (%)	ÍNDICE DE USO AÑO HÚMEDO (%)
San Miguel	0.00	0.00	0.00
Primavera	0.00	0.00	0.00
Ancón Sur	1.42	0.82	0.53
Aula Ambiental	7.07	2.92	1.70
Ancón Norte	1.56	0.89	0.57
Papelsa	1.41	0.75	0.49
Puente Gabino	1.19	0.63	0.41

Tabla 76. Índice de uso – metodología 2 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ÍNDICE DE USO AÑO SECO (%)	ÍNDICE DE USO AÑO PROMEDIO (%)	ÍNDICE DE USO AÑO HÚMEDO (%)
San Miguel	0.00	0.00	0.00
Primavera	0.00	0.00	0.00
Ancón Sur	2.25	1.04	0.62
Aula Ambiental	29.25	4.26	2.07
Ancón Norte	3.23	1.25	0.70
Papelsa	3.73	1.11	0.62
Puente Gabino	3.17	0.95	0.53

Tabla 77. Índice de uso año seco – metodología 3 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Primavera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ancón Sur	1.20	1.17	1.16	1.21	1.18	1.21	1.17	1.21	1.51	1.51	1.38	1.38
Aula Ambiental	3.71	3.36	3.04	3.69	4.92	4.47	3.66	3.98	4.55	6.33	5.86	4.74
Ancón Norte	1.40	1.30	1.22	1.47	1.79	1.39	1.29	1.41	1.80	2.07	1.89	1.70
Papelsa	1.03	1.02	0.99	1.21	1.20	1.52	1.30	1.40	1.60	1.55	1.18	1.03
Puente Gabino	0.87	0.87	0.84	1.03	1.02	1.29	1.10	1.18	1.36	1.32	1.00	0.88

Tabla 78. Índice de uso año normal – metodología 3 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Primavera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ancón Sur	0.74	0.73	0.72	0.74	0.73	0.74	0.73	0.74	0.85	0.85	0.80	0.80
Aula Ambiental	2.12	2.01	1.89	2.12	2.47	2.36	2.11	2.21	2.38	2.79	2.69	2.43
Ancón Norte	0.83	0.79	0.77	0.86	0.96	0.83	0.79	0.84	0.96	1.03	0.98	0.93
Papelsa	0.62	0.62	0.61	0.69	0.68	0.78	0.72	0.74	0.80	0.78	0.68	0.63
Puente Gabino	0.53	0.53	0.52	0.58	0.58	0.66	0.61	0.63	0.68	0.67	0.57	0.53

Tabla 79. Índice de uso año húmedo – metodología 3 caudal ambiental

PUNTO INTERÉS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
San Miguel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Primavera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ancón Sur	0.67	0.64	0.74	0.68	0.62	0.66	0.64	0.65	0.66	0.71	0.68	0.66
Aula Ambiental	2.53	2.46	2.47	1.96	2.27	1.96	2.18	2.20	1.73	1.93	2.39	2.24
Ancón Norte	0.91	1.08	0.90	0.79	0.77	0.83	0.79	0.79	0.67	0.89	0.96	0.83
Papelsa	0.72	0.75	0.82	0.66	0.84	0.78	0.91	0.90	0.81	0.77	0.86	0.77
Puente Gabino	0.61	0.64	0.70	0.56	0.72	0.66	0.78	0.76	0.69	0.66	0.73	0.65

6.25 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ

De acuerdo con IDEAM (2010), el índice de aridez es una característica cualitativa del clima que muestra en mayor o menor grado la insuficiencia de los volúmenes precipitados capaces de mantener la vegetación. El índice de aridez (IQ) depende únicamente de la evapotranspiración real (ETR) y potencial (ETP) de una cuenca hidrográfica. Al ser derivado de variables climáticas el índice de aridez tiene un significado importante para la oferta hídrica ya que la energía disponible (expresada en términos de evaporación potencial) y la precipitación influyen significativamente en la evapotranspiración real y en la escorrentía superficial de las cuencas (IDEAM, 2010). Para calcular la evapotranspiración potencial se utilizó la metodología propuesta por Cenicafé la cual permite determinar la evapotranspiración potencial por medio del modelo de elevación digital ya que depende únicamente de la altura sobre el nivel del mar. Para determinar la evapotranspiración real de la zona de estudio se utilizó la expresión de Budiko, la cual relaciona la precipitación y la evapotranspiración potencial para determinar la evapotranspiración. Los mapas de ETP y ETR fueron extraídos en el informe de la componente Hidrológica e Hidráulica Red Río Fase IV. Una vez se estiman tanto la evapotranspiración real y potencial se calcula el índice de aridez (IQ), a partir de la siguiente expresión.

$$I_Q = \frac{ETP - ETR}{ETP} \quad (1)$$

Con el objeto de representar la disponibilidad del recurso hídrico en forma cualitativa, IDEAM (2010) propone la división en categorías del índice de aridez por cuencas resumidos en la Tabla 80.

Tabla 80. Discriminación cualitativa del índice de aridez (Elaboración propia a partir de IDEAM, 2010)

CATEGORÍA	RANGO	COLOR
Altamente deficitarias de agua	Mayor a 0.60	Red
Deficitarias de agua	Entre 0.50 y 0.59	Naranja
Moderado deficitaria de agua	Entre 0.40 y 0.49	Amarillo
Moderado	Entre 0.30 y 0.39	Verde claro
Moderado y excedente de agua	Entre 0.20 y 0.29	Verde
Excedentes de agua	Entre 0.15 y 0.19	Cian
Altos excedentes de agua	Menor a 0.15	Azul oscuro

En la Figura 63 se presentan los resultados de la estimación del mapa del índice de aridez. Se puede observar que en la zona de estudio se presentan índices de aridez en las categorías cualitativas del IDEAM, entre moderado y altos excedentes de agua.

Las cuencas de San Miguel, Primavera y Ancón Sur tienen altos excesos de agua, por otra parte en la cuenca de Aula Ambiental se presenta en promedio un índice de aridez de altos excesos de agua pero se presentan en algunas zonas en la categoría de excedentes de agua y moderados excedentes de agua, finalmente en las cuencas Ancón Norte, Papaelsa y Gabino se presentan índices de aridez promedio en la categoría de excedentes de agua.

En la Tabla 81 se presenta el IQ medio para cada una de las subcuencas definida por cada uno de los puntos de interés.

Tabla 81. Índice de aridez medio para las 7 subcuencas del río Aburra-Medellín

CUENCA HIDROGRÁFICA	IQ	CLASIFICACIÓN	COLOR
San Miguel	0.11	Altos excedentes de agua	
Primavera	0.12	Altos excedentes de agua	
Anón Sur	0.12	Altos excedentes de agua	
Aula Ambiental	0.14	Altos excedentes de agua	
Ancón Norte	0.16	Excedentes de agua	
Papaelsa	0.16	Excedentes de agua	
Gabino	0.16	Excedentes de agua	

Los resultados indican que cuatro de las siete subcuencas analizadas a lo largo del río Aburrá - Medellín tienen en promedio altos excedentes de agua, las tres cuencas restantes tienen excedentes de agua, es decir que en las siete cuencas analizadas los volúmenes de agua precipitados son capaces de mantener en buen estado la vegetación, también se puede inferir a partir de los resultados obtenidos que la precipitación de la zona es suficiente para el sostenimiento de los ecosistemas de la región.

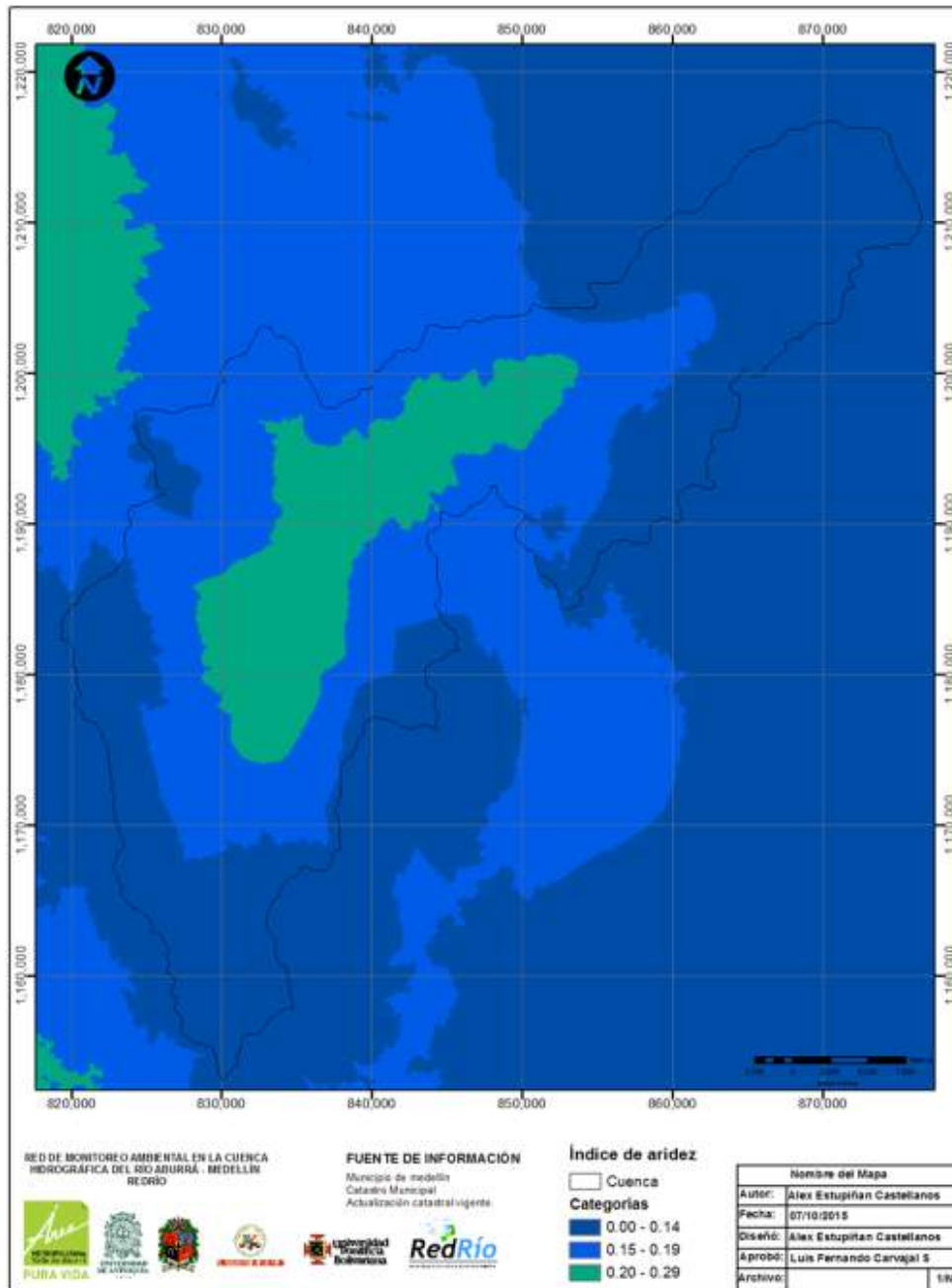


Figura 63. Mapa del índice de aridez

En la determinación del PORH de la cuenca del río Aburrá – Medellín, es necesaria la estimación de elementos como oferta, demanda, caudal ambiental, índice de uso e índice de aridez en varios puntos de interés a lo largo del cauce principal de la cuenca de estudio.

Mediante la estimación de índices como el de uso y aridez, se obtiene una medida del estado de la cuenca en relación a la cantidad de agua. El índice de uso nos da una idea de la presión hídrica del cuerpo de agua, relacionando la cantidad de agua utilizada contra la disponible. El índice de aridez nos da una idea de la cantidad de agua disponible para la conservación ecológica de la vegetación en la cuenca. De los resultados obtenidos se observa en relación al índice de uso, que únicamente para la cuenca definida hasta Aula Ambiental para el caso de año seco, utilizando el caudal ambiental correspondiente a la metodología 2 se obtiene un valor correspondiente a la categoría media, para el resto de puntos, año hidrológico y caudal ambiental estimados, se obtiene que cada subcuenca presenta un valor correspondiente a la categoría baja, obteniéndose de esta manera, que la cuenca no presenta presión hídrica sobre el recurso en cuanto a cantidad. De los resultados obtenidos de la estimación del índice de aridez, se obtiene que en promedio, para toda la cuenca de interés se cuenta con agua suficiente para la conservación ecológica de la vegetación.

6.26 ESTIMACIÓN ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA

El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), mide la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas (IRH).

$$IRH = V_p/V_t \quad (10)$$

Donde:

- IHR: Índice de retención y regulación hídrica
- V_p : Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales diarios.
- V_t : Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

El valor del índice obtenido permite hacer una estimación del caudal ambiental, es decir, el caudal ambiental se estima como el Q85 de la curva de duración de caudales diarios en el caso que $IRH \geq 0.7$, y como Q75 en el caso que $IRH < 0.7$.

Tabla 82. Estimación de IRH y Caudal ambiental

ESTACIÓN DE INTERÉS	ÁREA CUENCA (KM ²)	IRH	CAUDAL AMBIENTAL (M ³ /S)
San Miguel	14.76	0.78	0.239
Primavera	51.63	0.87	0.453
Ancón Sur	121.42	0.87	1.064
Aula Ambiental	340.53	0.77	7.247
Ancón Norte	739.69	0.82	15.815
Papelsa	1014.53	0.82	19.644
Puente Gabino	1195.17	0.82	23.142



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



7 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Medellín y Área Metropolitana del Valle de Aburrá – AMVA. (2011). BIO 2030 PLAN DIRECTOR MEDELLÍN, VALLE DE ABURRÁ.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA. (2015). Investigación Básica y Aplicada sobre el Parámetro Color en los Vertimientos de Aguas Residuales Generados en el Sector Industrial y de Servicios ubicada en la Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Capítulo I, pág 22.

Área Metropolitana del Valle Aburrá - AMVA. (2012). Resolución Metropolitana N° 002016 de 2012. Por medio de cual se adoptan nuevos objetivos de calidad del río Aburrá - Medellín para el periodo 2012 - 2022.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM. (2007). Determinación de Coliformes totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por el método de Número Más Probable.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM. (2007). Determinación de Escherichia Coli y Coliformes Totales en agua por el método de filtración por membrana en Agar Chromocult.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible. (2010). Decreto 3930 de 2010.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Guía metodológica para el establecimiento de objetivos de calidad de los cuerpos de agua en ausencia de los planes de ordenamiento del recurso hídrico - PORH.

Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana - RedRío. (2011). Documento de referencia para la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico y Objetivos de Calidad para el río Aburrá - Medellín y Acuíferos. Convenio 397 de 2009.

Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana - RedRío. (2011). Informe de Modelación Fase III.

Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana - RedRío. (2016). Informe Hidráulico río Aburrá - Medellín. Fase V - Adición I.

United States Environmental Protection Agency - EPA. (1986). Quality Criteria for Water.