

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

## RESUMEN EJECUTIVO PROYECTO REDRÍO

Ejecuta:



Medellín, diciembre de 2011

## CONTENIDO

GLOSARIO.....	11
1 ASPECTOS GENERALES .....	13
1.1 MARCO NORMATIVO ORDENACIÓN DE MICROCUENCAS Y MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL .....	13
1.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	14
2 DIAGNÓSTICO.....	18
2.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	18
2.1.1 Componente de calidad.....	18
2.1.2 Componente de hidráulica e hidrología.....	21
2.2 HIDROLOGÍA.....	24
2.3 HIDRÁULICA.....	27
2.3.1 Simulación hidráulica.....	27
2.3.2 Resultados de la modelación.....	28
2.3.3 Relaciones nivel caudal .....	30
2.3.4 Curva de duración del caudal .....	31
2.3.5 Curvas de descarga de sedimentos en suspensión.....	33
2.4 RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE AFORO.....	34
2.5 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN LA ZONAS RURALES – VALLE DE ABURRÁ 38	
2.6 CALIDAD.....	43
2.6.1 Físicoquímica.....	43
2.6.2 Biología .....	49
2.6.3 Cargas Contaminantes encontradas en el río durante el período 2010 -2011....	52
2.6.4 Indicadores.....	55

3	MODELACIÓN.....	66
3.1	ESCENARIOS DE SIMULACIÓN .....	66
3.2	RESULTADOS MÁS RELEVANTES DE LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS .....	68
3.3	CONCLUSIONES ACERCA DE LOS ESCENARIOS DE CALIDAD SIMULADOS PARA EL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN .....	73
4	PROBLEMÁTICAS IDENTIFICADAS EN EL RÍO Y SUS PRINCIPALES QUEBRADAS AFLUENTES .....	73
4.1	CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR VERTIMIENTOS DIRECTOS .....	74
4.2	INADECUADA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS .....	75
4.3	INADECUADA EXPLOTACIÓN DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	76
4.4	OCUPACIÓN NO PLANIFICADA DEL CAUCE .....	77
4.5	BAJA ARTICULACIÓN ENTRE ENTES TERRITORIALES Y AUTORIDADES AMBIENTALES .....	77
4.6	CALIDAD DE AGUA .....	77
4.7	NECESIDAD DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO PERMANENTE A LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO .....	78
4.8	DEPENDENCIA HÍDRICA DE OTRAS CUENCAS .....	80
5	USOS DEL AGUA .....	85
5.1	USOS ACTUALES.....	85
5.2	DEFINICIÓN DE TRAMOS PARA EL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN .....	87
5.3	USOS POTENCIALES .....	91
6	DEFINICIÓN OBJETIVOS DE CALIDAD .....	91
6.1	CRITERIOS DE CALIDAD.....	91
6.1.1	Criterios de calidad según el marco legal .....	91
6.1.2	Definición criterios de calidad para el río Aburrá – Medellín.....	92
6.2	OBJETIVOS DE CALIDAD .....	94
6.2.1	Tramos, usos actuales y potenciales para el río Aburrá – Medellín .....	94

6.2.2	Objetivos de calidad propuestos para el río Aburrá – Medellín .....	98
7	IDEAS DE PROYECTOS.....	105
8	PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN ADELANTADOS EN EL PROYECTO REDRÍO....	108
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de monitoreo sobre el río Aburrá - Medellín .....	17
Tabla 2. Estaciones de monitoreo sobre las principales quebradas afluentes al río .....	18
Tabla 3. Resumen del trabajo de campo.....	21
Tabla 4. Ecuaciones de la curvas de calibración en cada estación .....	31
Tabla 5. Clasificación de los caudales de acuerdo a la curva de duración, Ancón Sur.....	32
Tabla 6. Clasificación de los caudales de acuerdo a la curva de duración, Machado.....	32
Tabla 7. Clasificación de los caudales de acuerdo a la curva de duración. Ancón Norte .....	33
Tabla 8. Ecuaciones obtenidas de la curvas de calibración del sedimento en suspensión.....	34
Tabla 9. Caudales aforados durante las campañas del año 2010 .....	34
Tabla 10. Caudales aforados durante las campañas del año 2011 .....	36
Tabla 11. Caudal diarios sobre el río Aburrá estación Puente Gabino .....	38
Tabla 12. Categorización índice de escasez.....	43
Tabla 13. Resultados Índice de Escasez .....	43
Tabla 14. Estimadores de las estaciones sobre el río para el año 2010.....	44
Tabla 15. Estimadores de las estaciones sobre el río para el año 2011.....	44
Tabla 16. Estimadores de las quebradas durante el proyecto.....	45
Tabla 17. Listado de estaciones sobre el río con su respectivo código de identificación.....	53
Tabla 18. 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 .....	56
Tabla 19. Resumen promedio indicador global para diferentes niveles de caudal .....	58
Tabla 20. Comparación de los resultados de SST promedio de los muestreos realizados en las tres fases del proyecto.....	58
Tabla 21. Comparación de los resultados promedio de los indicadores ICA global e ICACOSU para el río durante la fase III .....	59

Tabla 22. Resumen promedio indicador global para quebradas durante la fase III .....	63
Tabla 23. Comparación de resultados promedio del ICACOSU en quebradas durante la fase III .....	65
Tabla 24. Escenarios simulados para el río Aburra - Medellín, 2010.....	67
Tabla 25. Resumen problemáticas de las quebradas que tienen plan de ordenamiento y manejo de microcuencas .....	81
Tabla 26. Síntesis usos actuales del agua en el río Aburrá – Medellín .....	86
Tabla 27. Descripción y justificación tramos para el Río Aburrá – Medellín (Objetivos de Calidad) .....	87
Tabla 28. Usos potenciales propuestos a 2, 5 y 10 años .....	91
Tabla 29. Criterios de calidad generales para el río Aburrá – Medellín .....	93
Tabla 30. Resumen tramos, usos actuales y potenciales del recurso hídrico (río Aburrá – Medellín).....	95
Tabla 31. Definición usos del agua para el río Aburrá – Medellín .....	96
Tabla 32. Objetivos de calidad propuestos en el proyecto RedRío, para la cuenca del río Aburrá – Medellín en la jurisdicción metropolitana a 2 años.....	98
Tabla 33. Objetivos de calidad para el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín en la jurisdicción metropolitana (período 2 - 5 años y 5 - 10 años) .....	101
Tabla 35. Programas y proyectos propuestos para desarrollarse en el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín .....	106

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio .....	15
Figura 2. Localización de estaciones de aforo Zona Sur .....	23
Figura 3. Localización de las estaciones de aforo Zona Norte .....	23
Figura 4. Ciclo anual de precipitación. ....	24
Figura 5. Precipitación media multianual en la cuenca del río Aburrá. ....	25
Figura 6. Ciclo anual durante las fases El Niño, La Niña y Normales. Estación Alto San Andrés (Arriba – Izquierda), Alto de la Sierra (Arriba – Derecha), Astillero (Abajo – Izquierda) y El Peñol (Abajo – Derecha).....	26
Figura 7. Perfil Longitudinal del canal. ....	28
Figura 8. Fluctuación de la velocidad en el tramo de estudio. ....	29
Figura 9. Perfil longitudinal del lecho tramo Ancón Norte - Papelsa.....	29
Figura 10. Variación del número de Froude a lo largo del canal. ....	30
Figura 11. Comparación de la metodología de Dinámica Poblacional con otros métodos para las proyecciones en la cuenca del río Aburrá.....	39
Figura 12. Proyección de la demanda de agua para habitantes de la Cuenca del río Aburrá..	40
Figura 13. Variación de parámetros en el perfil del río durante los dos años de ejecución de la fase III.....	47
Figura 14. Algunos de los macroinvertebrados acuáticos más representativos determinados en el río Aburrá-Medellín en los muestreos realizados en el año 2010 y 2011.....	51
Figura 15. Perfil de carga de DBO en estaciones sobre el río, medidas durante caudales altos, medio y bajo, en el desarrollo de la fase III .....	53
Figura 16. Perfil de carga de DQO en estaciones sobre el río, medidas durante caudales altos, medio y bajo, en el desarrollo de la fase III. ....	54
Figura 17. Perfil de carga de SST en estaciones sobre el río, medidas durante caudales altos, medio y bajo, en el desarrollo de la fase III. ....	54
Figura 18. Variación anual de los SST en las tres fases del proyecto .....	59
Figura 19. Resultados indicador de calidad de agua ICACOSU para 2010.....	61
Figura 20. Resultados indicador de calidad de agua ICACOSU para 2011.....	62
Figura 21. Variación de los intervalos para las medias del ICA global en quebradas durante la fase III.....	64

Figura 22. Comportamiento de la DBO5 para escenarios futuros e1, e7 y e12, operando la PTAR Bello .....	68
Figura 23. Comportamiento de los SST para escenarios futuros e1, e7 y e12, operando la PTAR Bello y escenario actual (e0) .....	70
Figura 24. Perfil de oxígeno disuelto en el río para cada uno de los escenarios propuestos por los objetivos de calidad .....	71
Figura 25. Perfil de conductividad en el río para cada uno de los escenarios propuestos por los objetivos de calidad .....	72
Figura 26. Síntesis usos actuales del agua en el río Aburrá – Medellín .....	90



## LISTA DE FOTOS

Foto 1. Vertimientos directos sobre el río Aburrá - Medellín.....	74
Foto 2. Inadecuada disposición de residuos sólidos y especiales sobre el río Aburrá- Medellín .....	76
Foto 3. Extracción material de construcción sobre el río Aburrá - Medellín .....	77
Foto 4. Registros fotográficos problemáticas identificadas sobre las principales quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín .....	80

## INTRODUCCIÓN

En consonancia con las directrices de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico y las líneas estratégicas para la administración del recurso definidas por el Área Metropolitana como autoridad ambiental, entre las cuales se incorpora la gestión para el seguimiento y el control de la cantidad y la calidad ambiental del recurso hídrico superficial; se 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”.

El proyecto RedRío en su componente superficial, se concibió inicialmente en tres (3) fases generales, dependientes una de la otra, que se integran al final para proporcionar una herramienta que le permite a la Autoridad Ambiental primero, conocer el estado del recurso y segundo, planear su gestión disponiendo de los insumos básicos para realizar el seguimiento, el control a la recuperación del recurso, éste proyecto ha sido ejecutado en sus tres fases bajo convenio interadministrativo, entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad de Antioquia, quien a su vez tiene un convenio con la Universidad Nacional de Colombia – Seccional Medellín-, la Universidad Pontificia Bolivariana, y la Universidad de Medellín.

Durante la primera Fase, 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 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.

En la Fase II, se tuvo como alcance principal el diseño propiamente de la red y de algunas estaciones con estructuras permanentes; como es el caso de Ancón Sur, Aula Ambiental, Acevedo y Ancón Norte; tomadas como hitos fundamentales y estratégicos para hacer pedagogía de la red y del proceso de recuperación en el que se ha empeñado la región. Además se puso en funcionamiento la red en sus diferentes estaciones de monitoreo a lo largo del río, mediante campañas de monitoreo y muestreos en las estaciones automáticas y manuales diseñadas.

Con la operación de la Red se hace un seguimiento a la calidad y cantidad de agua del río, y se recopila información que permite conocer el estado del recurso y de esta manera direccionar y priorizar las acciones tendientes a la recuperación y protección del mismo.

En este documento se resumen los resultados obtenidos a partir del monitoreo de agua en la cuenca para cada uno de los componentes del proyecto como son: Calidad, Hidrología, Hidráulica, Biología, Modelación y apartes del documento referencia para la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico, además de la propuesta de objetivos de calidad que considera las particularidades que la cuenca posee, resultado de su interacción con zonas altamente urbanizadas y con problemáticas específicas de cada una de las quebradas afluentes al río.

Adicionalmente, se presentan de manera resumida las principales problemáticas identificadas para el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín, así como las ideas de proyectos planteadas para la gestión del recurso hídrico en términos de la calidad de agua para el río Aburrá Medellín.

## GLOSARIO

**AMVA:** Área Metropolitana del Valle de Aburrá

**BMWPCol (Biological Monitoring Working Party):** Índice biótico que tiene en cuenta como indicadores de calidad de agua a los macroinvertebrados acuáticos a nivel taxonómico de familia. (Pérez, 2003).

**Captación:** Es una estructura destinada a captar o extraer el caudal requerido por un sistema de abastecimiento.

**Criterio de calidad:** Conjunto de parámetros y sus valores utilizados para la asignación de usos al recurso y como base de decisión para el ordenamiento del recurso hídrico. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

**Cuerpo de Agua:** Sistema de origen natural o artificial localizado, sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

**Demanda Hídrica:** Es la cantidad de agua necesaria para satisfacer los requerimientos de una cierta población o grupo de usuarios.

**Dotación:** Es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante.

**Expediente:** Documento elaborado y administrado por las autoridades ambientales donde se puede encontrar, entre otra información, la relacionada con las concesiones de agua y los permisos de vertimiento otorgados a los usuarios de la cuenca.

**ICACOSU:** Indicador de calidad de agua formulado y adaptado para las condiciones ambientales de Colombia, por el IDEAM, el cual de manera cualitativa permite el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico del país. Este índice se encuentra como herramienta principal de acuerdo a las políticas para la evaluación del recurso hídrico y en el caso del proyecto RedRío es utilizado para la valoración de las quebradas afluentes del río Aburrá-Medellín y las estaciones de monitoreo definidas para el mismo.

**ICAglobal:** Indicador de calidad de agua construido específicamente para la corriente principal del río Aburrá-Medellín.

**Indicador de calidad de agua:** Es una herramienta para comunicar información acerca del estado del recurso hídrico, basada en aspectos físico - químicos, biológicos y no acuáticos.

**MAVDT:** Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

**Objetivo de Calidad:** Conjunto de parámetros que se utilizan para definir la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

**Oferta Hídrica:** Es la cantidad de agua disponible en una cuenca que se podría utilizar para atender la demanda hídrica.

**Parámetro:** Variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

**Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH):** Plan en virtud del cual se establecen en forma genérica los diferentes usos a los cuales está destinado el recurso hídrico de una cuenca o cuerpo de agua, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 3930 de 2010 o las normas que lo sustituyan o modifiquen. (Ministerio de Ambiente, 2003).

**Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV):** Es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente, tramo o cuerpo de agua. El PSMV aprobado por la autoridad ambiental competente en este caso el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y que recurrentemente se menciona en el documento corresponde al formulado por Empresas Públicas de Medellín (EPM). (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

**RedRío:** Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá – Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana, la cual se ha desarrollado en tres fases, de las cuales la fase I se realizó en los años 2003-2004, la fase II en el 2005 -2006 y la fase III se ejecuta entre noviembre de 2009 y 2011.

**Vertimiento:** Es cualquier descarga final al recurso hídrico, de un elemento, sustancia o compuesto que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios o aguas residuales. (Ministerio de Ambiente, 2003)

## **1 ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 MARCO NORMATIVO ORDENACIÓN DE MICROCUENCAS Y MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL**

La ordenación y manejo de microcuencas es uno de los lineamientos sobre los cuales la legislación colombiana comienza a hacer hincapié mediante la reglamentación del Código Nacional de Recursos Naturales (Decreto Ley 2811 de 1974), específicamente en la Parte III Título II Capítulo III que establece que los recursos naturales pueden ser declarados bajo protección o en ordenación, pero esta medida no fue efectiva debido a que en dicho decreto no se le da competencias a ningún ente territorial, persona natural o jurídica para llevar a cabo este ordenamiento.

En 1991 con la Constitución Política de Colombia mediante la descentralización de las entidades territoriales (artículo 1) da algunas atribuciones a éstas dentro de las cuales se dio la asignación del manejo de los recursos naturales. El artículo 80 de la Constitución exige la planificación, manejo y aprovechamiento, garantizando su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución, condicionado de una forma implícita las actividades productivas para el manejo de los recursos naturales. La importancia de crear mecanismos para declarar las microcuencas en ordenamiento se ve reflejada también en el artículo 331 mediante el cual se crea la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena encargada de la recuperación de la navegación, de la actividad portuaria, la adecuación y la conservación de tierras, la generación y distribución de energía y el aprovechamiento y preservación del ambiente, los recursos ictiológicos y demás recursos naturales renovables.

Por su parte, la Ley 99 de 1993 asigna a las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y Áreas Metropolitanas (Artículo 31 numeral 18) ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción, conforme a las disposiciones superiores y a las políticas nacionales, además por medio del artículo 33 parágrafo 3 plantea la creación de comisiones conjuntas encargadas de concertar, armonizar y definir políticas para el manejo ambiental de cuencas hidrográficas comunes a dos o más CAR que tengan jurisdicción sobre ésta.

A partir del 2002, se crea el Decreto 1729 por medio del cual se establece además del manejo y ordenamiento de las microcuencas, la necesidad de priorización regional de éstas para determinar el orden de ejecución de los planes de ordenación (artículo 20), y le da responsabilidad a las autoridades ambientales para la elaboración del plan de ordenación (artículo 19) y determinar la financiación de dichos planes (artículo 23).

Al nivel de la ciudad, la importancia de la ordenación de las cuencas hidrográficas se ve reflejada en el Plan Estratégico Ambiental Metropolitano -PEAM- mediante uno de los principios rectores consagrados en la constitución y legislación que rigen la gestión urbano regional y hace alusión a que “el recurso hídrico es estratégico para el país y su disponibilidad para el consumo humano tiene prioridad sobre cualquier otro uso” (PEAM, 2002), sin embargo, no se hace una mención directa del manejo de las cuencas hidrográficas, pero bajo éste principio queda comprendido tácitamente. De otro lado, en el Sistema de Gestión Ambiental Municipal -SIGAM- ocurre una situación similar, en el cual los aspectos relacionados con la ordenación de las cuencas hidrográficas aparecen descritos dentro de las

funciones de la Secretaría del Medio Ambiente y de las Autoridades Ambientales como parte de los lineamientos para llevar a cabo la gestión ambiental municipal.

Los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (POMCA) se suelen llamar, en ocasiones, planes maestros o directores, lo que evidencia su importancia. De hecho, la normatividad al respecto (Decreto 1729 de 2002) lo constituye en norma superior jerárquica y determinante respecto de los planes de ordenamiento territorial. Es claro, pues, que los POMCA deben formularse teniendo en cuenta los marcos regulatorios superiores, y deben generar, a su vez, marcos regulatorios específicos que permitan su aplicación.

Para el 2010, se expide el Decreto 3930 de octubre 25 de 2010, mediante 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 y establece las disposiciones relacionadas con los usos del agua, el Ordenamiento del Recurso Hídrico, las normas de vertimiento al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron las normas afines con el recurso hídrico superficial enfatizando en el control y monitoreo del mismo, además se relacionó el ordenamiento y manejo de cuencas.

## **1.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La subregión del Área Metropolitana del Valle de Aburrá está localizada en el centro del departamento de Antioquia, limitando con las subregiones Norte, Nordeste, Oriente, Suroeste y Occidente. Hace parte de la jurisdicción Administrativa de la Corporación Autónoma Regional –CAR- para el centro de Antioquia (Corantioquia) y el Área Metropolitana.

Se configura geopolíticamente por los municipios del Valle de Aburrá: Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín, Sabaneta y Envigado. Este último no hace parte de la jurisdicción administrativa del Área Metropolitana.

La subregión tiene un área de 1.152 km<sup>2</sup> que representan el 1,8% del territorio departamental; se encuentra enclavado en la porción Noroccidental de la cordillera Central, que es una depresión profunda y alargada de 60 Kilómetros de Sur a Norte con alturas que van desde 1.800 m.s.n.m de base en Caldas al Sur y los 1.400 m.s.n.m de base en Barbosa al Norte, hasta los 2600 metros de altura promedio de las montañas y altiplanos que definen parte de sus límites y una elevación máxima en el cerro del Padre Amaya.

Se distinguen tres grandes zonas por clima y relieve; planas y colimadas; depósitos de vertientes y laderas pendientes largas y vertientes frías. Todas estas zonas presentan clima húmedo y en las partes más altas, son súper-húmedas.

La dinámica del valle se estructura por el curso del río Aburrá-Medellín, recorriendo la subregión desde el sur, en el nacimiento en Caldas y dando una curva a la altura de Bello y continúa en dirección Noreste hasta pasar por el Municipio de Barbosa.

En términos de su centralidad, la cuenca del río Aburrá-Medellín coincide geomorfológicamente con el Valle de Aburrá con dirección aproximada sur-norte que describe un arco hacia el este cuando el río toma el nombre de Porce a la altura de la desembocadura

del Río Grande. Existen unas excepciones dadas por los pocos afluentes que nacen en el altiplano de oriente (Santa Elena, Piedras Blancas y Ovejas) y concentra el 60 % del total de habitantes del departamento de los cuales el 95 % se localiza en las áreas urbanas de los municipios del Área Metropolitana. Esto se debe a flujos migratorios externos hacia el Valle de Aburrá, desde otros municipios del departamento y los internos se realizan por lo general de zonas rurales a urbanas y de zonas urbanas a otras urbanas, principalmente hacia y desde Medellín.

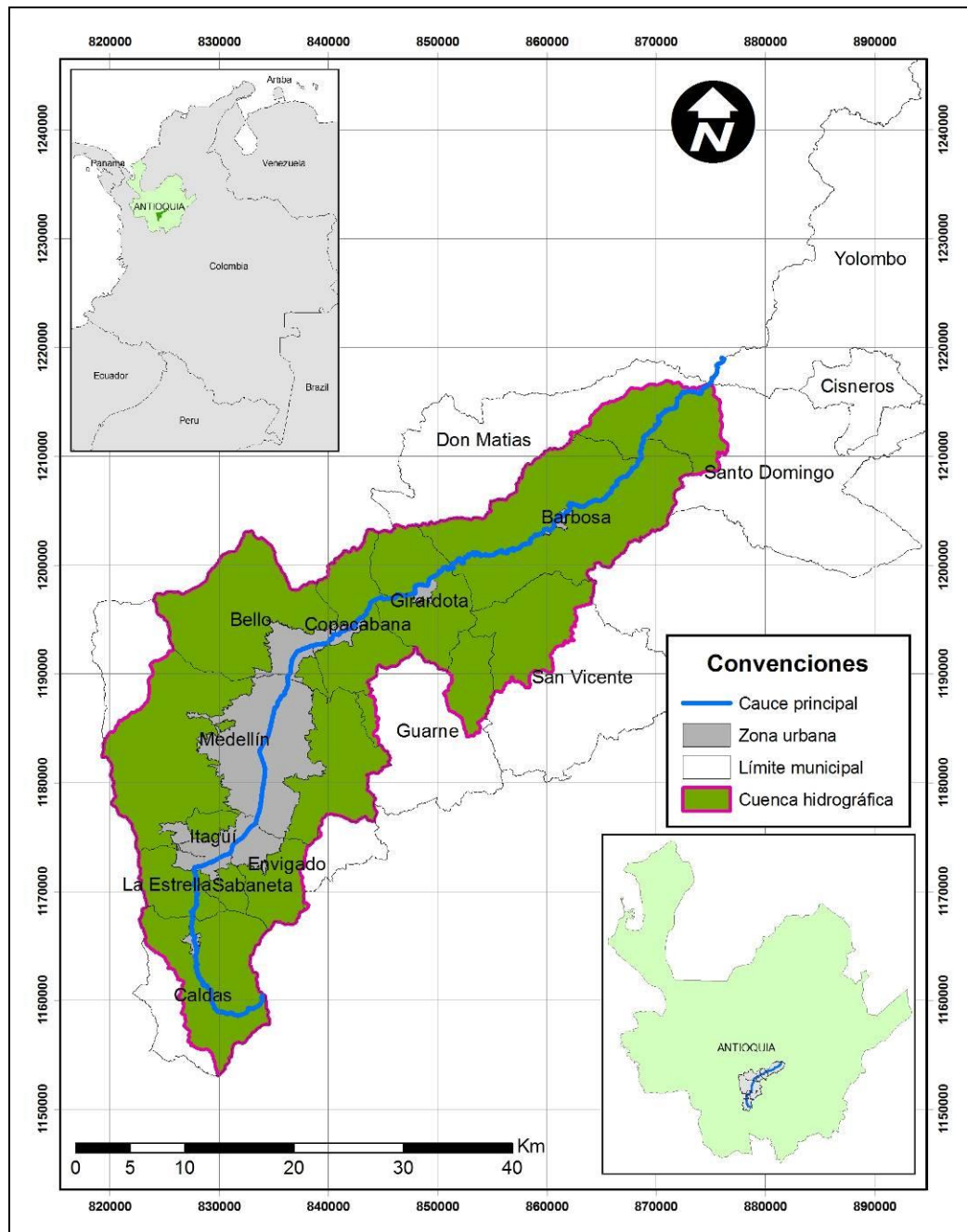


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

La cuenca del río Aburrá-Medellín, denominada también hoya hidrográfica, es un área física debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas son vertidas a una red natural mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente, las cuales confluyen en un río principal, en un depósito natural de aguas, o directamente al mar, lo cual puede considerarse como un sistema de drenaje.

La cuenca del río Aburrá-Medellín se encuentra en una zona rodeada de montañas que comprende las partes altas, medias y bajas de los municipios ubicados a lo largo del río (Caldas, Sabaneta, Envigado, La estrella, Itagüí, Medellín, Bello, Girardota, Copacabana y Barbosa). La parte baja o plana es el Valle de Aburrá, que tiene un ancho máximo de 10 km. En sentido este - oeste y un largo de 70 km en orientación norte sur (ver Figura 1).

El área total de drenaje de la cuenca es de 1.152 km<sup>2</sup>. La cuenca aparece hoy como un ecosistema altamente intervenido donde su recuperación y protección no obedece solamente a factores ecológicos, sino que también se imponen aspectos económicos, sociales, culturales, entre otros.

Desde el punto de vista ambiental, el río como elemento estructurante, padece graves problemas ambientales y de contaminación como resultado de la disposición de desechos sólidos y líquidos y la extracción de materiales para la construcción, que se realizan tanto en la ribera del río, como en las quebradas afluentes.

También en las cuencas hidrográficas de las quebradas (microcuencas), se detectan conflictos por el uso del recurso en áreas rurales, ocasionado procesos erosivos que tienden a incrementarse e inducir negativamente en la cantidad y calidad del agua que fluyen por los canales naturales y finalmente derivan problemas en acueductos veredales.

En el ámbito urbano las quebradas se han convertido como obstáculo para la urbanización, se ven inútiles para algún propósito diferente al de aparatos excretorios urbanos, este tipo de pensamiento ha permanecido a lo largo del desarrollo urbano del Valle de Aburrá y se convierte en la causa principal del deterioro actual que presentan las quebradas y la relación hostil de los ciudadanos con éstas.

Otros conflictos a escala ambiental que presenta el Valle de Aburrá son los usos agropecuarios en zonas de protección de fuentes de agua, extracciones de materiales para construcción de suelos agrícolas, asentamientos humanos en laderas de alta pendiente con vocación protectora, planes de reforestación en suelos altamente degradados o sabanas naturales.

El comportamiento demográfico en los últimos decenios se ajusta a la tendencia del país, caracterizada por la disminución del crecimiento de la población por efecto del descenso significativo en las tasas de fecundidad, aunque los centros urbanos continúan creciendo a buen ritmo a costa de la población rural, acentuando el desequilibrio entre el campo y la ciudad.

Siendo el río Aburrá-Medellín el eje estructurante del desarrollo, también ha influido en la desarticulación que existe entre ambos costados, ya que aísla los lados del valle y algunas cabeceras municipales. También el hecho de que se haya querido ubicar la infraestructura metropolitana sobre el corredor del río Medellín, ocasionó que la gran industria se asentara en



su ribera y le “diera la espalda al río”, además de generar una barrera que aísla cada día más los lados del río Medellín.

Tanto las zonas urbanas como rurales, hacen parte de la jurisdicción administrativa del Área Metropolitana (Excluyendo Envigado) y de la Corporación Autónoma Regional (CAR) para el centro de Antioquia – Corantioquia, respectivamente.

- Estaciones de monitoreo

Se han establecido 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, además, han sido incluidas 22 quebradas y dos vertimientos de agua residual tratada y sin tratar. La selección y localización de las diferentes estaciones de monitoreo que conforman la red de calidad y cantidad de agua a lo largo del río se realizó desde la primera fase del proyecto. Las estaciones de monitoreo localizadas sobre el río se presentan en la Tabla 1, igualmente las estaciones sobre quebradas afluentes se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 1. Estaciones de monitoreo sobre el río Aburrá - Medellín**

ESTACIÓN	COORDENADAS		DISTANCIA NACIMIENTO	MUNICIPIO
	LATITUD	LONGITUD	KM	
San Miguel (E1)	6° 02' 50.4''	75° 37' 09.9''	5.8	Caldas
Primavera (E2)	6° 4' 4.72"	75° 37' 54.28"	10.6	Caldas
Ancón Sur (E3)	6° 09' 07.8''	75° 37' 54.9''	21.0	La Estrella
Antes de San Fernando (E5)	6° 11' 12.4''	75° 35' 07.9''	27.9	Medellín
Descarga San Fernando (D1)	6° 11' 26.78"	75° 34' 79.15"	28.5	Medellín
Después de San Fernando (E6)	6° 11' 43.5''	75° 34' 53.3''	29.0	Medellín
Puente de Guayaquil (E7)	6° 14' 02.7''	75° 34' 32.4''	33.4	Medellín
Aula Ambiental (E8)	6° 15' 51.8''	75° 34' 20.4''	37.1	Medellín
Puente Acevedo (E9)	6° 18' 25.0''	75° 33' 24.7''	42.4	Medellín
Puente Machado (E11)	6° 20' 09.6''	75° 32' 15.8''	46.7	Bello
Niquía (E21)	6°20'17.73"	75°31'32.57"	48.1	Bello
Ancón Norte (E12)	6° 22' 16.21"	75° 29' 21.29"	54.4	Copacabana
Puente Girardota (E13)	6° 22' 48.4''	75° 27' 06.9''	59.2	Girardota
Parque de las Aguas (E14)	6° 24' 21.44"	75° 25' 04.73"	65.0	Girardota
Hatillo (E15)	6° 24' 44.2''	75° 23' 37''	70.7	Barbosa
Papelsa (E16)	6° 26' 46.14''	75° 19' 53.26''	80.9	Barbosa
Popalito (E17)	6° 28' 37.1''	75° 16' 45.6''	89.8	Barbosa
Pradera (E18)	6° 30' 59.0''	75° 15' 18.1''	96.2	Barbosa
EADE (E19)	6° 33' 21.72"	75° 12' 25.35"	104.1	Santo Domingo
Puente Gabino (E20)	6° 33' 33.9"	75° 12' 20.3"	105.0	Santo Domingo

**Tabla 2. Estaciones de monitoreo sobre las principales quebradas afluentes al río**

ESTACIÓN	COORDENADAS		MUNICIPIO
	LATITUD	LONGITUD	
Q. La Valeria (Q1)	6° 5' 46.6''	75° 38' 08.7''	Caldas
Q. La Miel (Q2)	6° 5' 45.3''	75° 38' 06.3''	Caldas
Q. La Doctora (Q3)	6° 9' 11.9''	75° 37' 13.6''	Sabaneta
Q. La Ayurá (Q4)	6° 11' 06.9''	75° 34' 59.0''	Envigado
Q. La Grande (Q5)	6° 9' 1.1''	75° 38' 09.9''	La Estrella
Q. Doña María (E4)	6° 10' 52.1''	75° 35' 28.3''	Itagüí
Q. La Aguacatala (Q6)	6° 11' 36.3''	75° 34' 76.3''	Medellín
Q. La Presidenta (Q7)	6° 12' 41.3''	75° 34' 33.1''	Medellín
Q. Altavista (Q8)	6° 14' 5.2''	75° 34' 35.6''	Medellín
Q. La Hueso (Q9)	6° 15' 11.7''	75° 34' 59.2''	Medellín
Q. Santa Helena (Q10)	6° 15' 32.5''	75° 34' 24.2''	Medellín
Q. La Iguaná (Q11)	6° 15' 44.7''	75° 34' 43.3''	Medellín
Q. La Rosa (Q12)	6° 17' 29.2''	75° 33' 46.1''	Medellín
Q. La Madera (Q13)	6° 18' 42.3''	75° 33' 24.7''	Bello
Q. El Hato (Q14)	6° 19' 44.6''	75° 33' 28.4''	Bello
Q. La García (E10)	6° 20' 01.9''	75° 33' 00.7''	Bello
Q. La Señorita (Q17)	6° 20' 18.36''	75° 32' 40.52''	Bello
Q. Rodas (Q18)	6° 20' 06.07''	75° 32' 06.51''	Bello
Q. Niquía (Q19)	6° 20' 39.33''	75° 31' 48.28''	Bello
Q. La Picacha (Q20)	6° 14' 44.00''	75° 34' 51.96''	Medellín
Q. La Seca (Q21)	6° 18' 33.99''	75° 33' 22.88''	Medellín
Q. Piedras Blancas (Q15)	6° 20' 46.2''	75° 30' 38.3''	Copacabana
Q. La Santiago (Q16)	6° 33' 12.43''	75° 12' 16.09''	Santo Domingo

## 2 DIAGNÓSTICO

### 2.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

#### 2.1.1 Componente de calidad

Actualmente se cuenta a nivel local con diferentes estudios relacionados con el recurso hídrico, entre los cuales se resalta, el plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA) que ha sido el marco de referencia para la construcción del documento referencia para la formulación del plan de ordenamiento del recurso hídrico del río Aburrá-Medellín, otros existentes son los planes de ordenación y manejo de algunas microcuencas afluentes al río Aburrá (La García, El Hato, Piedras Blancas, La Santa Helena, La Picacha, La Quintana, La Rosa y la Bermejala, La Doctora, El Salado, La Volcana, La Grande, La López, La Valeria, Doña María y La Presidenta), y estudios de la actualización de la red hídrica de la cuenca del río Aburrá, que han sido formulados en los últimos años. De igual manera se cuenta con el Plan de Manejo y Saneamiento de Vertimientos (PSMV), el cual fue aprobado por Resolución Metropolitana 056 de 2006.

La información de estos estudios, la contenida en las bases de datos de vertimientos y concesiones de agua del AMVA, y la levantada en campo a través de las diferentes campañas de monitoreo fue de gran utilidad para establecer las problemáticas asociadas al recurso hídrico, específicamente para el río Aburrá – Medellín y algunas quebradas afluentes.

Para la recolección de información primaria, específicamente la de calidad de agua del río y las principales quebradas se desarrolló un esquema de trabajo en campo diferenciado por la forma de muestreo y el tipo de campaña, lo cual se explica a continuación:

- **Forma de muestreo**

Se plantearon para esta fase dos clases de muestreo: manual y mixto, que variarán dependiendo del objetivo de la campaña y la estación de monitoreo.

- Manual

Corresponde a un muestreo en el que se mide el caudal con un correntómetro y se realiza toma de muestras para la evaluación de parámetros en el laboratorio, solo se usan equipos manuales para la lectura directa de las siguientes variables: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura.

- Mixto

Este tipo de muestreo corresponde a la unión de los dos anteriores, se realiza la medición con los equipos IQ Net, S::CAN y Kalesto y adicionalmente se toma muestra para el laboratorio, con el fin de evaluar las variables de interés que no determina el equipo.

- **Tipos de campañas**

- Campañas de hora crítica

Se realizó un seguimiento detallado de los macronutrientes (nitrógeno y fósforo), tanto en el río como en algunas quebradas afluentes; adicional a estos elementos se evaluó la distribución de macroinvertebrados en estas corrientes durante las horas críticas que fueron determinadas en la Fase II.

Para el logro de este objetivo se realizaron campañas de hora crítica (6, 7, 13, 14, 15, 18) en ocho estaciones claves: San Miguel (E1), Ancón Sur (E3), Antes de San Fernando (E5), Aula Ambiental (E8), Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Ancón Norte (E12) y Puente Gabino (E20); de las cuales E3, E8, E12 y E20 son de muestreo mixto, mientras que las restantes son manuales, adicionalmente se monitorearon simultáneamente cinco quebradas que fueron rotando por tramos.

- Campañas completas

Se realizaron campañas completas con una frecuencia semestral, estas tienen como objetivo evaluar el estado de la calidad del agua en las dieciocho estaciones definidas en la Fase I y Niquía, mediante la determinación de variables en los dos compartimentos (agua y sedimentos), es importante resaltar que estas variables incluyen algunas sustancias de interés sanitario como son los metales pesados. En cuatro estaciones (Ancón Sur, Aula Ambiental, Ancón Norte y Puente Gabino) el muestreo se realizó con las sondas IQ Net y S::CAN durante doce horas continuas; en San Miguel y Niquía el muestreo se hizo con el apoyo de equipos manuales durante doce horas continuas con medición cada cuatro horas de DQO, DBO5 y SST; y en las doce estaciones restantes se realizó muestreo manual puntual, cuya toma de muestra coincidió con las horas de toma en las estaciones fijas.

– Campañas en quebrada

Se realizaron dos campañas solamente en quebradas (catorce quebradas en total) con el fin de tener una visión más amplia de su estado, en cuatro de ellas (Doña María, la Hueso, Santa Elena y la García,) se hizo la medición continua con los equipos automáticos durante una jornada de 10 horas, lo cual permitió determinar el estado de las corrientes. Se realizaron dos mediciones de 6-8 y 14–16, es decir, dos tomas de muestra para evaluar DQO, DBO5, SST y Nutrientes.

– Campañas de calibración

Se aprovecharon siete de los muestreos mixtos para calibrar y validar los equipos de medición, por lo cual fue necesario tomar muestras para llevar al laboratorio y determinar las variables medidas por el equipo.

– Campañas metales

Este tipo de campaña busca hacer un seguimiento tanto en la columna de agua como en los sedimentos de algunos metales que han sido considerados sustancias de interés sanitario, por el gran impacto que generan en el ecosistema.

Para el logro de este objetivo se realizaron cuatro tomas de muestra (6, 10, 14, 18) en ocho estaciones claves: San Miguel (E1), Ancón Sur (E3), Antes de San Fernando (E5), Aula Ambiental (E8), Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Ancón Norte (E12) y Puente Gabino (E20); de las cuales E3, E8, E12 y E20 son de muestreo mixto, mientras que las restantes son manuales, adicionalmente se monitorearon simultáneamente cinco quebradas que fueron rotando por tramos.

• **Esquema de trabajo de campo**

En la Tabla 3 se presenta un resumen del trabajo de campo realizado en la tercera fase del proyecto; en ella se especifica el tipo de muestreo, los parámetros medidos, la duración y la periodicidad de las diferentes campañas.

**Tabla 3. Resumen del trabajo de campo**

TIPO DE CAMPAÑA	TIPO DE MUESTREO	PARÁMETROS	ESTACIONES	DURACIÓN
Campañas completas de calidad	Muestreo Manual	Todos los parámetros al laboratorio, biológicos y sedimentos.	13	Puntual, que coincide con las horas de toma en las estaciones fijas
	Muestreo mixto	Equipos automáticos y el resto de parámetros al laboratorio, biológicos y sedimentos	4	12 horas
	Muestreo Manual-multiparamétrica	Todos los parámetros de muestra compuesta al laboratorio, biológicos y sedimentos. Cuatro tomas de muestra para el laboratorio.	2	12 horas
Campañas de hora crítica	Muestreo Manual	Muestra compuesta Muestras puntuales para medición de DBO5,DQO,SST, Nutrientes, biológicos	4	12 horas
	Muestreo mixto	Equipos automáticos y nutrientes al laboratorio, biológicos	4	12 horas
	Muestreo Manual quebradas simultaneo	Muestra compuesta Muestras puntuales para medición de DBO5,DQO,SST, Nutrientes, biológicos	5 Quebradas	12 horas
Campañas en quebradas	Muestreo Manual	DBO5,DQO,SST, Nutrientes	10 Quebradas	Toma de muestra 6-8 a.m. y a las 14-16 horas
	Muestreo mixto	Equipos automáticos y nutrientes al laboratorio	4 Quebradas	10 horas
Campañas de seguimiento a metales	Muestreo Manual	Muestra compuesta Muestras puntuales para medición de Sólidos, DQO, DBO5, Hg, Pb, Cu, Cr	4	12 horas
	Muestreo mixto	Equipos automáticos y Sólidos, DQO, DBO5, Hg, Pb, Cu, Cr	4	12 horas
	Muestreo Manual quebradas simultaneo	Muestra compuesta Muestras puntuales para medición de Sólidos, DQO, DBO5, Hg, Pb, Cu, Cr	5 Quebradas	12 horas

### 2.1.2 Componente de hidráulica e hidrología

- **Estimación de caudales líquidos**

Se realizaron en total 30 campañas de aforo sobre las estaciones del río Aburrá y en las quebradas afluentes. El estimativo de caudal líquido se obtuvo por el método área – velocidad que consiste en determinar, a partir de medidas de velocidad y geometría de la sección, el caudal de la corriente como el producto  $Q = VA$ .

- **Sensor de nivel Kalesto**

Este equipo fue utilizado para obtener la fluctuación del nivel del flujo en el tiempo en las estaciones Ancón Sur, Aula Ambiental y Ancón Norte. Los detalles de su funcionamiento y los resultados obtenidos se presentan en el informe consolidado de los años 2010 y 2011.

- **Estrategia de trabajo**

Para un óptimo desempeño (tanto de los equipos como del personal) en el desarrollo de las actividades se conformaron dos comisiones (A y B), cada una con 4 integrantes. A cada comisión se le asigna de acuerdo a la organización previa, los sitios en los que se realizarán las mediciones programadas.

En los sitios de aforo se cuenta con el equipo necesario para la salubridad, la seguridad y la toma de datos propios de la campaña. Se cuenta con la adquisición de correntómetros en la Universidad Nacional de Colombia, en la Universidad de Medellín y en el Área Metropolitana.

- **Campañas de aforos**

En el desarrollo de las campañas se realizaron aforos en varios sitios, los cuales fueron visitados de acuerdo con la zona donde se ubicaban.

- Zona Sur

Se realizaron mediciones de caudal sobre el río Aburrá en las estaciones San Miguel, Primavera, Ancón Sur, antes y después de San Fernando y en Puente Guayaquil, y en las quebradas afluentes La Valeria, La Miel, La Grande, La Doctora, Doña María, La Ayurá, La Aguacatala, La Presidenta, Altavista, La Hueso y La Picacha. En la Figura 2 se presenta la localización espacial de los sitios antes mencionados.

Se utilizó la metodología de aforo por vadeo en las estaciones San Miguel y Primavera, en las demás estaciones sobre el Río Aburra se utilizó la metodología por suspensión; en cada punto, se tomaron las medidas de seguridad pertinentes para llevar a cabo las mediciones. Los sensores de nivel (Kalestos) se instalaron en las estaciones San Miguel y Ancón Sur para monitorear la variación del nivel del flujo durante el día.

- Zona Norte

En la zona Norte se realizaron mediciones de caudal sobre el río Aburrá en las estaciones Aula Ambiental, Puente Acevedo, Puente Machado, Ancón Norte, Puente Girardota, Parque de las Aguas, Hatillo y Papelsa. Ya que en estos sitios la lámina de agua es considerable, las mediciones de caudal se realizaron por suspensión. Además se realizaron mediciones en las quebradas afluentes La García, La Santa Elena, La Iguaná, La Rosa, La Madera, El Hato, Piedras Blancas, La Señorita, La Rodas, La Niquía, La Seca y La Santiago. En esta zona los sensores de nivel fueron instalados en las estaciones Ancón Norte y Aula Ambiental. En la Figura 3 se presenta la localización espacial de los sitios antes mencionados.

La localización de los sitios de aforo fueron definidos teniendo en cuenta el componente biológico y fisicoquímico del proyecto.

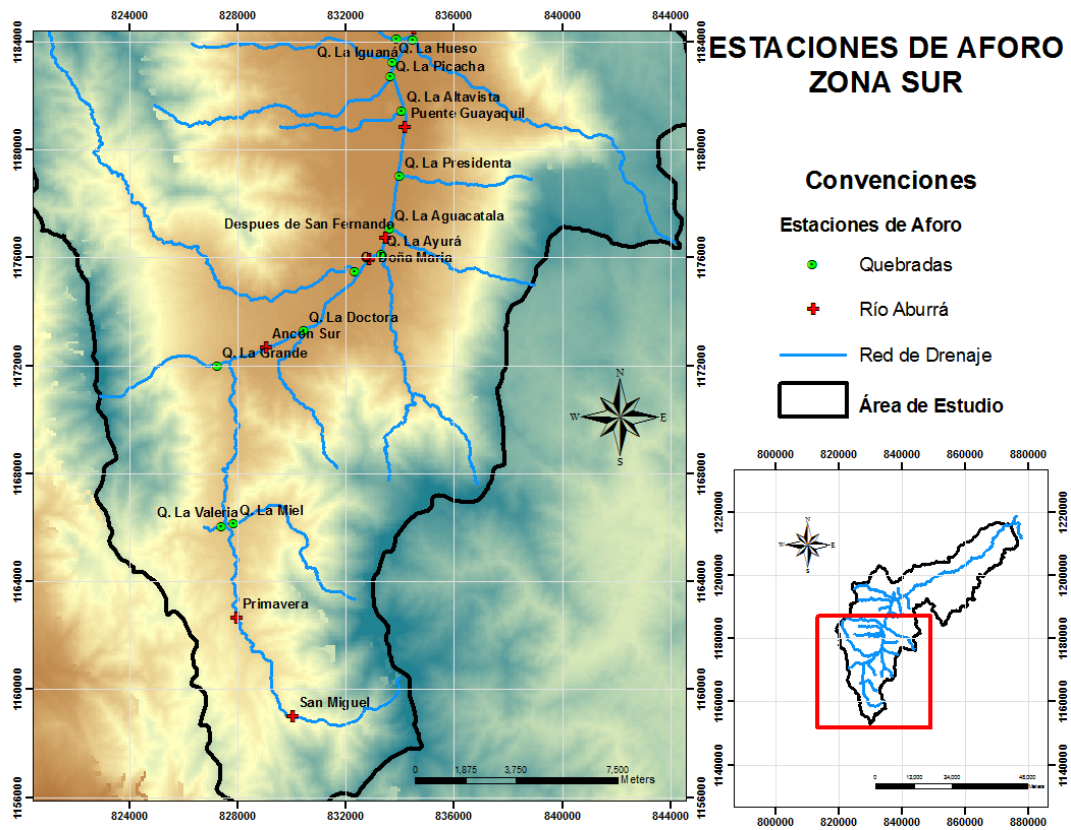


Figura 2. Localización de estaciones de aforo Zona Sur

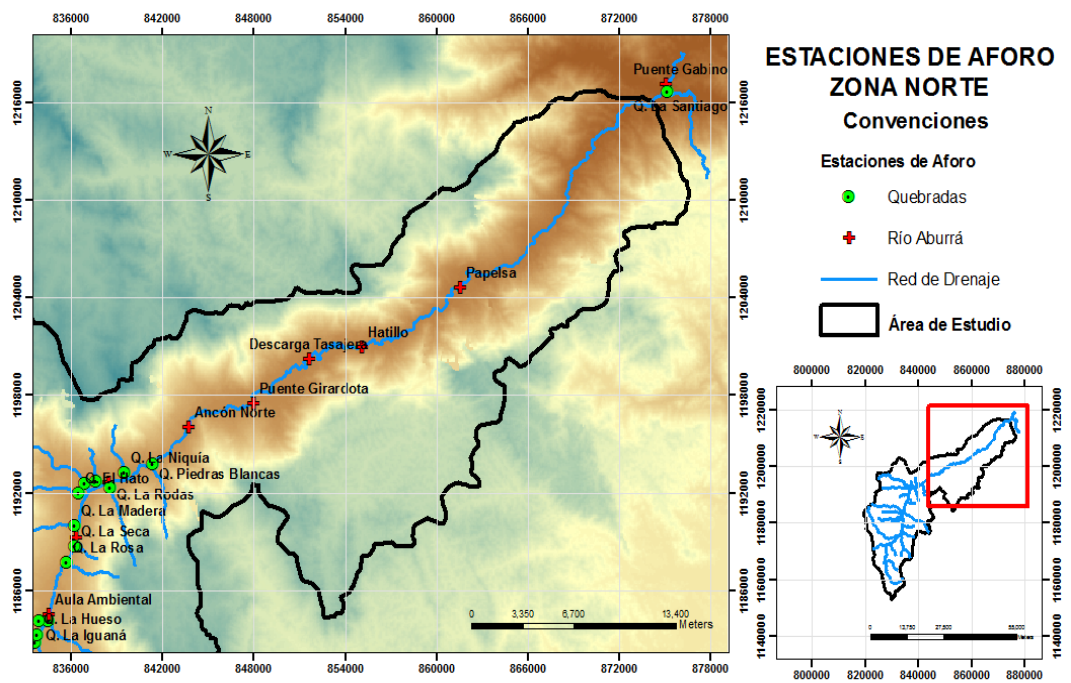


Figura 3. Localización de las estaciones de aforo Zona Norte

## 2.2 HIDROLOGÍA

### • Precipitación en el Valle de Aburrá

En esta fase del proyecto la hidrología es complementada y actualizada con respecto al estudio realizado durante la Fase I. Se actualizó la información de las series de precipitación mensual hasta el año 2010 y los mapas de precipitación mensual y multianual de la cuenca del río Aburrá. Para la estimación del campo de precipitación sobre la cuenca del río Aburrá, a escala mensual y anual, se dispuso de la información de las estaciones pluviométricas y climatológicas operadas por EPM y que se encuentran ubicadas en la subregión del Valle de Aburrá y el noroccidente del Oriente Antioqueño

En Antioquia el régimen de precipitación es bimodal, tal como se observa en el ciclo anual de precipitación de las estaciones con influencia sobre la cuenca (Figura 4 y Figura 5), con dos períodos lluviosos marcados durante los meses Abril – Mayo y Octubre – Noviembre. Tal comportamiento es característico de la zona andina y es debido al paso de la ZCIT (Zona de Convergencia Inter – Tropical).

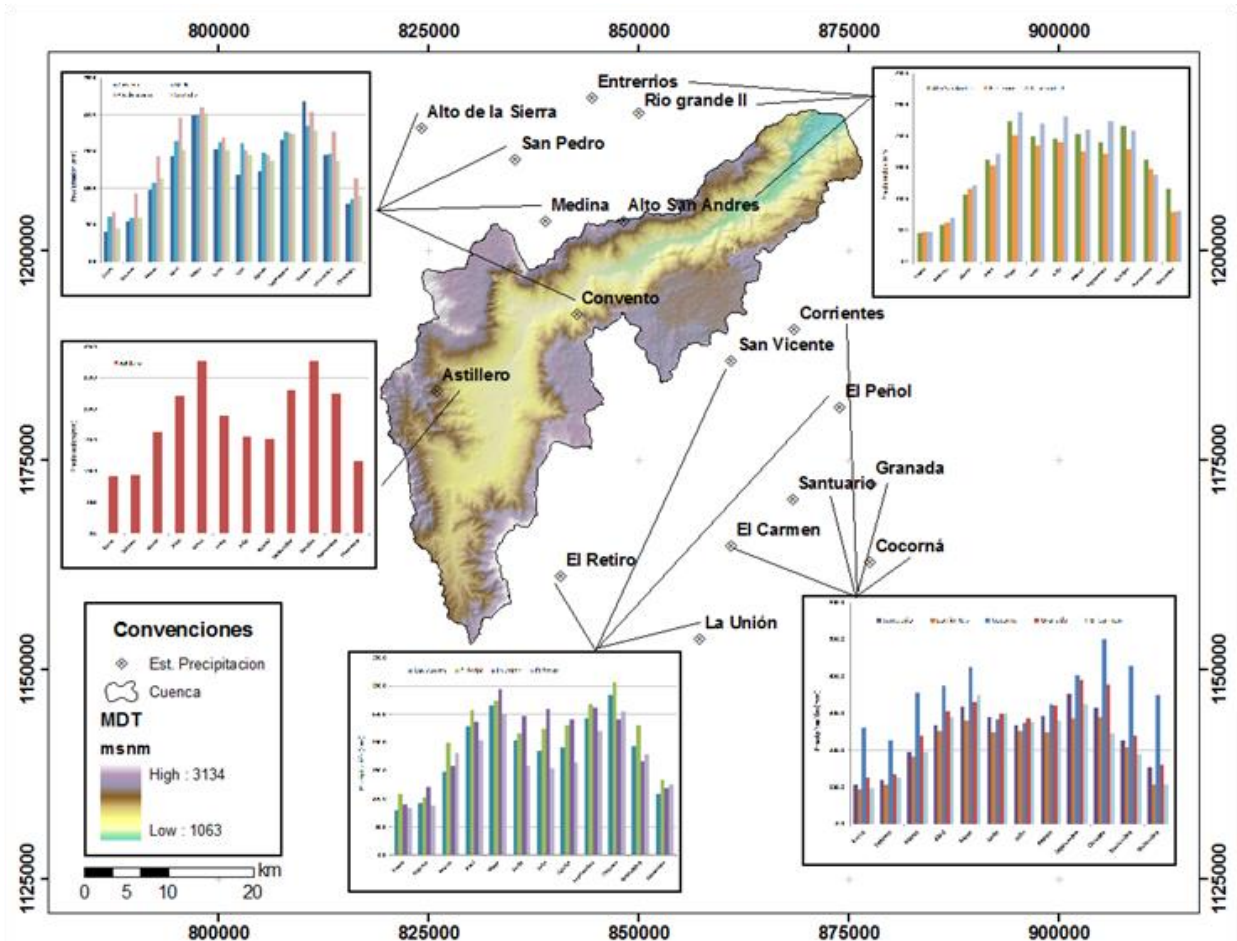


Figura 4. Ciclo anual de precipitación.



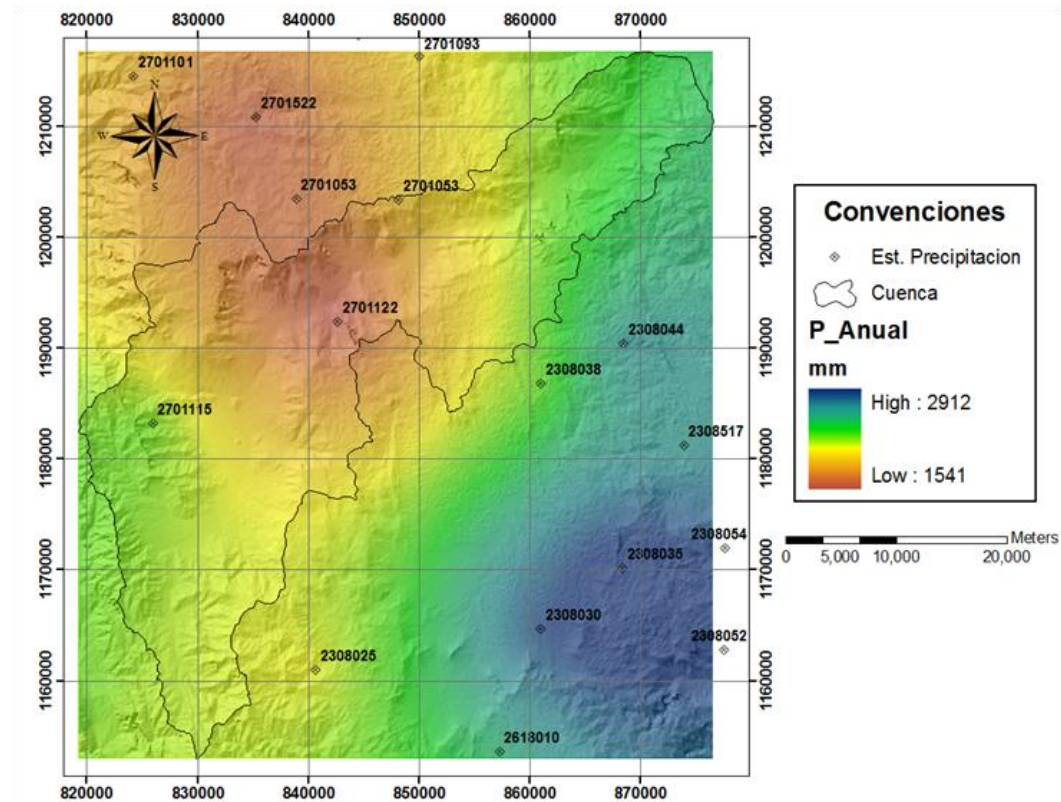


Figura 5. Precipitación media multianual en la cuenca del río Aburrá.

Poveda y Mesa (1996) han encontrado que hay regiones de Colombia donde se siente con más fuerza la influencia del ENSO en la hidrología (Occidente y Zona Andina de Colombia: Antioquia Chocó, La Zona Cafetera, Cauca, Valle del Cauca, Santander, Tolima, Nariño, Cundinamarca). La verificación de la relación del Fenómeno del Niño (ENSO) con el comportamiento del régimen hidrológico de la zona de influencia del proyecto, se realizó a partir de la relación entre la precipitación total anual y el índice SST (Sea Surface Temperature). Además del ciclo anual de la precipitación durante las fases Niño, Niña y normal.

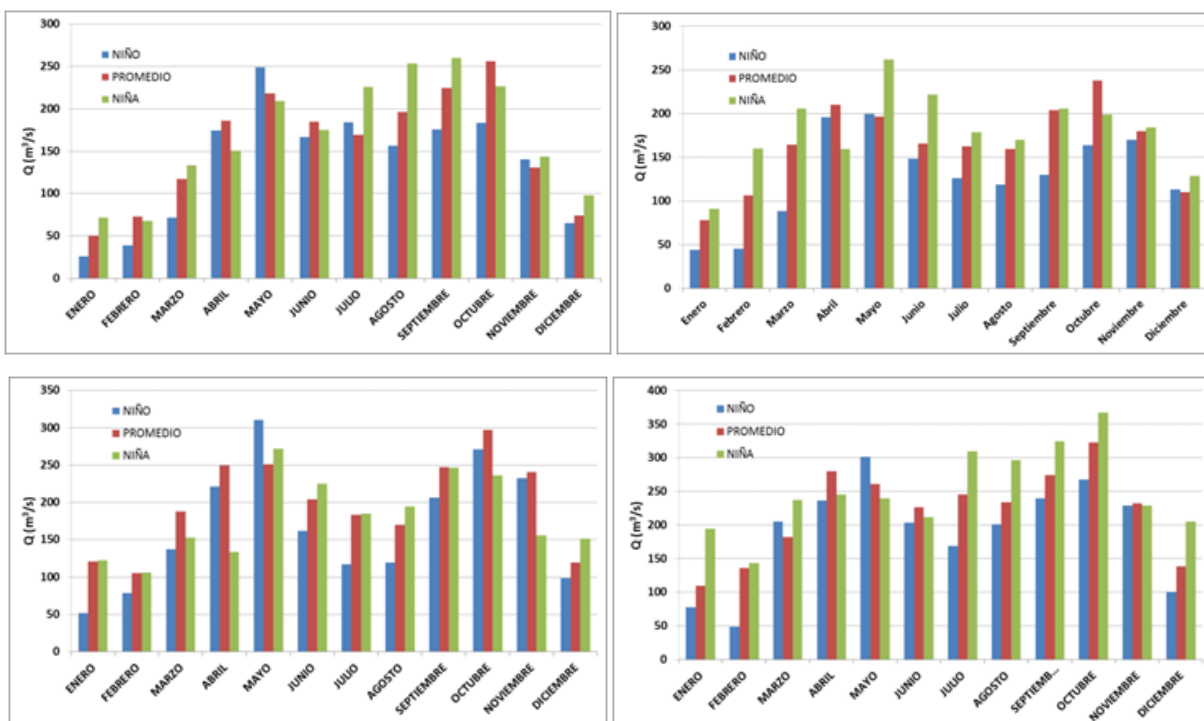
La precipitación en el Valle de Aburrá varía anualmente de acuerdo al paso de la ZCIT, lo cual se ve reflejado en el régimen bimodal, e interanualmente varía su magnitud con la influencia del fenómeno climático ENSO, aumentando los valores de precipitación anual durante los años La Niña y disminuyendo durante los años El Niño.

Estos cambios de magnitud producen cambios locales en la media de las series de precipitación, sin embargo no están asociados a cambios en la tendencia que permitan establecer una relación entre el régimen de precipitación y efectos de cambio climático.

En todas las estaciones se puede observar una correspondencia inversa con la temperatura superficial del océano pacífico, esto indica que cuando la temperatura aumenta en el océano

(asociado a períodos El Niño) las lluvias disminuyen, y caso contrario durante los períodos de La Niña.

En la Figura 6 se muestra el ciclo anual de precipitación durante las fases del ENSO, en las estaciones analizadas. En los años de La Niña a excepción de los meses de abril y mayo en las estaciones Astillero y Alto San Andrés ocurren mayores precipitaciones que durante los períodos de El Niño. En los años “Normales” la ocurrencia de valores intermedios entre las dos Fase del ENSO no es identificable debido a que la serie de registros que se tiene de las estaciones es de los últimos 20 años, período en el que se han presentado 12 fases de El Niño/La Niña. Lo anterior hace que se tengan menos años “Normales”, además los períodos para pasar de una fase caliente a una fase fría (o viceversa) son más cortos, por tal motivo el efecto en la precipitación puede llegar a superponer el mismo régimen climático en la región de estudio.



**Figura 6. Ciclo anual durante las fases El Niño, La Niña y Normales. Estación Alto San Andrés (Arriba – Izquierda), Alto de la Sierra (Arriba – Derecha), Astillero (Abajo – Izquierda) y El Peñol (Abajo – Derecha).**

El Valle de Aburra tiene un régimen de precipitación bimodal, característico de la zona andina del país, con dos focos de precipitación, uno localizado en el Oriente Antioqueño y otro de menor magnitud pero es el de mayor importancia en la zona sur de la cuenca del río Aburrá. Los menores valores de precipitación durante todo el año son los registrados hacia el centro de la cuenca del río Aburrá, aumentando su magnitud tanto hacia el norte como al sur de la misma.

## 2.3 HIDRÁULICA

### 2.3.1 Simulación hidráulica

Para realizar la modelación del cauce del río Aburrá se utilizó como herramienta el software de simulación hidráulica HEC-RAS (HydrologicEngineering Center-River Analysis System) versión 3.1.3, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, permite calcular los niveles de la superficie del agua bajo condiciones de flujo permanente o no permanente y gradualmente variado, en un canal natural o artificial

Para la calibración del coeficiente de rugosidad de Manning, se eligieron sitios en una de las campañas de aforo realizadas en el río Medellín. Con los caudales estimados en estos sitios y con la geometría de las secciones del canal levantadas en campo, se varía la magnitud de la rugosidad para ajustar el nivel del flujo obtenido por el modelo numérico con el valor del nivel del flujo en el momento del aforo y en cada uno de los sitios elegidos. De esta manera, el modelo hidráulico queda calibrado.

Datos de entrada al Modelo: Para la simulación de los niveles de flujo en el canal, el modelo requiere la geometría del cauce (secciones transversales), los caudales de diseño para simular los niveles máximos y las condiciones iniciales y de frontera.

A lo largo del tramo de estudio (San Miguel – Puente Gabino), se utilizaron 178 secciones transversales, 12 levantadas durante los aforos, y 11 obtenidas del levantamiento topográfico realizado en el proyecto “Estudio y Diseño de obras de protección en puntos críticos del río Medellín – sector no canalizado”, estudio ejecutado por la Universidad Nacional - sede Medellín en convenio con el Área Metropolitana del valle de Aburrá en el año 2007. Por otra parte, la compañía colombiana de consultores (C.C.C) en el proyecto “Estudios y diseños canalización del río Medellín” ejecutado en el año 1998 para el Área Metropolitana realizó un levantamiento topográfico en un tramo de 20km desde Ancón Sur y hasta la descarga de la quebrada la García. Del estudio antes citado se obtuvieron 155 secciones transversales (separadas cada 100m aproximadamente) y se incluyen además en el tramo sur la proyección de los escalones sobre el lecho del río. Esta información permitió mejorar la modelación hidráulica del río Medellín.

Los caudales utilizados para la modelación fueron tomados del capítulo 6, Hidrología, del estudio Red Río Fase I, los cuales se estimaron utilizando el método de características medias y para diferentes periodos de retorno.

En el tramo canalizado del río se empleó la rugosidad respectiva ( $n=0.013$ ) de las placas de concreto que constituyen las banquetas del canal.

La modelación se realizó en régimen de flujo mixto (con un valor de la pendiente del lecho igual a 0.009 en el tramo del canal aledaño a puente Gabino y 0.13 en San Miguel) para determinar los sitios a lo largo del cauce del río Aburrá en los cuales se presente un estado del flujo sub ó súper crítico.

### 2.3.2 Resultados de la modelación

Se presentan los resultados más importantes en los cuales se describe el comportamiento de la velocidad del flujo y el número de Froude a lo largo del corredor del río.

En la Figura 7 se presenta el perfil del lecho del canal en el tramo comprendido entre las estaciones San Miguel y Puente Gabino. El número de secciones transversales (en color verde) que integran el modelo permitieron una modelación con más detalle y resultados más precisos. La zona en que se aprecia un mayor número de secciones corresponde a la parte canalizada del río Medellín.

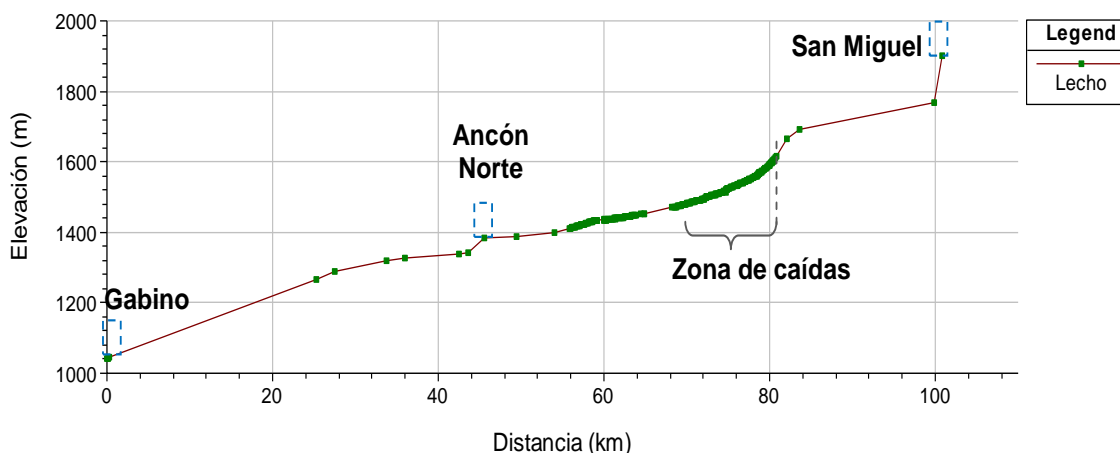


Figura 7. Perfil Longitudinal del canal.

En la Figura 8 se aprecia el comportamiento de la velocidad del flujo a lo largo del tramo de estudio para periodos de retorno iguales a 2.33 y 100 años. Se distinguen dos tramos bien marcados sobre el canal; el primero desde la estación San Miguel hasta Puente Guayaquil en el que el flujo experimenta una disminución progresiva de la velocidad. En este tramo el canal reduce su pendiente gradualmente, mantiene una sección transversal muy constante (principalmente desde Ancón Sur) y además en el lecho se evidencian una serie de escalones que sirven como disipadores de energía. El segundo tramo es a partir de Puente Guayaquil en el cual hay una disminución de la cantidad de escalones sobre el lecho lo que da lugar a un menor control de la velocidad del flujo (Figura 8), este incremento es paulatino hasta la estación Ancón Norte donde la velocidad se amortigua un poco al llegar a la parte baja de la cuenca (zona más plana con amplias llanuras de inundación).

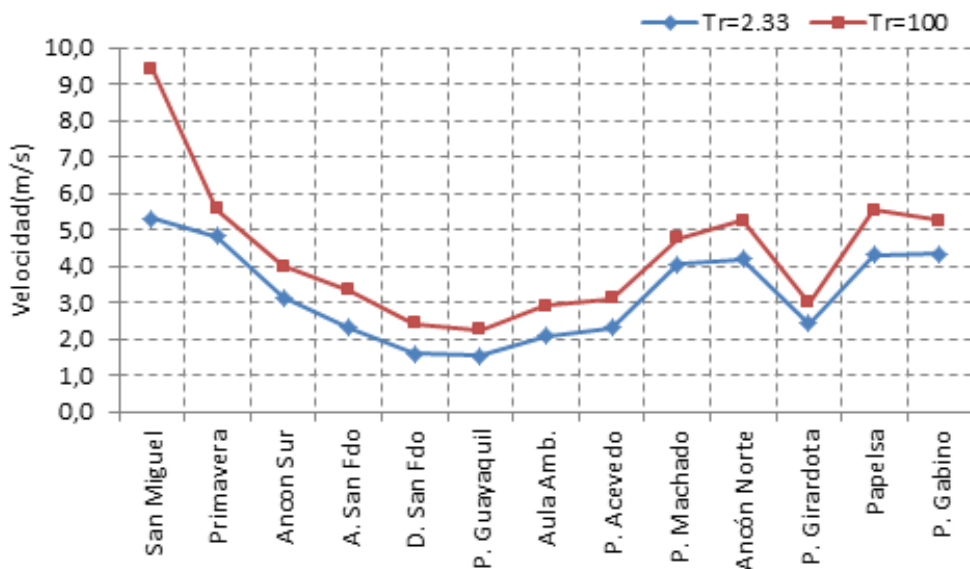


Figura 8. Fluctuación de la velocidad en el tramo de estudio.

Por su parte, en la estación Puente Girardota se observa una disminución abrupta de la velocidad sobre la curva, situación extraña ya que el comportamiento de la velocidad del flujo seguía una tendencia a permanecer constante hacia aguas abajo. Sin embargo, podemos atribuir este hecho a la morfología del lecho en este tramo observando en la Figura 9 ya que entre las estaciones Ancón Norte y Puente Girardota existe un desnivel de casi 40m en una distancia de 2 km, lo que se convierte en un control geológico importante ocasionando una disminución de la energía del flujo que se recupera nuevamente aguas abajo. La línea de energía mostrada en los perfiles de las secciones transversales confirma este hecho.

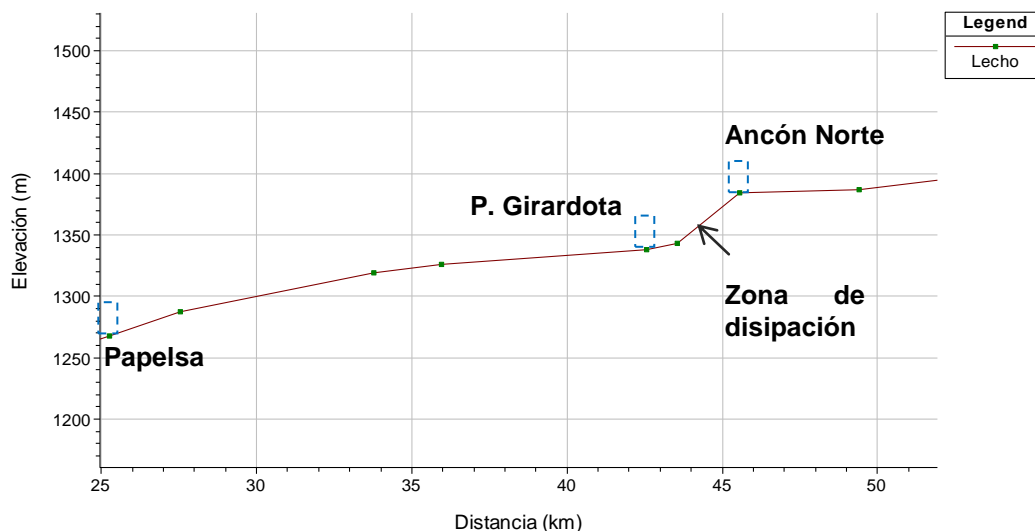


Figura 9. Perfil longitudinal del lecho tramo Ancón Norte - Papelsa

También se evaluó el número de Froude. La Figura 10 ilustra su comportamiento a lo largo del canal en el tramo de estudio. Se visualizan valores altos en la parte alta de la cuenca (estaciones San Miguel y Primavera) indicando un régimen del flujo súper crítico (velocidades altas y reducción en la lámina de agua). Aguas abajo de la estación Ancón Sur este parámetro experimenta fluctuaciones menores (entre 0.5 – 1) causadas por la reducción en la pendiente del lecho que produce velocidades menores. Por lo tanto, se tiene un tránsito del flujo sobre el canal en régimen subcrítico. En la estación Papelsa el valor de este parámetro sobrepasa la unidad pero no en mayor magnitud y es el reflejo de un incremento en la velocidad del flujo que es debido a la geometría propia del cauce ya que este punto de medición está directamente sobre una curva muy cerrada que ocasiona la aceleración de la corriente.

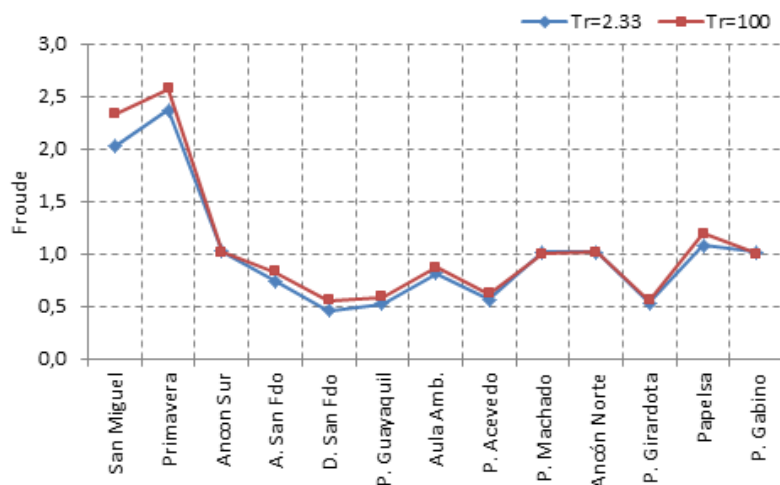


Figura 10. Variación del número de Froude a lo largo del canal

Otro parámetro importante que refleja la capacidad del canal durante las avenidas es el nivel del flujo alcanzado durante una avenida. Se observa en la parte alta de la cuenca (estación Primavera) un desborde del flujo hacia las llanuras de inundación debido a que el canal presenta una sección angosta lo que se traduce en un área de flujo limitada sobre el canal permitiendo así que las llanuras sean anegadas. Desde Ancón Sur hasta puente Gabino el nivel del flujo no rebosa sobre las márgenes del canal, indicando que este, tiene buena capacidad para el tránsito de caudales durante las avenidas.

### 2.3.3 Relaciones nivel caudal

Los aforos realizados durante la Fase III del proyecto permitieron construir las curvas de calibración sobre las secciones consideradas. Los aforos consideraron niveles bajos y altos y diferentes épocas. Estas curvas permiten transformar niveles del flujo en caudales, a través de la curva de calibración, la cual representada mediante una relación de carácter potencial.

Para niveles altos y cuando la sección tiene capacidad para el transporte de flujo, se requiere que la curva sea extrapolada. Para este estudio se usó el método de Manning que utiliza los parámetros geométricos e hidráulicos de la sección para extrapolar los datos.

En la Tabla 4 se muestran las expresiones obtenidas del ajuste de la curva de calibración obtenidas para cada una de las estaciones de monitoreo sobre el río, y construidas con base de todos los aforos líquidos que se realizaron en el transcurso del año 2010 y 2011, obteniéndose una ecuación para el rango de valores en que se encontraban las mediciones y otra para datos mayores al máximo medido utilizando el método de extrapolación antes mencionado.

**Tabla 4. Ecuaciones de la curvas de calibración en cada estación**

Estación	Ecuación	H(m)
Ancón Sur	$Y = 0.356 \ln(x) + 0.23$	> 0.10
A. San Fdo	$Y = 0.344 \ln(x) - 0.25$	< 1.0
	$Y = 0.011x + 0.579$	> =1.0
Aula Ambiental	$Y = 0.408 \ln(x) - 0.55$	> 0.10
P. Acevedo	$Y = 0.338 \ln(x) + 0.004$	< 1.50
	$Y = 0.0092x + 0.858$	> =1.50
P. Machado	$Y = 1.238 e^{0.011x}$	< 3.00
	$Y = 0.012x + 1.611$	> =3.00
Ancón Norte	$Y = 0.565 \ln(x) - 0.375$	< 2.20
	$Y = 0.031x + 0.726$	> =2.20

### 2.3.4 Curva de duración del caudal

La curva de duración de caudal es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal, como ordenada y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal, es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada Q para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje, P, del tiempo.

Se estimaron las curvas de duración del caudal representativas para las estaciones Ancón Sur, Puente Machado y Ancón Norte. Se eligieron estos sitios ya que se tienen registros de caudales medios diarios históricos con los cuales se construyeron las respectivas curvas de duración. Adicionalmente, se compararon los caudales medidos durante los aforos con la curva de duración para determinar a qué caudal característico corresponden (Tabla 5 a Tabla 7).

**Tabla 5. Clasificación de los caudales de acuerdo a la curva de duración, Ancón Sur**

CAMPAÑA	Q (M³/S)	PROB DE EXCEDENCIA %	CLASIFICACIÓN
Campaña 1	2.52	93	Caudal de aguas bajas
Campaña 2	2.501	93	Caudal de aguas bajas
Campaña 3	4.366	65	Caudal de aguas bajas
Campaña 4	2.216	95	Caudal de aguas bajas
Campaña 5	3.116	83	Caudal de aguas bajas
Campaña 6	4.566	0.5	Caudal máximo
Campaña 7	*	*	*
Campaña 8	*	*	*
Campaña 9	7.016	25	Caudal medio
Campaña 10	8.351	16	Caudal medio
Campaña 11	10.687	6.5	Caudal medio
Campaña 12	18.165	1	Caudal máximo
Campaña 13	11.31	6	Caudal medio
Campaña 14	29.991	0.5	Caudal máximo
Campaña 15	19.718	0.9	Caudal máximo
Campaña 16	*	*	*
Campaña 17	4.641	55	Caudal medio
Campaña 18	18.035	2	Caudal máximo
Campaña 19	10.047	9	Caudal medio
Campaña 20	12.67	3	Caudal medio
Campaña 21	28.84	0.5	Caudal máximo
Campaña 22	28.772	0.5	Caudal máximo
Campaña 23	*	*	*
Campaña 24	8.87	11	Caudal medio
Campaña 25	8.22	17	Caudal medio
Campaña 26	8.29	17	Caudal medio
Campaña 27	7.92	20	Caudal medio
Campaña 28	5.57	45	Caudal medio
Campaña 29	6.27	37	Caudal medio
Campaña 30	4.96	51	Caudal medio

**Tabla 6. Clasificación de los caudales de acuerdo a la curva de duración, Machado**

CAMPAÑA	Q (M³/S)	PROB DE EXCEDENCIA %	CLASIFICACIÓN
Campaña 1	6.633	100	Caudal de aguas bajas
Campaña 2	4.228	100	Caudal de aguas bajas
Campaña 3	17.495	83	Caudal de aguas bajas
Campaña 4	11.599	100	Caudal de aguas bajas
Campaña 5	23.418	55	Caudal medio
Campaña 6	53.82	0	Caudal máximo
Campaña 7	*	*	*
Campaña 8	*	*	*
Campaña 9	47.192	0	Caudal máximo
Campaña 10	47.91	0	Caudal máximo
Campaña 11	16.804	90	Caudal de aguas bajas
Campaña 12	65.722	0	Caudal máximo
Campaña 13	54.306	0	Caudal máximo
Campaña 14	88.28	0	Caudal máximo
Campaña 15	55.154	0	Caudal máximo
Campaña 16	*	*	*
Campaña 17	31.225	23	Caudal medio
Campaña 18	131.493	0	Caudal máximo
Campaña 19	38.648	8	Caudal medio
Campaña 20	53.205	0	Caudal máximo
Campaña 21	84.467	0	Caudal máximo
Campaña 22	89.815	0	Caudal máximo
Campaña 23	*	*	*



Campaña 24	37.98	8.5	Caudal medio
Campaña 25	30.16	26	Caudal medio
Campaña 26	30.77	23.5	Caudal medio
Campaña 27	26.74	43	Caudal medio
Campaña 28	39.22	5	Caudal medio
Campaña 29	28.32	31	Caudal medio
Campaña 30	33.91	12	Caudal medio

**Tabla 7. Clasificación de los caudales de acuerdo a la curva de duración. Ancón Norte**

CAMPAÑA	Q (M <sup>3</sup> /S)	PROB DE EXCEDENCIA %	CLASIFICACIÓN
Campaña 1	8.015	100	Caudal de aguas bajas
Campaña 2	7.156	100	Caudal de aguas bajas
Campaña 3	28.831	30	Caudal medio
Campaña 4	12.048	100	Caudal de aguas bajas
Campaña 5	21.242	59	Caudal medio
Campaña 6	64.715	0.1	Caudal máximo
Campaña 7	*	*	*
Campaña 8	*	*	*
Campaña 9	65.023	0	Caudal máximo
Campaña 10	51.968	0	Caudal máximo
Campaña 11	49.222	0	Caudal máximo
Campaña 12	82.525	0	Caudal máximo
Campaña 13	60.987	0	Caudal máximo
Campaña 14	101.769	0	Caudal máximo
Campaña 15	60.04	0	Caudal máximo
Campaña 16	*	*	*
Campaña 17	32.896	12	Caudal medio
Campaña 18	262.897	0.1	Caudal máximo
Campaña 19	40.435	3.5	Caudal medio
Campaña 20	87.206	0	Caudal máximo
Campaña 21	134.951	0	Caudal máximo
Campaña 22	132.003	0	Caudal máximo
Campaña 23	*	*	*
Campaña 24	42.23	3.5	Caudal medio
Campaña 25	32.89	17	Caudal medio
Campaña 26	48.22	0	Caudal máximo
Campaña 27	30.33	20	Caudal medio
Campaña 28	43.40	3.5	Caudal medio
Campaña 29	43.79	3.5	Caudal medio
Campaña 30	35.98	12	Caudal medio

### 2.3.5 Curvas de descarga de sedimentos en suspensión

Con la información de los sólidos suspendidos totales obtenida de los datos de calidad del agua en la Fase III del proyecto, se procedió a determinar las curvas de descarga de sedimento en suspensión en cada una de las estaciones de monitoreo.

La relación entre el caudal líquido Q (m<sup>3</sup>/s) y el caudal de sólidos Qs (ton/día) puede ser expresada mediante una curva. A esta curva se le llama curva de descarga de sedimentos y se usa frecuentemente para la determinación del caudal sólido dado el caudal líquido y por consiguiente poder determinar el transporte de sedimentos en un periodo de tiempo requerido.

Con dicha curva se relaciona la concentración de sedimentos C con el caudal líquido, a partir de mediciones disponibles. En la Tabla 8 se presentan estos resultados donde “Y” es el caudal sólido y “x” el caudal líquido.

**Tabla 8. Ecuaciones obtenidas de la curvas de calibración del sedimento en suspensión**

ESTACIÓN	ECUACIÓN
San Miguel	$Y = 0.356x^{1.908}$
Ancón Sur	$Y = 0.789x^{2.175}$
Antes San Fernando	$Y = 02.032x^{1.719}$
Aula Ambiental	$Y = 4.480x^{1.553}$
Puente Acevedo	$Y = 3.449x^{1.585}$
Puente Machado	$Y = 15.361x^{1.216}$
Ancón Norte	$Y = 10.622x^{1.256}$

## 2.4 RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE AFORO

En la Tabla 9 y Tabla 10 se presentan los resultados de las mediciones realizadas en los sitios de aforo durante las campañas de medición. En las estaciones marcadas con asterisco (\*) no se realizaron mediciones debido a que las condiciones del tiempo y del flujo no ofrecían las garantías adecuadas en cuanto a seguridad del personal y buen funcionamiento de los equipos.

**Tabla 9. Caudales aforados durante las campañas del año 2010**

ESTACIÓN	CAUDAL (M³/S)	ESTACIÓN	CAUDAL (M³/S)
<b>Campaña 1: Marzo 17 de 2010</b>		<b>Campaña 2: Marzo 23 de 2010</b>	
San Miguel	0.221	San Miguel	0.442
Ancón Sur	2.520	Ancón Sur	2.501
Antes San Fernando *	3.04	Antes San Fernando	2.767
Aula Ambiental	3.619	Aula Ambiental	3.094
Puente Acevedo	6.174	Puente Acevedo	3.614
Puente Machado	6.633	Puente Machado	4.228
Ancón Norte	8.015	Ancón Norte	7.156
Q. La Miel	0.381	Q. Doña María	0.591
Q. La Valeria	0.076	Q. La Aguacatala	0.024
Q. La Grande	0.118	Q. La Presidenta	0.034
Q. La Doctora	0.121	Q. Altavista *	---
Q. La Ayurá	0.387	Q. Santa Elena	0.399
<b>Campaña 3: Abril 14 de 2010</b>		<b>Campaña 4: Abril 21 de 2010</b>	
San Miguel	0.514	San Miguel	0.528
Ancón Sur	4.366	Ancón Sur	2.216
Antes San Fernando	5.471	Antes de San Fernando	4.106
Después San Fernando	8.003	Aula Ambiental	8.846
Aula Ambiental	10.934	Puente Acevedo	10.491
Puente Acevedo	13.321	Puente Machado	11.599
Puente Machado	17.495	Ancón Norte	12.048
Ancón Norte	28.831	Q. La Madera	1.009
Q. La Hueso	0.502	Q. La Santiago	2.758
Q. La Iguaná	1.555	Q. Piedras Blancas	0.280
Q. La Rosa	0.133	Q. La García	1.232
		Q. Hato Viejo	0.192
<b>Campaña 5: Abril 28 de 2010</b>		<b>Campaña 6: Mayo 4 de 2010</b>	
San Miguel	0.450	San Miguel	0.999
Ancón Sur	3.116	Primavera	3.522

RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MEDELLIN- ABURRA EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA FASE III

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)	ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)
Antes San Fernando	4.498	Ancón Sur	4.566
Aula Ambiental	10.144	Antes de San Fernando	13.228
Puente Acevedo	15.555	Después San Fernando	10.802
Puente Machado	23.418	P. Guayaquil	16.724
Ancón Norte	21.242	Aula Ambiental	21.935
Q. la Miel	0.531	Puente Acevedo	34.773
Q. La Valeria	0.239	Puente Machado	53.820
Q. La Grande	0.348	Ancón Norte	64.715
Q. La Ayurá	0.483	Girardota	60.844
Q. La Doctora	0.190	Papelsa	34.856
<b>Campaña 7: Mayo 12 de 2010</b>		<b>Campaña 8: Agosto 11 de 2010</b>	
Q. Piedras Blancas	0.226	Q. La miel	0.288
Q. la García	3.086	Q. La Valera	0.115
Q. el Hato	0.571	Q. La Doctora	0.108
Q. La Madera	0.299	Q. La Ayurá	0.319
Q. La Rosa	0.333	Q. Doña María	0.052
Q. La Iguana	1.299	Q. La Hueso	0.122
Q. Sta. Elena.	1.613	Q. Santa Elena	0.480
Q. La Miel	0.559	Q. La Rosa	0.403
Q. La Valeria	0.187	Q. El hato	0.734
Q. La Grande	0.346	Q. La García	3.304
Q. La Doctora	0.157	Q. Señorial	0.107
Q. La Ayurá	0.637	Q. Niquía	0.003
Q. Doña María	1.774	Q. Rodas	0.135
Q. La Hueso	0.585	Q. Piedras Blancas	0.349
<b>Campaña 9: Agosto 18 de 2010</b>		<b>Campaña 10: Agosto 25 de 2010</b>	
San Miguel	0.218	San Miguel	0.209
Primavera	0.626	Ancón Sur	8.351
Ancón Sur	7.016	Aula Ambiental	22.205
Antes de San Fernando	2.687	Puente Acevedo	35.362
Después San Fernando	13.124	Puente Machado	47.910
Puente Guayaquil	3.334	Ancón Norte	51.968
Aula Ambiental*	---	Q. La Aguacatala	0.062
Puente Acevedo	32.341	Q. Santa Elena	0.460
Puente Machado	47.192	Q. Altavista	0.141
Ancón Norte	65.023	Q. Ayurá	2.466
Girardota	69.319	Q. Doña María	0.877
Papelsa	92.032	Q. La Presidenta	0.247
<b>Campaña 11: Septiembre 01 de 2010</b>		<b>Campaña 12: Septiembre 08 de 2010</b>	
San Miguel	0.266	San Miguel	1.220
Ancón Sur	10.687	Ancón Sur	18.165
Antes de San Fernando	3.084	Aula Ambiental	42.646
Aula Ambiental	4.945	Puente Acevedo	52.748
Puente Acevedo	38.356	Puente Machado	65.722
Puente Machado	16.804	Ancón Norte	82.525
Ancón Norte	49.222	Q. La Madera	0.348
Q. el Hato	0.215	Q. La Rodas	0.166
Q. la Iguana	0.345	Q. La Señorita	0.082
Q. la Hueso	0.115	Q. La García	3.863
Q. la García	3.629		
Q. la Rosa	0.291		
<b>Campaña 13: Septiembre 15 de 2010</b>		<b>Campaña 14: Septiembre 22 de 2010</b>	
San Miguel	1.347	San Miguel	0.388
Ancón Sur	11.310	Ancón Sur	29.991
Antes de San Fernando	12.726	Antes de San Fernando	18.705
Después San Fernando	21.467	Aula Ambiental	44.732
Aula Ambiental	32.060	Puente Acevedo	69.399
Puente Acevedo	39.253	Puente Machado	88.280

ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)	ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)
Puente Machado	54.306	Ancón Norte	101.769
Ancón Norte	60.987	Q. La Presidenta	0.265
Q. Doña María	3.774	Q. Doña María	1.569
Q. Piedras Blancas	2.013	Q. La Hueso	0.224
Q. La Santiago	4.342	Q. La Picacha	0.079
		Q. Altavista	0.171
<b>Campaña 15: Septiembre 29 de 2010</b>			
San Miguel	0.421		
Ancón Sur	19.718		
Antes de San Fernando	22.671		
Aula Ambiental	45.117		
Puente Acevedo	46.860		
Puente Machado	55.154		
Ancón Norte	60.040		
Q. La Iguana	0.619		
Q. Santa Elena	0.879		
Q. La Señorita	0.041		
Q. El Hato	0.246		
Q. Rodas	0.078		

**Tabla 10. Caudales aforados durante las campañas del año 2011**

ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)	ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)
<b>Campaña 16: Marzo 9 de 2011</b>		<b>Campaña 17: Marzo 16 de 2011</b>	
Q. La Miel	0.377	San Miguel	0.739
Q. La Valeria	0.39	Primavera	2.672
Q. La Ayura	0.595	Ancón Sur	4.641
Q. Doña María	3.540	Antes de San Fernando	8.428
Q. La Picacha	0.291	Después San Fernando	10.215
Q. La Hueso	0.642	Puente Guayaquil	11.351
Q. Santa Helena	1.869	Aula Ambiental	17.940
Q. La Rosa	0.231	Puente Acevedo	24.102
Q. La Seca	0.393	Puente Machado	31.225
Q. Piedras Blancas	1.757	Ancón Norte	32.896
Q. La Niquía	0.019	Girardota	34.528
Q. La Señorita	0.155	Tasajera *	12.12 *
Q. El Hato	1.318	Hatillo	90.235
Q. La García	4.173	Papelsa	92.387
<b>Campaña 18: Marzo 23 de 2011</b>		<b>Campaña 19: Marzo 30 de 2011</b>	
San Miguel	2.641	San Miguel	0.897
Q. La Valeria	0.889	Q. La Valeria	0.391
Ancón Sur	18.035	Q. La Miel	1.146
Q. La Ayurá	5.448	Q. Doña María	0.567
Antes San Fernando	31.659	Ancón Sur	10.047
Q. Doña María	6.315	Antes San Fernando	13.781
Q. La Hueso	1.222	Q. La Ayurá	1.723
Q. La Iguana	5.574	Q. La Hueso	0.687
Aula ambiental	59.800	Aula Ambiental	26.017
Puente Acevedo	83.357	Puente Acevedo	30.536
Puente Machado	131.493	Puente Machado	38.649
Ancón Norte	262.897	Ancón Norte	40.435
<b>Campaña 20: Abril 06 de 2011</b>		<b>Campaña 21: Abril 13 de 2011</b>	
San Miguel	1.485	San Miguel	1.016
Ancón Sur	12.67	Ancón Sur	28.84

RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MEDELLIN- ABURRA EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA FASE III

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)	ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)
Antes San Fernando	15.883	Antes San Fernando	34.454
Aula Ambiental	35.640	Aula Ambiental	61.502
Q. Santa Helena	3.219	Q. Santa Helena	2.532
Q. La Madera	0.193	Q. La Madera	0.190
Puente Acevedo	41.560	Puente Acevedo	73.674
Puente Machado	53.205	Puente Machado	84.467
Ancón Norte	87.206	Ancón Norte	134.951
Q. La Rosa	0.102	Q. La Rosa	0.462
Q. El Hato	0.205	Q. El Hato	1.132
Q. La García	0.666	Q. La García	4.347
<b>Campaña 22: Abril 27 de 2011</b>		<b>Campaña 23: Julio 13 de 2011</b>	
San Miguel	2.623	Q. La Valeria	0.771
Q. La Miel	2.48	Q. La Ayurá	2.05
Ancón Sur	28.772	Q. Doña María	2.621
Antes San Fernando	39.193	Q. La Hueso	0.674
Aula Ambiental	66.020	Q. La Iguana	2.451
Q. Altavista	1.550	Q. La Rosa	0.578
Puente Acevedo	70.113	Q. El Hato	0.920
Puente Machado	89.815	Q. La Seca	0.285
Ancón Norte	132.003	Q. La Señorita	0.222
Papelsa	287.868	Q. La García	4.967
Q. La Rodas	0.678	Q. La Rodas	0.436
Q. La Señorita	0.197	Q. La Niquía	0.026
Q. Piedras Blancas	7.022		
<b>Campaña 24: Julio 21 de 2011</b>		<b>Campaña 25: Julio 27 de 2011</b>	
San Miguel	0.954	San Miguel	0.655
Primavera	3.45	Q. La Miel	0.922
Ancón Sur	8.868	Ancón Sur	8.221
Antes San Fernando	14.170	Q. La Doctora	0.374
Después San Fernando	14.552	Antes San Fernando	10.465
Puente Guayaquil	15.052	Aula Ambiental	18.905
Aula Ambiental	27.595	Puente Acevedo	25.754
Puente Acevedo	34.893	Puente Machado	30.156
Puente Machado	37.981	Ancón Norte	32.893
Ancón Norte	42.232	Q. La Señorita	0.156
Girardota	45.161	Q. La Rodas	0.134
Hatillo	78.182	Q. Piedras Blancas	1.326
Descarga Tasajera	29.732		
Papelsa	81.043		
<b>Campaña 26: Agosto 3 de 2011</b>		<b>Campaña 27: Agosto 10 de 2011</b>	
San Miguel	1.071	San Miguel	0.176
Ancón Sur	8.292	Q. La Miel	0.300
Antes San Fernando	11.034	Q. La Valeria	0.054
Después San Fernando	15.274	Ancón Sur	7.918
Q. La Picacha	0.313	Antes San Fernando	9.083
Q. La Seca	0.454	Q. La Ayurá	1.668
Aula Ambiental	20.881	Q. Doña María	1.890
Puente Acevedo	27.505	Q. La Hueso	0.565
Puente Machado	30.769	Aula Ambiental	16.595
Ancón Norte	48.216	Puente Acevedo	20.195
Q. La Santiago	0.999	Puente Machado	26.740
		Ancón Norte	30.333
<b>Campaña 28: Agosto 17 de 2011</b>		<b>Campaña 29: Agosto 24 de 2011</b>	
San Miguel	0.339	San Miguel	0.251
Ancón Sur	5.567	Ancón Sur	6.27
Antes San Fernando	9.332	Antes San Fernando	9.688
Aula Ambiental	15.705	Q. La Iguana	0.557
Q. Altavista	0.148	Q. Santa Elena	0.674

ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)	ESTACIÓN	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)
Q. La Rosa	0.163	Aula Ambiental	17.640
Puente Acevedo	25.196	Q. La Madera	0.129
Puente Machado	39.216	Q. La García	4.548
Q. La Señorita	0.103	Q. El Hato	0.796
Q. La Rodas	0.130	Puente Acevedo	21.987
Q. Piedras Blancas	2.051	Puente Machado	28.320
Ancón Norte	43.398	Ancón Norte	43.793
<b>Campaña 30: Agosto 31 de 2011</b>			
San Miguel	0.310		
Q. La Miel	1.17		
Q. La Valeria	0.257		
R. Medellín (La Miel)	3.484		
Ancón Sur	4.957		
Antes San Fernando	7.604		
Q. La Presidenta	0.038		
Interceptor Oriental	1.365		
Aula Ambiental	16.514		
Q. La Rosa	0.597		
Q. La Seca	0.362		
Puente Acevedo	27.385		
Puente Machado	33.906		
Ancón Norte	35.975		

Debido a que no se realizaron aforos en la estación puente Gabino, se determinaron los caudales en las fechas de cada campaña de campo a través de la metodología de rendimiento hidrológico, de la curva de calibración y de datos de caudal suministrados por EPM. En la Tabla 11 se presentan dichos caudales.

**Tabla 11. Caudal diarios sobre el río Aburrá estación Puente Gabino**

Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Mar-17-2010	70,62	Mar-16-2011	33,84
Mar-23-2010	54,31	Mar-23-2011	110,72
Abr-14-2010	142,2	Mar-30-2011	56,32
Abr-21-2010	80,86	Abr-06-2011	55,79
Abr-28-2010	50,69	Abr-13-2011	165,17
May-4-2010	92,31	Abr-27-2011	185,94
Ago-18-2010	184,00	Jul-27-2011	99,67
Ago25-2010	130,70	Ago-03-2011	158,80
Sep-01-2010	133,70	Ago-10-2011	84,70
Sep-08-2010	209,30	Ago-17-2011	132,00
Sep-15-2010	141,30	Ago-24-2011	202,10
Sep-22-2010	212,80	Ago-31-2011	103,10
Sep-29-2010	221,00		

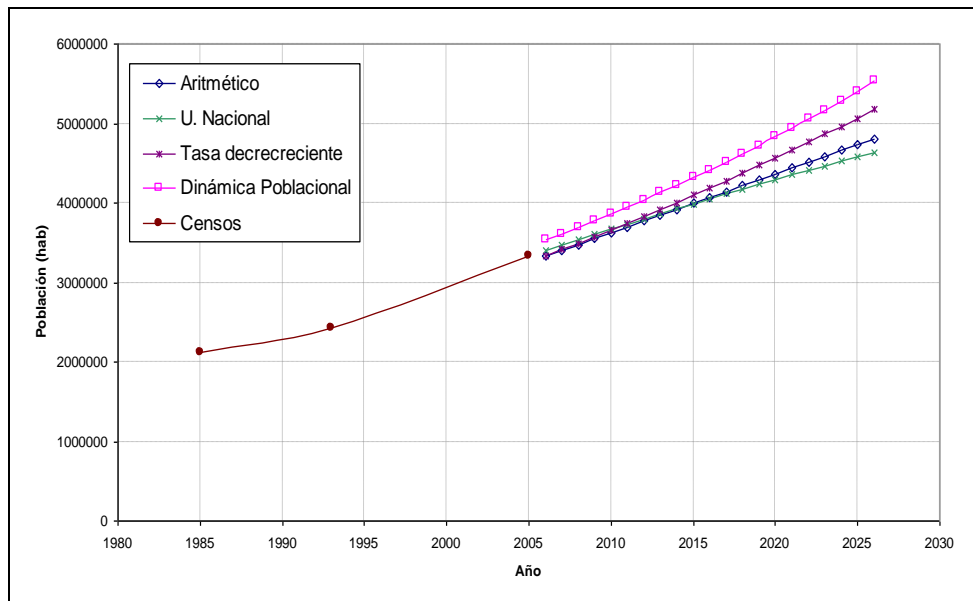
## 2.5 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN LA ZONAS RURALES – VALLE DE ABURRÁ

La estimación de la oferta y la demanda hídrica se concentró en las áreas rurales que se encuentran por encima de la cota de servicio del acueducto, ya que son las áreas que dependen de las propias fuentes de agua del Valle del río Aburrá.

Se realizó una actualización de los estudios realizados anteriormente para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y se compararon las proyecciones obtenidas en el estudio

denominado Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá, con el cambio de normativa en términos de dotación.

De acuerdo con la información revisada del POMCA (2005), se tiene que en este estudio para determinar la demanda de agua en la cuenca, se trabajó con datos de población obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), incluido el censo del año 2005. Adicionalmente se tuvo en cuenta la población rural que habita en la cuenca del río Aburrá de los municipios: Don Matías, Guarne, San Vicente, Santo Domingo y Yolombó. Esta población se obtuvo con las proporciones del área de cada municipio a saber, Guarne (22%), Don Matías (19%), San Vicente (29%), Santo Domingo (26%) y Yolombó (0.6%) que se encuentran dentro de la cuenca. Las proyecciones de la población se realizaron hasta el año 2020, y se aplicaron métodos matemáticos (método aritmético, geométrico, variación logarítmica, método de la Universidad Nacional y el método de la tasa decreciente) y el método de dinámica poblacional. En la Figura 11 se muestra una comparación de las proyecciones de la población usando diferentes metodologías, en esta figura se descartaron los métodos Logarítmico y Geométrico por presentar valores muy diferentes a los demás.



**Figura 11. Comparación de la metodología de Dinámica Poblacional con otros métodos para las proyecciones en la cuenca del río Aburrá**

En general, las proyecciones evaluadas con las diferentes metodologías presentan valores similares, siendo el método de la Dinámica Poblacional el que presenta los valores más altos. Teniendo en cuenta un criterio conservador y que dicho modelo relaciona las variables propias de la cuenca (además el horizonte de planificación es de mediano plazo) se consideró que este método representa en buena medida la dinámica de la población en la cuenca del río Aburrá. Por lo tanto sus proyecciones se usaron para la estimación de la demanda de agua potable en el POMCA.

La estimación de los consumos de agua se realizó definiendo los posibles escenarios de demanda de agua potable en la cuenca en un horizonte de 13 años (hasta el año 2020), para lo cual se plantearon tres escenarios de dotación: Un escenario positivo (escenario N° 1), el cual supone un uso eficiente del recurso y una consecuente disminución en la dotación (disminuye un 15%); un escenario normal (escenario N° 2), el cual considera que el consumo permanece estable en el tiempo; y un escenario negativo (escenario N° 3), donde el consumo se incrementa debido a la no racionalización del agua (aumenta un 15%). En los tres escenarios de dotación se plantea un decrecimiento de las pérdidas en el sistema, que actualmente son del 35.47%, esperando que en el año 2020 se alcancen un 34.47 % de pérdidas totales, de éste modo, se presume una disminución anual del 0.077% en las pérdidas totales (Área normalización y Soporte aguas, EEPPM, 2007). En la Figura 12 se presentan los resultados de la demanda de agua potable para los habitantes de la Cuenca del río Aburrá, considerando que tanto los usuarios rurales como urbanos tienen la misma dotación de agua diaria.

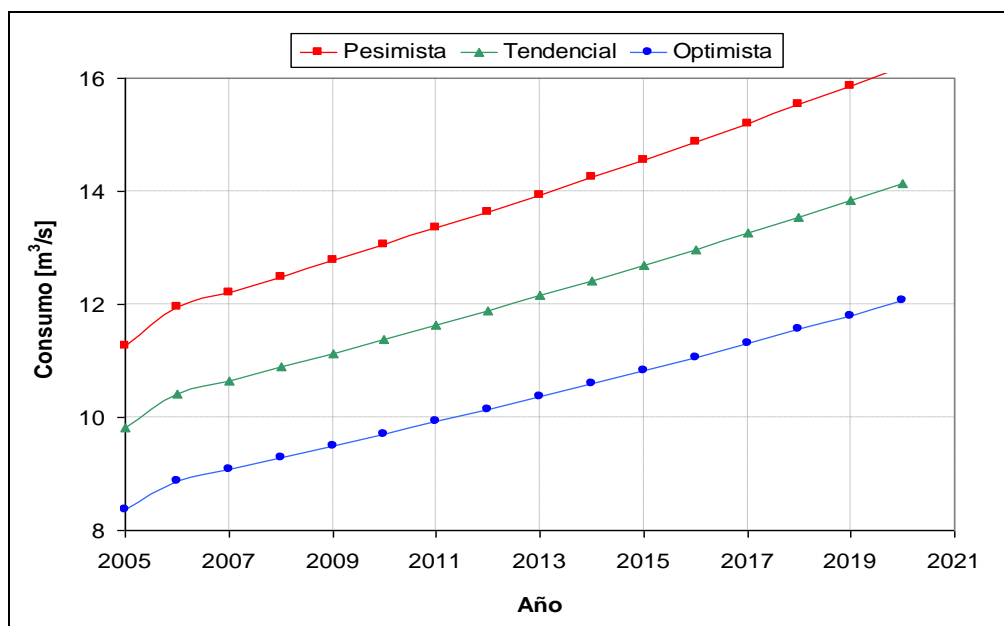


Figura 12. Proyección de la demanda de agua para habitantes de la Cuenca del río Aburrá.

El estudio concluyó que dado que la capacidad instalada de las plantas de tratamiento de agua de EEPPM es de 17.25 m³/s, ésta es suficiente para abastecer la demanda de agua potable en la cuenca durante todo el horizonte de planificación, inclusive en el escenario pesimista de uso del recurso hídrico.

En la actualización de la demanda hídrica obtenida en el POMCA (2005) se tuvieron en cuenta los cambios de normatividad en materia de dotación y reducción del Índice de Agua No Contabilizada (INAC), así como la determinación del peso de los sectores industrial, comercial y oficial en el consumo de agua potable.

A partir del análisis de datos de consumo del SUI (Sistema Único de Información de Servicios Públicos), una base de datos alimentada por las empresas prestadoras de servicios públicos



domiciliarios, se estimó la demanda incluyendo los sectores industrial, comercial, oficial y residencial. Con base en la información existente en el SUI, de la empresa EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, se realizó un análisis de la distribución de la demanda de agua en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Se obtuvo información consolidada entre los años 2003 y 2009 de registros de consumo residencial, comercial, industrial, oficial y otros. La distribución por municipios de consumo total de agua para el AMVA; muestra que el municipio de Medellín ejerce la mayor presión sobre el recurso (70%), seguido principalmente por los municipios de Bello (9%), Itagüí (8%) y Envigado (6%). Entre estos cuatro municipios se concentra el 93% de la demanda de agua, mientras que de manera minoritaria aparecen Sabaneta, Caldas, Girardota, La Estrella, Copacabana y Barbosa. La distribución de consumo no residencial por municipios para el AMVA dio un comportamiento similar a la distribución por municipios de consumo total, lo que indica que la presión que ejerce sobre el recurso los municipios de Medellín, Bello, Itagüí y Envigado, se presenta para todos los sectores de consumo analizados. Con base en los registros del SUI, se analizó la variación temporal de la distribución de la demanda para los municipios de Medellín, Bello, Itagüí y Envigado, que abarcan el 93% del total del consumo de agua del AMVA. El análisis dio como resultado que en el municipio de Medellín el sector residencial representa el sector de mayor consumo (80%), seguido por los sectores comercial (9%) e industrial (6%), y que la distribución ha permanecido prácticamente invariable durante los años de registro (2003, 2006 y 2009), presentando un leve descenso en el sector industrial. En los años 2003, 2006 y 2009, la distribución del consumo de agua para el municipio de Itagüí con mayor consumo se presenta en el sector residencial (71%), seguido por los sectores industrial (15%) y comercial (8%), esta distribución ha permanecido prácticamente invariable durante los años de registro, presentando un leve descenso en el sector industrial. Contrario al comportamiento observado para Medellín, en Itagüí se presenta una actividad industrial importante respecto a otros sectores, representando un factor a considerar en el consumo de agua. En cuanto al municipio de Bello, en los años 2003, 2006 y 2009, la distribución del consumo de agua con mayor consumo se presenta en el sector residencial (86%), seguido el sector oficial (8%), se presentan aparentemente cambios en la distribución del consumo, aumentando de manera considerable la demanda de sectores económicos. En el municipio de Bello se presenta una actividad industrial y comercial moderada, pero creciente (por lo menos en lo que respecta al consumo de agua) y un alto porcentaje de consumo en el sector oficial, contrario al comportamiento de los municipios de Medellín e Itagüí. En el municipio de Envigado la distribución del consumo de agua en los años 2003, 2006 y 2009, al igual que en los otros municipios, el sector residencial representa el mayor consumo (83%), lo siguen el sector comercial (7%) e industrial (5%), y se presentan aparentemente cambios en la distribución del consumo, aumentando la demanda del sector residencial. En el municipio de Envigado se presenta una distribución de consumo similar a la presentada por Medellín, pero creciente en el sector residencial y decreciente en el sector comercial (por lo menos en lo que respecta al consumo de agua).

En cuanto a la oferta hídrica del Valle de Aburrá, esta fue obtenida del estudio Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá, en el cual se identificó que un alto porcentaje del agua consumida en la cuenca del río Aburrá es importada de cuencas vecinas, generándose una condición de dependencia hídrica ya que la cantidad de agua producida al interior de la cuenca para su consumo interno es realmente baja. Para distribuir el agua potable en la población del Valle de Aburrá, EEPPM cuenta con diez plantas de tratamiento para abastecer la demanda. De éstas, seis toman el agua de la cuenca del río Aburrá, y las

cuatro restantes utilizan agua de otras cuencas. La capacidad instalada de estas plantas es de 17.25 m<sup>3</sup>/s.

En el proyecto Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá se realizó un inventario de los acueductos comunitarios existentes en la cuenca del río Medellín. De acuerdo con el inventario los acueductos comunitarios en el área de la cuenca, son más de 36.000 los suscriptores de acueductos locales, es decir, unas 160.000 personas consumiendo el agua suministrada a través de estos sistemas. Se aclara que éste es un dato subestimado, porque la información es dispersa y en muchos casos no está completa. De acuerdo con el reporte de las concesiones, el caudal total otorgado a los sistemas comunitarios para el consumo doméstico es 0.76 m<sup>3</sup>/s. Con una dotación diaria de 211 litros/hab/día y una de 242 litros/hab/día (escenario pesimista) este caudal sería suficiente para una población cercana a las 311,200 y 271,300 personas respectivamente. La principal conclusión que se obtiene a partir de la información recopilada, es que el aporte de las comunidades locales a la prestación del servicio de acueducto es muy significativo, pero sobre todo, que en la cuenca del río Aburrá se está subutilizando el recurso hídrico disponible para el consumo.

Teniendo en cuenta la dependencia hídrica del Valle de Aburrá de las cuencas aledañas, en el proyecto Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá, se realizó el análisis de los caudales mínimos para las cuencas externas abastecedoras y se definió el caudal regulable por los embalses, esto lo realizaron con el fin de visualizar el escenario que eventualmente pueda presentarse como el más desfavorable y así diseñar un plan contingencia para resolver el déficit. Los embalses que proveen el agua para gran parte de la zona rural del Valle de Aburra son el embalse de Río Grande II, el embalse La Fe y el embalse de Piedras Blancas. La estimación de los caudales mínimos en el POMCA fue realizada utilizando el modelo de los tanques, para la calibración de los modelos de tanques para las diferentes cuencas aferentes a cada embalse se tuvieron en cuenta las estaciones de caudal diarias operadas por EEPPM y localizadas en cada región de estudio. Del análisis realizado, se obtuvo que los embalses son capaces de regular el caudal medio multianual que almacena, el cual fue de 8.6 m<sup>3</sup>/s para La Fe y 18.0 m<sup>3</sup>/s para Río Grande, para un caudal total regulable de 26.6 m<sup>3</sup>/s.

También se realizó un análisis de la disponibilidad hídrica en la zona rural, para lo cual se utilizó una metodología que tiene en cuenta la situación actual de abastecimiento de agua potable de la población rural y urbana en la cuenca. Para determinar la disponibilidad, se supuso que la oferta hídrica de cada una de los municipios no varía a lo largo de los años, y que la demanda varía de acuerdo con el crecimiento de la población. De acuerdo con el análisis, en general se obtuvo que los municipios que hacen parte del análisis de la disponibilidad hídrica, no presentan situaciones deficitarias en el horizonte de proyección de la demanda.

Un análisis del comportamiento actual de la cuenca con respecto a su posible autosuficiencia también se realizó en el POMCA (2005), para lo cual se utilizó el índice de escasez. Se definieron tres puntos de control de dicho índice: Ancón Sur, Ancón Norte y la salida de la cuenca (desembocadura de la quebrada Santiago). Para determinar el índice de escasez utilizaron la metodología para el análisis de disponibilidad propuesta por el IDEAM. Esta metodología se basa en la aplicación de la Resolución 0865 de 2004. En la obtención de la oferta hídrica se empleó el caudal medio ponderado usando dos factores, uno por calidad de aguas y otro referido al caudal ecológico, cada uno del 25%. Se tomó el valor del 25% para el

caudal ecológico, ya que para las subcuencas del POMCA dicho caudal no fue calculado. En la Tabla 12 se presenta la clasificación del índice de escasez según el IDEAM. El factor de reducción usado fue de 1.778. A medida que el factor de reducción es mayor, va a presentar situaciones de escasez más graves.

**Tabla 12. Categorización índice de escasez**

CATEGORÍA	RANGO	COLOR	EXPLICACIÓN
Alto	> 50 %	Rojo	Demanda alta
Medio alto	21 – 50 %	Naranja	Demanda apreciable
Medio	11 – 20 %	Amarillo	Demanda baja
Mínimo	1 – 10 %	Verde	Demanda muy baja
No significativo	< 1 %	Azul	Demanda no significativa

Fuente: POMCA, 2005.

En la Tabla 13 se muestra el resultado del índice de escasez en los tres puntos de control por los dos métodos antes comentados.

**Tabla 13. Resultados Índice de Escasez**

Factor de Reducción, $Fr = 1.778$			
$Ie = Fr \cdot Dh / Oh$			
Punto de Control	Índice de escasez (%)		
	Ancón Sur	Ancón Norte	Salida Cuenca
Q med ( $m^3/s$ )	7.35	63.29	34.75
Categoría	Minimo	Alto	Medio Alto

Fuente: POMCA, 2005

## 2.6 CALIDAD

### 2.6.1 Físicoquímica

La valoración de la calidad del agua, mediante parámetros de calidad de agua físicoquímicos 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. Su ventaja radica en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos.

#### 2.6.1.1 Estaciones

A continuación se presenta el resumen de los estimadores para las ocho estaciones sobre el río y las quebradas en cada año de ejecución del proyecto:

**Tabla 14. Estimadores de las estaciones sobre el río para el 2010**

ESTACIONES	ESTIMADOR	SST	DBO5	OD	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	DQO
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(uS/cm)	(mg/L)
San Miguel (E1)	Media	21,78	2	7	29	12
	Mediana	5	1,09	7,5	28,9	4,9
	Min	1,24	0,001	6,27	21,22	1
	Max	175	7,6	7,8	34,77	40,6
Ancón Sur (E3)	Media	211	20	7	145	52
	Mediana	119	15,2	7,33	119,2	37,3
	Min	15	5	5	87,4	19,9
	Max	733	49	7,72	413	127
Antes de S. Fernando (E5)	Media	161	21	6	210	63
	Mediana	149	16,6	6,7	146	60,5
	Min	26	13,5	3,44	105,5	30,2
	Max	442,83	37,01	7,8	724,72	103
Aula Ambiental (E8)	Media	315	41	6	309	111
	Mediana	228,5	32,4	6,43	270	91,6
	Min	84	13,3	4,4	203,7	27,4
	Max	859,8	139,77	6,85	503,69	334,9
Puente Acevedo (E9)	Media	236	101	3	436	207
	Mediana	159	93,55	2,9	384	187,7
	Min	108,9	54,97	0,498	255	120,8
	Max	520,2	167,33	5,87	924,5	294,7
Puente Machado (E11)	Media	385,72	100	3	377,33	211,7
	Mediana	320	99,33	3,4	359,5	204,4
	Min	137,17	54,6	0,65	245	114,1
	Max	704	174,73	5,76	572,5	365
Ancón Norte (E12)	Media	506	103	2	419	230
	Mediana	361,2	69,13	1,78	349	140,8
	Min	163,5	27,2	0,19	239	73,9
	Max	1606,5	346,9	3,9	699,9	793,58
Puente Gabino (E20)	Media	351,703	42,7291	6,97182	209,566	85,6
	Mediana	272	40,92	7,25	177	84,5
	Min	34,8	11,03	5,55	128,4	43
	Max	776	89,9	7,58	389,3	137,5

**Tabla 15. Estimadores de las estaciones sobre el río para el 2011**

ESTACIONES	ESTIMADOR	SST	DBO5	OD	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	DQO
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(uS/cm)	(mg/L)
San Miguel (E1)	Media	34,448	6	7	28	16
	Mediana	44	1	7,57	29,1	5
	Min	1,24	0,001	5,89	20	3,6
	Max	75	20	8,17	36,9	46,1
Ancón Sur (E3)	Media	246	11	7	104	54
	Mediana	345	8,2	7,45	102	65,8
	Min	39	1,9	7	92,7	29,8
	Max	435	23,2	7,77	122,1	73,5
Antes de S. Fdo (E5)	Media	294	24	7	110	55
	Mediana	98	16,2	7,13	111,3	47,3
	Min	50	6,9	6,48	96	23,8
	Max	808,8	59,8	7,29	120,4	109,6
Aula Ambiental (E8)	Media	444	37	6	224	74
	Mediana	341,07	35,89	5,66	230	68,6
	Min	160	31,8	5,5	147,8	65,2
	Max	1083,5	45,8	7,65	304	89
Puente Acevedo (E9)	Media	433	80	5	326	158

**RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MEDELLIN- ABURRA EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA FASE III**

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

	Mediana	268,1	80,51	5,05	261	155,6
	Min	265,86	44,15	3,1	202,4	92
	Max	927,75	134,4	6,71	533	265,7
Puente Machado (E11)	Media	432,212	63	4	278,78	135,5
	Mediana	354,83	64,54	4,84	289	128,8
	Min	89,7	38,85	1,54	199,9	82
	Max	876,33	85,7	6,84	349	195,7
Ancón Norte (E12)	Media	456	63	3	274	126
	Mediana	332,6	52,9	2,84	255	102
	Min	285,83	41,14	1,39	198,4	92
	Max	1029,67	105	5,42	383	222,3
Puente Gabino (E20)	Media	490,79	23,866	7,154	154,02	47,942
	Mediana	360,25	21,6	7,01	139,2	46,84
	Min	113	12,97	6,92	127,5	25,1
	Max	1355,75	36,14	7,46	190,7	68,6

**Tabla 16. Estimadores de las quebradas durante el proyecto**

ESTACIONES	ESTIMADOR	SST	DBO5	OD	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	DQO
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(uS/cm)	(mg/L)
1	Media	272,675	34,595	6,60875	169,425	132,475
	Mediana	111	29,55	7,005	134,8	137,1
	Min	59	11,6	3,9	102,9	49,1
	Max	1108	60,4	7,55	291,7	242
2	Media	61,4429	10,4257	6,80571	89,2714	36,8429
	Mediana	45	6,7	6,82	97	34
	Min	23,5	4,18	5,79	63	19
	Max	131	27,7	7,49	124,5	67,1
3	Media	51,62	8,802	6,398	112,3	39,68
	Mediana	38	11,6	6,76	104,8	41,4
	Min	13,4	1,4	4,6	70,8	19,4
	Max	136	12,19	7,21	151,5	53,9
4	Media	204,814	18,5843	7,06429	93,2143	72,2857
	Mediana	130	16	6,91	86,3	54
	Min	34,5	9,4	6,19	54,9	51,3
	Max	801	39,49	8,09	150,6	123
5	Media	50,5	6,73	7,11667	180,567	24,7333
	Mediana	26	4,79	7,1	162,8	24,1
	Min	24,5	1,4	7	154,9	13,7
	Max	101	14	7,25	224	36,4
6	Media	34,1	34,84	5,755	219,6	79,8
	Mediana	34,1	34,84	5,755	219,6	79,8
	Min	4	5,7	4,6	219,2	8,7
	Max	64,2	63,98	6,91	220	150,9
7	Media	18,625	7,875	5,945	258,25	28,475
	Mediana	13,75	6,7	5,995	232,7	28
	Min	4	4	4,7	183,8	12,3
	Max	43	14,1	7,09	383,8	45,6
8	Media	486,8	66,5433	6,28	271,4	145,733
	Mediana	431,4	39,63	6,46	275	82,3
	Min	49	13,2	4,9	236	53,7
	Max	980	146,8	7,48	303,2	301,2
9	Media	2818,26	72,9188	5,37125	332,5	226,4
	Mediana	1406	60,55	5,31	308,75	188,75
	Min	511,4	33,7	3,35	241	98,2
	Max	10894	144,05	7,35	470	386,4
10	Media	109,998	70,4925	4,79875	328,6	168,662
	Mediana	90,45	73,2	5,43	332	179,2
	Min	66	37,25	1	179,4	88,7

**RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MEDELLIN- ABURRA EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA FASE III**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL**

	Max	188,1	110,53	7,76	486,8	268,9
11	Media	134,262	25,265	5,535	232,383	59,1833
	Mediana	111	26,85	5,87	221	62,1
	Min	32	14,9	3	169,1	28,6
	Max	283,57	32,99	7,32	324,8	76,7
12	Media	213,771	138,257	5,31625	451,088	327,762
	Mediana	161,525	137,55	5,855	450,4	307,15
	Min	123,22	78,2	1,49	367	272,7
	Max	510	201,62	7,23	533	404,8
13	Media	132,6	127,15	5,8975	523,7	272,725
	Mediana	117,05	127,65	5,9	531,3	243,2
	Min	100	114,6	5,12	400	151,4
	Max	196,3	138,7	6,67	632,2	453,1
14	Media	877,862	15,575	6,87375	86,5875	114,375
	Mediana	838,75	14,35	7,085	76,2	65,1
	Min	420	2,8	5,2	61,4	40,5
	Max	1586,7	43,9	8,03	156,6	418,5
15	Media	18,4667	6,40833	7,34833	116,217	21,0983
	Mediana	19,65	1,35	7,4	84,65	12,6
	Min	8,5	1,1	6,38	61,3	2,6
	Max	23	31,62	8,1	224,2	60,6
16	Media	15,8333	1,47	7,10333	61,9	6,53333
	Mediana	7	1,01	7,16	58,6	5,9
	Min	4	1	6,95	52,6	1
	Max	36,5	2,4	7,2	74,5	12,7
17	Media	129,745	115,775	5,33333	390,833	263,667
	Mediana	122,9	104,75	5,695	383,5	248,35
	Min	76	66,9	2,87	338	130
	Max	200	205,05	6,22	472	483,4
18	Media	26,46	47,712	7,02	396,6	99,12
	Mediana	27	40,36	7,24	392	80,6
	Min	15	12,2	6,53	351	56
	Max	42	88,4	7,34	463	152,5
19	Media	186,667	11	6,49667	287,133	59,1667
	Mediana	194	11,4	6,79	254	64,4
	Min	16	6,5	5,4	206,4	47,5
	Max	350	15,1	7,3	401	65,6
20	Media	785,25	49,9525	6,7875	253,775	132,263
	Mediana	822	47,405	6,74	259	130,1
	Min	191	33,9	6,47	206,1	76,95
	Max	1306	71,1	7,2	291	191,9
21	Media	617,25	45,51	6,63	300,75	124,25
	Mediana	256,5	45,07	6,695	297,5	122,35
	Min	121	34,6	5,96	288	71,9
	Max	1835	57,3	7,17	320	180,4
23	Media	333,389	33,4956	6,03778	156,078	86,1667
	Mediana	186,1	28,53	6,32	129,2	77,3
	Min	22,5	9,7	3,4	99,9	32
	Max	1622	76,55	7,78	319,3	157,6
24	Media	819,219	97,85	5,91625	300,438	233,005
	Mediana	881,25	69,93	6,34	247	198,15
	Min	426,2	58,9	2,06	193,1	119,2
	Max	1087	178,9	7,09	636,7	525,2
Total	Media	436,793	49,2881	6,20496	241,864	131,918
	Mediana	131	33,7	6,67	224	88,7
	Min	4	1	1	52,6	1
	Max	10894	205,05	8,1	636,7	525,2

### 2.6.1.2 Perfil del río

En este numeral se describe el comportamiento de las variables DBO<sub>5</sub>, SST, oxígeno disuelto, que son las reglamentadas por el Decreto 3100 de 2003, además de la conductividad eléctrica y la DQO por considerarse parámetros de interés en el río Aburrá - Medellín, esto para los dos años de ejecución de la tercera fase del proyecto.

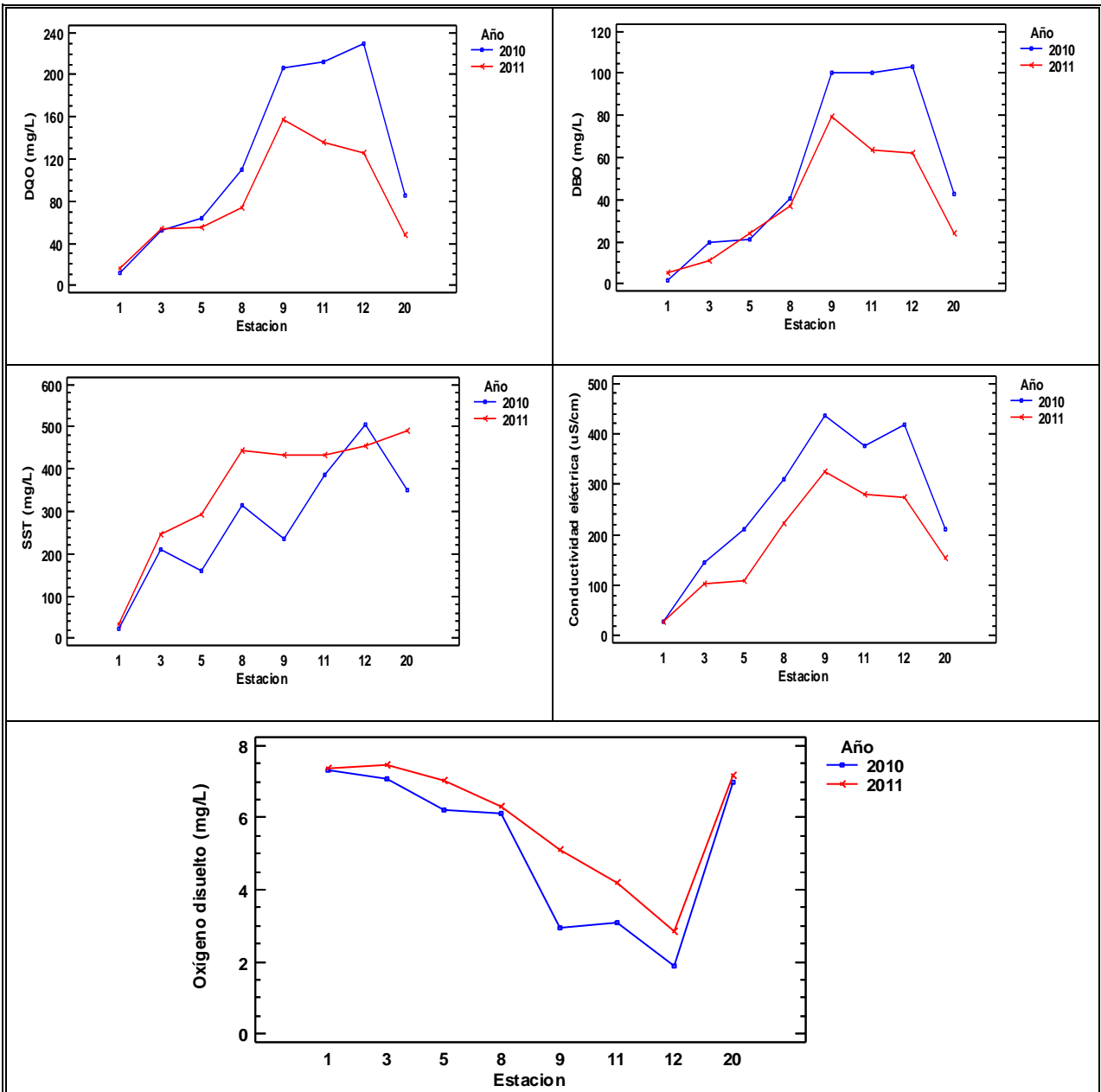


Figura 13. Variación de parámetros en el perfil del río durante los dos años de ejecución de la fase III

De acuerdo con la Figura 13, se observa una tendencia similar creciente hasta la estación Ancón Norte (E12) y un decrecimiento hacia la estación Puente Gabino (E20) de las variables DQO, DBO<sub>5</sub>, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales, caso contrario ocurre con los registros de la variable oxígeno disuelto, la cual se comportó de manera inversa, siendo correspondientes estos resultados con el significado de cada variable.

Se reitera con este comportamiento de los resultados, el deterioro de la calidad del agua conforme se avanza en el río hasta llegar a las estaciones Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11) y Ancón Norte (E12), a partir de esta última estación las condiciones de calidad del agua mejoran hasta llegar a Puente Gabino (E20). Cabe resaltar que el trayecto donde se presentan las condiciones más desfavorables de calidad, corresponde al tramo en el cual el río recibe la descarga de los interceptores de aguas residuales sin tratar de EPM y de las quebradas que presentan el menor saneamiento en el Valle de Aburrá, posterior a este tramo crítico comienza una zona de características principalmente rurales, con presencia de quebradas con mejor calidad de agua, el ingreso de Tasajera y Río Grande, por tanto la dilución es el principal benefactor de la calidad del río en este tramo.

En el caso de los sólidos suspendidos, se observa que estos no guardan una relación de aumento proporcional a la cuenca urbanizada como pasa con las demás variables sino que su aumento está relacionado con las condiciones climáticas, de manera que cuando se presentan lluvias se espera un incremento de esta variable (incluso valores extremos) tanto en la zona urbana como en la zona rural y con las actividades mineras de extracción de material que se desarrollan en las partes altas y medias de las quebradas, sumado a los procesos erosivos predominantes en algunas microcuencas.

Al comparar los dos años, se encontró que las variables DQO, DBO<sub>5</sub>, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica exhibieron condiciones más críticas en el 2010, lo cual es consecuente con el caudal presentado en el río, el 2010 se caracteriza por condiciones de niveles bajos y altos, mientras que el 2011 por niveles medios y altos, adicionalmente, durante el primer semestre de 2010 se presentaron los caudales más bajos registrados en las tres fases del proyecto y estaba finalizando un periodo de intenso verano que se inició desde el segundo semestre de 2009 (fenómeno del niño), por lo cual el río presentaba unas condiciones bastante críticas, producto del bajo caudal de aguas propias del río y el constante vertimiento de aguas residuales, esto hizo que se generara acumulación de sedimentos en algunos tramos del río y que el caudal no ocupara la totalidad del cauce disponible, estas condiciones conllevaron a cambios no solo en la calidad fisicoquímica sino también en la biológica.

Posterior a la temporada de verano de 2010, se inició el invierno lo que hizo que los sedimentos acumulados se re-suspendieran, generando demandas de oxígeno y deteriorando la calidad del agua, además, a medida que las lluvias continuaban, se dio un lavado total del cauce, por lo cual cuando finalizó el 2010 se tenía un cauce totalmente renovado, que continuó lavándose durante el primer semestre de 2011 y solo a mediados de este año se presentó un período de verano que fue corto y además con presencia de lluvias aisladas, por lo que no tuvo un efecto tan fuerte en la calidad del agua del río.



## 2.6.2 Biología

### 2.6.2.1 Algas perifíticas

Durante el 2010 y 2011 se consideró un análisis espacial y temporal en el eje principal del río Aburrá - Medellín y algunas quebradas afluentes que contempló 15 y 9 campañas para el 2010 y 2011 respectivamente. En términos generales se evidenció que la estación San Miguel (E1) es la que tiende a registrar la mayor diversidad de organismos por unidad de área, adicionalmente la mayor densidad en este sitio fue registrada en la primera campaña de campo, realizada el 17 de marzo de 2010, presentándose una disminución aproximada de 35.000 a 12.500 individuos/cm<sup>2</sup> solo entre la primera y segunda campaña de muestreo. Otras estaciones de muestreo como Ancón Sur (E3), Aula Ambiental (E8), Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Ancón Norte (E12) y Puente Gabino (E20) también evidenciaron una mayor densidad de individuos durante algunas campañas del 2010.

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 individuos/cm<sup>2</sup>. Las quebradas La Valeria (Q1), La Ayurá (Q4), La Grande (Q5) tienden a registrar las mayores densidades entre el grupo de quebradas con cantidades superiores a 7.500 individuos/cm<sup>2</sup>. 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 individuos/cm<sup>2</sup>.

En la mayoría de los sitios ubicados sobre el río las densidades medias fueron menores a 2500 individuos/cm<sup>2</sup>, tendencia similar en el grupo de sitios localizados en las quebradas. En ambos grupos de estaciones (sobre el río y quebradas) fueron detectadas diferencias estadísticamente significativas en las medianas de las densidades considerando como factor de análisis las estaciones. En la serie temporal fue notable una disminución de las densidades asociada al orden en que fueron realizados los muestreos, especialmente durante el año 2010. La mayoría de los registros espaciales y temporales de riqueza de organismos por unidad de área en los sitios ubicados sobre el río se encuentran por debajo de 5 morfotipos.

El carácter de las densidades y la riqueza numérica es bajo a excepción de la estación San Miguel (E1), lo cual es un indicador de que el río no posee condiciones ecológicas ni ambientales favorables para la colonización masiva y diversa de algas perifíticas, sin embargo, el análisis del ensamblaje de la comunidad permite establecer e identificar diferencias espaciales y temporales y por lo tanto identificar sitios y momentos críticos de la contaminación y recuperación del río. Es necesario mencionar que la temporada invernal agudizó el efecto abrasivo sobre los sustratos inmersos en la corriente, este es un importante factor de estrés natural para las algas perifíticas, lo cual es de orden, magnitud e incidencia diferencial con respecto a la contaminación del agua.

### 2.6.2.2 Macroinvertebrados

En la Figura 14 se muestra el mapa de la zona de estudio en donde se visualiza la red hidrográfica y las imágenes de algunos de los organismos más representativos determinados en cada una de las estaciones de muestreo establecidos sobre el río Aburrá-Medellín en la toma de muestras efectuada en 2010 y 2011. Entre estos es importante resaltar al tricóptero *Mortoniella* en E1 (San Miguel) y en el sector El Refugio, aunque en este sitio también cabe

incluir al tricoptero *Phylloicus*. El odonato *Hetaerina* es uno de los que más sobresale en Primavera (E2), así como también Hirudinea (“Sanguijuela”) en E3 y E20, el díptero *Chironomus* (E5 y E6), el molusco *Physa* (E7, E8, E16 y E19) y los anélidos Haplotaxida en E9, E11, E13 y E14, y la familia Tubificidae en las estaciones 12, 15 y 17.

- **Conclusiones y recomendaciones**

En el muestreo efectuado en 2010 se determinaron 75 taxa de macroinvertebrados acuáticos y en las campañas realizadas en 2011 se capturaron 67. No obstante, es de precisar que la frecuencia en el muestreo fue diferente entre 2010 y 2011, donde en 2010 se realizó un mayor número de campañas de campo, factor que pudo incidir en los resultados.

La mayoría de los taxa identificados en los muestreos de 2010 y 2011 en E1 (San Miguel) representan una buena calidad biológica del agua. Esta apreciación es un indicio de las condiciones ambientales prevalecientes en este sector del río Aburrá-Medellín.

Según el análisis de la distribución espacio-temporal de los sitios establecidos sobre el río y con referencia a la composición de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos, se concluye que con relación a las estaciones muestreadas en 2010 y 2011, la mayoría de estas se asocian con deterioro ambiental en menor o mayor grado. A través de estos resultados, se nota la influencia que sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos ejercen actualmente, el vertimiento de aguas residuales, la deposición de residuos sólidos ordinarios y/o de construcción o demolición y los efectos por canalización y modificación del cauce.

De acuerdo con los resultados espaciales obtenidos en los muestreos realizados en 2010 y con énfasis en el análisis de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y en los valores del índice biótico BMWP, las estaciones ubicadas sobre el río se agrupan en cinco categorías. La primera la constituye la estación que presentó la mejor calidad biológica del agua (San Miguel). En la segunda categoría se incluyen aquellos sitios medianamente contaminados (Primavera, Puente Gabino). La tercera está representada por la estación establecida en Ancón Sur (Buena calidad a medianamente contaminados). Antes de San Fernando, Después de San Fernando, Puente Guayaquil, Aula Ambiental, Puente Acevedo y EADE comparten la cuarta categoría ambiental (medianamente contaminados a muy contaminados). En la quinta se ubican aquellas estaciones que se relacionan con aguas muy contaminadas (Puente Machado, Ancón Norte, Puente Girardota, Parque de las Aguas, Hatillo, Papelsa, Popalito, Niquía).

Una tendencia similar se refleja en las estaciones ubicadas sobre el río en los muestreos realizados en 2011, en donde un 5.3% se asocia con aguas de buena calidad (San Miguel), 10.5% con ambientes moderadamente contaminados, 27.8% (moderadamente a muy contaminados) y un 55.5% con aguas muy deterioradas.

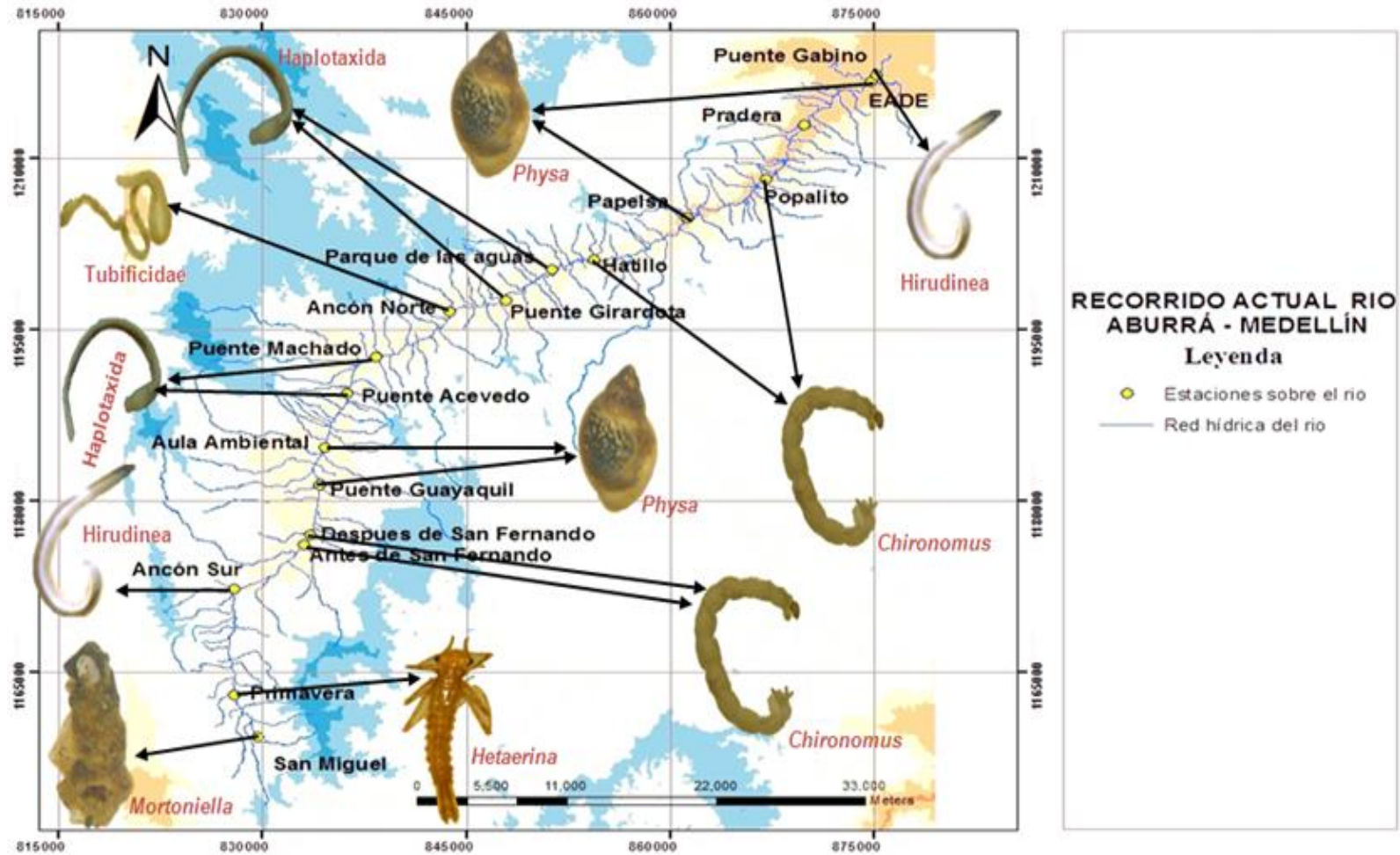


Figura 14. Algunos de los macroinvertebrados acuáticos más representativos determinados en el río Aburrá-Medellín en los muestreos realizados en el año 2010 y 2011.

En relación con la calidad biológica del agua registrada en las quebradas muestreadas en 2010, 32% se asocian con sistemas moderadamente contaminados a muy contaminados y 45% con aguas muy contaminadas. Estos porcentajes estuvieron muy cercanos a los establecidos en 2011, donde el 40% de las quebradas se relacionan con ambientes moderadamente a muy contaminados y el 50% con aguas muy contaminadas. Lo anterior, es indicativo del vertimiento directo de aguas residuales a estas corrientes. Además, en aquellas quebradas influidas por procesos de canalización y rectificación del cauce, el número encontrado de taxa fue bajo. La modificación de los hábitats naturales, alterando las características del sustrato ha incidido en los procesos de colonización. Es de suponer, que en estas corrientes a las cuales se les ha cambiado las condiciones naturales del cauce y alterado el régimen hidráulico, el muy bajo número de taxa, como por ejemplo el encontrado en la quebrada La Rosa, sea consecuencia del arrastre al cual pueden estar sometidos estos organismos debido a las condiciones prevalecientes en su cauce.

Teniendo en cuenta la composición de los macroinvertebrados acuáticos y los puntajes obtenidos por el índice BMWP/Col, la calidad biológica del agua de las quebradas muestreadas en 2010, se representa en cinco categorías. A la primera pertenece la quebrada La Santiago (buena calidad) y a la segunda categoría, la quebrada Piedras Blancas (Buena calidad a medianamente contaminada). La tercera, la cual se ubica en el rango de contaminación media la constituyen, las quebradas La Miel, La Doctora y La Grande. Por su parte, las quebradas, La Ayurá, La Aguacatala, La Presidenta, El Hato, La Señorita, Rodas y Niquía se incluyen en la categoría de medianamente contaminadas a muy contaminadas, y entre aquellas corrientes que se relacionan con un alto deterioro del agua (muy contaminadas) se encuentran, La Valeria, Doña María, Altavista, La Hueso, Santa Helena, La Iguana, La Rosa, La Madera, La García y La Picacha.

En 2011 y de acuerdo con los resultados arrojados por la composición de los macroinvertebrados acuáticos y por el índice biótico BMWP/Col las quebradas se agrupan en cuatro categorías. La Santiago y Piedras Blancas se ubican en las mismas categorías establecidas para el 2010. Por su parte, La Valeria, La Miel, La Doctora, Doña María, La Ayurá, La Presidenta, La Iguaná y El Hato, se incluyen en la categoría de moderadamente a muy contaminadas y con la cuarta categoría se relacionan aquellas corrientes que representan ambiente muy contaminados (La Hueso, Santa Helena, La Rosa, La Madera, Santa Helena, La García, La Señorita, Niquía, La Picacha, La Seca y La Chuscala).

### **2.6.3 Cargas Contaminantes encontradas en el río durante el período 2010 -2011**

Los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo sobre el río Aburrá - Medellín, desarrolladas en la fase III permitieron el cálculo de cargas contaminantes a lo largo del perfil del río para las variables DBO<sub>5</sub>; DQO y sólidos suspendidos en base a una clasificación de caudales altos medios y bajos encontrados históricamente en el río Aburrá. En la Tabla 17 se muestran los códigos de cada una de las estaciones ubicadas sobre el eje del río.

Se hace claridad sobre la información de la estación final Puente Gabino y que no fue incluida en las gráficas debido a la distancia de las demás estaciones con este punto y lo que ello significa en términos del tiempo de viaje del agua entre la estación Ancón Norte (E12) y la última Puente Gabino (E20) lo cual hace que el evento de utilización de aguas que se mide en la zona urbana durante el día de monitoreo se traslade y pase por el último punto de medición en horas de la madrugada del día siguiente, por lo tanto en la estación Puente Gabino

generalmente se medirán los eventos de la noche anterior de aguas arriba es decir en la zona urbana, horas más horas menos dependiendo del caudal.

Tabla 17. Listado de estaciones sobre el río con su respectivo código de identificación.

ESTACIÓN	
E1	SAN MIGUEL
E3	ANCÓN SUR
E5	ANTES DE SAN FERNANDO
E8	AULA AMBIENTAL
E9	PUENTE ACEVEDO
E11	PUENTE MACHADO
E12	ANCÓN NORTE

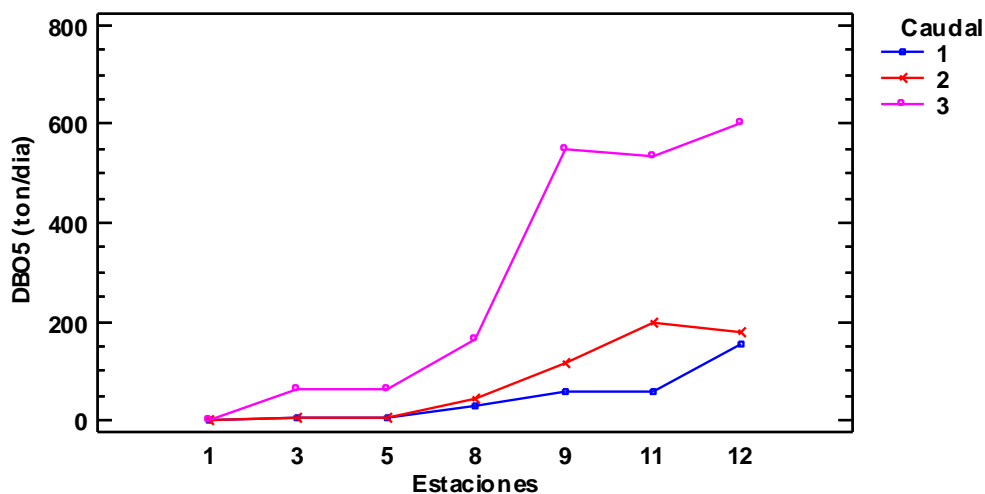


Figura 15. Perfil de carga de DBO en estaciones sobre el río, medidas durante caudales altos, medio y bajo, en el desarrollo de la fase III

En la Figura 15 se muestra la carga de DBO<sub>5</sub> en el perfil del río para diferentes eventos de caudal como son: bajo medio y alto; para el escenario de caudales bajos se nota un máximo en la estación Ancón Norte de 180 ton/día, en el escenario de caudales medios una carga de DBO<sub>5</sub> alrededor de 200 ton/día y para caudales altos se tiene una carga máxima en la estación Ancón Norte de 600 ton/día aproximadamente. Estos valores se acercan a los promedios en cada clasificación de alto medio y bajo.

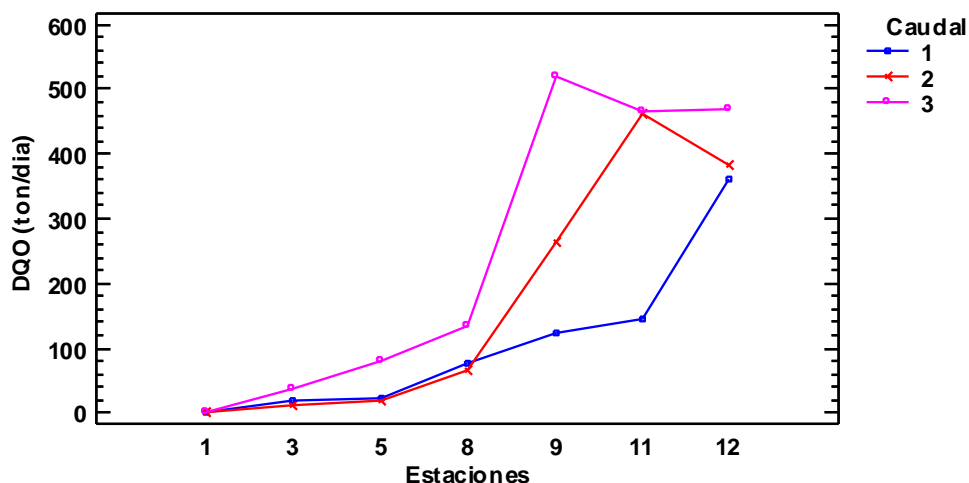


Figura 16. Perfil de carga de DQO en estaciones sobre el río, medidas durante caudales altos, medio y bajo, en el desarrollo de la fase III

En cuanto a la DQO se refieren fueron encontrados valores cercanos a 360 ton/día como valor máximo en la estación Ancón Norte, en el caso de nivel bajo de caudal, este valor es superado ligeramente por el nivel medio de caudal donde muestra un valor más cercano a los 480 ton/día en la estación Puente Machado y para el caso de caudales altos, un valor máximo en la estación Puente Acevedo superior a 500 ton/día; es preciso aclarar que los valores máximos de contaminantes en el río se presentan en el tramo Puente Acevedo - Ancón Norte, sin que necesariamente una de ellas resalte por presentar frecuentemente valores máximos.

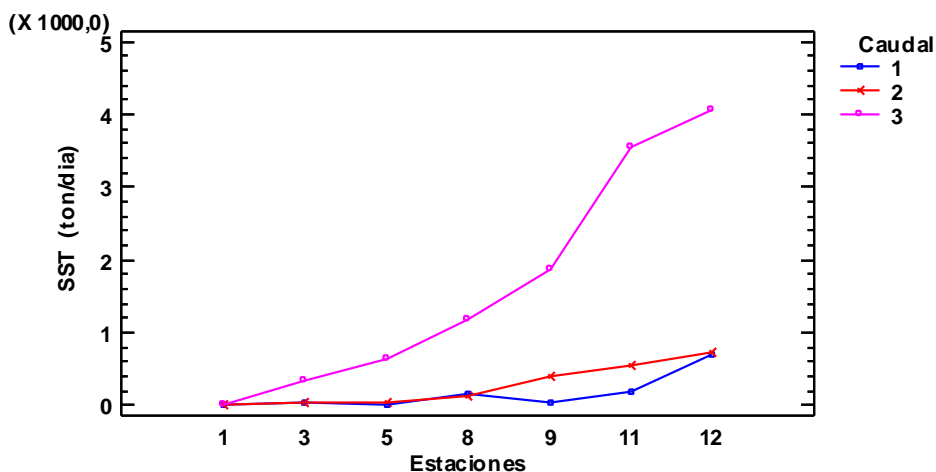


Figura 17. Perfil de carga de SST en estaciones sobre el río, medidas durante caudales altos, medio y bajo, en el desarrollo de la fase III

Los niveles bajos y medios de carga de sólidos suspendidos casi coinciden en un valor máximo cercano a 800 ton/día en la estación Ancón Norte y es superado por un valor de niveles altos de caudal cercano a 4000 ton/día en la estación Ancón Norte, ésta última el punto de entrega de la zona urbana hacia otra sección de la cuenca más rural con disminución ostensible de los vertimientos y aumento de la dilución por parte de afluentes limpios de la zona rural hasta la última estación Puente Gabino. Los valores mostrados en las gráficas anteriores surgieron de una clasificación histórica de caudales y son representativos de una serie de muestreos desarrollados durante el 2010 y 2011 en el marco de la fase III del proyecto RedRío.

#### **2.6.4 Indicadores**

La evaluación de la calidad de las aguas es un tema difícil, en el que se discute cuáles son los mejores indicadores para conocer el estado del agua. 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.

Los índices de calidad de agua 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. Para la fase III del proyecto, se contó con la formulación de métodos cuantitativos, la cual se realiza mediante técnicas estadísticas y matemáticas que producen una ecuación con la combinación de variables que reflejan la calidad de un ambiente mediante un resultado numérico.

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 ICA del río Aburrá – Medellín. En el ámbito local existen ICA formulados y adaptados para las condiciones ambientales de Colombia, como es el índice cualitativo ICACOSU formulado por el IDEAM en el 2009, el cual es una herramienta principal de acuerdo con las políticas nacionales para el recurso hídrico publicadas en el 2010.

En la fase III del proyecto se plantea la formulación de nuevos indicadores de calidad de agua para el río Aburrá – Medellín, para ello se tuvieron en cuenta variables fisicoquímicas y biológicas registradas tanto en ésta como en la fase II y por tanto épocas de caudales altos, medios y bajos. Con estos nuevos ICA se busca una mayor precisión en la valoración de la calidad del agua, ya que se tuvieron en cuenta una buena cantidad de datos registrados en diferentes escenarios de caudales.

En el documento correspondiente al informe de indicadores se presenta de manera detallada el proceso de formulación y cálculo de los diferentes indicadores utilizados tanto para el río como para las quebradas (ICA global e ICACOSU).

### 2.6.4.1 Aplicación de los indicadores de calidad utilizados para el río Aburrá – Medellín

A continuación se presenta de manera resumida la información de calidad del agua obtenida a partir de la aplicación de los indicadores ICA Global e ICACOSU para el río.

Comparación de resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad de agua global a las campañas de muestreo de las tres fases del proyecto sobre el río Aburrá – Medellín

En la Tabla 18 se presenta la comparación de los resultados promedio de la aplicación del indicador de calidad para caudales globales a las muestras compuestas obtenidas en los cuatro años de monitoreo del proyecto.

**Tabla 18. 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**

ESTACIONES DE MUESTREO	PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2004		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2006		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2010		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL AÑO 2011	
	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN
San Miguel (E1)	3.24	Buena	2.51	Buena	3.64	Aceptable	2.94	Buena
Ancón Sur (E3)	7.29	Regular	7.16	Regular	7.74	Regular	6.91	Aceptable
Antes de San Fernando (E5)	10.71	Mala	8.79	Regular	8.72	Regular	7.33	Regular
Aula Ambiental (E8)	11.40	Mala	10.62	Mala	11.38	Mala	10.07	Regular
Puente Acevedo (E9)	14.05	Muy mala	12.50	Mala	14.46	Muy mala	12.51	Mala
Puente Machado (E11)	13.09	Mala	13.52	Mala	14.96	Muy mala	12.24	Mala
Ancón Norte (E12)	12.76	Mala	12.50	Mala	15.00	Muy mala	12.39	Mala
Puente Gabino (E20)	10.01	Regular	7.90	Regular	9.87	Regular	7.89	Regular

De acuerdo con la información consignada en la Tabla 18 se puede observar que en general, las condiciones de 2006 (fase II) son similares a las de 2011 (segunda etapa de la fase III) 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 inició principalmente en las quebradas del sur.



En el 2010 (primera etapa de la fase III) se incrementaron las condiciones de criticidad, 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 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 caudal 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 ser un año lluvioso con predominio de caudales medios y altos, pero con un lecho renovado durante todas las campañas.

Igualmente, llama la atención al comparar 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 19 se visualiza la variación del ICA global para diferentes niveles de caudal, un escenario de caudales bajos, que es cuando generalmente se registran los valores más críticos de calidad, lo cual se evidencia en los resultados obtenidos, presentándose condiciones de mayor deterioro para siete de las ocho estaciones monitoreadas sobre el río. En el escenario de caudales medios, se percibe una ligera mejora en los valores encontrados para el ICA global, para las estaciones San Miguel, Antes de San Fernando, y Puente Gabino, sin embargo, conservan condiciones de criticidad las estaciones Puente Acevedo, Puente Machado y Ancón Norte, guardando relación con la acumulación de aguas residuales y residuos sólidos que se da en dicho tramo. Finalmente, se presenta la variación del ICA global para caudales altos, donde los valores del índice son menos drásticos, como resultado del efecto de dilución generado por los incrementos de caudal. Es entonces importante tener en cuenta los registros de caudales al momento de comparar resultados en el tiempo, con pasadas o futuras caracterizaciones de calidad de agua superficial, dado que se ha reafirmado en esta fase la incidencia de las condiciones climáticas sobre el comportamiento y calidad del agua en la cuenca del río Aburrá – Medellín.

Es importante llamar la atención en la importancia que tiene la variable sólidos suspendidos totales (SST) en las corrientes de la cuenca, debido entre otros, a las pendientes de estos cuerpos de agua, la deforestación en las partes altas y medias de las microcuencas, la erosión, la actividad minera representada en explotación de material en los cauces y en las laderas. Por lo anterior, y considerando además los resultados de esta variable en las tres fases del proyecto, para el caso específico de la cuenca del Valle de Aburrá, los SST se convierten en un indicador de gran importancia y es por ello que se presentan a continuación las medidas obtenidas para esta variable en los cuatro años de seguimiento (ver Tabla 20).

**Tabla 19. Resumen promedio indicador global para diferentes niveles de caudal**

ESTACIONES DE MUESTREO	PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL EN CAUDALES BAJOS		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL EN CAUDALES MEDIOS		PROMEDIO DE INDICADOR GLOBAL EN CAUDALES ALTOS	
	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN
San Miguel (E1)	4.13	Aceptable	3.17	Buena	3.33	Buena
Ancón Sur (E3)	9.46	Regular	7.09	Regular	6.96	Aceptable
Antes de San Fernando (E5)	10.98	Mala	7.75	Regular	7.59	Regular
Aula Ambiental (E8)	14.46	Muy Mala	10.88	Mala	9.56	Regular
Puente Acevedo (E9)	17.36	Muy Mala	14.19	Muy Mala	12.06	Mala
Puente Machado (E11)	18.58	Muy Mala	14.43	Muy Mala	11.92	Mala
Ancón Norte (E12)	19.41	Muy Mala	14.23	Muy Mala	11.89	Mala
Puente Gabino (E20)	12.06	Mala	9.00	Regular	8.27	Regular

**Tabla 20. Comparación de los resultados de SST promedio de los muestreos realizados en las tres fases del proyecto**

ESTACIONES	PROMEDIO SST 2004	PROMEDIO SST 2006	PROMEDIO SST 2010	PROMEDIO SST 2011
San Miguel (E1)	13.25	3.58	21.78	34.45
Ancón Sur (E3)	50.93	129.40	211.14	245.80
Antes de San Fernando (E5)	135.26	242.80	161.21	294.27
Aula Ambiental (E8)	239.75	353.90	315.07	443.51
Puente Acevedo (E9)	160.28	196.00	235.99	432.53
Puente Machado (E11)	523.73	307.90	385.72	432.21
Ancón Norte (E12)	266.35	211.70	505.96	456.48
Puente Gabino (E20)	673.23	187.30	351.70	490.79

En la Figura 18 se observa la variación de los sólidos suspendidos totales en el perfil del río para los cuatro años de medición del proyecto. Al comparar dichos años, se evidencia que los valores de sólidos suspendidos promedio para el 2011 fueron los más altos debido, entre otras, a las condiciones de caudales altos y medios, esto reafirma lo encontrado en los resultados obtenidos de los análisis puntuales de las campañas, en cuanto a que en épocas de lluvias fuertes sobre el Valle de Aburrá, se registran aumentos considerables en la concentración de sólidos fijos y suspendidos, debido al arrastre y la re-suspensión que genera la velocidad del agua, y a los diferentes grados de erosión que se presentan sobre el cauce del río y en especial de sus quebradas afluentes, sumado a esto debe considerarse el incremento de sólidos generado por las actividades mineras en las microcuencas, el cual es significativo en las quebradas: La Picacha, La Hueso, La Altavista, García y El Hato.

Como se observa en la Figura 18, las obras de saneamiento no parecen tener un impacto en las concentraciones de SST, esto debido a que no provienen de las aguas residuales domésticas e industriales, sino como se dijo anteriormente de las actividades mineras, la erosión y la re-suspensión, por esto su comportamiento en el río es totalmente fluctuante y se dificulta obtener fácilmente un modelo que represente las variaciones de este parámetro.

Comparación de resultados promedio del ICA Global e ICACOSU en las campañas de muestreo de 2010 y 2011 sobre el río Aburrá – Medellín

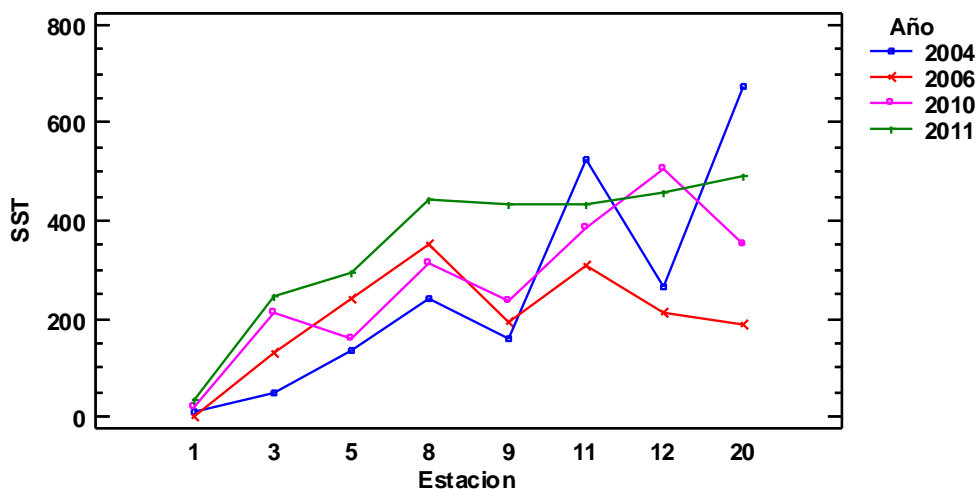


Figura 18. Variación anual de los SST en las tres fases del proyecto

En la Tabla 21 se presenta una comparación para 2010 y 2011 de las medias de los resultados de calidad obtenidos mediante los indicadores ICA Global e ICACOSU sobre el río. Es importante resaltar que el indicador ICA Global involucra la variable BMWP más no la variable Sólidos Suspendidos Totales (SST) y viceversa para el ICACOSU.

Tabla 21. Comparación de los resultados promedio de los indicadores ICA global e ICACOSU para el río durante la fase III

ESTACIONES	2010				2011			
	ICA GLOBAL		ICACOSU		ICA GLOBAL		ICACOSU	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
San Miguel (E1)	3.64	Aceptable	0.85	Aceptable	2.94	Buena	0.74	Aceptable
Ancón Sur (E3)	7.74	Regular	0.62	Regular	6.91	Aceptable	0.57	Regular
Antes de San Fernando (E5)	8.72	Regular	0.56	Regular	7.33	Regular	0.58	Regular
Aula Ambiental (E8)	11.38	Mala	0.47	Mala	10.07	Regular	0.45	Mala
Puente Acevedo (E9)	14.46	Muy mala	0.36	Mala	12.51	Mala	0.37	Mala
Puente Machado (E11)	14.96	Muy mala	0.31	Mala	12.24	Mala	0.33	Mala
Ancón Norte (E12)	15.00	Muy mala	0.29	Mala	12.39	Mala	0.32	Mala
Puente Gabino (E20)	9.87	Regular	0.50	Mala	7.89	Regular	0.52	Regular

Según se puede observar, para 2010, la calidad del agua registrada por ambos indicadores en el tramo comprendido entre las estaciones San Miguel (E1) y Aula Ambiental (E8) fue la

misma, pasando de condiciones aceptables en E1 a condiciones regulares en la parte media (E3 y E5) y luego a mala en E8, mientras que para el comprendido entre Puente Acevedo (E9) y Ancón Norte (E12) se da una diferenciación entre las calidades obtenidas por cada indicador, para el ICA Global se dio una condición de muy mala y para el ICACOSU de mala, esto puede estar asociado a la variable BMWP, la cual se ve afectada tanto por las condiciones de calidad del agua propias del río en el trayecto demarcado por estas estaciones, como por las condiciones climáticas. Dado que durante el primer semestre de 2010 se dieron los caudales más bajos registrados en el río Aburrá – Medellín, la calidad fisicoquímica y biológica del mismo se vio afectada negativamente, especialmente en el último tramo citado, el cual se caracteriza por recibir los vertimientos de aguas residuales transportadas por los interceptores del alcantarillado de EPM, así como los efectuados sobre algunas corrientes tributarias (quebradas La Rosa, La Madera, El Hato, La García y La Señorita, principalmente) lo que altera en mala medida a las comunidades biológicas presentes en el lecho del río. Además, durante el segundo semestre del mismo año se dio comienzo a un período de invierno muy acentuado, en el cual se presentaron algunos de los caudales más altos registrados en el histórico del río, los cuales producen un lavado del lecho y reducen significativamente las comunidades biológicas presentes en él, esto también afecta negativamente el BMWP-Col. Esta afectación no se ve registrada en los resultados arrojados por el ICACOSU, para el cual la calidad mala predomina desde Aula Ambiental (E8) hasta Puente Gabino (E20) debido principalmente a la re-suspensión y arrastre de sólidos suscitado por el incremento del caudal.

Para el 2011 se da una mejoría en la calidad obtenida mediante el ICA Global, pasando de aceptable a buena en E1, de regular a aceptable en E3, de mala a regular en E8 y de muy mala a mala entre E9 y E12, mientras que mediante el ICACOSU se obtienen condiciones semejantes para ambos años, con excepción de Puente Gabino (E20) en donde la calidad evoluciona de mala a regular (Ver Figura 19 y Figura 20). Para este año, la condición de caudales altos favoreció la dilución de las cargas contaminantes, factor que puede influenciar positivamente en la mejoría de la calidad del agua registrada.

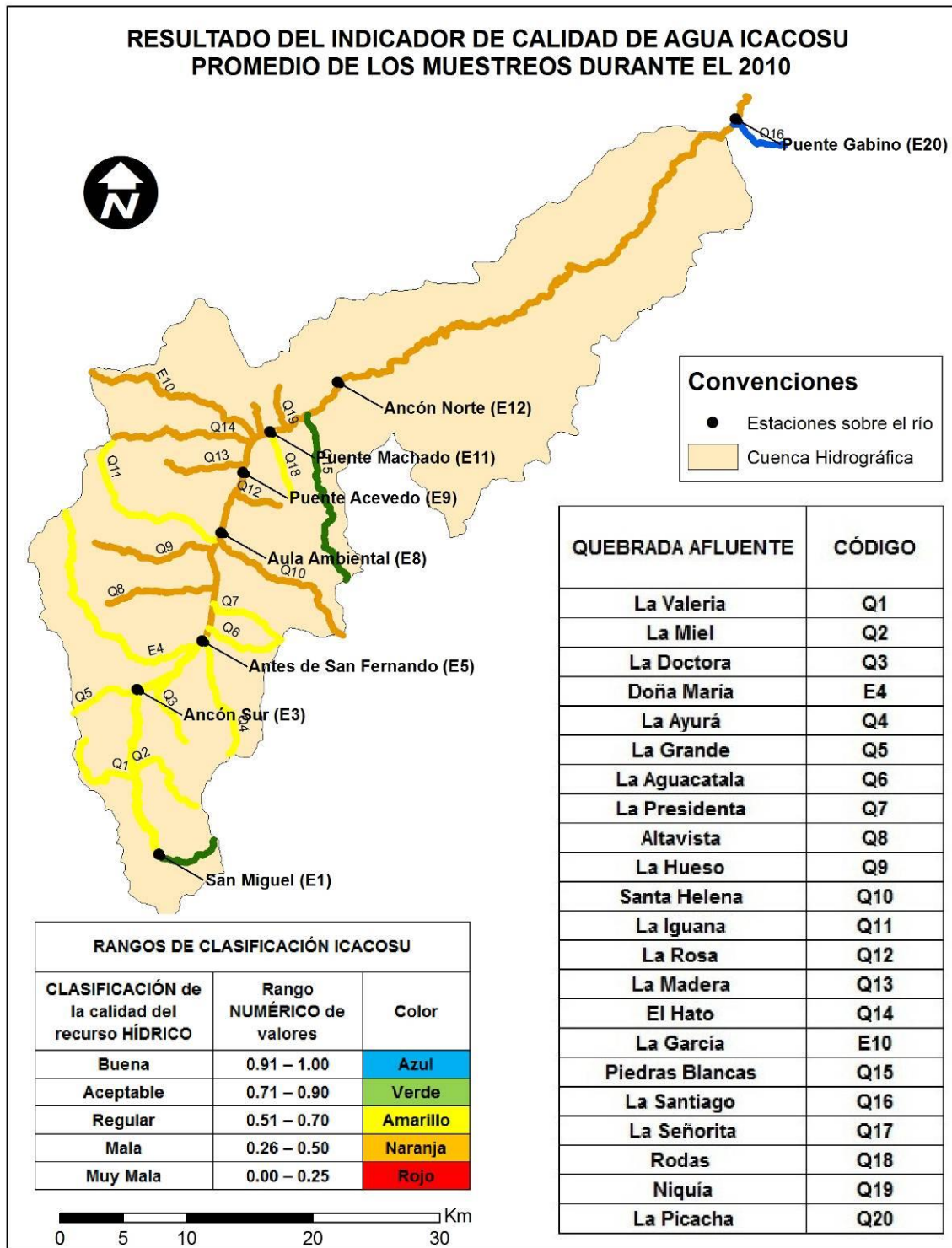


Figura 19. Resultados indicador de calidad de agua ICACOSU para 2010

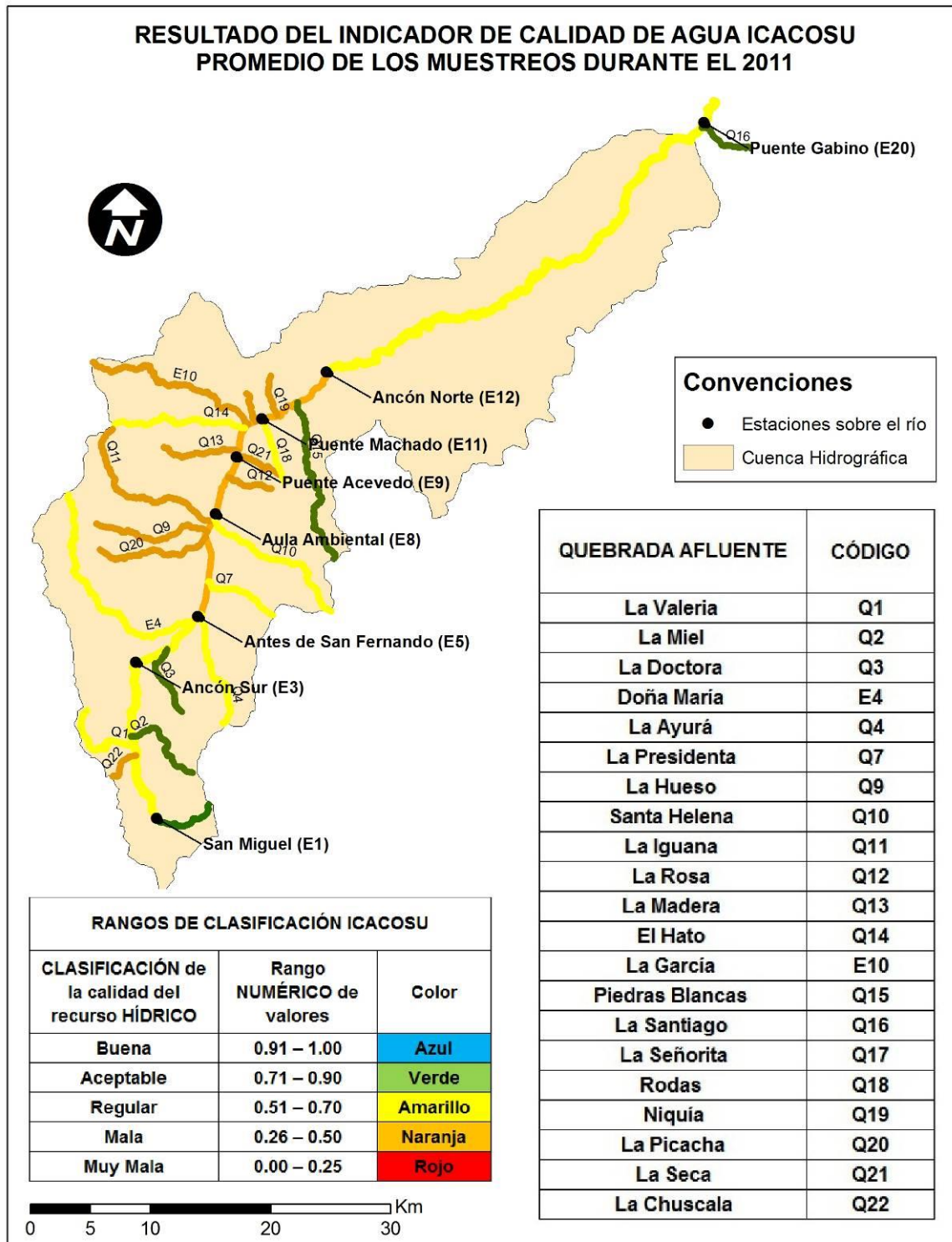


Figura 20. Resultados indicador de calidad de agua ICACOSU para 2011

### 2.6.4.2 Aplicación de los indicadores de calidad utilizados para las principales corrientes tributarias al río Aburrá – Medellín

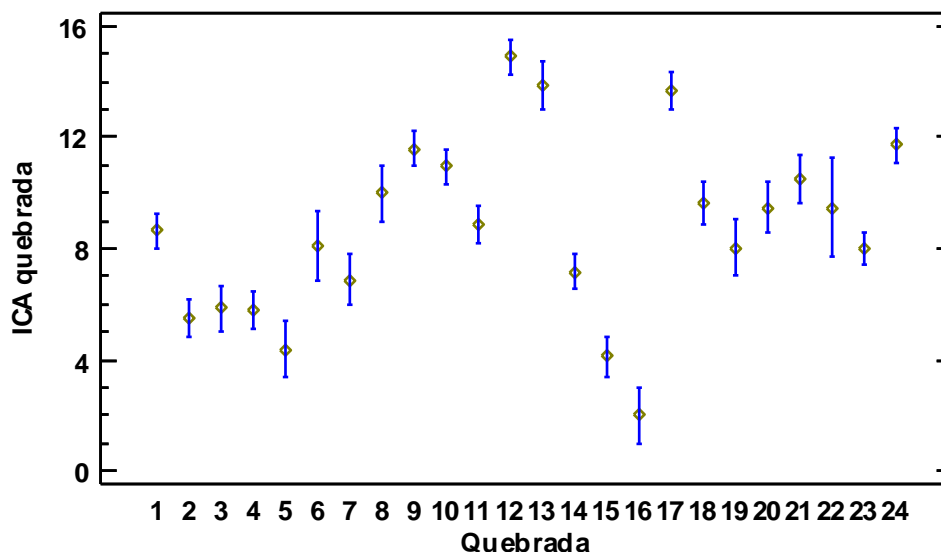
La información de calidad del agua de las principales quebradas tributarias al río, obtenida mediante la aplicación de los indicadores ICA Global e ICACOSU, se presenta a continuación.

En la Tabla 22 se muestran los resultados del indicador ICA global calculado para las principales quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín durante la fase III del proyecto. Es importante resaltar que el ICA global solo se ha calculado para quebradas durante ésta fase, por tanto no se cuenta con información suficiente para realizar una comparación con las dos anteriores, inclusive, el indicador se calculó de manera general para esta última y no para cada uno de los dos años que la comprende debido a que algunas de ellas solo fueron monitoreadas en uno de los años.

**Tabla 22. Resumen promedio indicador global para quebradas durante la fase III**

ESTACIONES DE MUESTREO	PROMEDIO DEL INDICADOR ICA GLOBAL EN LA FASE III	
	VALOR	CALIFICACIÓN
La Valeria	8.64	Regular
La Miel	5.49	Aceptable
La Doctora	5.85	Aceptable
La Ayurá	5.79	Aceptable
La Grande	4.35	Aceptable
La Aguacatala	8.09	Regular
La Presidenta	6.89	Aceptable
Altavista	9.97	Regular
La Hueso	11.59	Regular
Santa Helena	10.94	Regular
La Iguaná	8.86	Regular
La Rosa	14.90	Mala
La Madera	13.88	Mala
El Hato	7.15	Aceptable
Piedras Blancas	4.15	Aceptable
La Santiago	2.01	Buena
La Señorita	13.66	Mala
Rodas	9.63	Regular
Niquía	8.05	Regular
La Picacha	9.49	Regular
La Seca	10.48	Regular
La Chuscala	9.48	Regular
Doña María	8.03	Regular
La García	11.73	Regular

En la Figura 21 se muestra la variación de los resultados obtenidos por el ICA global para las principales quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín mediante intervalos de confianza, en la cual se presentan los valores medios, máximos y mínimos obtenidos para este indicador.



**Figura 21. Variación de los intervalos para las medias del ICA global en quebradas durante la fase III**

De acuerdo con el ICA global, se puede apreciar que La Santiago es la quebrada que mejores condiciones de calidad presenta, dado que esta es una corriente de montaña y se encuentra ubicada en una zona alejada de asentamientos poblacionales, lo cual hace que su afectación antrópica sea mínima y su calidad dependa de las condiciones naturales de la microcuenca. Con calidad aceptable se encuentran las quebradas La Miel, La Doctora, La Ayurá, La Grande, La Presidenta, Piedras Blancas y EL Hato, este conjunto de corrientes, a diferencia de la última, se caracteriza por contar con obras de saneamiento que permiten la recuperación de la calidad de sus aguas; para El Hato se encontró una calidad aceptable dado que el ICA global no considera la variable SST, los cuales representan una problemática marcada la calidad de esta microcuenca. El resto de las quebradas citadas en la Tabla 22 registraron una calidad regular, a diferencia de La Rosa, La Madera y La Señorita, las cuales obtuvieron una calificación mala en sus condiciones de calidad debido a que son las corrientes objeto de estudio más afectadas por vertimientos directos de aguas residuales domésticas.

Comparación de resultados promedio del ICACOSU en las campañas de muestreo de 2010 y 2011 sobre las principales quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín

En la Tabla 23 se presentan las medias de los resultados arrojados por el indicador ICACOSU para las principales quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín calculadas para los años 2010 y 2011 durante el transcurso de la fase III del proyecto. Se resalta que las casillas en blanco corresponden a corrientes que no fueron monitoreadas en el año respectivo.



**Tabla 23. Comparación de resultados promedio del ICACOSU en quebradas durante la fase III**

ESTACIONES	RESULTADO PROMEDIO ICACOSU			
	2010		2011	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación
La Valeria (Q1)	0.54	Regular	0.54	Regular
La Miel (Q2)	0.58	Regular	0.76	Aceptable
La Doctora (Q3)	0.67	Regular	0.71	Aceptable
La Ayurá (Q4)	0.60	Regular	0.54	Regular
La Grande (Q5)	0.67	Regular	-	-
La Aguacatala (Q6)	0.63	Regular	-	-
La Presidenta (Q7)	0.61	Regular	0.68	Regular
Altavista (Q8)	0.40	Mala	-	-
La Hueso (Q9)	0.32	Mala	0.35	Mala
Santa Helena (Q10)	0.44	Mala	0.51	Regular
La Iguaná (Q11)	0.52	Regular	0.48	Mala
La Rosa (Q12)	0.43	Mala	0.42	Mala
La Madera (Q13)	0.45	Mala	0.47	Mala
El Hato (Q14)	0.48	Mala	0.54	Regular
Piedras Blancas (Q15)	0.80	Aceptable	0.76	Aceptable
La Santiago (Q16)	0.92	Buena	0.77	Aceptable
La Señorita (Q17)	0.46	Mala	0.40	Mala
Rodas (Q18)	0.60	Regular	0.61	Regular
Niquía (Q19)	0.36	Mala	0.43	Mala
La Picacha (Q20)	0.36	Mala	0.34	Mala
La Seca (Q21)	-	-	0.40	Mala
Doña María (E4)	0.55	Regular	0.54	Regular
La García (E10)	0.28	Mala	0.30	Mala

En general, se puede observar una mejoría en las condiciones de calidad del agua de algunas quebradas del sur, centro y parte norte de la cuenca del río, tales como La Miel, La Doctora, Santa Helena y El Hato, para las cuales se pasa de una calidad regular a una aceptable para las dos primeras, y de mala a regular para las últimas. Esta mejoría en la calidad del agua está ligada con las condiciones climáticas y sus efectos propios en cada uno de los dos años citados, donde para 2010 se tuvieron condiciones extremas verano e invierno, mientras que para 2011 predominó el invierno, lo que conlleva a que en períodos secos las condiciones de calidad sean más desfavorables debido a que la columna de agua de la corriente es más pequeña para asimilar las diferentes descargas de aguas residuales que se vierten sobre ellas, además, las primeras lluvias después de la época de verano propician el incremento del caudal, y con él la re-suspensión y arrastre de materia depositada previamente en el lecho. Para 2011, dado que las condiciones climáticas fueron predominantemente de invierno, se propicia la dilución de las cargas contaminantes recibidas por estos cuerpos de agua, lo que, en general, contribuye con una evolución en cuanto a la calidad de los mismos. Sin embargo, quebradas como La Iguaná y La Santiago redujeron su calidad de un año a otro, pasando de regular a mala y de buena a aceptable, respectivamente. Para el caso de La Santiago se da una dinámica totalmente diferente que para el resto de las corrientes, debido a que esta se encuentra localizada en una zona rural muy poco intervenida antrópicamente, y su calidad depende principalmente de las condiciones climáticas propias de la microcuenca. Las demás quebradas mantuvieron su calidad constante, según el indicador ICACOSU, donde se puede observar que las corrientes que presentan una problemática marcada en cuanto ser receptoras de vertimientos directos de aguas residuales, principalmente de origen doméstico, y en cuanto a transporte de sólidos registraron una calidad mala durante toda la fase III, tal es

el caso de las quebradas Altavista, La Picacha, La Hueso, Santa Helena, La Rosa, La Madera, El Hato, La García, La Señorita y Niquía.

### **3 MODELACIÓN**

Los modelos de simulación de la calidad del agua en corrientes superficiales permiten reproducir los diferentes fenómenos hidráulicos, fisicoquímicos y biológicos que ocurren en los ríos mediante el manejo de expresiones matemáticas que representan dichos procesos y los componentes de la calidad del agua en estudio. Estos modelos deben ser una representación aproximada del sistema real y contener el mayor número de aspectos importantes del mismo, sin que su grado de complejidad haga difícil su comprensión y aplicación (Camacho y Díaz, 2003).

Como parte importante de la modelación de la red de calidad, está la obtención del comportamiento de unas 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 corriente como son las constantes cinéticas, las cuales dependen de diferentes factores asociados a condiciones naturales, ambientales, antrópicas y las propias del río.

Como parte de los objetivos del proyecto RedRío se implementó, calibró y verificó el modelo de calidad del agua Qual2k por ser un modelo que se adapta a la información disponible, se encuentra en formato Excel, está bien documentado, se ha usado con anterioridad en estudios de calidad del agua en el río, posee un módulo de auto calibración y el software es libre avalado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por su sigla en inglés). Con el modelo calibrado se analizaron escenarios que representaban diversas alternativas de saneamiento sobre el río y sus tributarios con el fin de apoyar las tareas asociadas a la definición de objetivos de calidad.

#### **3.1 ESCENARIOS DE SIMULACIÓN**

Como escenarios de modelación para el río Aburrá – Medellín, se plantearon 14 escenarios de saneamiento (Tabla 24), 12 de los cuales se simularon bajo los supuestos que las obras del interceptor Sur, del interceptor Norte y la PTAR de Bello se encuentran terminadas y operando (e1 – e12). Los dos escenarios restantes, se simularon en primer lugar, tomando las condiciones actuales (e0), es decir descargando directamente los interceptores al río y con la información de calidad y cantidad levantada en 2010, tanto para las estaciones sobre el río como para las quebradas, y el segundo asumiendo también la descarga de los interceptores al río y las principales quebradas con algún porcentaje de remoción, de acuerdo con las proyecciones reales de saneamiento (e13). El resumen de los escenarios simulados se presenta en la Tabla 24.

**Tabla 24. Escenarios simulados para el río Aburrá - Medellín, 2010**

ESCENARIOS	RESUMEN SUPUESTOS ESCENARIOS DE MODELACIÓN RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN		
	PTAR BELLO	DESCARGA PTAR SAN FERNANDO	% REMOCIÓN QUEBRADAS (DBO5 –SST)
e0	Sin Operar	Condiciones actuales	0
e1	Operando	70-70	30
e2	Operando	70-70	40
e3	Operando	70-70	50
e4	Operando	70-70	60
e5	Operando	50-50	30
e6	Operando	50-50	40
e7	Operando	50-50	50
e8	Operando	50-50	60
e9	Operando	30-30	30
e10	Operando	30-30	40
e11	Operando	30-30	50
e12	Operando	30-30	60
e13	Sin Operar	70-70	Variable f(PSMV) 2014

En la Tabla 24, entre los supuestos para la descarga de la PTAR San Fernando, el término 70-70, 50-50, 30-30, quiere decir, que se espera que el efluente de la PTAR no exceda valores de 70 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 70 mg/L de SST, y así sucesivamente.

Entre los doce escenarios, que contemplan la entrada en operación de la PTAR Bello se resalta, que pese a que todos los escenarios plantearon porcentajes de remoción entre 30% y 60%, los escenarios e1 a e4 suponen que el efluente de la planta de tratamiento de aguas tratadas San Fernando estará en un 30/30 (la relación 30/30 corresponde a la concentración de DBO<sub>5</sub> y SST de la descarga de la planta), para los escenarios e5 a e8 dicha relación se asumió en un 50/50 y finalmente en los escenarios e9 a e12 la relación DBO<sub>5</sub> y SST se estableció de 30/30.

Adicionalmente, para los escenarios donde se supone la entrada en operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bello, se tiene un escenario pesimista (escenario e1), donde el saneamiento para todas las quebradas es del 30%, siendo esto bajo para algunas microcuencas como La García, El Hato, La Señorita, Niquía, La Iguaná y Santa Helena a las cuales se les proyecta realizar obras de saneamiento entre 2011 y 2014 de acuerdo al PSMV, además, a partir del 2011 las exigencias normativas en lo que respecta a límites máximos de sustancias o elementos presentes en vertimientos líquidos por actividades industriales, comerciales y de servicio serán menos flexibles, con el propósito de controlar y reducir la contaminación hídrica, de acuerdo con el decreto 3930 de 2010.

Un escenario medio (escenario e7), donde se considera que las quebradas estarán saneadas en un 50%, el efluente de la PTAR San Fernando estará en un 50/50 y el de la PTAR Bello estará a un 30/30 (este supuesto no varía en los escenarios propuestos, dado que está por construirse lo que permitirá que la Autoridad Ambiental sea más rigurosa en las exigencias de calidad del agua apoyada en la nueva normatividad).

Finalmente un escenario muy positivo (escenario e12), el cual supone que las quebradas estarán saneadas en un 60% y el efluente de San Fernando estará en un 30/30 (esta relación 30/30 corresponde a la concentración de DBO<sub>5</sub> y SST de la descarga de la planta) al igual que el de la PTAR Bello.

### 3.2 RESULTADOS MÁS RELEVANTES DE LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

En lo que se refiere a los rangos numéricos asociados a cada parámetro, a partir del programa de simulación Qual2K, se obtuvo un escenario llamado “e0” con las condiciones actuales de calidad del río Aburrá – Medellín, y otro escenario “e13” que representa las condiciones de calidad aproximadamente a dos (2) años, donde se asumieron como datos de entrada porcentajes de saneamiento para algunas quebradas de acuerdo con las obras de saneamiento que se proyectan a 2014 en el PSMV, y 12 escenarios considerando remociones en las quebradas entre el 30% y 60% y la descarga del efluente de la PTAR de San Fernando variando entre 70-70 y 30-30, a partir de lo cual se logró obtener tendencias de comportamiento de la calidad de agua.

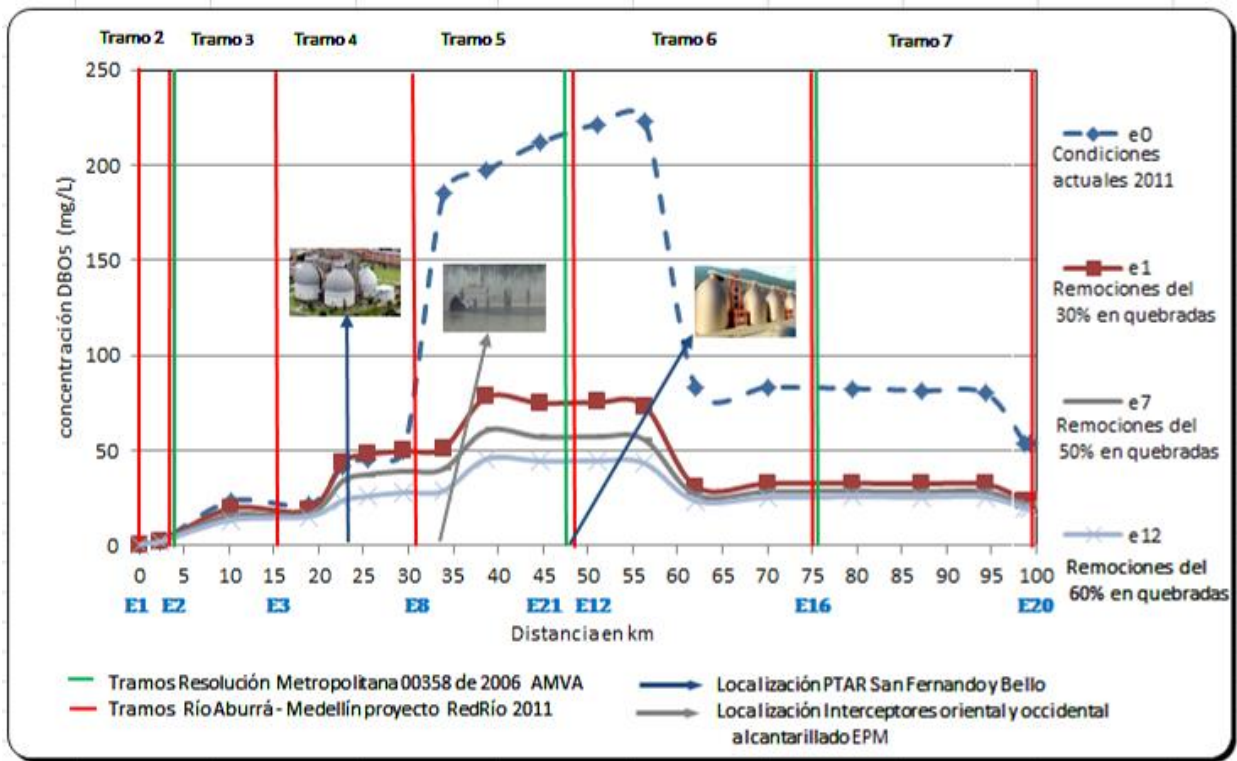


Figura 22. Comportamiento de la DBO<sub>5</sub> para escenarios futuros e1, e7 y e12, operando la PTAR Bello

En la Figura 22 se aprecia la variación de la DBO<sub>5</sub> para los escenarios futuros suponiendo remociones de carga contaminante de DBO<sub>5</sub> y SST una vez se encuentre operando la planta de tratamiento de aguas residuales de Bello, aproximadamente para el 2015 -2016

Es importante resaltar, que en términos de DBO<sub>5</sub>, en los primeros 19 km se percibe un comportamiento muy similar entre las condiciones actuales y los escenarios futuros propuestos, notándose un pico suave a los 10 km como consecuencia del ingreso de las quebradas La Miel, La Valeria y La Chuscala, además de algunos interceptores que descargan directamente en el barrio Mandalay (municipio de Caldas), las cuales aportan carga orgánica al río, producto de las actividades agrícolas y domésticas que se presentan en la parte alta. Comparando los escenarios e1, e7 y e12 respecto al actual, es evidente que las concentraciones de DBO<sub>5</sub> no tendrán variaciones significativas al aplicar porcentajes de remoción entre el 30%, 50% y 60%, respectivamente, por tanto, las acciones en estos primeros kilómetros deberán estar orientadas a la protección del recurso y la finalización de las obras de recolección de aguas residuales domésticas las cuales se tienen proyectadas por el municipio de Caldas.

Para los escenarios e1, e7 y e12 se evidencia una disminución significativa en las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, aproximadamente entre el kilómetro 30 y el punto de cierre de la cuenca (estación Puente Gabino), comparado con el escenario de condiciones actuales e0. Llama la atención, la reducción generada aproximadamente entre los 33 km y 57 km, como resultado de la conexión de los interceptores del alcantarillado de EPM a la planta de tratamiento de aguas residuales de Bello, asimismo, por la remoción de carga en términos de DBO<sub>5</sub> asumida en algunas quebradas como La Rosa, La Madera, El Hato, La García, La Señorita, Rodas y Piedras Blancas, que se encuentran ubicadas entre dichas longitudes; de igual manera, la reducción de DBO<sub>5</sub> a partir de los 60 km como resultado del efecto de dilución generado por la descarga de aguas turbinadas de la Central Hidroeléctrica Tasajera.

En resumen, la Figura 22 corrobora la necesidad de continuar con las obras de recolección de aguas residuales proyectadas en el PSMV 2005-2014 y la construcción de la PTAR Bello, para lograr reducir la carga en términos de DBO<sub>5</sub>, además de emprender acciones en otras microcuencas con aporte de carga orgánica, como consecuencia del vertimiento de aguas residuales domésticas.

La Figura 23, muestra la variación de los sólidos suspendidos totales (SST) a lo largo del río Aburrá – Medellín según las predicciones obtenidas a partir del programa de modelación Qual2k, tanto para las condiciones actuales como las correspondientes a diferentes escenarios de remoción de carga de este parámetro. Es evidente, que desde los primeros kilómetros la concentración de sólidos suspendidos totales es significativa y presenta una alta variación hasta aproximadamente los 60km, como consecuencia de la descarga de aguas residuales y el ingreso de quebradas donde se desarrollan actividades mineras.

De la Figura 23, se aprecia un incremento de los sólidos aproximadamente a los 10km, esto como resultado del ingreso de quebradas como La Minita, La Miel, La Valeria y La Chuscala, que aportan gran cantidad de sólidos suspendidos al agua como consecuencia de los procesos erosivos que se generan en la parte alta de estas microcuencas y los aportes directos de aguas residuales del municipio al río por parte de colectores que no tienen una

conexión a la planta San Fernando. Es importante anotar, que aún en el escenario más optimista “e12” se conserva la misma tendencia en el incremento de los sólidos suspendidos totales. Para el kilómetro 23, aproximadamente, donde se presenta la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, se percibe un descenso en la concentración de este parámetro a medida que se supone la descarga con menor concentración, es decir, para el escenario 1 (e1) queda muy similar a las condiciones actuales suponiendo la PTAR 70/70, mientras que para los escenarios 7 y 12 (e7 y e12) se evidencia la reducción dado que se supone para el primero la descarga del efluente 50/50 y 30/30, respectivamente.

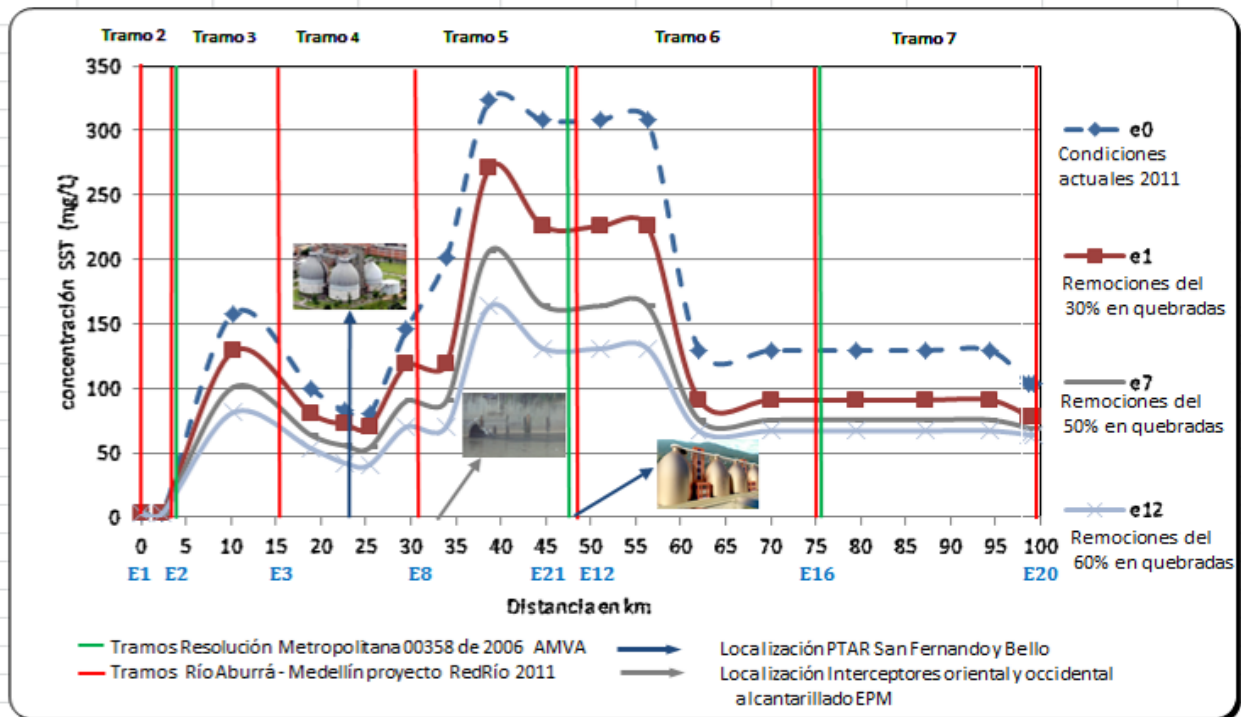
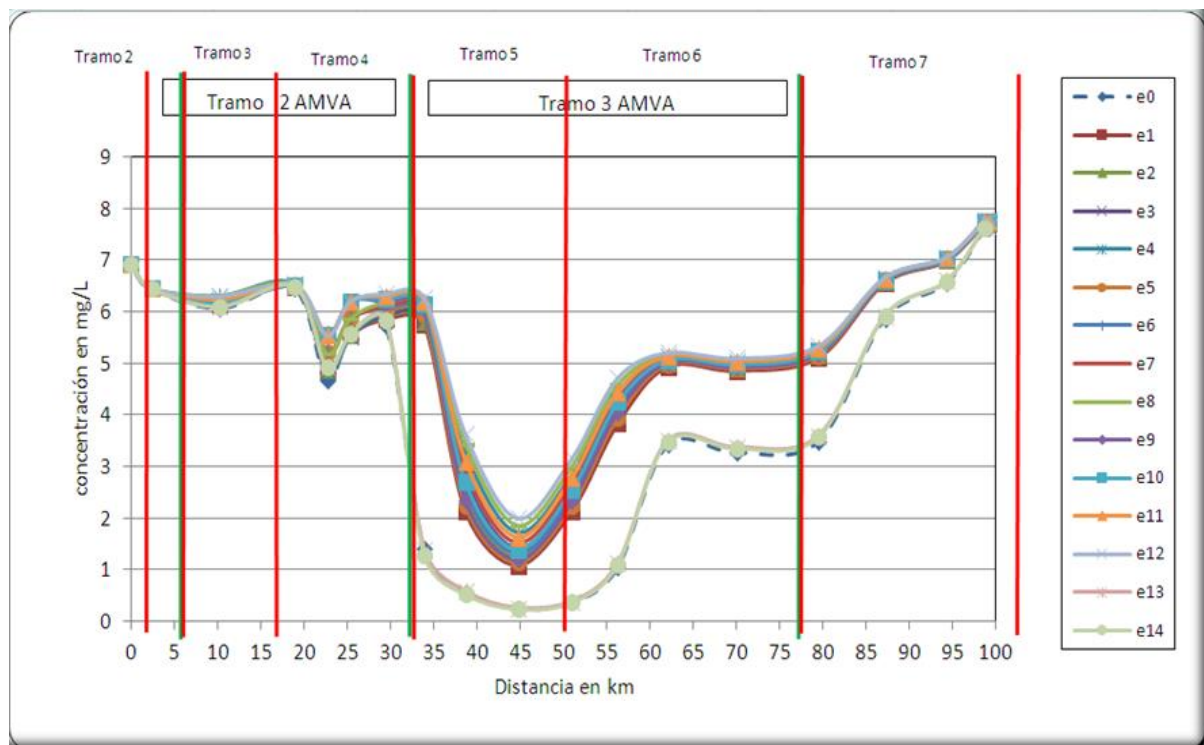


Figura 23. Comportamiento de los SST para escenarios futuros e1, e7 y e12, operando la PTAR Bello y escenario actual (e0)

Continuando con el análisis, es importante notar el incremento de los sólidos suspendidos totales aproximadamente a los 29 km, lo cual es la respuesta de la entrada de tributarios como las quebradas Altavista, La Picacha y La Hueso, que son microcuencas aportantes de sólidos no sólo por procesos erosivos naturales e inducidos por el mal uso del suelo, sino porque en ellas se desarrollan actividades de extracción de materiales para la construcción. En el kilómetro 33 para los escenarios futuros (e1, e7 y e12) se resalta la reducción en la concentración de sólidos, lo cual obedece al supuesto de que los interceptores no estarán descargando directamente al río Aburrá – Medellín, sino que estarán conectados a la PTAR Bello que se encontraría operando, razón por la cual en el escenario actual (e0) no se observa dicho comportamiento.

Dentro del perfil de sólidos suspendidos totales (Figura 23) el incremento más significativo se presenta aproximadamente a los 39 km, lo cual es coherente con el ingreso de quebradas afluentes al río aproximadamente a partir de los 34 km, las cuales se destacan por ser receptoras de aguas residuales domésticas, de residuos sólidos y especiales, además de ser microcuencas altamente intervenidas para el desarrollo de actividades mineras y de extracción de material de playa como es el caso de la quebrada El Hato y La García. Al igual que la DBO<sub>5</sub>, la concentración de sólidos suspendidos totales exhibe una reducción sustancial a partir de los 60 km como resultado del efecto de dilución generado por la descarga de aguas turbinadas de la Central Hidroeléctrica Tasajera.

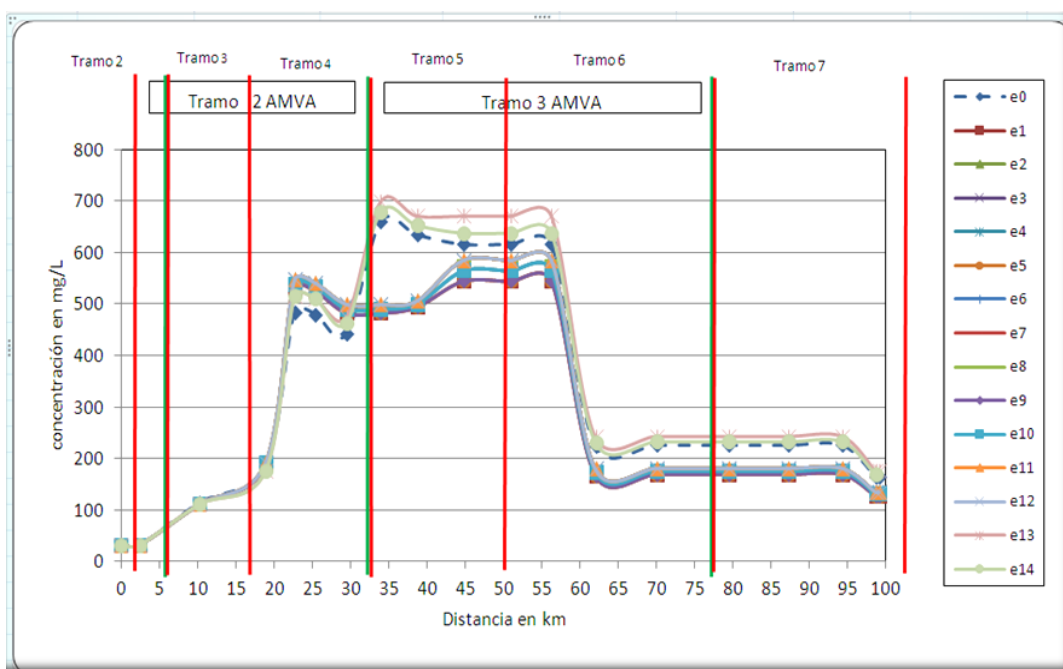
Finalmente, a partir del kilómetro 65 los sólidos suspendidos totales permanecen muy constantes en todos los escenarios, sin cambios bruscos, evidenciándose una leve reducción aproximadamente en el kilómetro 99, como resultado la confluencia de Río Grande que genera un efecto de dilución a la altura de la estación Puente Gabino.



**Figura 24. Perfil de oxígeno disuelto en el río para cada uno de los escenarios propuestos por los objetivos de calidad**

De la Figura 24 se nota que el oxígeno se conserva hasta el kilómetro 15 en Ancón Sur, a pesar de los vertimientos del municipio de Caldas, pero gracias de la pendiente que hasta este punto trae el río, en adelante se nota una caída hasta la descarga de San Fernando y un repunte del oxígeno hasta la descarga de los interceptores a la altura de la estación Caribe del metro en el kilómetro 33, en adelante el oxígeno sufre una dramática caída debido al aumento de la carga que no permite una re-oxigenación a pesar de la pendiente que en este punto sigue siendo importante, entre el kilómetro 33 y 60 se nota el tramo más crítico en lo que tiene

que ver con el oxígeno, lo cual es consecuente con el comportamiento de la DBO<sub>5</sub> y sólidos, además del conocimiento que de antemano se tiene de la zona. Se resalta, el hecho de que a pesar del mejoramiento de saneamiento en quebradas programado para los escenarios e4, e8 y e12 (con 60% en todas las quebradas) no se nota un alivio importante para los valores futuros del oxígeno en el tramo más crítico, no obstante, el oxígeno es una variable dinámica que interacciona con absolutamente todos los parámetros en la columna de agua, dicha complejidad hace que la predicción del modelo necesite una base de información relacionada con máximo detalle de las interacciones de calidad, cantidad e hidráulica en la columna de agua, por lo cual será necesario ahondar en el conocimiento y recolección de datos en esta zona del río; por otra parte se tiene un saneamiento máximo del 60% en todas las quebradas que por este punto de la ciudad pasan a diario, lo cual significa una carga remanente importante que por estar acumulada en este tramo genera un impacto en la dinámica de los procesos biológicos y a su vez en el oxígeno presente, pues es claro de la teoría que la concentración de sustrato o materia orgánica tiene un punto óptimo por encima del cual las bacterias comienzan a inhibir su crecimiento y consumo.



**Figura 25. Perfil de conductividad en el río para cada uno de los escenarios propuestos por los objetivos de calidad**

En la Figura 25 se muestra la evolución de los escenarios de calidad propuestos, que en cuanto a la conductividad tienen que ver con el río Aburrá – Medellín. Es de resaltarse que los escenarios e0 y e13 obtienen los resultados más altos en todo el río, amén de estar contruidos con la información actual del río, dichos resultados muestran el aumento sostenido que se da desde la estación Ancón Sur hasta el kilómetro 65 cerca al parque de las aguas, en donde la dilución de las aguas de tasajera generan la caída que se puede observar de la figura; resultados provocados en su gran mayoría por los vertimientos domésticos de la ciudad y que aún no son colectados hacia una planta o sistema para ello; también es



importante resaltar que la conductividad es un parámetro dinámico en el tiempo con picos diferentes para cada estación dependiendo la hora del día y muy relacionado con la actividad humana en la ciudad. Por otra parte, se deduce de la figura que los esfuerzos por mejorar el saneamiento en las quebradas como los casos de algunos escenarios (hasta un 60% en todas las quebradas) no genera grandes cambios en la conductividad futura del río; es posible que el modelo no represente efectivamente el comportamiento de dicha variable por lo cual deberá ahondarse en el análisis de otros parámetros como la DBO<sub>5</sub> o los sólidos de los cuales ya se ha hablado.

### **3.3 CONCLUSIONES ACERCA DE LOS ESCENARIOS DE CALIDAD SIMULADOS PARA EL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN**

Al evaluar los perfiles simulados para cada escenario se encuentra que los efectos sobre el oxígeno disuelto no son muy importantes (incrementos del valor crítico para los escenarios 1 al 12, y para el escenario 13). Sin embargo, la reducción en la concentración de DBO<sub>5</sub> es más notable (con una reducción del pico ubicado entre los kilómetros 50 y 70), para los escenarios 1 al 12, sin mejoras para los escenarios 13 y 14.

En términos de sólidos suspendidos y nitrógeno orgánico, algunas de las alternativas de saneamiento permiten alcanzar reducciones importantes. Los escenarios 1 al 12 presentan buenas reducciones y algunos casos, son equivalentes entre sí, mientras que el escenario 13 es el más desfavorable.

Llama la atención, que tanto en términos de DBO<sub>5</sub> como de SST entre los kilómetros 29 y 55 se presentan las condiciones más críticas, lo cual tiene relación con el ingreso de quebradas como La Hueso, La Iguaá, Santa Helena, La Rosa, La Madera, El Hato, La García, La Señorita y La Seca, entre otras, que pese a las remociones de carga supuestas en los escenarios e1, e7 y e12, aún continúan presentando concentraciones altas principalmente de SST, lo que evidencia que a pesar de los esfuerzos que se realicen en obras de recolección de aguas residuales, es primordial iniciar simultáneamente acciones encaminadas a la educación y cultura ambiental, el adecuado manejo de las areneras, canteras y una explotación minera ordenada, además de las obras de prevención y mitigación de la erosión y un uso del suelo planificado.

## **4 PROBLEMÁTICAS IDENTIFICADAS EN EL RÍO Y SUS PRINCIPALES QUEBRADAS AFLUENTES**

A partir del diagnóstico de la calidad de agua en la cuenca del río Aburrá – Medellín se identificaron actividades y acciones que vienen generando diversos problemas ambientales y que causan deterioro en la calidad del agua del río, algunos de estos problemas ya habían sido identificados en la elaboración del POMCA y aún continúan siendo recurrentes. A continuación se describen cada una de las problemáticas.

#### 4.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR VERTIMIENTOS DIRECTOS

A pesar de la existencia de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales industriales, y las obras ejecutadas para la recolección de aguas en sitios de difícil colección se evidencian vertimientos líquidos directos sobre el río Aburrá (Foto 1) y sus quebradas afluentes.



Foto 1. Vertimientos directos sobre el río Aburrá – Medellín

## 4.2 INADECUADA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La inadecuada disposición de residuos sólidos y especiales es un problema que afecta notablemente el recurso hídrico, a menudo el río y sus quebradas afluentes son receptoras de residuos sólidos y especiales, y aunque es un problema de educación ambiental y cultura ciudadana, genera un impacto negativo sobre la calidad del río, y limita el uso estético en el río Aburrá – Medellín.

	
<p>Residuos sólidos sobre la estación Puente Machado</p>	<p>Aguas debajo de la estación Pradera</p>
	
<p>Arrastre de sólidos, estación Ancón Norte</p>	<p>Estación Ancón Sur (Marzo 16 de 2011)</p>



**Foto 2. Inadecuada disposición de residuos sólidos y especiales sobre el río Aburrá- Medellín**

### 4.3 INADECUADA EXPLOTACIÓN DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

La explotación de material de construcción es una actividad que se desarrolla en algunos tramos del río entre ellos se destacan el tramo San Miguel (E1) – Primavera (E2), Aula Ambiental (E8) - Ancón Norte (E12) y Papelsa (E16), sin embargo, esta se realiza de manera artesanal, ocasionando el desprendimiento y re-suspensión de sólidos que son arrastrados y transportados por el río, adicionalmente se genera un deterioro del hábitat de los organismos acuáticos.



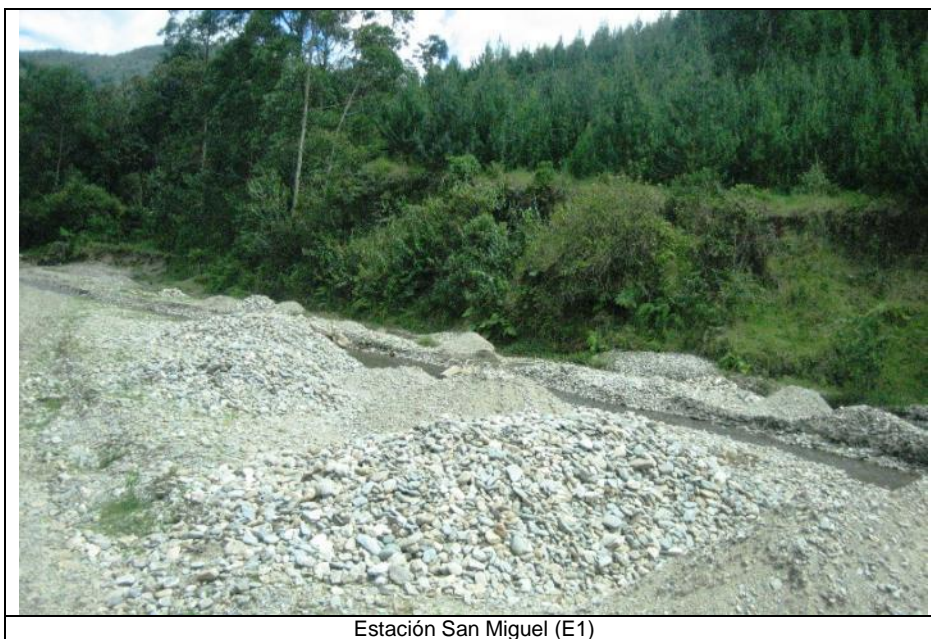


Foto 3. Extracción material de construcción sobre el río Aburrá – Medellín

#### **4.4 OCUPACIÓN NO PLANIFICADA DEL CAUCE**

El acelerado crecimiento urbanístico de manera no planificada sobre zonas de retiro ocasiona inestabilidad en el suelo ribereño, lo que propicia en muchos casos deslizamientos y desbordamientos. Se presenta, además, la construcción de viviendas sobre las franjas destinadas como retiros (sector Caldas y Tricentenario).

#### **4.5 BAJA ARTICULACIÓN ENTRE ENTES TERRITORIALES Y AUTORIDADES AMBIENTALES**

La articulación entre autoridades ambientales es fundamental para la gestión integral del recurso hídrico, y aún más cuando se poseen cuencas compartidas como es el caso de la cuenca de río Aburrá – Medellín en la cual intervienen CORNARE; CORANTIOQUIA y el AMVA. Además, es imposible pensar en el río, sin tener en cuenta sus quebradas afluentes, pues la mayoría de problemáticas asociadas a este son consecuencia de las actividades que se desarrollan a lo largo de sus tributarios, con relación a esto se tiene entonces que si bien la zona urbana es jurisdicción del AMVA, la rural pertenece a CORANTIOQUIA, lo que indudablemente requiere que las autoridades ambientales conformen la comisión conjunta para trabajar articuladamente en la medidas de prevención y protección de los recursos naturales.

#### **4.6 CALIDAD DE AGUA**

Los indicadores ICACOSU, ICA Global y BMWP- Col han mostrado que la calidad del agua del río varía significativamente conforme se avanza en su recorrido, siendo el tramo más crítico en términos de calidad el que comprende las estaciones Aula Ambiental y Ancón Norte,

tramo en el que se reciben los interceptores y las quebradas más contaminadas del Valle de Aburrá, sumado a las aguas residuales crudas y tratadas que ya ha recibido el río en el sur y centro del Valle, por lo que el efecto acumulativo de contaminación en este transepto es más evidente. Aunque se han realizado esfuerzos para el mejoramiento de la calidad, se requiere continuar sumando voluntades para el control de vertimientos en el río. Especial atención merecen las quebradas afluentes al río, dado que son un foco importante de contaminación sobre él, además de aportar gran cantidad de sólidos, producto de las actividades de extracción de materiales de construcción y la disposición inadecuada de los residuos sólidos sobre sus cauces, que finalmente llegan al río.

#### 4.7 NECESIDAD DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO PERMANENTE A LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

El monitoreo y seguimiento a la calidad del agua es fundamental en la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico, por tal razón es primordial que exista una red de monitoreo de la calidad y cantidad de agua, que opere continuamente, ampliando la mirada al monitoreo y seguimiento ambiental de las principales quebradas afluentes al río, tomando no sólo mediciones en los puntos de confluencia con el río sino como mínimo en dos puntos más, uno en la parte alta y otro en la zona intermedia, que permita evaluar el estado del recurso a lo largo de cada una de las microcuencas y la incidencia de estas sobre la calidad del río.

Los niveles de contaminación encontrados sobre el cauce principal del río Aburrá – Medellín son una respuesta de los procesos físicos y antrópicos que se desarrollan en cada una de sus quebradas afluentes. Lo anterior, hace del monitoreo del río Aburrá una estrategia indirecta para evaluar la dinámica de la contaminación de las microcuencas.





Quebrada La García



Quebrada La Rosa (septiembre 1 de 2011)



Quebrada La Seca



Quebrada La Niquía



Invasión de cauce y vertimientos de aguas residuales domésticas sobre la quebrada La García



Extracción material de construcción parte alta quebrada la García (E10)



**Foto 4. Registros fotográficos problemáticas identificadas sobre las principales quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín**

#### 4.8 DEPENDENCIA HÍDRICA DE OTRAS CUENCAS




Según lo analizado en el POMCA de la cuenca del río Aburrá - Medellín, “es claro que el agua que actualmente se consume al interior de los municipios, en la zona urbana, del Área Metropolitana es traída principalmente de dos cuencas: Río Grande y Pantanillo. Estas dos cuencas que son externas a la cuenca misma del Valle de Aburrá son las encargadas de proveer en un alto porcentaje el agua consumida al interior. En general la Cuenca del río Aburrá-Medellín es importadora de los servicios públicos (agua y energía) y aunque esto en la actualidad no representa un problema, se ha decidido incluir esto como problema debido a que las empresas prestadoras de servicios deberán tener en cuenta en el futuro, el desarrollo que las regiones aledañas a estas cuencas puedan tener y su conservación como sitios de protección, de tal manera que puedan seguir contando con dichos servicios”.




Otras problemáticas asociadas al recurso se manifiestan en las principales quebradas afluentes dentro de las cuales se destacan: Los vertimientos directos de aguas residuales domésticas, la inadecuada disposición de residuos sólidos y especiales, la invasión de cauce, y la minería de manera ilegal, tal y como se presenta en la Tabla 25.





**Tabla 25. Resumen problemáticas de las quebradas que tienen plan de ordenamiento y manejo de microcuencas**

QUEBRADA	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	USOS DEL AGUA	PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS AL RECURSO
<p><b>LA VALERIA (Q1)</b></p>		<p>Zona Alta: Abastecimiento, agrícola, desarrollo de fauna y flora.</p> <p>Zona Baja: Industrial.</p>	<p>Inadecuada disposición de residuos sólidos, del material proveniente de la cantera La Valeria y de los procesos erosivos que se presentan en el área. Vertimientos de aguas residuales (principalmente domésticos) que se hacen a la quebrada sin tratamiento previo (198). Invasión de cauce.</p>
<p><b>LA DOCTORA (Q3)</b></p>		<p>Zona Alta: Abastecimiento, agrícola desarrollo de fauna y flora.</p> <p>Zona Media: Agrícola restringido, receptor de vertimientos de ARD y ARI.</p> <p>Zona Baja: Agrícola restringido, receptor de vertimientos de ARD y ARI.</p>	<p>Contaminación del agua por vertimientos de aguas residuales.</p> <p>Manejo inadecuado de residuos sólidos.</p> <p>Bajo control de las autoridades ambientales y municipales sobre los usuarios, usos y consumos que se dan en las microcuencas.</p> <p>Mal estado de los sistemas de captación y distribución del agua.</p>
<p><b>LA GRANDE (Q5)</b></p>		<p>Existen 23 captaciones con un caudal total captado de 33.2 L/s, de las cuales solo 6 están concesionadas por CORANTIOQUIA (14.34 L/s equivalente al 43%). Del total de las captaciones, 16 son utilizadas para uso doméstico solamente, 6 para uso mixto (doméstico y abrevadero) y 1 para uso mixto (doméstico y recreativo). Se usan también sus aguas como cuerpo receptor de vertimientos de ARD.</p>	<p>Contaminación del agua por la descarga de 16 vertimientos de ARD identificados sobre la microcuenca (aunque el municipio de La Estrella cuenta con sistema de alcantarillado con cobertura cercana al 100% operado por EPM) y por disposición inadecuada de residuos sólidos a la quebrada (se estimó que el 1% del total de los residuos sólidos generados en el municipio de La Estrella son arrojados a la quebrada).</p>

QUEBRADA	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	USOS DEL AGUA	PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS AL RECURSO
<p><b>LA DOÑA MARÍA (E4)</b></p>		<p>Zona Alta: Abastecimiento, agropecuario.</p> <p>Zona Media: Abastecimiento, agropecuario receptor de vertimientos.</p> <p>Zona Baja: Abastecimiento, industrial, receptor de vertimientos de ARD y ARI.</p>	<p>Contaminación del agua por inadecuada disposición de desechos domésticos y agropecuarios. Aporte de sedimentos proveniente de zonas de cultivo y pastoreo.</p> <p>Descarga de aguas residuales domésticas e industriales a su cauce.</p>
<p><b>LA PRESIDENTA (Q7)</b></p>		<p>En la microcuenca se evidencia una reducida cantidad de usos del agua, predominando el uso doméstico en la mayor parte.</p> <p>También se presentan en las partes altas algunos usos agropecuarios no contabilizados y en la parte media y baja usos comerciales e industriales en baja proporción.</p>	<p>En términos generales, la situación actual que se presenta en la microcuenca pone en duda la disponibilidad del recurso y por lo tanto la sostenibilidad de la microcuenca en el mediano plazo, con una mayor repercusión en la parte alta donde no se tiene cobertura de sistemas de distribución de agua potable. A la altura de la vía Las Palmas, las quebradas La Presidenta y La Poblada en época seca generalmente presentan cauce seco, debido a que el poco caudal que baja por estas fuentes en estas condiciones es tomado casi en su totalidad por varias captaciones, generando problemas en cuanto a la disponibilidad del recurso para los usuarios localizados aguas abajo de Las Palmas (PIOM digital La Presidenta, pág. 363).</p>
<p><b>LA SANTA HELENA (Q10)</b></p>		<p>El agua de la microcuenca es utilizada para uso doméstico (28.08 L/s), agropecuario (24.87 L/s) y para riego en menor proporción. Las aguas de la microcuenca de la quebrada Santa Helena son también receptoras de las aguas residuales domésticas provenientes de la zona rural y urbana por las cuales atraviesa.</p>	<p>Afectación de la calidad del agua por descargas de aguas residuales domésticas e inadecuada disposición de residuos sólidos (se estimó que el 10% de los residuos generados son arrojados a la quebrada).</p>

QUEBRADA	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	USOS DEL AGUA	PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS AL RECURSO
<p><b>LA IGUANÁ (Q11)</b></p>		<p>El agua de la microcuenca es utilizada en las zonas rural y semirural para uso doméstico, agrícola y pecuario. La parte urbana es suplida por el acueducto de EPM.</p>	<p>Contaminación del agua de la microcuenca debido principalmente a los aportes directos de aguas residuales domésticas sin tratamientos previos. Existen también problemas puntuales por la colocación de residuos sólidos en el cauce.</p>
<p><b>LA ROSA (Q12)</b></p>		<p>El agua es destinada para uso doméstico (94.7% de la demanda total), comercial y de servicios (5.2%) e industrial (0.2%).</p>	<p>Presencia de acometidas ilegales, no existe tratamiento de agua para la parte alta de la microcuenca, vertimientos directos de las aguas residuales a los cuerpos de agua. La disposición inadecuada de los residuos sólidos también aporta al deterioro del agua de esta microcuenca.</p>
<p><b>LA GARCÍA (E10)</b></p>		<p>El agua de la microcuenca de la quebrada La García está destinada para los siguientes usos: doméstico, avícola, industrial, minero, pecuario, piscícola y otros usos asociados a actividades comerciales. Sus aguas también sirven como cuerpo receptor de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales provenientes de las actividades mineras, residuos sólidos y demás generados por las actividades agropecuarias.</p>	<p>Contaminación y afectación del agua asociada a los vertimientos domésticos, industriales y agropecuarios que se presentan (1158 puntos), actividades mineras de extracción y sobredemanda del recurso hídrico. La sobreexplotación de las aguas subterráneas, los focos puntuales de aguas servidas y lixiviados, los pozos abandonados, la construcción inadecuada de éstos, su mal manejo y las actividades industriales producen la contaminación del recurso hídrico subterráneo alterando sus características fisicoquímicas y microbiológicas.</p>

QUEBRADA	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	USOS DEL AGUA	PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS AL RECURSO
<p><b>EL HATO (Q14)</b></p>		<p>El principal uso es para cultivos piscícolas (374.33 L/s, representando el 73.29%), siguiendo en orden de demanda el uso para consumo humano (122 captaciones), minería (31.58 L/s que equivale al 6.18% de la demanda total) y cría de porcinos (todo esto en la zona rural ya que en la zona urbana no hay concesiones de agua). Vertimiento de ARD y de actividades de cantera. En la parte media de la microcuenca donde la pendiente comienza a incrementarse, el uso agropecuario disminuye dando paso a actividades recreativas. En la parte urbana no hay concesiones de agua y se observa que se extrae agua de la quebrada para lavado de automóviles y actividades similares.</p>	<p>Afectación de la calidad del agua en la parte media y baja de la microcuenca asociada a los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales y desechos sólidos. En la parte baja se presentan problemas asociados a los sólidos suspendidos que colmatan la quebrada y deterioran su calidad como resultado de la actividad de extracción que se presenta en la microcuenca.</p>
<p><b>PIEDRAS BLANCAS (Q15)</b></p>		<p>El recurso hídrico se destina en un 99.29% para uso doméstico, un 0.05% para uso agropecuario, un 0.22% para uso minero-industrial, un 0.34% para uso comercial y un 0.10% para uso oficial. La quebrada Piedras Blancas abastece el embalse de Piedras Blancas el cual abastece mediante 444 L/s al sistema interconectado de EPM a través de las plantas de tratamiento de Villa Hermosa y La Montaña.</p>	<p>Contaminación del agua por vertimiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales en 1022 puntos de descarga, de los cuales 858 poseen tratamiento previo y 164 no, y por inadecuada disposición de residuos sólidos, escombros, material proveniente del aprovechamiento forestal, de la actividad minera y de los procesos erosivos.</p>
<p><b>LA PICACHA(Q20)</b></p>		<p>Los usos que actualmente se dan al recurso hídrico corresponden al uso doméstico, uso minero, industrial. Existen otros usos menores en el área rural para labores agropecuarias y piscícolas.</p>	<p>Contaminación del agua por vertimientos de aguas residuales (157 vertimientos de los cuales 58% ARD, 6% combinación de actividades domésticas y pecuarias y 4% ARI), por disposición inadecuada de residuos sólidos y disposición clandestina de escombros.</p>

## 5 USOS DEL AGUA

La demanda y uso del agua por parte de una comunidad está determinada por factores como el clima, las costumbres, el sistema productivo de la población y su economía, entre otros. Lo anterior hace indispensable que cualquier trabajo orientado a determinar la demanda de agua de un territorio esté acompañado de un diagnóstico de la región objeto de estudio.

En estimaciones realizadas por el IDEAM, la demanda del agua para el desarrollo de las actividades socioeconómicas en Colombia se representa principalmente mediante los siguientes usos: agrícola, doméstico, industrial, pecuario y servicios; el uso que presenta un mayor porcentaje es el agrícola con el 54%, con el 29% el doméstico y con el 13% el industrial, en menor escala el pecuario y el de servicios con porcentajes del 3%, y el 1%, respectivamente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

De acuerdo con los cálculos realizados por el IDEAM, las ciudades con mayor demanda requerida por la industria se concentran en los centros industriales como Bogotá, Medellín, Barranquilla y Cali (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El decreto 3930 rige a partir del 25 de octubre de 2010, por medio de dicho decreto “se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I - Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”. 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 que establece el decreto 3930 son: consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético, pesca, maricultura y acuicultura, navegación y transporte acuático. Se llama la atención, en que El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial hasta el 30 de abril de 2012, podrá definir nuevos usos, establecer la denominación y definir el contenido y alcance de los mismos. Además, que los criterios de calidad asociados a cada uso aún no han sido reglamentados.

### 5.1 USOS ACTUALES

De manera general, para la identificación de los usos actuales del agua del río se consideraron varios aspectos tales como: usos del agua para el cual se han otorgado las concesiones de agua en el AMVA, consulta de expedientes, los usos estipulados en el Decreto 3930 de 2010, los usos recomendados de acuerdo con el índice de calidad (ICACOSU), la incidencia de los usos existentes en las principales quebradas afluentes y las características físicas, químicas y biológicas encontradas a partir de las diferentes campañas de monitoreo realizadas en el proyecto RedRío durante la fase III (2009 -2011). En la Tabla 26, se listan de manera general los usos actuales para el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín, sin que su orden indique prioridad.

**Tabla 26. Síntesis usos actuales del agua en el río Aburrá – Medellín**

USOS ACTUALES DEL AGUA	REGISTROS FOTOGRÁFICOS
<p>Preservación de fauna y flora                      Agrícola                      Pecuario                      Recreativo primario                      Recreativo secundario                      Estético                      Industrial                      Receptor de vertimientos                      Receptor y transporte de residuos domésticos y especiales                      Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación eléctrica</p>	

Se llama la atención en que los usos del agua tomados en cuenta responden a la realidad de la cuenca y no a un “deber ser” de acuerdo con la disponibilidad y calidad para garantizar la recuperación y protección del recurso, lo que deja claro que algunos usos a pesar de no ser los indicados son los que se vienen presentando actualmente, y que por tal razón es fundamental la formulación de un plan de ordenamiento del recurso hídrico de la cuenca del río Aburrá – Medellín, que permita establecer usos potenciales que garanticen la disponibilidad en cantidad y calidad del agua y el cumplimiento de los objetivos de calidad que se establezcan para la preservación y protección del recurso.

## 5.2 DEFINICIÓN DE TRAMOS PARA EL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN

Considerando que el río cambia significativamente sus condiciones de calidad conforme se avanza en su recorrido, y que no es posible clasificar la calidad y usos del agua tomando como referencia la clasificación por estaciones, dado que existe una alta diferencia entre estaciones cercanas, se establecieron cuatro tramos para la jurisdicción metropolitana en la cuenca del río Aburrá – Medellín, teniendo como límites algunas de las ocho estaciones fijas que se monitorearon en la fase III del proyecto RedRío. Los criterios tenidos en cuenta para la segmentación del río fueron:

- Usos del suelo proyectados, con el fin de establecer compatibilidad con las determinaciones ambientales y los usos que se establezcan.
- Calidad del agua de acuerdo con el índice de calidad (ICACOSU) e ICA global estadístico, descritos detalladamente en el documento Índice de calidad Ambiental para el Río Aburrá – Medellín.
- Características físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas (cuenca).
- Estado de las principales quebradas afluentes al río.
- Impacto de la descarga de las PTAR.
- Seguimiento y control a las obras del PSMV proyectados en el río Aburrá – Medellín y principales quebradas afluentes.
- Estaciones de monitoreo definidas en la Red.

Teniendo en cuenta los criterios enunciados anteriormente, la revisión de los objetivos de calidad (Resolución Metropolitana 000358 de 2006), y el análisis presentado en la Tabla 27, se considera pertinente ampliar el número de tramos para el río Aburrá – Medellín. Se plantean siete tramos para el río (Tabla 27) de los cuales los tramos 1 y 2 son jurisdicción de Corantioquia, y el tramo 7 está incluido tanto en la jurisdicción de Corantioquia como de Cornare, pese a que los tramos antes mencionados están fuera de la Jurisdicción del AMVA, no se dejaron de lado, por considerar el cuerpo de agua de manera integral y además utilizar la valiosa información de calidad y cantidad, levantada a lo largo de las tres fases del proyecto RedRío, que puede servir de apoyo para la toma de decisiones de estas dos autoridades Ambientales con jurisdicción en algunos tramos del río.

**Tabla 27. Descripción y justificación tramos para el Río Aburrá – Medellín (Objetivos de Calidad)**

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 y como “Refugio de vida silvestre y parque ecológico recreativo Alto de San Miguel” bajo acuerdo N° 05 de mayo 13 de 2011, por 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	Por ser una zona declarada de reserva ecológica, refugio de vida silvestre y parque ecológico recreativo, 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 MEDELLÍN- ABURRA EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE III

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

TRAMO	SITIO	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN
		paisajística (Municipio de Caldas, 1993).	
2	Límite de reserva ecológica – estación Primavera	Población rural dispersa, predomina la 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, 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 y la recepción y transporte de aguas residuales.
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 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	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 trayecto el río recibe las aguas de los excedentes de



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MEDELLÍN- ABURRA EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA FASE III

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

TRAMO	SITIO	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN
			Tasajera, que favorecen la capacidad de dilución del mismo.
7	Papelsa – Puente Gabino	Población rural dispersa, bajo asentamiento industrial, predominan uso agrícola y pecuario. Pendientes del cauce que propician re-aireación (especialmente entre las 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).

Los usos plasmados en la Figura 26 corresponden a una síntesis de los usos actuales en el río Aburrá – Medellín para cada uno de los tramos propuestos, a partir de estos usos, desde la autoridad ambiental competente, en este caso el AMVA, se definieron los usos potenciales a priorizar para este cuerpo de agua, de acuerdo con los programas propuestos por la Entidad en el documento Lineamientos de Política y Gestión para el Recurso Agua, dentro de los cuales se encuentran: descontaminación del recurso agua a través de la aplicación de instrumentos regulatorios y económicos, y la prevención de la contaminación y mejoramiento de la calidad ambiental del recurso agua (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

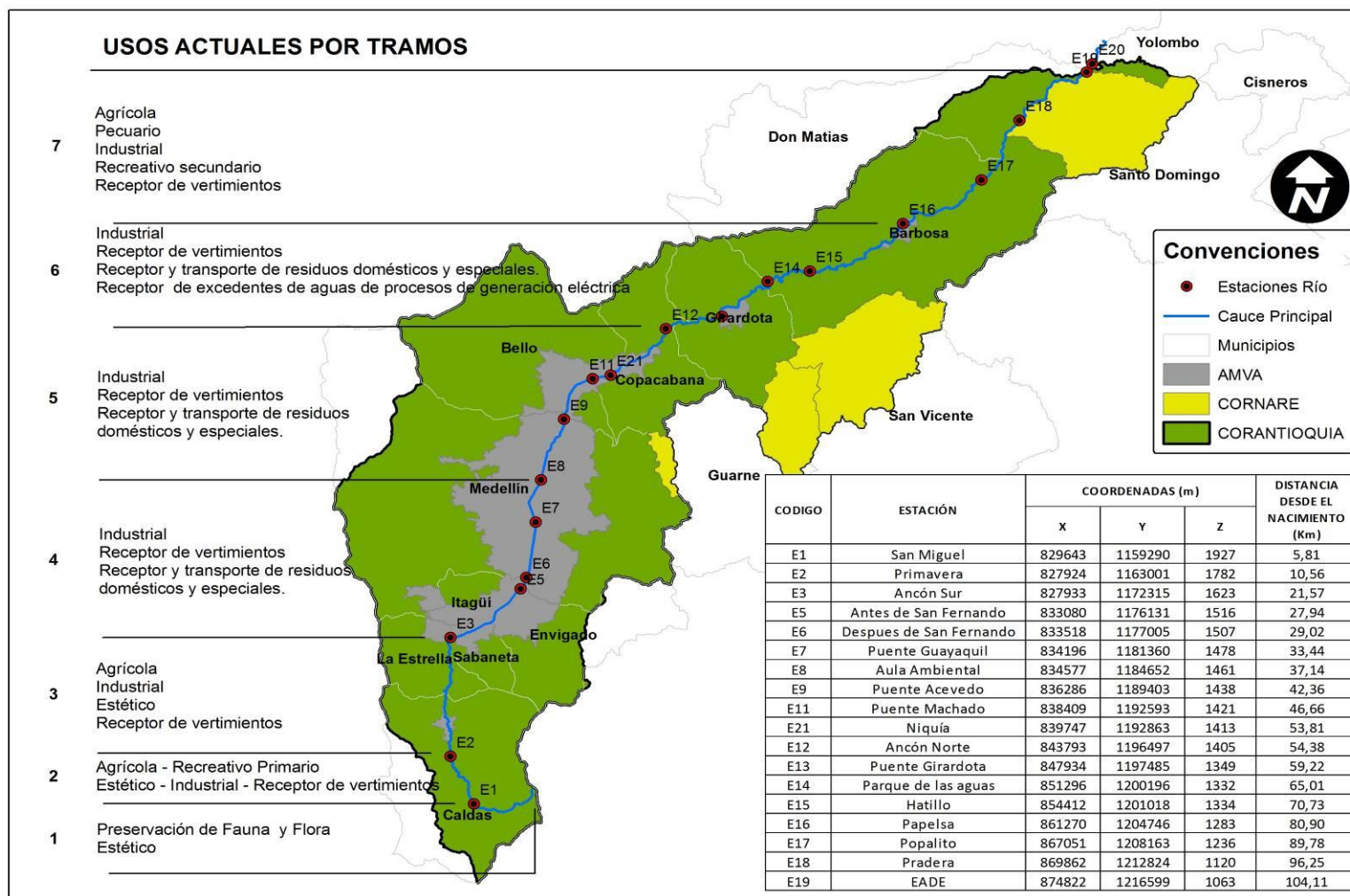


Figura 26. Síntesis usos actuales del agua en el río Aburrá – Medellín

### 5.3 USOS POTENCIALES

Entre los criterios tenidos en cuenta para el establecimiento de usos potenciales se destacan los siguientes: usos del suelo proyectados en los POT, los resultados obtenidos a partir del modelo Qual2K, usos del agua para el cual se han otorgado las concesiones de agua en el AMVA, consulta de expedientes, los usos estipulados en el decreto 3930 de 2010 (Artículo 9: Usos del agua), los usos recomendados de acuerdo con el índice de calidad (ICACOSU), revisión resolución metropolitana 000358 de 2006: Usos del agua priorizados en la cuenca del río Aburrá – Medellín, usos y perspectivas de uso del agua en las principales quebradas afluentes al río Aburrá - Medellín que cuentan con plan de ordenación y manejo (PIOM) y las características físicas, químicas y biológicas encontradas a partir de las diferentes campañas de monitoreo realizadas en el proyecto.

**Tabla 28. Usos potenciales propuestos a 2, 5 y 10 años**

USOS POTENCIALES DEL AGUA (0 - 2 AÑOS)	USOS POTENCIALES DEL AGUA (2 - 5 AÑOS)	USOS POTENCIALES DEL AGUA (5 -10 AÑOS)
Preservación de fauna y flora Recreativo primario Agrícola Industrial Estético Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación eléctrica Recreativo secundario Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Preservación de fauna y flora Recreativo primario Agrícola Industrial Estético Recreativo Secundario Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación	Preservación de fauna y flora Recreativo primario Agrícola Industrial Estético Recreativo Secundario Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación

Se resalta, que los usos potenciales presentados en la Tabla 28 no indican nivel de prioridad y no todos estarán propuestos a lo largo de todo el cuerpo de agua, es decir, los usos del agua tanto actuales como potenciales aparecerán de acuerdo con las condiciones de calidad que se tengan para cada tramo, y los criterios de calidad definidos para cada uso.

## 6 DEFINICIÓN OBJETIVOS DE CALIDAD

### 6.1 CRITERIOS DE CALIDAD

Los criterios de calidad, corresponden al conjunto de parámetros y sus valores utilizados para la asignación de usos al recurso y como base de decisión para el Ordenamiento del Recurso Hídrico. En aquellos tramos del cuerpo de agua o acuífero en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponderán a los valores más restrictivos de cada referencia (Decreto 3930 de 2010, MAVDT).

#### 6.1.1 Criterios de calidad según el marco legal

- **Decreto 1594 de 1984**

El decreto 1594 de 1984 en el capítulo IV define los criterios de calidad para la destinación del recurso hídrico según los usos existentes. Sin embargo, para la cuenca del río Aburrá – Medellín por sus particularidades en cuanto a la alta intervención antrópica, su utilización

como receptor de aguas residuales y el acelerado crecimiento urbanístico, se restringe el uso del agua para diferentes actividades, y conlleva a establecer usos adicionales a los establecidos en dicho decreto, los cuales fueron nombrados y definidos en el documento de diagnóstico ambiental de cuerpos de agua y acuíferos en la cuenca del río Aburrá – Medellín (Receptor de vertimientos, receptor y transporte de residuos sólidos y especiales, receptor de excedentes de aguas de procesos de generación de energía) capítulo 1 del documento referencia para la formulación del plan de ordenamiento del recurso hídrico. Por las condiciones especiales del río, su comparación con los criterios de calidad y usos establecidos en el decreto 1594 de 1984 es de difícil aplicación, por tanto, desde el proyecto RedRío fase III, se ha buscado incorporar una metodología que permita establecer criterios de calidad para el río asociados con los usos definidos para el cuerpo de agua, mientras se expiden los nuevos criterios de calidad en el decreto 3930 de 2010.

- **Decreto 3930 de 2010**

El decreto 3930 de 2010 en el capítulo V estipula definir los criterios de calidad para el uso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas en un plazo de 18 meses a partir de la expedición del mismo, es decir, que para el 25 de abril del 2012 en un escenario optimista se contaría con los criterios de calidad de agua que regularían para todo el país. Por lo anterior, a través del proyecto RedRío se ha realizado un procedimiento metodológico para establecer los criterios de calidad para el Río Aburrá – Medellín, no obstante el resultado de este ejercicio estaría vigente por lo menos hasta que sean expedidas las regulaciones del MAVDT, dado que los criterios definidos por el proyecto no podrán ser en ningún caso más laxos que los establecidos por el ministerio.

### **6.1.2 Definición criterios de calidad para el río Aburrá – Medellín**

A partir de la información disponible en el proyecto, se lograron definir los parámetros y valores criterio para el río Aburrá – Medellín, para diversos usos de acuerdo con las normas consultadas, los valores promedio obtenidos en el proyecto RedRío para las condiciones más críticas (nivel de caudales bajos), algunas referencias bibliográficas y la experiencia del equipo técnico (Tabla 29). Es de resaltar, que en ausencia de valores referencia para los parámetros que fueron seleccionados tuvo mayor peso para la asignación de valores los resultados promedio obtenidos bajo condiciones de caudales bajos en el río Aburrá – Medellín (RedRío fase III).

**Tabla 29. Criterios de calidad generales para el río Aburrá – Medellín**

Parámetro	Unidad	Preservación de flora y fauna	Agrícola	Pecuario	Recreativo Primario	Recreativo Secundario	Estético	Industrial	Receptor y transporte vertimientos cumpliendo normas ambientales
DBO <sub>5</sub>	mg/L	<8	<15	<15	<15	<30	<50	<50	<70
DQO	mg/L	<10	<30	<30	<30	<40	<100	<100	<150
pH	U. de pH	>6.5<8.5	>4.5<9.0	>6.5<8.5	>6.5<8.5	>5.0<9.0	>6.5<8.5	>6.5<8.5	>6.5<8.5
OD	mg/L	>7	>4	>4	>5	>4	>4	>4	>4
Conductividad	μS/cm	<30	<50	<50	<50	<70	<120	<120	<150
Color verdadero	Pt -Co				<50	<50	<50		<50
Coliformes totales	NMP				<1000	<5000			
Coliformes fecales	NMP		<1000	<1000	<200	<2000			
BMWP-COL	BMWP-COL	>120	>60	>60	>60	>35	>16	>16	>16
Nitrógeno T (NKT)	mg/L	<2.0	<3.5	<5.0	<5.0	<5.0	<10	<10	<10
Fósforo T	mg/L	<0.3	<1.5	<1.0	<1.0	<1.0	<2.0	<2.0	<2.0
Grasas y aceites	No visibles	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
SST	mg/L	<15	<20	<20	<50	<100	<100	<200	<100
Olores Ofensivos	Ausentes				Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes			Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/L								<4

Criterios definidos bajo condiciones hidrológicas de caudales bajos, según los niveles establecidos a partir de la información del proyecto RedRío fase III.

## **6.2 OBJETIVOS DE CALIDAD**

Los objetivos de calidad son el conjunto de parámetros que se utilizan para definir la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso (Decreto 3930/2010 ). Para establecer los objetivos de calidad en el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín, se identificaron los usos actuales y previstos, se definieron tramos para el río y criterios de calidad asociados a cada uso.

### **6.2.1 Tramos, usos actuales y potenciales para el río Aburrá – Medellín**

Una vez identificados los usos existentes y el análisis de las características físicas, químicas y bióticas, y los resultados del análisis de diferentes escenarios con el modelo Qual 2K, coberturas de usos del suelo y aspectos socioeconómicas del entorno, se propusieron los usos potenciales del recurso en función de sus condiciones naturales y los conflictos existentes; los cuales se lograrán con el cumplimiento de los objetivos de calidad que permitan garantizar los usos potenciales que se proyecten.

Es así como el conocimiento de las dinámicas propias del río Aburrá – Medellín, de las condiciones de cantidad y calidad del recurso, los resultados de modelación y el establecimiento de los usos actuales fueron fundamentales para proponer usos potenciales acordes con las particularidades de la cuenca.

**Tabla 30. Resumen tramos, usos actuales y potenciales del recurso hídrico (río Aburrá – Medellín)**

TRAMO	SITIO	USOS ACTUALES DEL AGUA	USOS DEL RECURSO HÍDRICO A 2 AÑOS	USOS DEL RECURSO HÍDRICO 2 – 5 AÑOS	USOS DEL RECURSO HÍDRICO 5 -10 AÑOS
1	Alto de San Miguel – límite zona reserva ecológica	Preservación de fauna y flora Estético	Preservación de fauna y flora Estético	Preservación de fauna y flora Estético	Preservación de fauna y flora Estético
2	Límite zona reserva ecológica – Primavera	Agrícola Recreativo primario Estético Industrial Receptor de vertimientos	Recreativo primario Agrícola Industrial Estético Receptor de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Preservación de fauna y flora Recreativo primario Agrícola Industrial Estético Receptor de vertimientos de aguas tratadas	Preservación de fauna y flora Recreativo primario Agrícola Industrial Estético Receptor de vertimientos de aguas tratadas
3	Primavera - Ancón Sur	Agrícola Industrial Estético Receptor de vertimientos	Industrial Receptor de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Agrícola Industrial Estético Receptor de vertimientos de aguas tratadas	Agrícola Recreativo Secundario Industrial Estético Receptor de vertimientos de aguas tratadas
4	Ancón Sur – Aula Ambiental	Industrial Receptor de vertimientos Receptor y transporte de residuos domésticos y especiales.	Industrial Receptor de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Industrial Receptor de vertimientos de aguas tratadas	Industrial Estético Receptor de vertimientos de aguas tratadas
5	Aula Ambiental – Ancón Norte	Industrial Receptor de vertimientos Receptor y transporte de residuos domésticos y especiales.	Industrial Receptor de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Industrial Receptor de vertimientos de aguas tratadas	Industrial Estético Receptor de vertimientos de aguas tratadas
6	Ancón Norte – Papelsa	Industrial Receptor de vertimientos Receptor y transporte de residuos domésticos y especiales. Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación eléctrica	Industrial Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación eléctrica Receptor de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Industrial Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación eléctrica Receptor de vertimientos de aguas tratadas	Industrial Estético Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación eléctrica Receptor de vertimientos de aguas tratadas
7	Papelsa – Puente Gabino	Agrícola Pecuario Industrial Recreativo secundario Receptor de vertimientos	Industrial Receptor de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Industrial Recreativo secundario Receptor de vertimientos de aguas tratadas	Recreativo secundario Industrial Estético Receptor de vertimientos de aguas tratadas

**Tabla 31. Definición usos del agua para el río Aburrá – Medellín**

USO	DEFINICIÓN	FUENTE
Preservación de Fauna y Flora	Corresponde a la utilización del agua en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.	Decreto 3930 de 2010. MAVDT
Agrícola	Comprende la utilización del agua para irrigación de todo tipo de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.	Decreto 3930 de 2010. MAVDT
Pecuario	Corresponde al agua que se utiliza para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias.	Decreto 3930 de 2010. MAVDT
Recreativo Primario	Corresponde a la utilización del agua para actividades como en la natación, buceo y baños medicinales. Hay contacto directo con el agua y probabilidad de ingestión.	Decreto 3930 de 2010. MAVDT
Recreativo Secundario	Corresponde a la utilización del agua para actividades tales como en los deportes náuticos y la pesca. No hay contacto directo con el agua y la ingestión del agua es por accidente.	Decreto 3930 de 2010. MAVDT
Industrial	Comprende la utilización del agua en actividades tales como: procesos manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos y complementarios, generación de energía, minería, hidrocarburos, fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares, elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución. De acuerdo con el decreto 3930 el uso de agua para la minería (incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que involucran el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie (Congreso de Colombia, 2001)) se incorpora dentro del uso industrial, por tanto las actividades como la extracción de material de arrastre, extracción de material de playa o de áridos se incorporarán dentro del uso del agua para la minería quedando inmerso dentro del uso industrial.	Decreto 3930 de 2010. MAVDT
Estético	Corresponde al uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje.	Decreto 3930 de 2010. MAVDT
Receptor de Vertimientos	Es la utilización directa del recurso como fuente receptora de vertimientos puntuales de aguas residuales y de quebradas afluentes al río Aburrá – Medellín, producto del desarrollo de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)	PORH cuenca del río Aburrá – Medellín.
Receptor y transporte de residuos domésticos y especiales	Comprende la utilización del agua como cuerpo receptor y de transporte de residuos sólidos domésticos y especiales (entendiéndose este como los residuos que por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso no puedan ser recolectados, manejados, tratados o dispuestos normalmente por la persona prestadora del servicio, de acuerdo con lo establecido en este decreto 1713 de 2000. Incluye las actividades de corte de césped, poda de árboles y escombros entre otros) resultantes del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que se desarrollan en la cuenca y sus quebradas afluentes	PORH cuenca del río Aburrá – Medellín.
Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Corresponde al uso del cuerpo de agua como receptor de aguas residuales con algún nivel de tratamiento, o como fuente receptora de vertimientos puntuales de aguas residuales producto del desarrollo de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, actividades económicas o de servicios, que cumplen adecuadamente las normas ambientales vigentes y/o las establecidas por la autoridad ambiental, y que no generan impacto negativo sobre el cuerpo de agua para el cumplimiento de los objetivos de calidad en el cuerpo de agua o en un tramo específico.	Proyecto RedRío fase III



USO	DEFINICIÓN	FUENTE
Receptor de excedentes de aguas de procesos de generación de energía eléctrica	Corresponde al uso del cuerpo de agua como receptor de aguas provenientes de procesos de generación de energía, este uso se presenta sobre el río Aburrá – Medellín entre las estaciones Puente Girardota y Hatillo producto de la descarga de agua turbinada generada por la central hidroeléctrica Tasajera.	PORH cuenca del río Aburrá – Medellín.

## 6.2.2 Objetivos de calidad propuestos para el río Aburrá – Medellín

Una vez definidos los parámetros y valores referencia, es decir, los criterios de calidad aplicables a los usos actuales y potenciales del agua, y de las consideraciones de otros factores socioeconómicas y ambientales, se procede a realizar el establecimiento de objetivos de calidad para el río Aburrá – Medellín, los cuales se presentan a continuación para cada tramo en la Tabla 32 y Tabla 33.

**Tabla 32. Objetivos de calidad propuestos en el proyecto RedRío, para la cuenca del río Aburrá – Medellín en la jurisdicción metropolitana a 2 años**

TRAMO	USOS DEL RECURSO HÍDRICO	CRITERIOS DE CALIDAD		
	0 – 2 AÑOS	PARÁMETRO	Unidad	Valor (2 años)
Tramo 1 Alto de San Miguel – Límite zona reserva ecológica	Preservación de fauna y flora Estético	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<8
		DQO	mg/L	<10
		pH	U. de pH	6.5 - 8.5
		OD	mg/L	>7
		SST	mg/L	<15
		Conductividad	μS/cm	<50
		Coliformes totales	NMP	<1000
		Coliformes fecales	NMP	<200
		Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<2.0
		Fósforo Total	mg/L	<0.3
		Grasas y Aceites	mg/L	<20
		Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes
		Color verdadero	Pt -Co	<50
		Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes
		BMWP-COL	BMWP-COL	>100
Tramo 2 Límite zona de reserva - Primavera (5.0 – 10.6) km	Recreativo primario Agrícola Industrial Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<15
		DQO	mg/L	<20
		pH	U. de pH	6.5 - 8.5
		OD	mg/L	>6
		SST	mg/L	<15
		Conductividad	μS/cm	<50
		Coliformes totales	NMP	<1000
		Coliformes fecales	NMP	<200
		Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<2.0
		Fósforo Total	mg/L	<0.3
		Grasas y Aceites	mg/L	<20
		Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes
		Color verdadero	Pt -Co	<70
		Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes
		BMWP-COL	BMWP-COL	>60

RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRA – MEDELLIN EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA FASE III

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

<p><b>Tramo 3</b> Primavera - Ancón Sur (10.6 – 21.0) km</p>	<p><b>Industrial</b> Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</p>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<30
		DQO	mg/L	<40
		pH	U. de pH	4.5 - 9.0
		OD	mg/L	>4
		SST	mg/L	<140
		Conductividad	μS/cm	<100
		Coliformes totales	NMP	<5000
		Coliformes fecales	NMP	<1000
		Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<3.5
		Fósforo Total	mg/L	<1.5
		Grasas y Aceites	mg/L	<20
		Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes
		Color verdadero	Pt -Co	<75
		Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes
		BMWP-COL	BMWP-COL	>16
<p><b>Tramo 4</b> Ancón Sur - Aula Ambiental (21.0 – 37.1) km</p>	<p><b>Industrial</b> Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</p>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<70
		DQO	mg/L	<120
		pH	U. de pH	6.5 - 8.5
		OD	mg/L	>4
		SST	mg/L	<250
		Conductividad	μS/cm	<250
		Coliformes totales	NMP	-
		Coliformes fecales	NMP	-
		Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<10
		Fósforo Total	mg/L	<2.0
		Grasas y Aceites	mg/L	<20
		Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes
		Color verdadero	Pt -Co	<75
		Residuos sólidos especiales	Ausentes	Ausentes
		Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<4
BMWP-COL	BMWP-COL	>8		
<p><b>Tramo 5</b> Aula Ambiental - Ancón Norte ( 37.1 – 54.4) km</p>	<p><b>Industrial</b> Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</p>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<100
		DQO	mg/L	<200
		pH	U. de pH	6.5 - 8.5
		OD	mg/L	>2
		SST	mg/L	<400
		Conductividad	μS/cm	<350
		Coliformes totales	NMP	-
		Coliformes fecales	NMP	-
		Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<15
		Fósforo Total	mg/L	<6.0
		Grasas y Aceites	mg/L	<20
		Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes
		Color verdadero	Pt -Co	<75
		Residuos sólidos especiales	Ausentes	Ausentes

**RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRA – MEDELLIN EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA FASE III**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL**

		Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<5
		BMWP-COL	BMWP-COL	>8
<b>Tramo 6 Ancón Norte - Papelsa (54.4 – 80.9) km</b>	<b>Industrial Receptor de excedentes aguas de generación Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<100
		DQO	mg/L	<200
		pH	U. de pH	6.5 - 8.5
		OD	mg/L	>2
		SST	mg/L	<500
		Conductividad	μS/cm	<350
		Coliformes totales	NMP	-
		Coliformes fecales	NMP	-
		Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<15
		Fósforo Total	mg/L	<5.0
		Grasas y Aceites	mg/L	<20
		Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes
		Color verdadero	Pt -Co	<75
		Residuos sólidos especiales	Ausentes	Ausentes
		Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<5
		BMWP-COL	BMWP-COL	>8
<b>Tramo 7 Papelsa - Puente Gabino (80.9 -105.0) km</b>	<b>Industrial Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<40
		DQO	mg/L	<100
		pH	U. de pH	5.0 – 9.0
		OD	mg/L	>4
		SST	mg/L	<400
		Conductividad	μS/cm	<250
		Coliformes totales	NMP	-
		Coliformes fecales	NMP	-
		Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<10
		Fósforo Total	mg/L	<4.0
		Grasas y Aceites	mg/L	<20
		Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes
		Color verdadero	Pt -Co	<75
		Residuos sólidos especiales	Ausentes	Ausentes
		Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<4
		BMWP-COL	BMWP-COL	>10

NOTA: Estos objetivos están definidos bajo condiciones hidrológicas de caudales bajos, según los niveles establecidos a partir de la información del proyecto RedRío y deben ser medidos por un laboratorio acreditado por el IDEAM.

**Tabla 33. Objetivos de calidad para el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín en la jurisdicción metropolitana (período 2 - 5 años y 5 - 10 años)**

TRAMO	USOS DEL RECURSO HÍDRICO		CRITERIOS DE CALIDAD			
	2 – 5 AÑOS	5 – 10 AÑOS	PARÁMETRO	Unidad	Valor (2-5 años)	Valor (5-10 años)
<b>Tramo 1</b> <b>Alto San Miguel –</b> <b>Límite zona reserva</b> <b>ecológica</b>	<b>Preservación de</b> <b>fauna y flora</b> <b>Estético</b>	<b>Preservación de</b> <b>fauna y flora</b> <b>Estético</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<8	<8
			DQO	mg/L	<10	<10
			pH	U. de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
			OD	mg/L	>7	>7
			SST	mg/L	<15	<15
			Conductividad	μS/cm	<30	<30
			Coliformes totales	NMP	<1000	<1000
			Coliformes fecales	NMP	<200	<200
			Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<2.0	<2.0
			Fósforo Total	mg/L	<0.3	<0.3
			Grasas y Aceites	mg/L	<20	<20
			Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes	Ausentes
			Color verdadero	Pt -Co	<50	<50
			Residuos especiales Sólidos	Ausentes	Ausentes	Ausentes
BMWP-COL	BMWP-COL	>120	>120			
<b>Tramo 2</b> <b>Límite Zona de</b> <b>reserva - Primavera</b> <b>(5.0 – 10.6) km</b>	<b>Preservación de</b> <b>fauna y flora</b> <b>Recreativo primario</b> <b>Agrícola</b> <b>Industrial</b> <b>Estético</b> <b>Receptor y</b> <b>transporte de</b> <b>vertimientos</b> <b>cumpliendo normas</b> <b>ambientales</b> <b>vigentes</b>	<b>Preservación de</b> <b>fauna y flora</b> <b>Recreativo primario</b> <b>Agrícola</b> <b>Industrial</b> <b>Estético</b> <b>Receptor y</b> <b>transporte de</b> <b>vertimientos</b> <b>cumpliendo normas</b> <b>ambientales</b> <b>vigentes</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<15	<8
			DQO	mg/L	<20	<10
			pH	U. de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
			OD	mg/L	>5	>7
			SST	mg/L	<15	<15
			Conductividad	μS/cm	<50	<50
			Coliformes totales	NMP	<1000	<1000
			Coliformes fecales	NMP	<200	<200
			Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<2,0	<2.0
			Fósforo Total	mg/L	<0.3	<0.3
			Grasas y aceites	mg/L	<20	<20
			Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes	Ausentes
			Color verdadero	Pt -Co	<50	<50
			Residuos especiales Sólidos	Ausentes	Ausentes	Ausentes
BMWP-COL	BMWP-COL	>100	>120			

Continuación Tabla 33

TRAMO	USOS DEL RECURSO HÍDRICO		CRITERIOS DE CALIDAD			
	2 – 5 AÑOS	5 – 10 AÑOS	PARÁMETRO	Unidad	Valor (2-5 años)	Valor (5-10 años)
<b>Tramo 3</b> <b>Primavera - Ancón Sur</b> <b>(10.6 – 21.0) km</b>	<b>Agrícola Industrial Estético</b> <b>Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	<b>Agrícola Recreativo Secundario Industrial Estético</b> <b>Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<20	<15
			DQO	mg/L	<30	<30
			pH	U. de pH	4.5 – 9.0	4.5 – 9.0
			OD	mg/L	>4	>4
			SST	mg/L	<80	<20
			Conductividad	μS/cm	<50	<50
			Coliformes totales	NMP	<5000	<5000
			Coliformes fecales	NMP	<1000	<1000
			Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<3.5	<3.5
			Fósforo Total	mg/L	<1.5	<1.5
			Grasas y Aceites	mg/L	<20	<20
			Olores Ofensivos	Ausente	Ausente	Ausente
			Color verdadero	Pt -Co	<50	<50
			Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes	Ausentes
			BMWP-COL	BMWP-COL	>16	>60
<b>Tramo 4</b> <b>Ancón Sur - Aula Ambiental</b> <b>(21.0 – 37.1) km</b>	<b>Industrial Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	<b>Industrial Estético Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<60	<50
			DQO	mg/L	<110	<100
			pH	U. de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
			OD	mg/L	>4	>4
			SST	mg/L	<200	<200
			Conductividad	μS/cm	<200	<120
			Coliformes totales	NMP	-	-
			Coliformes fecales	NMP	-	-
			Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<10	<10
			Fósforo Total	mg/L	<2,0	<2.0
			Grasas y Aceites	mg/L	<20	<20
			Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes	Ausentes
			Color verdadero	Pt -Co	<50	<50
			Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes	Ausentes
			Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/L	<4	<4
BMWP-COL	BMWP-COL	>16	>16			

Continuación Tabla 33

TRAMO	USOS DEL RECURSO HÍDRICO		CRITERIOS DE CALIDAD			
	2 – 5 AÑOS	5 – 10 AÑOS	PARÁMETRO	Unidad	Valor (2-5 años)	Valor (5-10 años)
Tramo 5 Aula Ambiental - Ancón Norte (37.1 – 54.4) km	Industrial Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Industrial Estético Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<80	<50
			DQO	mg/L	<150	<100
			pH	U. de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
			OD	mg/L	>3	>4
			SST	mg/L	<300	<200
			Conductividad	μS/cm	<250	<120
			Coliformes totales	NMP	-	-
			Coliformes fecales	NMP	-	-
			Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<15	<10
			Fósforo Total	mg/L	<6.0	<2.0
			Grasas y Aceites	mg/L	<20	<20
			Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes	Ausentes
			Color verdadero	Pt -Co	<50	<50
			Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes	Ausentes
			Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/L	<4	<4
BMWP-COL	BMWP-COL	>16	>16			
Tramo 6 Ancón Norte - Papelsa (54.4 – 80.9) km	Industrial Receptor de excedentes aguas de generación eléctrica Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	Industrial Estético Receptor de excedentes aguas de generación eléctrica Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<80	<50
			DQO	mg/L	<150	<100
			pH	U. de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
			OD	mg/L	>3	>4
			SST	mg/L	<300	<200
			Conductividad	UNT	<250	<120
			Coliformes totales	NMP	-	-
			Coliformes fecales	NMP	-	-
			Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<15	<10
			Fósforo Total	mg/L	<5.0	<2.0
			Grasas y Aceites	mg/L	<20	<20
			Olores Ofensivos	Ausente	Ausentes	Ausentes
			Color verdadero	Pt-Co	<50	<50
			Residuos Sólidos especiales	Ausentes	Ausentes	Ausentes
			Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/L	<4	<4
BMWP-COL	BMWP-COL	>16	>16			

Continuación Tabla 33

TRAMO	USOS DEL RECURSO HÍDRICO		CRITERIOS DE CALIDAD			
	2 – 5 AÑOS	5 – 10 AÑOS	PARÁMETRO	Unidad	Valor (2-5 años)	Valor (5-10 años)
<b>Tramo 7 Papelsa - Puente Gabino (80.9 -105.0) km</b>	<b>Industrial Recreativo Secundario Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	<b>Recreativo Secundario Industrial Estético Receptor y transporte de vertimientos cumpliendo normas ambientales vigentes</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<30	<30
			DQO	mg/L	<60	<40
			pH	U. de pH	5.0 – 9.0	5.0 - 9.0
			OD	mg/L	>4	>4
			SST	mg/L	<200	<100
			Conductividad	mg/L	<150	<70
			Coliformes totales	NMP	<5000	<5000
			Coliformes fecales	NMP	<2000	<2000
			Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	<10	<10
			Fósforo Total	mg/L	<4.0	<2.0
			Grasas y Aceites	mg/L	<20	<20
			Olores Ofensivos	Ausente	Ausente	Ausente
			Color verdadero	Pt-Co	<50	<50
			Residuos especiales	Sólidos Ausentes	Ausentes	Ausentes
			Sustancias activas al azul de Metileno (SAAM)	mg/L	<4	<4
BMWP-COL	BMWP-COL	>16	>35			

NOTA: Estos objetivos están definidos bajo condiciones hidrológicas de caudales bajos, según los niveles establecidos a partir de la información del proyecto RedRío y deben ser medidos por un laboratorio acreditado por el IDEAM.

Es importante resaltar que los criterios de calidad definidos para el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín presentados en la Tabla 32 y Tabla 33, se definieron bajo condiciones hidrológicas de caudales bajos, los cuales se establecieron a partir de la conformación de la base de datos para el análisis estadístico y la clasificación de las campañas de acuerdo a los caudales, además de la revisión de los aforos realizados en las estaciones sobre el río que fueron monitoreadas con más frecuencia en las dos fases del proyecto (II y III), esto con el objetivo de determinar los caudales altos, medios y bajos medidos en cada una de estas estaciones durante los muestreos (2006 y 2010), para luego definir los rangos entre los cuales se calcularon los indicadores de calidad del río. Lo anterior se explica con mayor detalle en el documento Indicadores de Calidad proyecto RedRío fase III. Se destaca que de establecerse como año cero enero de 2012 para los objetivos de calidad, se tendría que los períodos quedarían así: 0 a 2 años (2012-2013), 2 a 5 años (2014 -2016) y de 5 a 10 (2017 -2021).

Adicionalmente, se llama la atención en que aún no se encuentra aprobado el proyecto de resolución relacionado con caudales ambientales. Por tanto, una vez dicha resolución se reglamente, será pertinente que desde el AMVA se revisen los criterios definidos teniendo en cuenta el caudal ambiental, dado que estos pueden ser mayores o menores de los que se usaron para definir los criterios que se presentan en este documento.



## 7 IDEAS DE PROYECTOS

El propósito principal del documento referencia para la formulación del plan de ordenamiento del recurso hídrico (PORH), es presentar una serie de propuestas relacionadas con programas y proyectos que lleven a la formulación del plan de ordenamiento del cuerpo de agua y de los acuíferos en la cuenca del río Aburrá – Medellín. El documento, procuró articular los componentes agua superficial y subterránea del proyecto RedRío a través de la gestión ambiental con miras a lograr una visión integral sobre el cuerpo de agua y los acuíferos en la cuenca del río, lo cual no significa que se haya llegado en todos los casos a un acuerdo en la forma en que se deben abordar las problemáticas identificadas. Por tanto, los resultados que se presentan a partir de propuestas de proyectos deben tomarse como un resultado a refinarse en el caso que se decida incorporarse en un proceso de planeación regional de mayor envergadura. Los elementos aquí planteados pretenden ser lineamientos para un proceso dinámico de ordenamiento del recurso hídrico que incluye a la Red de Monitoreo Ambiental como un elemento muy importante.

En la fase de formulación del PORH se proponen las líneas estratégicas, programas y proyectos en el marco de un escenario de gestión, que permita al Área Metropolitana del Valle de Aburrá cumplir con las estrategias fijadas en los “Lineamientos de política y gestión para el recurso agua” (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2005); como: 4. Gestión para el seguimiento y control a la cantidad y calidad ambiental del recurso hídrico superficial.

Una vez definido el diagnóstico ambiental del cuerpo de agua y acuíferos en la cuenca del río Aburrá – Medellín se empiezan a establecer unas líneas de estrategias para la formulación del PORH. Para el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el PORH debe estar en consonancia con el POMCA (plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Aburrá).

Asumiendo las necesidades de la identificación de la problemática que el cuerpo de agua del río revela, entre ellas la restauración y protección de la calidad de agua, se establecen los primeros lineamientos para la formulación de un PORH para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que alcanza incluso a perfilar de manera general una serie de programas y proyectos a estructurar y llevar a cabo. A continuación se listan las ideas de programas y proyectos planteadas para abordar las problemáticas, además, se recogen algunos programas en ejecución o por ejecutar en la cuenca como:

- Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.
- Planes metropolitanos de saneamiento.
- Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos.
- Diseño del sistema metropolitano para la prevención, atención y recuperación de desastres del Valle de Aburrá. Red de riesgos.
- Red de monitoreo de la calidad del aire - RedAire.

**Tabla 34. Programas y proyectos propuestos para desarrollarse en el cuerpo de agua del río Aburrá – Medellín**

LÍNEA ESTRATÉGICA	PROGRAMAS	PROYECTOS	OBJETIVO GENERAL	
<b>1. Gestión integral del recurso hídrico</b>	Programa 1: Gestión sostenible y desarrollo social.	Proyecto 1: El río como un elemento de interés público: valoración de usos actuales y potenciales.	Fomentar en el imaginario colectivo “la cultura río” y el posicionamiento del mismo como un elemento de interés público.	
		Proyecto 2: Fomento del cuidado de los recursos naturales en la educación formal, a través de la inclusión del conocimiento del ambiente en los Proyectos Educativos Institucionales.	Formar a la comunidad estudiantil en la cultura ambiental, para fomentar el uso racional y responsable de los recursos, la transformación adecuada del entorno y la sostenibilidad ambiental.	
		Proyecto 3: Educación hacia la protección del recurso hídrico y el desarrollo sostenible.	Garantizar la continuidad de los aprendizajes en el cuidado del recurso por parte de los ciudadanos del Valle de Aburrá, formando ciudadanía y cultura ambiental para la transformación adecuada del entorno y la sostenibilidad ambiental.	
		Programa 2: Red de monitoreo de la calidad del agua del río Aburrá – Medellín en jurisdicción del AMVA y sus quebradas afluentes.		
	Programa 3: Recuperación de la calidad del río Aburrá desde sus principales afluentes (POMCA) y de las zonas sobre el río con mayor afectación.	Proyecto 4. Implementación de sistemas no convencionales de recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales (POMCA).	Implementar sistemas no convencionales de recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales domésticas para la zona urbana y rural de la cuenca del río Aburrá.	
		Proyecto 5: Estudio de los impactos ambientales de los sitios de disposición final de residuos sólidos y especiales sobre el recurso hídrico (POMCA).	Establecer los impactos ambientales ocasionados por la disposición final de residuos sólidos y especiales sobre el río Aburrá – Medellín y sus quebradas afluentes.	
		Proyecto 6: Evaluación ambiental estratégica para el aprovechamiento sostenible de los recursos mineros tanto en el cauce principal como en las principales microcuencas afluentes al río Aburrá - Medellín (POMCA).	Lograr para el Valle de Aburrá una explotación minera ordenada, con impactos ambientales remediados en el corto o mediano plazo por medio del seguimiento de criterios adecuados y de la aplicación de las restricciones en los frentes de explotación.	
		Proyecto 7: Manual de buenas prácticas para el ahorro y uso eficiente del agua.	Complementar y propender por la implementación de las guías para el ahorro y uso eficiente del agua.	
		Proyecto 8: Gestión integral del recurso hídrico bajo la concepción de cuenca.	Propender la gestión integrada de las diversas instituciones que tienen jurisdicción sobre la cuenca del río, teniendo en cuenta que la concepción de cuenca va más allá de las competencias jurisdiccionales.	
		Proyecto 9: Estímulo a la creación y/o fortalecimiento empresarial para la explotación de áridos.	Estimular la creación y/o fortalecimiento empresarial para la explotación adecuada y racional de áridos en cauces y laderas.	

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

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

LÍNEA ESTRATÉGICA	PROGRAMAS	PROYECTOS	OBJETIVO GENERAL
<b>2. Investigación y desarrollo tecnológico regional para la gestión del recurso hídrico</b>	Programa 4: Investigación y desarrollo tecnológico.	Proyecto 10: Red de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Gestión Integral del Recurso Hídrico del Valle de Aburrá.	Consolidar una red de información que albergue los estudios, investigaciones, planes, programas y proyectos que se han realizado y que se realizarán en la cuenca del río Aburrá – Medellín, tendientes al entendimiento y planificación del sistema natural de la cuenca.
		Proyecto 11: Estudio del transporte de sedimentos en el río.	Tipificar y cuantificar el transporte de sedimentos en la cuenca del río Aburrá – Medellín, con el fin de conocer los aportes de las areneras, ladrilleras y demás actores en la cuenca.
		Proyecto 12: Estudio de la Influencia en los cambios del uso del suelo en la cuenca del río Aburrá – Medellín empleando clasificación supervisada de imágenes satelitales.	Generar la información correspondiente a los usos del suelo para la cuenca del río Aburrá – Medellín empleando imágenes de satélite. Con ello se podrán identificar los posibles cambios en el uso del suelo y su posible influencia en la calidad y cantidad del agua superficial.
		Proyecto 13: Estudio de la erosión y estabilidad del cauce del río.	Definir la dinámica del río Aburrá – Medellín en la zona rural y urbana y formular un diagnóstico que permita establecer el grado de estabilidad de las bancas y del cauce del río.
		Proyecto 14: Uso racional del agua – producción más limpia.	Incentivar, principalmente dentro del sector privado, el uso racional del agua, así como la implementación de procesos de producción más limpia con el fin de disminuir la contaminación industrial actuando de una manera preventiva.
<b>3. Gobernabilidad, liderazgo y desarrollo institucional</b>	Programa 5: Fortalecimiento institucional.	Proyecto 15: Fortalecimiento y alimentación del sistema de información del AMVA en aspectos relacionados con el recurso hídrico	Fortalecer y alimentar los módulos del Sistema de Información y del Sistema de Información Geográfica para la Gestión del Recurso Hídrico en el Valle de Aburrá.
		Proyecto 16: Desarrollo normativo regional para la gestión integral del recurso hídrico.	Diseñar, socializar y aplicar normas específicas sobre la gestión del recurso hídrico para el Valle de Aburrá.
		Proyecto 17: Gestión coordinada de planes y redes existentes (PGIRS, POMCA, RedRío, PORH, RedAire, SIATA, Bosques Flora y Fauna).	Realizar la articulación efectiva entre planes de gestión y redes existentes para mayor coherencia entre entes territoriales y autoridades ambientales y economía en la gestión institucional.
		Proyecto 18: Sistema autónomo de captura y almacenamiento de la información.	Poner en marcha un sistema autónomo de recolección y almacenamiento de la información generada por la red.
		Proyecto 19: Fortalecimiento técnico de los funcionarios del AMVA.	Fortalecer los programas de capacitación permanente del talento humano corporativo.
		Subprograma 1: Programa de Control y Vigilancia de Vertimientos.	Identificar, caracterizar y controlar los vertimientos de la pequeña, mediana y gran industria.
		Subprograma 2: Programa de monitoreo y seguimiento en la implementación de los Planes de	Verificar la ejecución y el avance de los programas y proyectos de los PIOM.

LÍNEA ESTRATÉGICA	PROGRAMAS	PROYECTOS	OBJETIVO GENERAL
<b>4. Control y Vigilancia</b>	Programa 6: Control y Vigilancia.	Ordenamiento de Microcuencas – (PIOM).	
		Subprograma 3: Control y vigilancia a los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV).	Verificar la ejecución y el cumplimiento de los PSMV.
		Subprograma 4: Monitoreo y seguimiento de los programas de ahorro y uso eficiente del agua.	Verificar la implementación y ejecución de los programas de ahorro y uso eficiente del agua.
<b>5. Modernización empresarial, asociatividad y empresarismo como alternativa complementaria para el desarrollo regional</b>	Programa 7: Modernización empresarial y emprendimiento.	Proyecto 20: Comité Interinstitucional del río Aburrá – Medellín.	Conformar un comité con todos los actores de incidencia directa en la cuenca del río Aburrá – Medellín, que permita articular el proceso de planificación.
		Proyecto 21: Promoción e implementación de los códigos de buen gobierno y responsabilidad social, dentro de los actores responsables de la gestión del recurso hídrico.	Construir y promover la implementación de los códigos de buen gobierno y responsabilidad social entre diversos actores en la gestión del recurso hídrico.
<b>6. Valoración económica, recursos y finanzas</b>	Programa 8: Instrumentos económicos.	Proyecto 22: Sistema de compensaciones de impactos y/o servicios ambientales por la localización, construcción y operación de infraestructuras para el manejo de las aguas.	Diseñar instrumentos de compensaciones a poblaciones afectadas por la instalación de infraestructura para el manejo de las aguas.
		Proyecto 23: Fondo especial de financiamiento para proyectos del recurso hídrico.	Crear un fondo especial de financiamiento para proyectos relacionados con el recurso hídrico.

## 8 PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN ADELANTADOS EN EL PROYECTO REDRÍO

Como aporte de las Universidades participantes en el proyecto se han desarrollado diferentes proyectos de investigación que tratan de promover el desarrollo científico en torno al recurso hídrico en la cuenca del río Aburrá – Medellín, entre los cuales se encontraron:

- Determinación de constantes biocinéticas  $k_c$ ,  $k_n$  y demanda béntica de oxígeno en el río Aburrá – Medellín.
- Determinación y análisis de sólidos en el río Aburrá – Medellín.
- Distribución espacial de los ensamblajes de algas perifíticas y comunidades de macroinvertebrados acuáticos en un sector del río Aburrá – Medellín (vereda La Clara, Caldas Antioquia).
- Índice de Calidad de Agua por Lógica Difusa (ICA Fuzzy) o Fuzzy Water Quality Index (FWQI).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (23 de Junio de 2006). Resolución Metropolitana N°000358. Medellín, Colombia.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2004). Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá-Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana Fase I. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Aburrá - Medellín. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Plan de Ordenación y Manejo de la Microcuenca de la Quebrada La Valeria Municipio de Caldas. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Plan de Ordenación y Manejo de la Microcuenca de la Quebrada Santa Elena Municipio de Medellín. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Microcuenca de la Quebrada La Valeria Municipio de Caldas. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá-Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana Fase II. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2008). Plan de Ordenamiento y Manejo de la microcuenca de la quebrada Doña María Municipios de Itagüí, La Estrella y Medellín. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2010). *Documento Indicadores de Calidad Versión 2*. Medellín. Proyecto RedRío fase III.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2011). Diagnóstico ambiental de cuerpos de agua y acuíferos en la cuenca del río Aburrá – Medellín. Proyecto RedRío fase III.

Área Metropolitana Valle de Aburrá. “*Diseño y Puesta en Marcha de la Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana*” Fase 1. Convenio 366/2003 Calidad de las aguas del río Medellín y sus principales afluentes. Diciembre de 2004.

Bejarano M., C. (1988). Determinación de Parámetros Físicoquímicos para la Calidad de Aguas: Significado e Importancia. 427.

Camacho y Díaz (2003). Metodología para la obtención de un modelo predictivo de transporte de solutos y calidad del agua en ríos - caso río Bogotá, Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Universidad del Valle/Instituto Cinara.

Chow, V.T., *Hidrología Aplicada*. Traducción de la primera edición en inglés de Applied Hydrology, McGRAW-HILL. (1994).

Congreso de Colombia. (2001). *Ley 685 Código de Minas*. Bogotá.

IDEAM, Laboratorio de Calidad Ambiental. (26 de Agosto de 2009). Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales ICACOSUS. *Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales ICACOSUS*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Agricultura. (26 de Julio de 1978). Decreto 1541 de 1978. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente, V. y. (30 de 10 de 2003). Decreto N° 3100 de 2003. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (13 de Diciembre de 2004). Decreto 1433 . *Planes de sanamiento y manejo de vertimientos*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Noviembre de 2009). Documento en discusión noviembre – 2009. “Límites máximos de sustancias o elementos presentes en vertimientos líquidos por actividades industriales, comerciales y de servicio”. *“Límites máximos de sustancias o elementos presentes en vertimientos líquidos por actividades industriales, comerciales y de servicio”*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (25 de Octubre de 2010). Decreto 3930. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Hídrica Nacional*. Bogotá.

Integral. S.A - Área Metropolitana Valle de Aburrá. *Patología y Reparación de Placas, Dragado y Paisajismo en el Río Aburra*. Medellín. 2006

Manual de HidroSIG, Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. MESA, Oscar. [cires.colorado.edu/~ricardo/papers/hidrosig\\_VENEZUELA.pdf](http://cires.colorado.edu/~ricardo/papers/hidrosig_VENEZUELA.pdf), publicado en el 2006.

Marbello, P. Ramiro. *Fundamentos para las prácticas de laboratorio de hidráulica*. Universidad Nacional, Medellín. 1997.

Universidad Nacional- Área Metropolitana, 2007. *Estudio y Diseño de obras de protección en puntos críticos del río Medellín – Sector no Canalizado*.

VEN TE CHOW. *Hidráulica de los Canales Abiertos*. Editorial Diana, México, 1983.

Universidad de Antioquia – Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá en jurisdicción del Área Metropolitana - Fase III. Componente Biológico e Hidráulico. Medellín, 2010.

González del Tanago, Marta; García de Jalon, Diego. *Restauración de ríos y riberas*. 1995

Herramienta de apoyo para la toma de decisiones sobre el uso del recurso agua. Garcés Córdoba, David; Smith Quintero, Ricardo Agustín. 1996.