

**“DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE LA SEGUNDA  
ETAPA DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN  
LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ, EN  
JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DEL  
VALLE DE ABURRÁ”**

**FASE II**

**Convenio 313 de 2005**

**SUBDIRECCIÓN AMBIENTAL**

**Resumen Calidad de Aguas Superficiales**

**AGOSTO DE 2007**



## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>PREDISEÑO Y DISEÑO DE LA RED .....</b>	<b>1</b>
3.1	PREDISEÑO DE LA RED.....	1
3.1.1	Preselección de opciones para la ubicación de las estaciones de monitoreo .....	2
3.1.2	Selección de sitios para instaurar obras físicas .....	2
3.2	DISEÑO DE LA RED.....	3
3.2.1	Descripción geográfica de los sitios donde se realizarán las mediciones .....	3
3.2.2	Diseño de las obras físicas y servicios de las estaciones de monitoreo.....	5
<b>4</b>	<b>CONCEPCIÓN Y DISEÑO OPERACIONAL DE LAS ESTACIONES .....</b>	<b>19</b>
4.1	ASPECTOS Y CRITERIOS TÉCNICOS CONSIDERADOS .....	19
4.2	MODELO OPERACIONAL DE LA RED.....	20
4.3	MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO MEDELLIN .....	21
4.3.1	Tramos seleccionados para la medición de constantes biocinéticas en el Río Aburrá .....	21
4.3.2	Resultados obtenidos constantes biocinéticas Red Río Fase II .....	21
4.3.3	Resultados modelación de la calidad del agua del Río Aburrá (Modelo QUAL2K) ....	24
4.3.4	Conclusiones y recomendaciones .....	28
4.4	MODELACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN EL RIO MEDELLIN .....	31
4.4.1	Campañas de aforo .....	31
4.4.2	Estimación de caudales medios .....	33
4.4.3	Estimación de caudales extremos (mínimos).....	34
4.4.4	Estimación de caudales extremos (máximos).....	38
4.4.5	Modelación Hidráulica .....	42
4.4.6	Sensores de nivel Kalesto .....	43

<b>5</b>	<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE CALIDAD DEL AGUA DEL RIO MEDELLIN.....</b>	<b>45</b>
5.1	PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ(POMCA) .....	45
5.2	CREACION DE UNA UNIDAD ADMINISTRATIVA PARA EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN.....	45
5.2.1	Aspectos organizacionales .....	45
5.2.2	Alternativas para el manejo de la unidad administrativa .....	46
5.3	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED .....	47
5.3.1	Operación y mantenimiento de la estructura física de las estaciones .....	47
5.3.2	Operación y mantenimiento de los equipos de medición .....	47
5.3.3	Monitoreo de sección transversal y equipo de medición (Kalestos) .....	47
5.3.4	Inspección y operación.....	47
5.3.5	ADMINISTRACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	47
5.3.6	Capacitación de los funcionarios .....	48
5.3.7	Recolección de información.....	48
5.3.8	Personal requerido .....	48
5.3.9	Recursos logísticos .....	48
5.3.10	Costos .....	49
<b>6</b>	<b>SOCIALIZACION Y DESARROLLO DE LOS PRODUCTOS INFORMATIVOS.....</b>	<b>49</b>
6.1	LOGO.....	49
6.2	VALLAS.....	50
<b>7</b>	<b>PLAN DE GESTION AMBIENTAL - CONSOLIDACION DE LA RED EL RÍO MEDELLÍN Y SUS QUEBRADAS AFLUENTES-PLAN DE ACCIÓN PARA EL DESARROLLO Y SOSTENIBILIDAD DE LA RED .....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>

## **1 INTRODUCCION**

En este documento se presenta un resumen sobre los aspectos mas importantes que soportaron el diseño de la RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA, su concepción y el emplazamiento de estaciones, los equipos de medición a utilizar, las estructuras que servirán de resguardo al equipo, así como los aspectos acerca del funcionamiento y el mantenimiento de los mismos.

Se concibió una red básica para el río, que permitirá el acceso a información veraz y que articulada a métodos de estimación basados en balances hídricos y modelos de escorrentía en cuencas, permitirá trazar perfiles adecuados de los caudales del río (y las variables hidráulicas pertinentes como niveles y velocidades) en sectores de interés. Igualmente permitirá indagar sobre la calidad de sus aguas, configurar balances de masas y evaluar procesos de transporte en el sistema, para las sustancias o contaminantes de interés.

Se le da una visión sistémica a la función de la red en el contexto de la gestión ambiental del río y de los instrumentos que la gestión y la institucionalidad hoy ofrecen, permitiéndole a la Autoridad Ambiental abordar el tema de la gestión hacia el cumplimiento normativo referido a los Decretos 1594/84, 3100/03 y el 155/04, el pago de tasas retributivas y tasas de uso, lo cual bien puede integrarse en un programa de vertimientos que contenga elementos de sensibilización, educación, gestión, medición, manejo de información, control, monitoreo y seguimiento.

## **2 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburra en jurisdicción del ÁREA METROPOLITANA

## **3 PREDISEÑO Y DISEÑO DE LA RED**

### **3.1 PREDISEÑO DE LA RED**

En la primera fase del proyecto se realizo el prediseño de la red de monitoreo, se identificaron puntos del río, que por sus condiciones de localización, facilidad de construcción y acceso, vertimientos, etc., serían el punto de soporte y base de la red de monitoreo. Igualmente se realizo la selección de sitios donde emplazar obras físicas, se desarrollo una matriz cualitativa de análisis, la cual a partir de criterios que consideran la información disponible, facilito la identificación de estos sitios.

### 3.1.1 Preselección de opciones para la ubicación de las estaciones de monitoreo

La red de monitoreo que se concibió para la cuenca del río Aburrá se encuentra en jurisdicción del Área Metropolitana, la zona rural jurisdicción de Corantioquia y el municipio de Envigado. Apoyados en el conocimiento general de la cuenca y en los resultados de estudios anteriores, se definieron 20 puntos para realizar las mediciones; 10 sitios base y 10 puntos intermedios. En la Tabla 1 se observan las 20 estaciones, ordenadas en sentido Sur - Norte.

**Tabla 1. Estaciones establecidas en la etapa de prediseño - Fase 1 del Proyecto**

NÚMERO	ESTACIONES	CODIGO
1	Alto de San Miguel	E1
2	Primavera	E2
3	Ancón Sur	E3
4	Antes de la Planta de San Fernando	E4
5	Quebrada Doña María	E5
6	Después de la Planta de San Fernando	E6
7	Puente Guayaquil	E7
8	Aula Ambiental	E8
9	Puente Acevedo	E9
10	Quebrada La García	E10
11	Puente Machado	E11
12	Metromezclas	E12
13	Puente Girardota	E13
14	Parque de las Aguas	E14
15	Hatillo	E15
16	Papelsa	E16
17	Yarumito	E17
18	Pradera	E18
19	EADE	E19
20	Puente Gabino	E20

### 3.1.2 Selección de sitios para instaurar obras físicas

Con el objeto de facilitar la identificación de los lugares en los que se construirán obras para facilitar el monitoreo de las aguas del río y su calidad se desarrollo una matriz cualitativa de análisis (ver informe Diseño de Estaciones Fase I). De acuerdo con los resultados obtenidos, las estaciones a construir fueron en su orden.

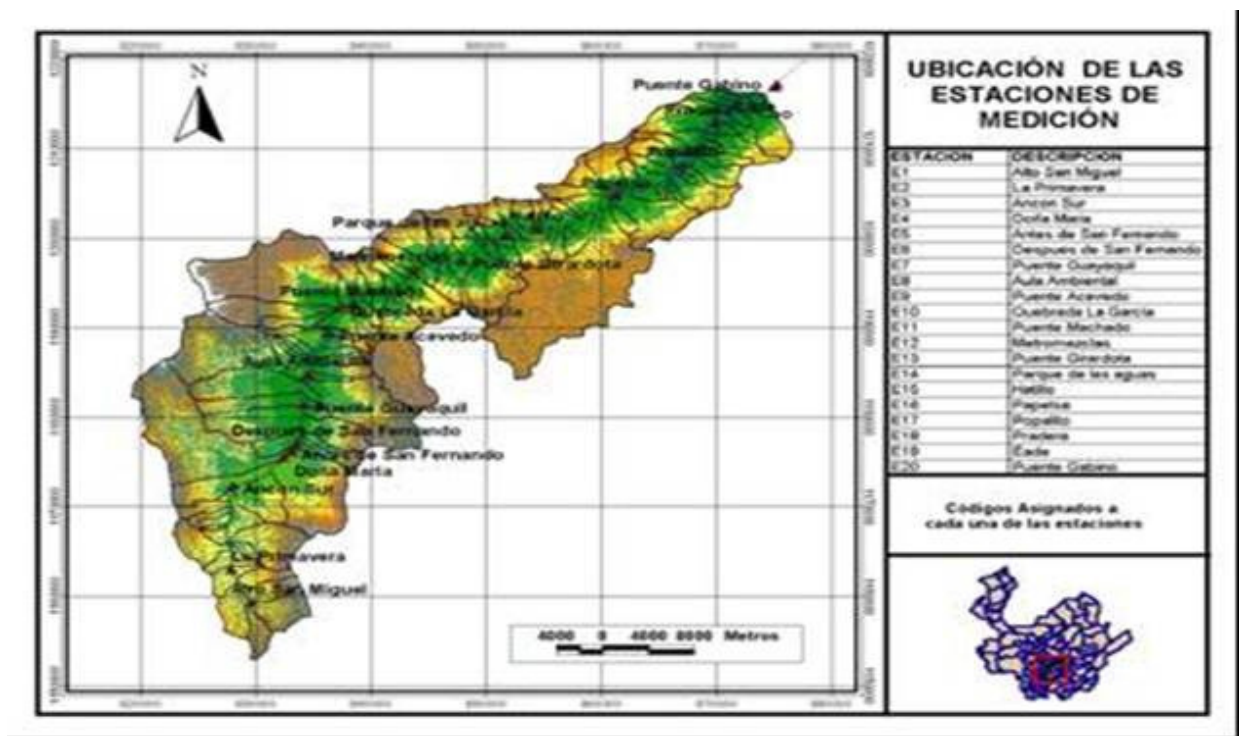
1. Aula Ambiental
2. Ancón Sur
3. Ancón Norte -Metromezclas
4. Estación Puente Acevedo

### 3.2 DISEÑO DE LA RED

En la segunda fase, cuyo objetivo era el Diseño de la Red, se precisó la localización de estaciones representativas en cada uno de los tramos, se seleccionaron puntos específicos para las diferentes mediciones, se construyó la metodología para la recolección de las muestras en campo, se definieron las determinaciones analíticas a efectuar in situ y en laboratorio; así como la cantidad de parámetros a medir.

#### 3.2.1 Descripción geográfica de los sitios donde se realizarán las mediciones

En la Figura 1 se muestra la ubicación espacial de las estaciones, los lugares donde se ubicaron las diferentes estaciones; los llamados sitios base y los puntos intermedios.



**Figura 1 Ubicación espacial de las estaciones**

E1: Alto de San Miguel Km2. municipio de Caldas, área de nacimiento, no ha recibido ningún tipo de contaminación. Antes de la zona de explotación de material aluvial.

E2: Sector Primavera

E3: Ancón Sur Km. 22, municipio de Sabaneta, donde se han recibido las aguas residuales de los municipios de Caldas y la Estrella y de quebradas como la Valeria, la Miel, la Grande y algunas aguas residuales industriales. Puente Variante sobre el río Aburrá. En este sitio se construirán obras físicas.

E5: San Fernando km 27, municipio de Itagüí, medición antes de la descarga al río de las aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando y que atiende la zona sur del Área Metropolitana.

E4: Quebrada Doña Maria. Punto intermedio, la entrega de la Quebrada Doña Maria al río Aburrá. Zona de alta intervención.

E6: San Fernando km 27 aproximadamente, municipio de Itagüí, medición después de las descarga al río de las aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando.

E7: Puente Guayaquil

E8: Aula Ambiental Km. 36, municipio de Medellín. Ubicado cerca al Puente de Barranquilla y la Universidad de Antioquia. En este sitio se construirán obras físicas.

E9: Puente de Acevedo Km. 41, municipio de Medellín, medición en el sitio donde se han presentado los más altos índices de contaminación. En este sitio se construirán obras físicas.

E10: Entrega de la Quebrada La García al río Aburrá. Zona de alta intervención.

E11: Puente Machado. Zona de alta intervención.

E12: Municipio de Copacabana, Km. 55. Sitio Metromezclas, donde ya se ha recibido la contaminación del municipio de Copacabana. En este sitio se construirán obras físicas.

E13: Municipio de Girardota Km 58, medición en el sector de acceso a este municipio, donde se han recibido las aguas residuales de los municipios de Bello, Copacabana y Girardota, antes de recibir las aguas de dilución de la central hidroeléctrica la Tasajera.

E14: Parque de las Aguas. Después del sitio de entrega de las aguas de la central hidroeléctrica la Tasajera.

E15: Hatillo Km 70, puente de acceso al municipio de Barbosa, sitio donde las aguas de dilución de Tasajera contribuyen con la calidad del río. En este sitio existe una estación pluviométrica.

E16: Sector industria Papelsa.

E17: Popalito Km 83, en el municipio de Barbosa.

E18: Sector Parque Ambiental la Pradera.

E19: Sector EADE

E20: Porce Km 100, Municipio de Santo Domingo, antes de la desembocadura de Riogrande- Puente Gabino (Estación de EEPPM). Sector bajo la influencia de explotación aurífera.

### **3.2.2 Diseño de las obras físicas y servicios de las estaciones de monitoreo**

#### **3.2.2.1 CONCEPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO**

Se trata de hacer las intervenciones mínimas en cuanto a obras físicas, civiles, hidráulicas e instalaciones de energía o telefonía, pues se está en un proceso de consolidación de una Red, en la que se deben reducir los riesgos en materia de inversiones y no repetir experiencias negativas en el país y la región, por falta de gestión de las entidades responsables o por transferencias de tecnología inadecuada.

#### **3.2.2.2 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO**

##### **ESTACIÓN DE MONITOREO ANCÓN SUR (E3).**

El sitio donde se localizaría la estación se encuentra ubicado en el costado occidental del río Aburrá (ver Foto 1 y Figura 2), en el municipio de La Estrella. En las inmediaciones del sitio, se encuentra la fábrica de motocicletas Incolmotos, Yamaha.



**Foto 1 Panorámica ubicación y área a intervenir - Estación Ancón Sur**



DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE LA SEGUNDA ETAPA DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

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



ÁREA TOTAL A INTERVENIR (INCLUYENDO PAISAJISMO): 1345m<sup>2</sup> aproximados

ÁREA "A" (ZONA DONDE SE ASIENTA LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN): 1143m<sup>2</sup>  
ENTRE LOS PUNTOS  
1: 828476,1257 - 1172409,9016  
2: 828440,0389 - 1172397,8418  
3: 828379,7615 - 1172374,1075  
4: 828377,7404 - 1172380,5145  
5: 828358,6669 - 1172374,4976  
6: 828362,3742 - 1172362,7454  
7: 828481,1039 - 1172400,9615

ÁREA "B" (ZONA DONDE SE ASIENTA EL EXTREMO ORIENTAL DEL PUENTE): 194,98m<sup>2</sup>  
ENTRE LOS PUNTOS  
8: 828431,4440 - 1172363,3169  
9: 828435,4783 - 1172352,1678  
10: 828451,2344 - 1172357,8774  
11: 828447,0943 - 1172368,5575

Figura 2 Ubicación área a intervenir - Estación Ancón Sur

### ESTACIÓN DE MONITOREO AULA AMBIENTAL (E8)

Esta estación está ubicada sobre la avenida regional a la altura del Aula Ambiental, fundada hace algunos años por el Instituto Mi Río (ver Foto 2. 2).



**Foto 2. Infraestructura existente Aula Ambiental**

### **ESTACIÓN DE MONITOREO PUENTE ACEVEDO (E9)**

Esta estación será construida en la margen derecha del río, en una zona que pertenece al Metro de Medellín y al Municipio de Medellín. En esta estación existe un puente metálico de propiedad del Municipio de Medellín, la propuesta es construir un puente paralelo a éste aguas abajo con acceso privado y espacios para los monitoreos. En la Foto 3 y en la figura 3 se presenta el sitio donde se realizaría la construcción de la estación.



**Foto 3. Panorámica Ubicación y área a intervenir - Estación Acevedo**

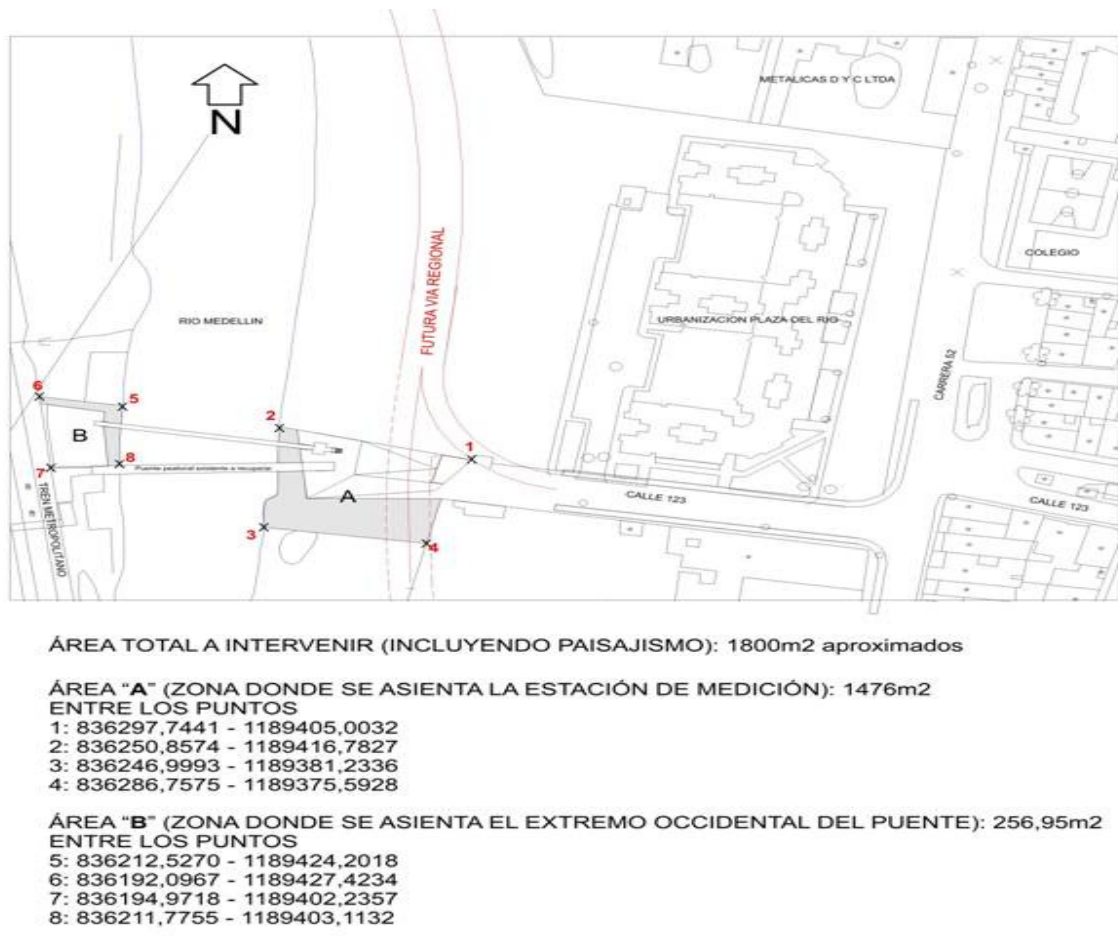


Figura 3. Ubicación y área a intervenir - Estación Acevedo

### ESTACIÓN DE MONITOREO ANCÓN NORTE METROMEZCLAS (E12)

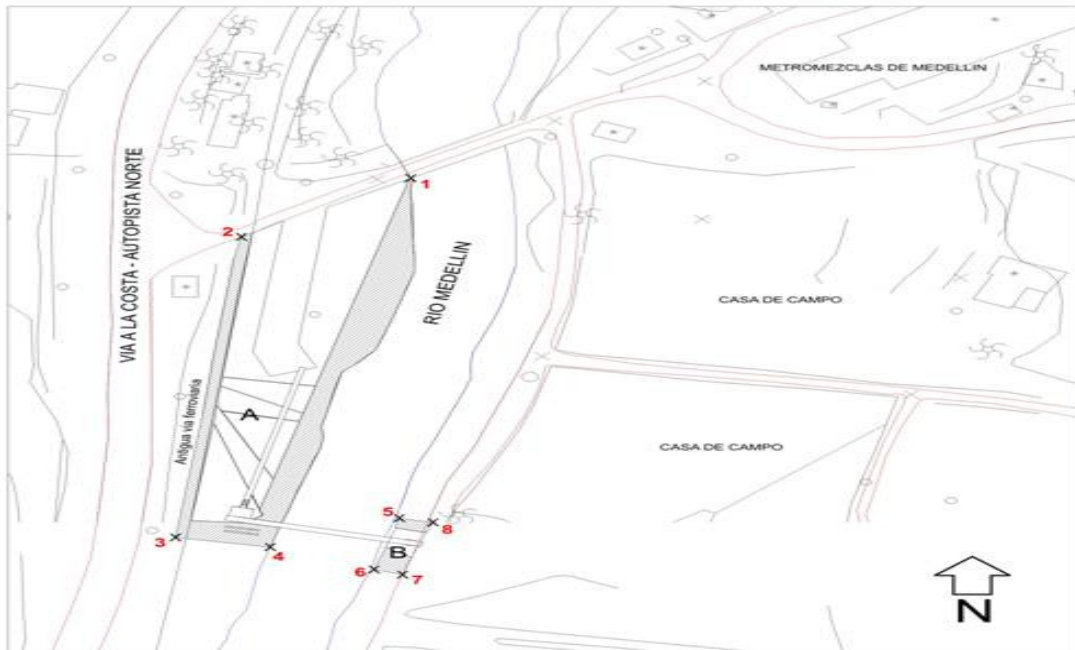
Esta estación estará ubicada al costado izquierdo siguiendo la dirección de flujo del río; en el sector de Metromezclas (ver figura 4). En la Foto 4 se observa la sección transversal del río, la cual se encuentra en un tramo recto. En el sitio se encuentra una estructura en concreto de la cual se desconoce su uso; esta no haría parte del diseño integral sismorresistente de las obras, por lo que se utilizara como obra de protección ante posibles crecientes.





**Foto 4 Sección transversal Ancón Norte.**





ÁREA TOTAL A INTERVENIR (INCLUYENDO PAISAJISMO): 2503m<sup>2</sup> aproximados

ÁREA "A" (ZONA DONDE SE ASIENTA LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN): 2403m<sup>2</sup>  
ENTRE LOS PUNTOS  
1: 843742,6411 - 1196499,7886  
2: 843712,3523 - 1196481,2907  
3: 843700,5799 - 1196386,3003  
4: 843717,4906 - 1196383,2290

ÁREA "B" (ZONA DONDE SE ASIENTA EL EXTREMO ORIENTA DEL PUENTE):  
97,68m<sup>2</sup>  
ENTRE LOS PUNTOS  
5: 843740,5943 - 1196392,3749  
6: 843736,0737 - 1196376,1775  
7: 843741,1613 - 1196374,5343  
8: 843746,6061 - 1196391,0357

Figura 4 Ubicación y área a intervenir Estación Ancón Norte

### 3.2.2.3 TIPO DE OBRAS

La opción seleccionada esta compuesta para las estaciones Ancón Sur, Norte y Acevedo de una edificación que contendrá los instrumentos y equipos necesarios para la medición de la calidad y cantidad de aguas del río Aburrá, así como el cobijo para el personal técnico que realizara dichas mediciones temporales y un puente metálico transversal al río para los monitoreos de calidad y medición de flujo. La construcción de las estaciones, por ser estructuras livianas y pequeñas, no tiene grandes implicaciones sobre la corriente y su cauce.

La estación Aula Ambiental constara de una edificación liviana instalada sobre la estructura existente que contendrá los instrumentos y equipos necesarios para la medición de la calidad y cantidad de aguas del río Aburrá.

### 3.2.2.4 CONCEPCIÓN Y DISEÑO DE LAS OBRAS FÍSICAS DE LAS ESTACIONES

- **DISEÑO ARQUITECTÓNICO**

Los proyectos de Ancón Norte, Sur y Acevedo, se trabajaron unidos por un mismo manejo de espacialidad, aunque estén separados físicamente, pero otorgándole categoría de “hito urbano y arquitectónico”.

El Aula Ambiental se trabajo con un concepto independiente a los anteriores, pero muy unido a la edificación actual. Se maneja la idea de un “prisma” que deslumbre, tanto de día como de noche y genere una imagen que perdure en el transeúnte que pasa por el lugar y que le obligue a pensar sobre las nuevas actividades que se están desarrollando en este sitio.

**Concepción.** Las estaciones Ancón Norte, Sur y Acevedo se diseñan con una concepción de Monolito, monumento generalmente de piedra de una sola pieza. El aula Ambiental tiene una concepción de Prisma, cuerpo compuesto por figuras geométricas, que se usa para la descomposición de la luz.

**Fachadas.** De acuerdo a las características del entorno se proponen diferentes acabados para cada una de las estaciones. (Figura 5.)



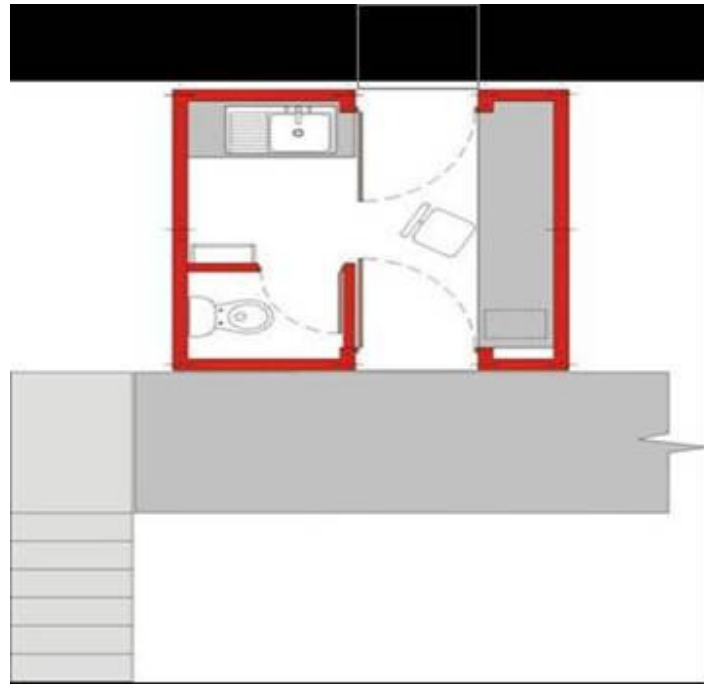
Figura 5 Acabados de las fachadas de las estaciones

**Módulos - Puentes Estaciones Ancón Sur, Norte y Acevedo.** El diseño consiste en una edificación (módulo) y un puente. En las Figura 6 y 7 se presentan los puentes y los módulos

básicos de medición; son iguales en su concepción para las tres estaciones, cambian solo los accesos, ubicación y longitudes de puentes.



**Figura 6 Puentes Estaciones Ancón Sur, Norte y Acevedo**



**Figura 7** Modulo Básico de las Estaciones Ancón Sur, Norte y Acevedo

**Módulo - Estación Aula Ambiental.** La estación Aula Ambiental constará de una edificación liviana que contendrá los instrumentos y equipos necesarios para la medición de la calidad y cantidad de aguas del río Aburrá. Se manejarán materiales livianos que eviten sobrepesos en la estructura actual, cerramiento tipo drywall con estructura en perfilaría metálica y placas de fibrocemento en los exteriores y placas de yeso en el interior o materiales similares. (Figura 8, Figura 9, Figura 3).







Figura 8 Modulo Aula Ambiental

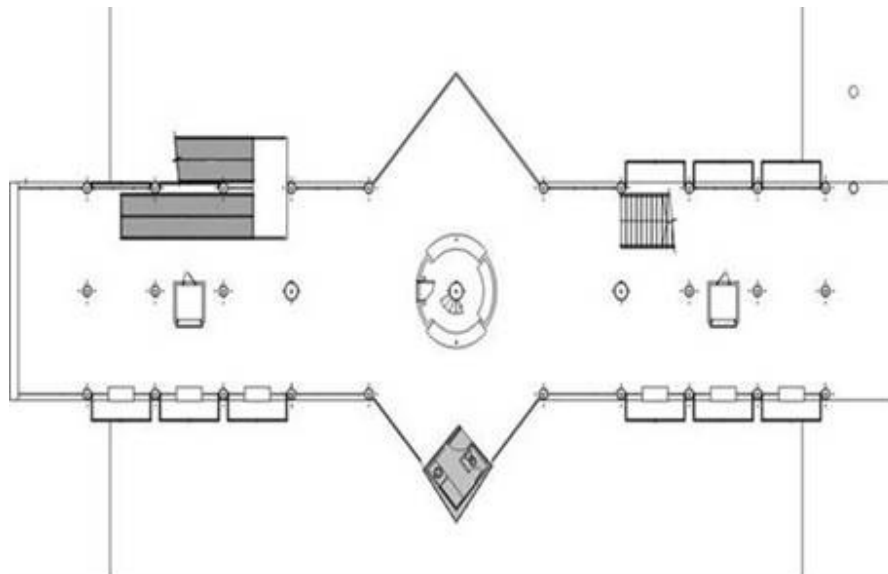


Figura 9 Ubicación Estación Aula Ambiental nivel 1

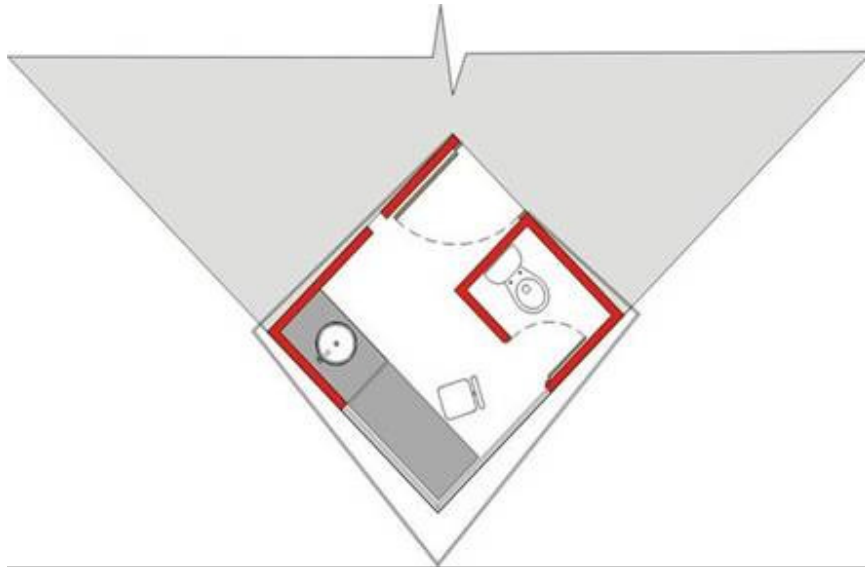


Figura 3 Módulo Estación Aula Ambiental

#### • DISEÑO ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista estructural, el diseño las estaciones lo constituyen obras de mampostería, puentes metálicos y las obras de protección y fundaciones. La caseta que es típica para las tres estaciones, Ancón Sur, Norte y Acevedo, tiene la misma concepción arquitectónica, pero acabados diferentes.

#### Estación Ancón Norte

La caseta que tendrá un área de 10.82 m<sup>2</sup> ( 3,29 \*3,29 m) y una altura de 9,85 m. Esta obra que se construiría con muros en bloques de concreto reforzado con varillas de acero distribuidas vertical y horizontalmente, sería el punto de acceso a un puente metálico que cruzaría el río en sentido Occidente –Oriente una longitud aproximada de 36 m. Los extremos del puente, puntos de salida y llegada estarán cubiertos en los costados con una lamina microperforada en lamina de acero, con un diámetro de ojal de ½ a 1 pulgada. Esto con el fin de impedir el acceso al puente.

El acabado final se proyecta con lajas de piedra pizarra negra en prefabricado de concreto, el piso de la caseta tendrá una altura de 1.0 m con respecto al terreno natural, unas escaleras de acceso de 1.0 m de ancho, tendrá en su interior un mueble de madera de 1.67 m de largo, 0.6 m de ancho y 0.9 m de alto. Contará con dos puertas de acceso, una de ellas a la caseta y tendrá de 0.91 m. de ancho y 2.1 m de altura y la otra será la salida hacia el puente metálico. El puente tendrá una longitud aproximada de 36 m y un ancho de 1.5 m y se dotará de vacíos de 0.6 m. de ancho, desde donde se hará la toma de muestra.

#### Sector Acevedo

Esta estación será construida en la margen derecha del río y estará compuesta, al igual que la de Ancón Norte, de una caseta y un puente metálico transversal al río para los monitoreos

de calidad y medición de flujo. En esta estación existe un puente metálico de propiedad del Municipio de Medellín, se construirá un puente paralelo a éste aguas abajo, con acceso privado y espacios para los monitoreos.

En esta estación, al igual que en Ancón Norte, se propone el mismo tipo de obra; caseta y puente. La caseta tendría las siguientes dimensiones: 3.29 m\* 3.29 m. Esta obra que se construiría con muros en bloques de concreto reforzado con varillas de acero distribuidas vertical y horizontalmente)

El puente metálico que cruzaría el río, tendría una longitud aproximada de 54.1 mts y así como el anterior, estaría dotado de elementos con el fin de impedir el acceso a este. Los extremos, puntos de salida y llegada estarán cubiertos en los costados con una lamina microperforada en lamina de acero, con un diámetro de ojal de ½ a 1 pulgada.

La Estación Acevedo tendrá como acabado bloque de concreto blanco, el piso de la caseta tendrá una altura de 1.0 m con respecto al terreno natural, unas escaleras de acceso de 1.0 m de ancho, tendrá en su interior un mueble de madera de 1.67 m de largo, 0.6 m de ancho y 0.9 m de alto. Contará con dos puertas de acceso, una de ellas a la caseta y tendrá de 0.91 m. de ancho y 2.1 m de altura y la otra será la salida hacia el puente metálico. El puente tendrá una longitud aproximada de 54.1 m y un ancho de 2.4 m y se dotará de vacíos de 0.6 m. de ancho, desde donde se hará la toma de muestra.

### **Sector Aula Ambiental**

Esta estación se concibe como parte integral de la infraestructura del Aula Ambiental. Se plantea su ubicación en la fachada Norte, primer nivel, adherida a la estructura que soporta la edificación y su acceso se hará a través del pasillo de circulación que da acceso a dicho nivel. La estación consta de una edificación liviana de 2.785 m \* 2.785 m, dotada con vacíos donde se instalarían los equipos para hacer las mediciones de caudal y de toma de muestras. Se manejaran materiales livianos que eviten sobrepesos en la estructura actual, cerramiento tipo drywall con estructura en perfilaría metálica y placas de fibrocemento en los exteriores y placas de yeso en el interior o materiales similares. .

### **Sector Ancón Sur**

En esta estación, al igual que en Ancón Norte y Acevedo se propone el mismo tipo de caseta y puente. Sería una construcción que se ubicaría sobre el costado izquierdo del cauce del río, aproximadamente a 100 m aguas abajo del puente de la Variante de Caldas. La construcción consta de una caseta con las siguientes dimensiones: 3.29 m\* 3.29 m. Esta obra que se construiría con muros en bloques de ladrillo tolete perforado reforzado con varillas de acero distribuidas vertical y horizontalmente)

El piso de la caseta tendrá una altura de 1.0 m con respecto al terreno natural, unas escaleras de acceso de 1.0 m de ancho, tendrá en su interior un mueble de madera de 1.67 m de largo, 0.6 m de ancho y 0.9 m de alto. Contará con dos puertas de acceso, una de ellas a la caseta y tendrá de 0.91 m. de ancho y 2.1 m de altura y la otra será la salida hacia el puente metálico. El puente tendrá una longitud aproximada de 30 m y un ancho de 1.5 m y se dotará de vacíos de 0.6 m. de ancho, desde donde se hará la toma de muestra. Los

extremos del puente, puntos de salida y llegada estarán cubiertos en los costados con una lamina microperforada en lamina de acero, con un diámetro de ojal de ½ a 1 pulgada. Esto con el fin de impedir el acceso al puente.

- **COSTOS DE LAS OBRAS**

Se presentan en la siguiente tabla los costos de construcción de las estaciones Ancón Sur, Norte y Acevedo; corresponden a las obras que implica la construcción de los módulos de medición y los puentes, sin incluir las obras de paisajismo.

**Tabla 2. Costo total de la instalación de las estaciones de medición por estación**

ESTACION	COSTOS
ANCON SUR	\$ 161.236.992
AULA AMBIENTAL	\$ 50,558,3.84
ACEVEDO	\$ 227.364.048
ANCON NORTE	\$ 171.037.777

### 3.2.2.5 SERVICIOS PUBLICOS DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

- **REDES HIDROSANITARIAS**

Para el diseño de la red hidrosanitaria de las estaciones de monitoreo: Ancón Sur, Acevedo y Ancón Norte, se tipificó cada modulo de medición en un área de 10.82 m<sup>2</sup>, con un numero igual de aparatos sanitarios (un pozuelo y un sanitario) y la misma distribución espacial. Cada sitio dispone de los certificados de viabilidad de conexión a las redes de acueducto y alcantarillado emitidos por las EEPPM y los permisos de ocupación del cauce otorgado por CORANTIOQUIA.

Para la estación Ancón Norte, ante la inexistencia de redes de alcantarillado en la zona y la recomendación de las Empresas Publicas de Medellín; las aguas residuales generadas en dicha estación se trataran a través de un sistema que consta de un pozo séptico y un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

- **REDES ELÉCTRICAS**

El diseño de las redes eléctricas de las estaciones de monitoreo: Ancón Sur, Acevedo y Ancón Norte se soporto en los módulos de medición, cada uno con un área de 10.82 m<sup>2</sup> (3,29 \*3,29 m) y una altura de 9,85 m. La distribución de las salidas del sistema eléctrico dentro del espacio de medición es igual para los tres módulos, solamente varia en los exteriores de cada uno de los sitios. El sistema se concibió de acuerdo al Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, a la Norma Técnica Colombiana – NTC- 2050, a las Normas de las Empresas Públicas de Medellín EPM y para las redes de voz y datos, se tuvo en cuenta las EIA / TIA 568 y 569.

## • TELECOMUNICACIONES Y SEGURIDAD ELECTRÓNICA

Se propone para la red de monitoreo un sistema que estará en capacidad de soportar un monitoreo automático en las estaciones, con el fin de llevar toda la información recolectada a una base de datos o estación de monitoreo central. Además de la conectividad vía Internet u otro medio, también se contempla el empaquetado del servicio de Internet y Telefonía fija a través de un proveedor local para el servicio de telecomunicaciones, un sistema de seguridad electrónica con monitoreo (opcional) por parte de la empresa prestadora del servicio de vigilancia, el seguimiento remoto o vigilancia de la estación de medida a través de una cámara de video con conexión IP y conexión de los equipos de medida a la red de Internet.

### 3.2.2.6 EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA

En la tablas 3 y 4 se presenta una relación de los equipos automáticos para calidad y los que se consideraron para el aforo de las aguas. De estos últimos se utilizaran sensores de radar, este es un equipo para medir sin contacto el nivel de las aguas superficiales.

**Tabla 3. Especificaciones de los equipos para calidad**

EQUIPO	CANTIDAD	MARCA	MODELO / REFERENCIA	FUNCION DEL ELEMENTO , EQUIPO O MAQUINARIA EN EL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO AMBIENTAL
Multiparamétricos IQ SENSOR NET 184 XT que contiene: Una (1) sonda de Ph Una (1) sonda de REDOX Una (1) sonda de Oxigeno Disuelto Una (1) sonda de Conductividad Una (1) sonda de Turbiedad	4	WTW	SensoLyt 700 IQ. SensoLyt 700 IQ. TriOxmatic. TetraCon 700 IQ. VisoTurb 700 IQ.	Para determinar la calidad fisicoquímica del agua, mediante la determinación de las variables: Ph, Oxígeno disuelto, Conductividad y Turbiedad, en las estaciones de monitoreo de la calidad del Río.
Espectrofotómetro de proceso spectro lyser que incluye: Una (1) sonda spectro Lyser. Una (1) Fuente de poder / conexión aire comprimido. Software avanzado para análisis de procesos. 1 Terminal del sistema CONSTAT (Computador embebido o portátil, con software preinstalado).	4	SCAN	Spectro::Lyser. Con::nect. ana::pro	Para determinar la calidad fisicoquímica del agua, mediante la determinación de las variables: TOC, DQO, DBO, en las estaciones de monitoreo de la calidad del Río.

**Tabla 4. Especificaciones de los equipos para aforar**

EQUIPO	CANTIDAD	MARCA	MODELO / REFERENCIA	FUNCION DEL ELEMENTO , EQUIPO O MAQUINARIA EN EL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO AMBIENTAL
Sensor de Nivel Que incluye. Medidor tipo Kalesto Cable para sensor de 20 m. Logosens Carcasa de protección. Suministro de energía. Batería de respaldo. Panel solar. Duolink. Hydras 3 basico.	4	OTT	3579 14950 6707 3578 12356 14949 11095 13990 13352	Es un sensor de radar sin contacto con el agua con tecnología radar, para la medición del nivel de la lámina de agua.

#### 4 CONCEPCIÓN Y DISEÑO OPERACIONAL DE LAS ESTACIONES

La red de monitoreo esta conformada por estaciones donde se dispone de obras físicas con equipos automáticos instalados; como en las estaciones Ancón Norte, Aula Ambiental, Acevedo y Ancón Sur. En los otros puntos de la red, se harán las mediciones con equipos manuales o una combinación de tipo mixto (automáticos y manuales).

##### 4.1 ASPECTOS Y CRITERIOS TÉCNICOS CONSIDERADOS

Para el diseño de la red se consideraron algunos criterios técnicos que se deben seguir reforzando y depurado en la medida que se vaya consolidando la red, entre estos se tienen los siguientes:

**Tipos de Estaciones:** Estaciones con obras físicas construidas y estaciones localizadas sobre estructuras existes, como puentes sobre el río o sobre lugares estratégicos para la medición.

**Tipos de Monitoreo:** Se realizaran monitoreos con equipos automáticos y con métodos tradicionales; así como una combinación de estos.

**Duración:** Las campañas tendrán duraciones entre 10, 12 y 24 horas y algunas de 7 días.

**Tipo de muestras:** Las muestras serán Integradas y/o compuestas.

**Periodicidad:** Las campañas tendrán una periodicidad de varias veces al año.

**Variables a medir:** Se medirán DBO, DQO, SST, Nutrientes, Biológicos y sedimentos.

**Tipo de Fuente:** Se realizaran los monitoreos sobre la fuente principal Río Aburra- Medellín y sobre algunas quebradas importantes.

## 4.2 MODELO OPERACIONAL DE LA RED

La información hasta ahora procesada y analizada a través de modelos estadísticos; aun no da respuesta definitiva a las hipótesis planteadas, ya que las condiciones propias del río, las relaciones intrincadas entre el territorio y el río requieren un enfoque integral y completo.

A partir de los datos generados en campañas de monitoreo representativas en las diferentes estaciones, se construyeron indicadores de calidad; sin embargo son modelos que concitan a seguir estudiando las condiciones dinámicas del río, sus afluentes, las descargas, las intervenciones positivas o negativas en términos de calidad y cantidad, las dinámicas territoriales de la cuenca, en fin todas las variables complejas que se deben simplificar para su interpretación pero que necesariamente obedecen a una entropía de un territorio históricamente no planificado y que demanda cada vez estudios mas profundos.

En la siguiente tabla se presenta la programación de los monitoreos para la fase siguiente; se especifica el tipo de muestreo, los parámetros a medir, la duración y la periodicidad de las diferentes campañas.

**Tabla 5. Programación de monitoreos**

TIPO DE CAMPAÑA	TIPO DE MUESTREO	PARÁMETROS	ESTACIONES	DURACIÓN	FRECUENCIA
Campañas semestrales	Muestreo Manual	Todos los parámetros al laboratorio, biológicos y sedimentos	14	12 horas	Semestral
	Muestreo mixto	Equipos automáticos y el resto de parámetros al laboratorio, biológicos y sedimentos	4	24 horas	Semestral
Campañas continuas – series de tiempo	Muestreo automático	Equipos automáticos	4	7 días	Mensual
Campañas quincenales	Muestreo Manual	Muestra compuesta Muestras puntuales para medición de DBO,DQO,SST, Nutrientes, biológicos	4	12 horas	Quincenal
	Muestreo mixto	Equipos automáticos y nutrientes al laboratorio, biológicos	4	12 horas	Quincenal
	Muestreo Manual	Muestra compuesta Muestras puntuales para medición de DBO,DQO,SST, Nutrientes, biológicos	5 Quebradas	12 horas	Quincenal
Campañas por periodos estacionales	Muestreo Manual	DBO,DQO,SST, Nutrientes	10 Quebradas	Toma de muestra 6 a.m. y a las 14 horas	Uno invierno Uno verano
	Muestreo mixto	Equipos automáticos y nutrientes al laboratorio	4 Quebradas	10 horas	Uno invierno Uno verano

#### 4.3 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO MEDELLIN

Como parte importante de la modelación de la calidad del río, está la obtención del comportamiento de variables que explican fenómenos como los procesos de autodepuración de la corriente, los cuales se pueden pronosticar en la medida en que se conozcan las cinéticas y tasas de cambio dentro de la fuente, las cuales dependen de diferentes factores, entre los cuales se encuentran los asociados a condiciones naturales, ambientales, antrópicas y las propias del río. Se identificaron y exploraron estos comportamientos a partir del estudio de las constantes biocinéticas propias del río, inicialmente, en los tramos predominantes, los cuales fueron seleccionados dentro del estudio. La información obtenida sirvió para alimentar el modelo de simulación -el QUAL 2K desarrollado por la EPA; donde se considero además de la utilización de las “constantes biocinéticas”, como son reaireación (reacción), desoxigenación y sedimentación, fotosíntesis-respiración y demanda béntica; otras constantes, las relacionadas con la hidráulica, como la constante de dispersión longitudinal.

##### 4.3.1 Tramos seleccionados para la medición de constantes biocinéticas en el Río Aburrá

En la siguiente tabla se presentan los tramos que fueron seleccionados como objeto de estudio.

**Tabla 6. Tramos seleccionados para el monitoreo de las constantes de dispersión y mezcla en el río Aburrá. Red Río fase II**

TRAMOS GRUESOS DEL RÍO	RESULTADO DE LA PRESELECCIÓN
San Miguel – Ancón Sur	Primavera
Ancón sur - Puente Acevedo	Tramo Descarga Quebrada La Mina (Envigado)
	Tramo recto Monterrey – Puente Guayaquil.
	Tramo Aula Ambiental – Cruce Metro de Medellín.
	Tramo Tricentenario- Metro de Medellín.
	Tramo Estación Madera Metro de Medellín.
Puente Acevedo - Puente Gabino	Tramo Puente peatonal Acevedo
	Tramo Copacabana – Cocorolló Papelsa EADE

##### 4.3.2 Resultados obtenidos constantes biocinéticas Red Río Fase II

En la tabla 7 se presentan los resultados de los tiempos de viaje calculados para una gota de agua desde la estación San Miguel hasta Puente Gabino y en la tabla 8 se muestran los valores obtenidos para las constantes experimentales y que fueron utilizadas en el modelo de simulación: Dispersión longitudinal,  $k_1$  (DBOC) y Demanda béntica (SOD)



**Tabla 7. Tiempo de recorrido de una gota de agua sobre el eje central de la cuenca hidrográfica del río Aburrá. Red Río fase II**

A ARRIBA	A ABAJO	TRAMO	VEL VERANO (M/S)	VEL INVIERNO (M/S)	X A ARRIBA (KM)	X ABAJO (KM)	X EN METROS	TIEMPO (H) VERANO	TIEMPO ACUM. (H) VERANO	TIEMPO (H) INVIERNO	TIEMPO ACUM. (H) INVIERNO
San Miguel	Primavera	1	1.28	1.22	5.81	10.56	4749.00	1.03	1.03	1.08	1.08
Primavera	Ancón Sur	2	1.28	0.96	10.56	21.48	10912.00	2.37	3.40	3.16	4.24
Ancón Sur	Antes San Fernando	3	0.72	0.72	21.48	27.94	6462.00	2.49	5.89	2.49	6.73
Antes San Fernando	Después San Fernando	4	0.99	0.99	27.94	29.02	1079.00	0.30	6.19	0.30	7.03
Después San Fernando	Puente Guayaquil	5	0.89	0.89	29.02	33.44	4426.00	1.38	7.58	1.38	8.42
Puente Guayaquil	Aula Ambiental	6	0.65	1.47	33.44	37.14	3701.00	1.58	9.16	0.70	9.12
Aula Ambiental	Puente Acevedo	7	0.83	1.32	37.14	42.36	5218.00	1.75	10.90	1.10	10.22
Puente Acevedo	Puente Machado	8	0.73	1.32	42.36	46.66	4299.00	1.64	12.54	0.91	11.13
Puente Machado	Metromezclas	9	0.73	1.70	46.66	54.38	7717.00	2.94	15.48	1.26	12.39
Metromezclas	Puente Girardota	10	1.03	1.18	54.38	59.22	4846.00	1.31	16.78	1.14	13.53
Puente Girardota	Parque de Las Aguas	11	0.57	1.18	59.22	65.01	5787.00	2.82	19.60	1.36	14.89
Parque de Las Aguas	Hatillo	12	0.57	1.18	65.01	70.73	5716.00	2.79	22.39	1.35	16.24
Hatillo	Papelsa	13	0.77	1.39	70.73	80.90	10174.00	3.67	26.06	2.04	18.28
Papelsa	Popalito	14	1.03	1.39	80.90	89.78	8881.00	2.40	28.45	1.78	20.06
Popalito	Pradera	15	1.03	1.39	89.78	96.25	6467.00	1.74	30.20	1.30	21.36
Pradera	EADE	16	1.03	1.39	96.25	104.11	7866.00	2.12	32.32	1.58	22.94
EADE	Puente Gabino	17	0.77	0.77	104.11	105.00	886.00	0.32	32.64	0.32	23.25

**Tabla 8. Valores de las constantes biocinéticas halladas experimentalmente en el río Aburrá que fueron asentados en el modelo de simulación QUAL2K. Río Aburrá fase II**

Nombre del tramo	Numeración	Distancia A. Arriba	Distancia A. Abajo	Velocidad m/s	Dispersión EL	SOD medido	% SOD Área del lecho del río	SOD ponderado	kh (1/d)	k1 (1/d)	kn (1/d)	Dispersión y mezcla
Primavera	1	99.186	94.437	1.28	2.38196641	0	0.00	0.00	0.0708	0.11548	0.07440	2.0
Ancón Sur	2	94.437	83.525	1.28	2.38196641	0	0.00	0.00	0.0708	0.11548	0.07440	2.0
Antes San Fernando	3	83.525	77.063	0.72	16.0591301	3.56	0.30	1.07	0.2222	0.13007	0.07679	2.0
Despues San Fernando	4	77.063	75.984	0.99	16.0591301	3.56	0.30	1.07	0.2222	0.13007	0.07679	2.0
Puente Guayaquil	5	75.984	71.558	0.89	16.0591301	3.38	0.30	1.01	0.2222	0.13007	0.07679	2.0
Aula Ambiental	6	71.558	67.857	0.65	16.0591301	3.38	0.30	1.01	0.2222	0.13007	0.07679	2.0
Puente Acevedo	7	67.857	62.639	0.83	16.0591301	3.38	0.30	1.01	0.2222	0.13007	0.07679	2.0
Puente Machado	8	62.639	58.340	0.73	16.0591301	3.38	0.30	1.01	0.2608	0.19290	0.07210	2.0
Metromezclas	9	58.340	50.263	0.73	33.2763256	2.70	0.20	0.54	0.2608	0.19290	0.07210	3.0
Puente Girardota	10	50.263	45.777	1.03	16.0591301	2.52	0.20	0.50	0.0437	0.16630	0.04360	2.0
Parque de Las Aguas	11	45.777	39.990	0.57	16.0591301	2.52	0.20	0.50	0.0437	0.16630	0.04360	1.0
Hatillo	12	39.990	34.274	0.57	16.0591301	2.52	0.20	0.50	0.0437	0.16630	0.04360	2.0
Papelsa	13	34.274	24.100	0.77	33.2763256	1.28	0.20	0.26	0.1165	0.13980	0.05370	3.0
Popalito	14	24.100	15.219	1.03	33.2763256	1.28	0.00	0.00	0.1165	0.13980	0.05370	3.0
Pradera	15	15.219	8.752	1.03	33.2763256	1.28	0.00	0.00	0.1165	0.13980	0.05370	3.0
EADE	16	8.752	0.886	1.03	16.0591301	1.97	0.00	0.00	0.0821	0.14600	0.09120	1.0
Puente Gabino	17	0.886	0.000	0.77	16.0591301	1.97	0.30	0.59	0.0821	0.14600	0.09120	1.0

### 4.3.3 Resultados modelación de la calidad del agua del Río Aburrá (Modelo QUAL2K)

- **Parámetros hidráulicos**

La cuenca del río Aburrá posee una vasta área de drenaje, la cual alimenta la corriente en toda la extensión del estudio y su aporte a excepción de la zona urbanizada, genera un proceso de dilución y por ende mejoramiento de la calidad muy notable en algunos de los tramos. Por ejemplo, la descarga de Tasajera, aunque es intermitente genera un proceso de dilución importante que se ve reflejado en los parámetros de calidad; así como la descarga de Río Grande. De igual manera, cerca de cuarenta(40) quebradas se constituyen en los principales tributarios del río Aburrá, los cuales a su vez representan micro cuencas que aportan al río una calidad de agua de acuerdo a los usos del territorio por donde cruzan, siendo de mejor condiciones, las aguas que están fuera del área de la cuenca urbana.

- **Parámetros de calidad(Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto y Conductividad)**

Una de las constantes que fueron medidas en el río Aburrá fue “K1” la cual mide la velocidad de reacción de la DBO carbonácea. Al calibrar el modelo, se observó que los datos experimentales coinciden a lo largo del recorrido del río, ello reafirma que las constantes utilizadas para el río Aburrá representan la realidad que demuestran los datos experimentales de cada monitoreo.

El Oxígeno Disuelto presenta un comportamiento inversamente proporcional a la DBO y la Conductividad, la que fuera según el análisis estadístico, la variable respuesta más importante en la calidad del río Aburrá, sigue el mismo comportamiento de la DBO.

El modelo muestra un primer tramo de montaña con condiciones limpias; a partir de Ancón Sur se presenta un detrimento progresivo de la calidad que permanece estable hasta el Aula Ambiental en donde la contaminación aumenta hasta llegar a su punto más crítico en el tramo Puente Machado - Metro Mezclas. En este sitio comienza la recuperación del río debido a factores; como la dilución que generan las quebradas que tributan al río Aburrá, la turbulencia y mezcla violenta que acelera reacciones bioquímicas, precipitaciones, resuspensión y mejora la biodisponibilidad en el proceso de la DBO, lo cual se traduce en una mayor recuperación y por último, el hecho de que termina la zona donde ingresan masivamente los contaminantes de origen industrial y doméstico, la cual se concentra en el casco urbano.

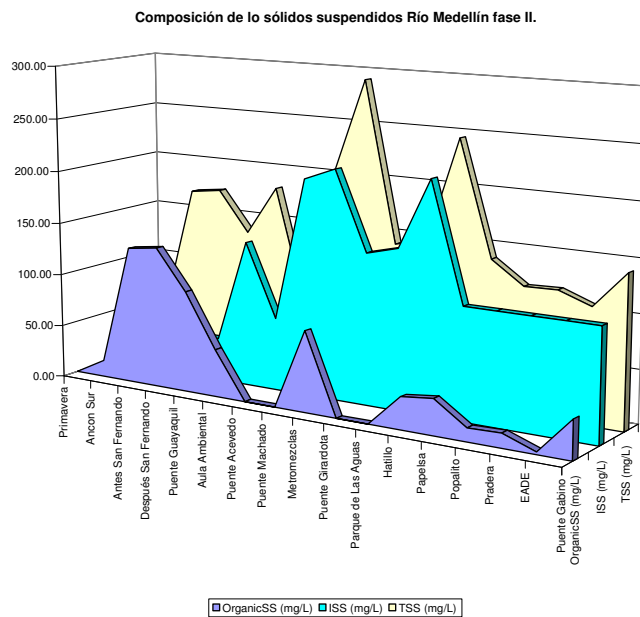
- **Sólidos Suspendidos Totales**

El mayor aporte en carga de demanda de Oxígeno es generada por los Sólidos Suspendidos Orgánicos, este componente actúa como principal detractor de la calidad organoléptica y fisicoquímica del río Aburrá y se presenta como uno de los principales problemas a solucionar después de la DBOC disuelta, dentro del componente de calidad.

En el caso de los Sólidos Totales, comienza su crecimiento sostenido desde Ancón Sur hasta Puente Acevedo, en el tramo Acevedo – Puente Machado- Metromezclas, se presenta

el mayor aumento, muy influenciado por los interceptores y las descargas de agua residual de toda la zona nororiental y noroccidental de Medellín, además de los municipios de Bello y Copacabana. En este tramo comienza la recuperación del río expresada en la disminución de los Sólidos Suspendidos, que en Puente Gabino (la última estación) llega a los mismos niveles que se encuentran en Ancón Sur (la tercera de 20 estaciones de control). En este sitio se presenta una dilución de casi 170 mg/l en aproximadamente 68.000 litros de aumento de caudal que se presenta en el trayecto Puente Machado – Puente Gabino, el cual mide cerca de 68 Km.

En el caso de los Sólidos Suspendidos Inorgánicos, el comportamiento es casi idéntico al que presentan los Sólidos Suspendidos, lo cual refleja el aporte de todas las zonas de explotación de material de playa que se extienden a lo largo del río y que soporta un importante componente social y económico de la cuenca.



**Figura 4 Composición de los sólidos suspendidos río Aburrá fase II 2006**

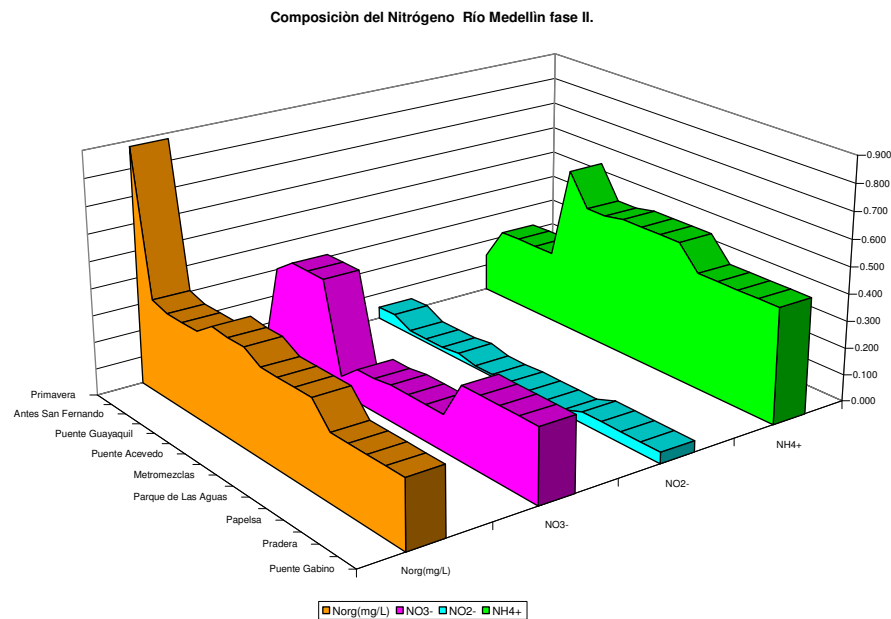
En la Figura 4 se puede observar el comportamiento de los Sólidos Suspendidos en el río Aburrá, allí se notan algunos fenómenos particulares; el primero desde Ancón Sur hasta Puente Guayaquil, donde se puede apreciar que los sólidos se componen principalmente por Suspendidos Orgánicos, característicos de contaminación domestica; de allí en adelante y hasta la estación Papelsa, a pesar de la ausencia de los datos, se nota un incremento en el

contenido de Sólidos Suspendidos Inorgánicos, lo cual sustenta la realidad conocida de los usos del suelo en esta zona del río, donde son extraídos materiales de playa producto de la erosión y arrastre de la cuenca; además de la explotación de material a nivel industrial que se presenta en algunas de las laderas del Área Metropolitana.

- **Nutrientes**

En los primeros kilómetros del río hasta Ancón Sur, el Nitrógeno se presenta en las formas de Nitratos, Orgánico y Amoniacal en porcentajes similares, este es el efecto del comienzo de la contaminación domestica.

En el tramo Ancón Sur – Puente Guayaquil se observa el aumento de los Nitratos en el agua; por encima del Amoniacal y el Orgánico, evidenciando una acción biológica de conversión de las formas orgánicas al amoniacal hasta los nitratos, lo cual biológicamente significa que hay lugar a procesos de degradación aerobia de materia orgánica, ver Figura 5.



**Figura 5 Composición del nitrógeno por estaciones. Río Aburrá fase II.**

Después de la estación de puente Guayaquil hasta la estación Ancón Norte se presenta un tramo crítico por varias razones; en primer lugar el Nitrógeno Amoniacal llega a niveles de 12 mg/l y el Orgánico hasta 8 mg/l, lo cual indica una carga considerable de nutrientes y por ende de carga orgánica que es presumiblemente degradable, no obstante al mirar los contenidos de Nitratos, la composición es muy baja aun con la disponibilidad de nitrógeno orgánico y amoniacal que se tiene para degradar. De la estación Papelsa en adelante hay un nuevo repunte de la producción de Nitratos hasta la estación Puente Gabino. De esta situación surgen preguntas importantes: porque en el tramo Puente Guayaquil – Ancon Norte

se inhibe la nitrificación? Y ¿podría estar sucediendo lo mismo con la materia orgánica presente siendo inhibida su degradación aerobia?, A lo cual aparecen varias respuestas que pueden ser posibles todas a la vez:

- El oxígeno no es favorable en este tramo del río para que se de el proceso de nitrificación, lo cual es posible debido a que en general es el tramo con mayores déficit de oxígeno en el río.
- El componente residual industrial genera vertimientos capaces de inhibir las reacciones biológicas, lo cual con toda seguridad debilita los procesos de depuración que en su mayoría son realizados por especies biológicas.
- La carga orgánica en este tramo del río es tal que los procesos aerobios de degradación no tienen la posibilidad de darse en la columna de agua sino solo hasta que el río por la dilución mejora sus condiciones. Como es sabido de los procesos biológicos, un sistema o reactor posee una determinada relación de alimento/ microorganismos, si esta relación cambia, el funcionamiento de las bacterias dejara de ser el óptimo. Para el río Aburrá el funcionamiento no es diferente, en el momento que el sustrato o materia orgánica sea muy poca, la degradación será escasa y si por el contrario el contenido de sustrato supera el límite de lodos que tolera un grupo de bacterias, el sistema colapsa y la degradación se detiene. La nitrificación y en general la degradación biológica orgánica hacen parte de estos procesos.

Las constantes mas influyentes en el proceso químico de los nutrientes dentro de la columna de agua, son las de hidrólisis del N -Orgánico y la de Nitrificación del N –Amoniacal, dichas constantes fueron halladas para cada tramo del río Aburrá. Con esta información se intento calibrar el componente de nitrógeno en el río, sin embargo se encontró un gran obstáculo y fue la falta de más datos. El programa QUAL2K realiza todas sus operaciones de calidad y cantidad por medio de balances de masas, cargas y cantidades, en el caso de la calidad y específicamente de los nutrientes, el análisis matemático se hace teniendo en cuenta las entradas ponderadas de masa de cada uno de los tributarios, los cuales ingresan a la corriente principal con valores de DBO, Sólidos, Nutrientes como Nitrógeno y Fósforo y algunas variables in situ como Oxígeno y Conductividad.

Actualmente no se dispone de información suficiente; en el monitoreo de las quebradas realizado durante la fase I en el año 2004, no se hicieron mediciones de ninguna de las formas de nutrientes, ni de otras variables importantes como son la gama de sólidos, sus relaciones con la DBO y la DQO, formas de Nitrógeno y Fósforo, entre otras; que están incluidas en el balance del QUAL2K.

- **Demanda béntica**

La demanda béntica genero valores entre 0.0 y 5.0 mg/l. La demanda béntica en el río Aburrá aunque esta de acuerdo con las características residuales del mismo, es baja por las razones que se exponen a continuación: el río Aburrá maneja velocidades muy altas las cuales generan procesos de resuspensión y muy pocas zonas de asentamiento en donde se pudieran ocasionar depósitos de material béntico que finalmente generen demanda de oxígeno de la columna de agua; las características morfológicas del cauce del río Aburrá son

de río de montaña con alta pendiente, lecho rocoso y en algunos casos con mezcla rápida y en otros casos con mezcla violenta; por otro lado para que la demanda béntica genere impacto importante en un cuerpo de agua son necesarias grandes profundidades y bajas velocidades lo cual es característico de embalses y represas con ingresos de nutrientes. Entre otras razones este proceso en el río Aburrá genera un muy bajo impacto frente a otras variables de modelación y de calidad que se deben estudiar, entender y caracterizar su dinámica.

#### 4.3.4 Conclusiones y recomendaciones

- **LONGITUDES DE MEZCLA**

En todas las salidas realizadas durante el desarrollo de la investigación de longitudes de mezcla, se observaron las plumas coloreadas que forman una serie de descargas en el río Aburrá y que se comportan de manera similar por tramos dado que las características del cauce y a su vez la hidráulica del canal inducen a fenómenos de mezcla que solo cambiarían si cambiara la morfología del cauce y aunque este hecho se puede presentar no es un fenómeno muy dinámico en el tiempo.

Otro suceso que interviene y cambia las longitudes de mezcla, es la cantidad de agua, es decir, el aumento en el caudal modifica la hidráulica del canal, así mismo cambia las condiciones de mezcla en la corriente.

Cualquier cambio de sección, como embotellamiento, estrechamiento, aumento de la profundidad, disminución en el ancho, resalto hidráulico, rápidos o cualquier aumento de la velocidad en general, causa en el agua pérdida de la pluma de contaminación, es decir, mezcla inducida en la sección transversal.

En el río Aburrá las longitudes de mezcla naturales para descargas importantes como las principales quebradas, están sujetas y son alteradas por los cambios mencionados. Dichos cambios se encuentran presentes en toda la sección canalizada en el sector urbanizado de la cuenca del río Aburrá y en forma recurrente, de manera que es posible afirmar que no existe una longitud mayor a 2 km sin que aparezca uno de ellos. Este hecho unido a la información de descargas levantada permite concluir que no existe en la zona canalizada Ancón sur – quebrada La García, un tramo con características uniformes que permita la determinación de la longitud de mezcla natural, es decir, sin la intervención de cualquier obstáculo hidráulico, cambio de dirección, cambio de sección, estrechamiento o nueva descarga que altere la mezcla que se viene dando y que induzca la mezcla en la sección transversal.

El único caso que no presenta este comportamiento es el de la quebrada La Hueso; la cual ingresa al río Aburrá a la altura de la calle San Juan y progresa cambiando de color el río (margen izquierda) hasta el sector de Moravia, a pesar de que en este trayecto recibe descargas tan importantes, como las quebradas Santa Elena, Iguana, El Molino y La Bermejala; además recibe la influencia del resalto hidráulico de la plaza minorista. En este punto se observan dos colores, uno influenciado por la mancha de La Hueso en la margen

izquierda y el otro por La Santa Elena en la margen derecha, los cuales se van fundiendo aguas abajo hasta la descarga de colectores EPPMM (Moravia).

### • RÍO ABURRÁ DILUCIÓN O RECUPERACIÓN

El río Aburrá es un río particularizado por los fenómenos que van sucediendo a medida que descende su eje central, por otra parte, es un río de alta montaña con altas pendientes y gran turbulencia, lo cual sugiere altas tasas de recuperación o por lo menos características organolépticas aceptables, en respuesta a la gran descarga contaminante que entrega el Área Metropolitana. A partir de este escenario se plantea una pregunta relacionada con la capacidad del río Aburrá para auto recuperarse. ¿Cual es la capacidad de auto recuperación del río Aburrá? .

De 7 de los 10 monitoreos realizados durante el 2006 se tomo la información de calidad por tener los valores mas consecuentes entre si y se selecciono un tramo en el RÍO ABURRÁ que fuera un modelo de recuperación. El tramo escogido fue Puente Machado – Puente Gabino, el cual representa la salida del río de la zona urbanizada y el comienzo de una cuenca natural con todas las implicaciones hidrológicas y de calidad que conlleva, entre otras, el ingreso de gran cantidad de tributarios de buena calidad en comparación con los tributarios del área urbanizada.

Se realizo un balance de masas teniendo en cuenta las concentraciones de DBO en el punto mas critico del río (Puente Machado) y los caudales que ingresan a partir de este punto hasta la estación Puente Gabino. Los resultados obtenidos son los que se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9. Concentraciones de dilución de carga de DBO Puente Gabino. Río Aburrá fase II**

FECHA MONITOREO MANUAL 2006	DBO PUENTE GABINO (PG)	
8 de mayo invierno	DBOF (modelo) PG	29,42
	DBOF (esperada) PG	28,22
27 de junio transición	DBOF (modelo) PG	19,63
	DBOF (esperada) PG	17,23
17 de julio verano	DBOF (modelo) PG	21,68
	DBOF (esperada) PG	21,92
24 de julio verano	DBOF (modelo) PG	22,39
	DBOF (esperada) PG	23,46
8 de agosto verano	DBOF (modelo) PG	18,23
	DBOF (esperada) PG	18,04
15 de agosto verano	DBOF (modelo) PG	23,78
	DBOF (esperada) PG	23,42
28 de agosto verano	DBOF (modelo) PG	34,39
	DBOF (esperada) PG	37,42

Si se comparan los valores que genero el programa QUAL2K con los valores esperados por el efecto de dilución, se observa que son muy parecidos entre si. El anterior cálculo presume que en el río Aburrá el efecto de disminución de la contaminación sucede solo por la dilución



que genera la cuenca, sin embargo no se han tenido en cuenta otros tributarios que en este tramo pueden ingresar contaminantes al eje principal. No obstante existen tres tramos en el río que se diferencian por su capacidad para auto recuperarse, estos son:

- Ancón sur – Puente Guayaquil
- Puente Guayaquil – Papelsa
- Papelsa – EADE

De estos tres tramos; solo en el primero y en el último se evidencia en los resultados, procesos biológicos de degradación aerobia. En el tramo Puente Guayaquil – Papelsa el río se encuentra con tal contenido de carga orgánica, de desechos industriales y niveles de oxígeno disuelto, que el proceso biológico se inhibe y la recuperación se presume prácticamente nula.

#### • **MEDICIÓN DE QUEBRADAS**

Se debe mejorar y aumentar la información sobre las quebradas tributarias del río Aburrá, partiendo de las más importantes e influyentes en la calidad del río, que permita identificar los usos principales de cada microcuenca y se pueda generar una matriz capaz de identificar y rastrear generadores de vertimientos. Además de mejorar los insumos para la predicción del modelo. Es necesario igualmente confrontar esta información, con los datos de planeación de EEPPMM, con el fin de identificar y excluir aquellas quebradas que se encuentren dentro de los planes de construcción a futuro inmediato de colectores e interceptores para la red de alcantarillado existente y obras a futuro medio, como la construcción de la planta de tratamiento de Niquía, entre otras.

#### • **MEDICIÓN UNIFICADA DE NUTRIENTES Y GRUPOS DE VARIABLES**

Se debe medir el Nitrógeno y Fósforo en todas sus formas orgánicas e inorgánicas, los Sólidos Orgánicos, Inorgánicos, Suspendidos y Disueltos, DQO y DBO, establecer relaciones de cada parámetro, cada porcentaje, composiciones de cada uno de los parámetros por grupos, Nitrógeno, Fósforo, Sales Disueltas, relaciones Sólidos/Sales, Sólidos/DBO, Sólidos/DQO, etc. Se debe caracterizar el río por sectores, como ya se ha hecho en la presente investigación, donde por ejemplo, se encontraron relaciones entre cada una de las formas de Nitrógeno con el Nitrógeno Total, que se repetían por estaciones en varios de los monitoreos, es decir cada estación se caracterizaba por tener su propia relación de NNH<sub>4</sub>/NT o N orgánico/NT. Esta información permitirá entender el proceso biológico de cada tramo y caracterizar tramo por tramo el río hasta definir los componentes de la matriz de contaminantes.

#### • **AMPLIACIÓN DE LAS CONSTANTES A OTROS TRAMOS**

Es necesario ampliar la medición de las constantes a otros tramos, considerando su importancia y relevancia en el fenómeno de calidad en la columna de agua; además debe hacerse más exhaustiva con el fin de aumentar la representatividad de los datos, lo cual permitirá evaluar su calidad, aplicabilidad al río y peso dentro del modelo.

## • VARIACIONES AL PROGRAMA DE MODELACIÓN QUAL2K

El modelo QUAL2K no permite ingresar valores de DQO, este tiene en cuenta los procesos asociados a una demanda de oxígeno mas lenta que la DBO5 la cual llama DBO lenta que comprende materia orgánica disuelta lentamente biodegradable, lo cual en algo se asemeja a la DQO. En cuanto a los sólidos suspendidos, en el modelo son tomados como material orgánico particulado el cual genera demanda con otras velocidades de reacción diferentes a la DBO lenta., sin embargo el programa QUAL2K recomienda para casos en que se necesite trabajar con los valores de la DQO lo siguiente: tomar la DBO rápida asumiéndola como la ultima disuelta y la DBO lenta asociarla al material químicamente oxidable, el cual según QUAL2K, es una materia mas persistente o recalcitrante que es lo que sucede con el material químicamente oxidable de cualquier cuerpo de agua.

## 4.4 MODELACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN EL RIO MEDELLIN

### 4.4.1 Campañas de aforo

En las Tabla 10.0, 11 y 12 se presentan cuadros resúmenes de los aforos realizados durante los años 2006 y 2007.

**Tabla 10. Cuadro resumen aforos realizados año 2006**

ESTACIÓN	CAUDAL (m3/s)									
	08/05/06	30/05/06	11/06/06	27/06/06	17/07/06	24/07/06	30/07/06	08/08/06	15/08/06	28/08/06
San Miguel	1.46	1.13	1.89	0.68	0.46	0.46	0.43	0.42	0.43	0.32
Primavera	1.77	1.81	4.85	2.27	1.71	1.52	1.48	1.35	0.93	1.31
Ancón Sur	3.50	2.41	6.70	8.66	2.49	4.10	5.16	4.84	3.30	4.16
Doña Maria	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Antes de San Fernando	4.78	4.96	12.99	9.72	4.43	7.30	7.25	8.61	5.87	7.40
Después de San Fernando	6.82	7.00	15.03		5.43	8.30	8.02	9.61	6.87	8.40
Puente de Guayaquil	9.91	9.91	15.11	9.91	10.70	8.26	8.41	7.39	6.39	8.41
Aula Ambiental	26.06	26.06	21.49	9.93	15.35	12.87	14.90	12.97	11.19	14.68
Acevedo	44.81	40.02	27.10	15.03	17.19	13.61	22.26	16.43	16.48	18.35
Q. La García	2.25	2.25	2.25	2.25	1.88	1.73	2.76	2.09	1.46	3.10
Machado	56.07	50.08	33.91	18.81	21.51	17.03	0.00	20.56	20.62	22.96
Metromezclas	58.32	62.33	51.39	34.34	21.81	20.84	29.99	27.22	23.86	28.64
Girardota	65.52	63.91	52.70	42.05	19.08	20.90	23.85	29.52	29.03	31.31
Tasajera	6.60	9.01	42.10	28.23	19.25	13.54		43.21	35.74	
El Hatillo	72.20	70.43	58.07	46.34	40.28	36.57	20.31	35.53	31.99	34.50
Papelsa	129.99	70.85	107.80	55.34	43.09	34.98	24.35	63.67	52.72	34.28
Popalito	140.06	76.34	116.15	59.62	46.43	37.69	0.00	68.60	56.80	36.94
Pradera	147.27	80.27	122.13	62.69	48.82	39.63	0.00	72.14	59.73	38.84
Eade	152.43	83.08	126.41	64.89	50.53	41.02	0.00	74.66	61.82	40.20
Puente Gabino	251.93	137.31	208.93	107.25	83.51	67.79	0.00	123.40	102.18	66.44
	No hubo descarga									

**DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE LA SEGUNDA ETAPA DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ**

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

ESTACIÓN	CAUDAL (m3/s)
	Caudal medido directamente en campo
	Dato faltante se incluyó información de Red Río Fase I
	Caudal medido mediante alguna de las estrategias descritas
	Cambio de dato por problemas en el equipo de medición y se calculó mediante alguna de las estrategias descritas
	Dato suministrado por Estudio para la reglamentación del aprovechamiento y uso de las aguas de la Quebrada Doña María

**Tabla 11 Cuadro resumen aforos realizados año 2007**

ESTACIÓN	CAUDAL (m3/s)							
	02/03/2007	04/03/2007	06/03/2007	09/03/2007	11/03/2007	13/03/2007	15/03/2007	20/03/2007
San Miguel	0.39							0.35
								0.32
Primavera	1.27							
Ancón Sur	2.65	3.10						
	2.31							
Antes de San Fernando	3.70	4.47						
		3.96						
Después de San Fernando		6.16				6.12		
		5.50				7.22		
Puente de Guayaquil		6.11	7.37			7.21		
		7.19	7.25			6.67		
Aula Ambiental			10.56					15.18
			10.34					
Acevedo			14.37					
Q. La García								
Machado								
Metromezclas							24.27	24.75
Girardota				18.53				
Tasajera								
El Hatillo								
Papelsa					43.80		44.11	
							46.05	
Popalito								
Pradera								
Eade								
Puente Gabino								

**Tabla 12 Cuadro resumen aforos realizados año 2007**

ESTACIÓN	CAUDAL (m3/s)						
	23/03/2007	24/03/2007	16/04/2007	18/04/2007	20/04/2007	24/04/2007	29/04/2007
San Miguel			0.64				1.34
Primavera					1.83		
Ancón Sur			5.51		6.18		
Antes de San Fernando							
Después de San Fernando							
Puente de Guayaquil						14.18	
Aula Ambiental		8.22				18.27	
Acevedo						29.42	
Q. La García							
Machado							
Metromezclas	19.72	26.55		22.95			40.83
Girardota		26.79		23.19			
Tasajera							
El Hatillo							
Papelsa				66.00			
Popalito							
Pradera							
Eade							
Puente Gabino							

#### 4.4.2 Estimación de caudales medios

Para la estimación de caudales medios en la cuenca del Río Aburrá, se recurre a la aplicación del método del balance hidrológico a largo plazo, considerando que en la cuenca los caudales medios pueden ser expresados como la diferencia de la lámina de agua precipitada menos la lámina de agua evaporada. Se realiza un balance hídrico en las cuencas determinadas por las estaciones de caudal, localizadas al interior de la cuenca del Río Aburrá, estos caudales medios se comparan con los caudales medios históricos medidos en estas estaciones, presentando notables diferencias entre los estimados y los caudales medidos, esto debido al aporte de aguas residuales de los diferentes municipios del Valle de Aburrá, los cuales son producto, en su mayoría, de trasvases de cuencas vecinas.

Con base en el aporte de aguas residuales calculado para cada municipio, se estiman los mismos en los puntos donde existen o existieron las estaciones de medición de caudal sobre el Río Aburrá. Una vez estimados estos caudales y restados al valor del caudal medio histórico en cada una de las estaciones, se compara este resultado con los caudales medios

estimados por los diferentes métodos, presentando mejores resultados, debido a la corrección por agua importada de otras cuencas para obtener un régimen natural estimado.

Finalmente se calculan los caudales medios en las estaciones de aforo, como la suma entre el caudal medio estimado y el caudal de aporte de aguas residuales. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 13:

**Tabla 13 Caudales medios estimados en las estaciones de aforo**

ESTACIÓN	APORTE DE AGUAS RESIDUALES (m3/s)	CAUDAL MEDIO RECONSTRUIDOS (m3/s)		
		GENICAFE	REGIONAL	TURC
Alto San Miguel	0.000	0.550	0.510	0.620
La Primavera	0.000	1.980	1.870	2.190
Ancón Sur	0.270	5.280	5.050	5.780
Antes de San Fernando	0.270	8.690	8.340	9.520
Después de San Fernando	1.397	10.997	10.587	11.947
Puente Guayaquil	1.397	12.667	12.247	13.757
Aula Ambiental	0.270	15.720	15.140	17.220
Puente Acevedo	4.091	20.271	19.701	21.821
Puente Machado	6.209	25.769	24.939	27.769
Copacabana	6.827	28.137	27.197	30.357
Metromezclas	6.912	28.842	27.902	31.122
Puente Girardota	7.049	30.079	29.119	32.449
Parque de Las Aguas	7.228	31.788	30.798	34.288
Hatillo	7.296	32.466	31.476	35.016
Papelsa	7.296	38.276	37.046	41.396
Popalito	7.296	42.016	40.756	45.336
Pradera	7.296	44.896	43.676	48.336
Eade	7.296	47.116	45.966	50.606
Puente Gabino *	7.296	98.896	94.996	107.596
Doña Maria	0.000	2.530	2.400	2.800
Quebrada La García	0.000	2.330	2.130	2.660

#### 4.4.3 Estimación de caudales extremos (mínimos)

Para la estimación de caudales mínimos se desarrollaron metodologías a partir de la información hidrológica existente. Las metodologías empleadas fueron las siguientes: Regionalización de Características Medias, Modelo de Tanques, modelo GR4J y Curva de Recesión.

#### 4.4.3.1 REGIONALIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MEDIAS

La Regionalización de Características Medias se realiza con base en los reportes de caudales mínimos instantáneos de las estaciones de caudal localizadas sobre el Río Aburrá. Los caudales mínimos para diferentes periodos de retorno en las estaciones de aforo, calculados mediante esta metodología, se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 14. Caudales mínimos calculados en las estaciones de aforo según el método de regionalización de características medias**

CAUDAL MÍNIMO (M3/S)									
ESTACIÓN	ÁREA (KM2)	$\mu$ MIN	$\sigma$ MIN	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
				2.33	5	10	25	50	100
Alto San Miguel	14.91	0,224	0,061	0,204	0,174	0,157	0,141	0,132	0,124
La Primavera	49.88	0,749	0,203	0,684	0,582	0,525	0,472	0,441	0,415
Ancón Sur	133.20	1,999	0,543	1,826	1,554	1,402	1,261	1,178	1,109
Antes de San Fernando	237.08	3,559	0,966	3,250	2,766	2,496	2,244	2,097	1,974
Después de San Fernando	273.94	4,112	1,116	3,755	3,196	2,884	2,593	2,423	2,281
Puente Guayaquil	333.54	5,006	1,359	4,572	3,891	3,512	3,157	2,950	2,777
Aula Ambiental	474.38	7,120	1,932	6,503	5,534	4,994	4,490	4,196	3,950
Puente Acevedo	510.91	7,669	2,081	7,004	5,960	5,379	4,835	4,519	4,254
Puente Machado	639.35	9,597	2,604	8,765	7,458	6,731	6,051	5,655	5,324
Copacabana	710.85	10,670	2,895	9,745	8,293	7,484	6,728	6,288	5,919
Metromezclas	738.43	11,084	3,008	10,123	8,614	7,774	6,989	6,532	6,149
Puente Girardota	782.96	11,752	3,189	10,733	9,134	8,243	7,410	6,925	6,520
Parque de Las Aguas	840.77	12,620	3,424	11,526	9,808	8,852	7,957	7,437	7,001
Hatillo	862.79	12,950	3,514	11,828	10,065	9,084	8,166	7,632	7,185
Papelea	1030.37	15,466	4,197	14,125	12,020	10,848	9,752	9,114	8,580
Popalito	1110.18	16,664	4,522	15,219	12,951	11,688	10,507	9,820	9,245
Pradera	1167.36	17,522	4,755	16,003	13,618	12,290	11,048	10,325	9,721
Eade	1208.27	18,136	4,921	16,564	14,095	12,721	11,436	10,687	10,061
Puente Gabino	2541.40	38,146	10,351	34,839	29,647	26,757	24,053	22,479	21,163
Quebrada Doña María	75.17	1,128	0,306	1,030	0,877	0,791	0,711	0,665	0,626
Quebrada La García	82.47	1,238	0,336	1,131	0,962	0,868	0,781	0,729	0,687

#### 4.4.3.2 MODELO DE TANQUES

El método del Modelo de Tanques, consiste en la aplicación de un modelo de lluvia escorrentía que supone que los procesos de producción de escorrentía superficial en una cuenca pueden ser representados mediante cuatro tanques interconectados entre sí. El modelo como tal, reproduce caudales a la salida de una cuenca de área determinada, dada una lluvia de entrada y los parámetros del suelo y tiempos de residencia del agua en el mismo, entre otros. Los caudales mínimos para diferentes periodos de retorno en las

estaciones de aforo, calculados mediante esta metodología se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 15. Caudales mínimos calculados en las estaciones de aforo a partir de series simuladas en el modelo de tanques**

ESTACIÓN	CAUDALES MÍNIMOS (M3/S)							
	PROMEDIO	DESVIACIÓN	2,33	5	10	25	50	100
Alto San Miguel	0,291	0,071	0,269	0,233	0,213	0,195	0,184	0,175
La Primavera	1,010	0,243	0,933	0,811	0,743	0,679	0,642	0,611
Ancón Sur	2,636	0,638	2,432	2,112	1,934	1,767	1,670	1,589
Antes de San Fernando	3,396	0,718	3,166	2,806	2,606	2,419	2,309	2,218
Después de San Fernando	3,899	0,816	3,638	3,229	3,001	2,788	2,664	2,560
Puente Guayaquil	4,636	1,024	4,309	3,795	3,509	3,242	3,086	2,956
Aula Ambiental	6,122	1,426	5,666	4,951	4,553	4,181	3,964	3,782
Puente Acevedo	6,725	1,655	6,197	5,367	4,904	4,472	4,220	4,010
Puente Machado	8,486	2,072	7,824	6,785	6,206	5,665	5,350	5,086
Copacabana	9,389	2,305	8,653	7,497	6,853	6,251	5,901	5,608
Metromezclas	9,733	2,394	8,968	7,768	7,099	6,474	6,110	5,806
Puente Girardota	10,528	2,559	9,711	8,427	7,713	7,044	6,655	6,330
Parque de las aguas	13,496	3,129	12,496	10,926	10,052	9,235	8,759	8,361
Hatillo	13,879	3,217	12,851	11,238	10,339	9,499	9,010	8,601
Papelsa	17,202	3,689	16,024	14,173	13,143	12,180	11,619	11,150
Popalito	19,169	4,108	17,856	15,796	14,648	13,575	12,950	12,428
Pradera	20,616	4,413	19,206	16,993	15,761	14,608	13,937	13,376
Eade	21,704	4,648	20,219	17,888	16,590	15,376	14,669	14,078
Puente Gabino	51,143	10,839	47,680	42,244	39,217	36,386	34,738	33,359
Quebrada Doña María	1,002	0,297	0,907	0,758	0,675	0,597	0,552	0,514
Quebrada La García	0,819	0,200	0,755	0,655	0,599	0,547	0,517	0,491

#### 4.4.3.3 MODELO GR4J

El modelo GR4J (Perrin, 2003) es un modelo lluvia-escorrentía. Todas las cantidades (entradas, salidas, variables internas) están expresadas en mm, por tal motivo, los volúmenes de agua deben ser divididos por el área de la cuenca cuando sea necesario. Se realizó la simulación correspondiente, en cada una de las estaciones de aforo, los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 16. Caudales mínimos para las estaciones de monitoreo estimado a partir del modelo GR4J**

ESTACION	CAUDALES MÍNIMOS (M3/S)							
	PROMEDIO	DESVIACIÓN	2,33	5	10	25	50	100
Alto San Miguel	0,201	0,064	0,180	0,148	0,131	0,114	0,104	0,096
La Primavera	0,726	0,220	0,656	0,545	0,484	0,426	0,393	0,365
Ancón Sur	1,877	0,581	1,692	1,400	1,238	1,087	0,998	0,924
Antes de San Fernando	2,491	0,802	2,234	1,832	1,608	1,399	1,277	1,175

ESTACIÓN	CAUDALES MÍNIMOS (M3/S)							
	PROMEDIO	DESVIACIÓN	2,33	5	10	25	50	100
Después de San Fernando	2,837	0,940	2,536	2,065	1,803	1,557	1,414	1,295
Puente Guayaquil	3,416	1,162	3,045	2,462	2,137	1,834	1,657	1,509
Aula Ambiental	4,676	1,593	4,166	3,367	2,922	2,506	2,264	2,061
Puente Acevedo	4,982	1,827	4,398	3,482	2,972	2,495	2,217	1,985
Puente Machado	5,990	2,243	5,274	4,149	3,522	2,936	2,595	2,310
Copacabana	6,516	2,453	5,732	4,502	3,817	3,176	2,803	2,491
Metromezclas	6,712	2,535	5,902	4,630	3,923	3,261	2,875	2,553
Puente Girardota	7,070	2,720	6,201	4,837	4,077	3,367	2,954	2,608
Parque de las aguas	11,556	3,722	10,366	8,499	7,460	6,488	5,922	5,448
Hatillo	11,856	3,819	10,636	8,720	7,654	6,656	6,076	5,590
Papelsa	14,378	4,332	12,994	10,821	9,611	8,479	7,821	7,270
Popalito	16,124	4,832	14,580	12,157	10,808	9,546	8,811	8,196
Pradera	17,454	5,208	15,790	13,178	11,723	10,363	9,571	8,908
Eade	18,498	5,523	16,733	13,964	12,421	10,979	10,139	9,437
Puente Gabino	41,365	12,377	37,410	31,202	27,746	24,513	22,631	21,057
Quebrada Doña María	0,979	0,378	0,858	0,669	0,563	0,465	0,407	0,359
Quebrada La García	0,612	0,239	0,536	0,416	0,349	0,287	0,250	0,220

#### 4.4.3.4 CURVA DE RECESIÓN

Como última metodología para la estimación de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno en la cuenca, fue implementado el método de la curva de recesión. Los resultados obtenidos después de aplicar el método de la curva de recesión en la cuenca del Río Aburrá se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17. Caudales mínimos para las estaciones de monitoreo estimado a partir de la curva de recesión**

ESTACIÓN	CAUDAL MÍNIMO (M3/S)					
	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2.33	5	10	25	50	100
Alto San Miguel	0,267	0,246	0,229	0,209	0,196	0,184
La Primavera	0,883	0,815	0,760	0,696	0,654	0,615
Ancón Sur	2,484	2,309	2,186	2,032	1,906	1,805
Antes San Fernando	2,790	2,581	2,434	2,251	2,103	1,984
Después San Fernando	3,253	3,016	2,850	2,642	2,473	2,337
Puente Guayaquil	3,759	3,478	3,282	3,037	2,837	2,677
Aula Ambiental	4,982	4,618	4,363	4,044	3,785	3,575
Puente Acevedo	5,409	5,013	4,735	4,389	4,106	3,879
Puente Machado	7,287	6,730	6,340	5,855	5,462	5,145
Copacabana	8,082	7,539	7,103	6,625	6,242	5,939
Metromezclas	8,385	7,821	7,368	6,873	6,475	6,161
Puente Girardota	8,866	8,319	7,876	7,390	6,997	6,686



CAUDAL MÍNIMO (M3/S)						
ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2.33	5	10	25	50	100
Parque de Las Aguas	12,350	11,612	11,014	10,356	9,823	9,400
Hatillo	12,705	11,947	11,333	10,656	10,108	9,673
Papelsa	15,491	14,596	13,870	13,068	12,418	11,901
Popalito	18,249	17,191	16,332	15,385	14,616	14,006
Pradera	19,601	18,463	17,540	16,521	15,695	15,039
Eade	20,594	19,387	18,409	17,330	16,456	15,761
Puente Gabino	48,236	45,316	42,955	40,356	38,253	36,585
Quebrada Doña María	1,034	0,969	0,916	0,858	0,812	0,775
Quebrada La García	0,722	0,686	0,652	0,619	0,593	0,568

#### 4.4.4 Estimación de caudales extremos (máximos)

Para la estimación de caudales máximos se desarrollaron metodologías a partir de la información hidrológica existente. Las metodologías propuestas fueron: Método Gradex, Regionalización de Características Medias, Modelo MG y Transito Hidráulico.

##### 4.4.4.1 MÉTODO GRADEX

El método GRADEX (gradiente de valores extremos) se emplea para determinar los caudales máximos asociados a determinado período de retorno, a partir de la distribución de frecuencias de los valores máximos anuales de precipitación. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 18:

**Tabla 18. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno**

CAUDAL MÁXIMO (M3/S)						
ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2.33	5	10	25	50	100
Alto San Miguel	5.28	7.42	9.36	11.93	13.87	15.81
La Primavera	17.34	24.29	30.60	38.93	45.24	51.55
Ancón Sur	45.60	59.42	71.97	88.55	101.10	113.64
Antes de San Fernando	80.44	104.64	126.62	155.66	177.64	199.61
Después de San Fernando	92.73	119.84	144.45	176.98	201.58	226.19
Puente Guayaquil	112.56	145.02	174.47	213.42	242.88	272.33
Aula Ambiental	159.22	207.17	250.70	308.24	351.77	395.30
Puente Acevedo	171.28	222.13	268.30	329.32	375.49	421.65
Puente Machado	213.59	282.01	344.11	426.21	488.32	550.42

CAUDAL MÁXIMO (M3/S)						
ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2.33	5	10	25	50	100
Copacabana	237.09	312.07	380.13	470.11	538.18	606.25
Metromezclas	246.14	323.49	393.70	486.52	556.74	626.95
Puente Girardota	260.74	341.83	415.45	512.76	586.37	659.98
Parque de Las Aguas	279.68	365.58	443.56	546.65	624.63	702.60
Hatillo	286.89	374.86	454.71	560.26	640.11	719.96
Papelsa	341.67	447.27	543.13	669.86	765.72	861.58
Popalito	367.71	483.39	588.40	727.22	832.23	937.24
Pradera	386.34	509.12	620.58	767.92	879.38	990.84
Eade	399.67	527.56	643.67	797.14	913.25	1029.35
Puente Gabino	830.94	1042.37	1234.30	1488.02	1679.96	1871.89
Quebrada Doña María	25.97	34.21	41.70	51.59	59.08	66.57
Quebrada La García	28.45	39.67	49.86	63.33	73.52	83.71

#### 4.4.4.2 REGIONALIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MEDIAS

La Regionalización de Características Medias se realiza con base en los reportes de caudales máximos instantáneos de las estaciones de caudal localizadas sobre el Río Aburrá. Los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en las estaciones de aforo, calculados mediante esta metodología se presentan a continuación.

**Tabla 19 Caudales máximos calculados en las estaciones de aforo según el método de regionalización de características medias**

CAUDAL MÁXIMO (M3/S)									
ESTACIÓN	AREA (KM2)	μMAX	GMAX	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
				2.33	5	10	25	50	100
Alto San Miguel	14.91	5.28	4.04	5.29	8.19	10.55	13.53	15.75	17.95
La Primavera	49.88	17.34	9.62	17.35	24.26	29.89	37.00	42.28	47.51
Ancón Sur	133.2	45.60	19.49	45.62	59.62	71.03	85.44	96.13	106.74
Antes de San Fernando	237.08	80.44	29.50	80.47	101.66	118.92	140.73	156.91	172.97
Después de San Fernando	273.94	92.73	32.73	92.77	116.28	135.43	159.63	177.58	195.40
Puente Guayaquil	333.54	112.56	37.71	112.61	139.69	161.76	189.63	210.31	230.84
Aula Ambiental	474.38	159.22	48.57	159.27	194.16	222.59	258.49	285.13	311.58
Puente Acevedo	510.91	171.28	51.23	171.34	208.14	238.12	275.99	304.09	331.99
Puente Machado	639.35	213.59	60.20	213.66	256.90	292.12	336.62	369.64	402.41
Copacabana	710.85	237.09	64.96	237.16	283.82	321.83	369.86	405.49	440.86
Metromezclas	738.43	246.14	66.77	246.21	294.17	333.24	382.60	419.21	455.56
Puente Girardota	782.96	260.74	69.64	260.82	310.84	351.59	403.07	441.26	479.17

**DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE LA SEGUNDA ETAPA DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ**

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

Parque de Las Aguas	840.77	279.68	73.30	279.76	332.42	375.30	429.49	469.69	509.59
Hatillo	862.79	286.89	74.67	286.97	340.62	384.31	439.51	480.46	521.11
Papelsa	1030.37	341.67	84.83	341.76	402.70	452.34	515.06	561.58	607.77
Popalito	1110.18	367.71	89.51	367.80	432.10	484.47	550.65	599.74	648.46
Pradera	1167.36	386.34	92.80	386.44	453.11	507.40	576.01	626.90	677.42
Eade	1208.27	399.67	95.13	399.77	468.10	523.76	594.09	646.26	698.04
Puente Gabino	2541.4	830.94	162.34	831.11	947.74	1042.73	1162.74	1251.78	1340.16
Quebrada Doña María	75.17	25.97	12.92	25.98	35.26	42.82	52.37	59.45	66.49
Quebrada La García	82.47	28.45	13.81	28.46	38.38	46.46	56.67	64.24	71.76

#### 4.4.4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MG PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS

Con el fin de mejorar la estimación de los caudales máximos a lo largo del río Aburrá en los 21 puntos de control seleccionados, se implementó el modelo MG. Este es un modelo de tipo probabilístico que permite calcular caudales máximos asociados a periodos de retorno altos, a partir de la media de los caudales máximos anuales de las series históricas. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 20.

**Tabla 19 Caudales máximos obtenidos según el modelo MG**

MODELO MG (REGIONALIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MEDIAS)								
ESTACIÓN		ÁREA (Km <sup>2</sup> )	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
(Punto de control)			2.33 (U)	5	10	25	50	100
E1	Alto San Miguel	14.91	5.28	9.36	10.98	13.12	14.74	16.37
E2	La Primavera	49.88	17.34	27.65	31.75	37.18	41.28	45.39
E3	Ancón Sur	133.2	45.60	67.53	76.26	87.81	96.55	105.28
E4	Antes de San Fernando	237.08	80.44	114.60	128.20	146.19	159.79	173.40
E5	Después de San Fernando	273.94	92.73	130.91	146.11	166.21	181.41	196.62
E6	Puente Guayaquil	333.54	112.56	156.97	174.66	198.04	215.73	233.42
E7	Aula Ambiental	474.38	159.22	217.44	240.63	271.28	294.47	317.66
E8	Puente Acevedo	510.91	171.28	232.92	257.47	289.92	314.47	339.02
E9	Puente Machado	639.35	213.59	286.82	315.99	354.55	383.72	412.89
E10	Copacabana	710.85	237.09	316.53	348.18	390.01	421.66	453.31
E11	Metromezclas	738.43	246.14	327.94	360.53	403.61	436.19	468.78
E12	Puente Girardota	782.96	260.74	346.32	380.40	425.46	459.55	493.63
E13	Parque de Las Aguas	840.77	279.68	370.07	406.08	453.67	489.68	525.68
E14	Hatillo	862.79	286.89	379.10	415.82	464.38	501.10	537.83
E15	Papelsa	1030.37	341.67	447.35	489.45	545.10	587.20	629.29
E16	Popalito	1110.18	367.71	479.63	524.21	583.14	627.72	672.31

MODELO MG (REGIONALIZACIÓN DE CARÁCTERÍSTICAS MEDIAS)								
ESTACIÓN		ÁREA (Km <sup>2</sup> )	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
(Punto de control)			2.33 (U)	5	10	25	50	100
E17	Pradera	1167.36	386.34	502.67	549.01	610.26	656.60	702.93
E18	Eade	1208.27	399.67	519.12	566.69	629.59	677.17	724.75
E19	Puente Gabino	2541.4	830.94	1042.49	1126.75	1238.14	1322.41	1406.68
E20	Quebrada Doña María	75.17	25.97	40.09	45.72	53.16	58.78	64.41
E21	Quebrada La García	82.47	28.45	43.61	49.66	57.64	63.69	69.73

#### 4.4.4.4 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO MEDIANTE MODELACIÓN HIDROLÓGICA UTILIZANDO HEC-HMS

Para la ejecución de este modelo se emplearon metodologías de cálculo semi - agregado de crecientes; en las cuales la cuenca de estudio fue subdividida en una serie de subcuencas y canales interconectados entre si, permitiendo considerar de una forma un poco más detallada la variabilidad espacio temporal de las características geomorfológicas y climáticas de la cuenca de estudio. Para tal fin, se utiliza el software HEC-HMS del cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, 2001), que integra varias metodologías de cálculo de crecientes para el diseño hidrológico. En las siguientes tablas se muestran los caudales máximos obtenidos para los diferentes escenarios utilizando el método de pérdida de infiltración constante y el método de transformación de Clark (modelo de cuenca calibrado) para las distribuciones temporales de Chicago y Huff.

**Tabla 21 Caudales máximos según la distribución temporal de Chicago**

CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CHICAGO													
ESCENARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Caudales en metros cúbicos por segundo (m <sup>3</sup> /s)													
Doña María	383.8	335.5	3.0	3.0	3.0	3.0	862.8	1022.8	3.0	3.0	3.0	3.0	767.5
Metromezclas	341.9	607.6	662.0	703.4	21.6	21.6	749.4	1603.5	1430.4	1511.2	21.6	21.6	2126.9
Puente Gabino	339.2	557.6	667.9	731.3	646.8	968.3	685.1	1477.7	1416.6	1572.3	1613.3	1848.2	2388.5

**Tabla 22 Caudales máximos según la distribución temporal de Huff**

CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE HUFF													
ESCENARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	13
Caudales en metros cúbicos por segundo (m <sup>3</sup> /s)													
Doña María	311.5	290.4	3.0	3.0	3.0	3.0	869.4	872.1	3.0	3.0	3.0	3.0	1820.1
Metromezclas	279.9	539.8	565.3	504.9	21.6	21.6	766.4	1403.9	1237.0	1212.9	21.6	21.6	1728.9
Puente Gabino	287.6	515.8	575.3	529.9	345.7	455.1	705.5	1294.5	1227.7	1261.0	923.1	1146.8	650.2

#### 4.4.5 Modelación Hidráulica

En esta primera etapa de la modelación hidráulica del Río Aburrá, se consideró el tramo comprendido entre Ancón Sur y Acevedo, el cual está canalizado. Para la modelación hidráulica se emplearon las secciones transversales levantadas en campo durante las campañas de aforos y la información obtenida de la planoteca del Metro de Medellín.

Se analizan los perfiles de flujo y los niveles de la lámina de agua para caudales máximos estimados mediante la metodología regionalización de características medias. La modelación del tránsito de los caudales máximos se llevó a cabo para periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Para el cálculo de los perfiles de flujo se utilizó el software de libre acceso HEC-RAS versión 3.1.1 desarrollado por U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. Se contaron con 23 secciones transversales, en una distancia de 20,600.00 metros. En la zona de estudio se encuentran cinco estaciones de aforos de las campañas realizadas a lo largo del proyecto la cuales se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23 Estaciones de monitoreo**

ESTACIÓN	X	Y
Ancón Sur	828253.9	1172302.9
Antes de San Fernando	833045.9	1176082.1
Puente Guayaquil	834153.5	1180877.0
Aula Ambiental	834522.9	1184488.1
Puente Acevedo	836275.1	1189174.5

Se evaluaron las condiciones hidráulicas para los niveles de flujo de los caudales asociados a los períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años en el tramo de estudio. Los caudales máximos utilizados fueron los estimados mediante la metodología Regionalización de Características Medias. En la Tabla 24 se presenta los caudales máximos encontrados mediante la metodología de Regionalización de Características medias.

**Tabla 24 Caudales máximos (m3/s)**

ESTACIÓN	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2.33	5	10	25	50	100
Ancón Sur	45.79	60.64	72.73	88.01	99.35	110.60
Antes de San Fernando	80.40	102.74	120.94	143.93	160.98	177.91
Puente Guayaquil	112.20	140.66	163.83	193.11	214.84	236.40
Aula Ambiental	158.26	194.78	224.52	262.11	289.99	317.66
Puente Acevedo	170.15	208.64	239.99	279.60	308.99	338.15

En la Tabla 25 se presenta los resultados obtenidos de la modelación hidráulica del tramo de estudio.

**Tabla 25 Resultados de la modelación**

SECCIÓN	ESTACIÓN	Q TOTAL (M3/S)	MIN CH ELEV (M)	W.S. ELEV (M)	E.G. SLOPE (M/M)	VEL CHNL (M/S)	FLOW AREA (M2)	TOP WIDTH (M)	FROUDE # CHL
2000	Ancón Sur	4.79	1600.21	1600.71	0.024524	1.74	2.75	9.17	1.02
1650	Antes de San Fernando	7.16	1510.11	1511.07	0.002596	0.71	10.15	17.12	0.29
1350	Puente Guayaquil	9.91	1467.9	1468.86	0.001945	0.62	15.17	27.13	0.26
1200	Aula Ambiental	13.53	1451.6	1452.22	0.00919	0.93	13.9	33.29	0.45
900	Puente Acevedo	23.09	1431.36	1432.21	0.003774	0.83	26.12	38.17	0.31

En general las condiciones de flujo para las demás zonas del Río presentan números de Froude menores que 1, por lo tanto el régimen de flujo es subcrítico. Velocidades máximas de 3.6m/s en la zona del puente de Guayaquil y valores máximos de nivel de agua en la zona de Acevedo 3.76m. Para todos los caudales para los periodos de retorno el perfil de flujo se comporta de la misma manera, de una forma estable.

#### 4.4.6 Sensores de nivel Kalesto

Las mediciones realizadas con el “Kalesto” permiten dar continuidad a las campañas de aforo sin importar la profundidad de la sección en el momento de la medición, ya que en las anteriores campañas el personal encargado de realizar el aforo, para las estaciones en las cuales este se realizaba por “vadeo” ( San Miguel, Ancón Sur, Primavera, Antes de San Fernando, Después de San Fernando, puente Guayaquil y Aula Ambiental) debía ingresar directamente al cauce, lo cual limita el desarrollo del aforo en los días que se registraban niveles elevados, pues no se presentaban las condiciones necesarias de seguridad al personal. Gracias al sistema de ondas tipo sonar con el cual trabaja el equipo, el personal que lo monitorea no realiza contacto directo con el cauce, permitiendo así continuar con el monitoreo indiferente de la profundidad en el punto de aforo.

##### 4.4.6.1 RESULTADOS A PARTIR DE LOS SENSORES DE NIVEL KALESTO

**Tabla 26 Caudales medios en las estaciones de monitoreo**

ESTACIÓN	CAUDAL MEDIO (m3/s)										
	26/04 /2007	29-30/04 /2007	02-03/05 /2007	05/05 /2007	07-08/05 /2007	10/05 /2007	13/05 /2007	20/03 /2007	15-16/05 /2007	18/05 /2007	23/05 /2007
San Miguel	1.09	0.75	0.63			0.73			0.66		1.28
Ancón Sur	2.25		3.80	2.84		2.39					
Antes de San Fernando						6.86				10.45	6.48
Después de San Fernando			11.99		6.13		7.24			14.88	
Puente Guayaquil							11.31			15.28	
Aula Ambiental		16.54	10.04	21.20	9.27		18.53		25.67	29.34	
Puente Acevedo				26.40		16.16	19.65				

**DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE LA SEGUNDA ETAPA DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ**

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

ESTACIÓN	CAUDAL MEDIO (m3/s)										
	26/04 /2007	29-30/04 /2007	02-03/05 /2007	05/05 /2007	07-08/05 /2007	10/05 /2007	13/05 /2007	20/03 /2007	15-16/05 /2007	18/05 /2007	23/05 /2007
Metromezclas					35.04				50.05		
Puente Girardota											
Papelsa											
Popalito											
Puente Gabino											

**Tabla 27 Caudales medios en las estaciones de monitoreo**

ESTACIÓN	CAUDAL MEDIO (m3/s)										
	26/05 /2007	28/05 /2007	30/05 /2007	01/06 /2007	06-07/06 /2007	08/06 /2007	09/06 /2007	13/06 /2007	15/06 /2007	19/06 /2007	20/06 /2007
San Miguel		1.51			0.83						
Ancón Sur	2.56						3.84		2.79	3.08	1.58
Antes de San Fernando											
Después de San Fernando					7.47						
Puente Guayaquil		20.74									
Aula Ambiental	10.69	39.19			14.66		13.04		9.17	11.48	11.06
Puente Acevedo	10.71						16.61				
Metromezclas	27.63		40.73	69.29	31.82		39.69	34.56	32.34	33.45	36.74
Puente Girardota			42.32	58.15				50.64			
Papelsa						54.26					
Popalito						72.58					
Puente Gabino						178.35			143.78	249.34	192.22

## **5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE CALIDAD DEL AGUA DEL RIO MEDELLIN**

### **5.1 PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ(POMCA)**

Uno de los grandes proyectos a desarrollar para la región, concebido como uno de los Proyectos Metropolitanos, es la Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá, POMCA, en el cual el AMVA incorpora la dimensión ambiental en la planeación del desarrollo en el territorio metropolitano. Es en este contexto donde toma importancia la Red, proporcionando el conocimiento del estado del recurso agua, sus potencialidades y limitaciones.

La red de monitoreo se constituye en el instrumento mas importante para el cumplimiento de los OBJETIVOS DE CALIDAD QUE ESTABLECIÓ LA AUTORIDAD AMBIENTAL PARA EL PERÍODO 2006-2016 PARA EL RÍO ABURRA –MEDELLÍN. RESOLUCIÓN. No. 000358 de 23 JUNIO 2006. Los objetivos de calidad definidos en la presente resolución deberán ser retomados, validados y complementados durante la puesta en marcha, operación y calibración de la red, en concordancia con las respectivas fases de Diagnóstico y Prospectiva definidas por el Decreto 1729 de 2002, en el marco de la formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburra.

### **5.2 CREACION DE UNA UNIDAD ADMINISTRATIVA PARA EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN**

El Área Metropolitana en aras de un buen manejo de la información que aportará la Red deberá crear un centro para su administración y procesamiento, tanto de la original como la procesada. Para esto, es importante contar con un profesionales que tengan conocimientos en el procesamiento de información sobre calidad físico-química, biológica, hidrológica e hidráulica quienes serán los responsables de revisar y controlar la calidad de la información obtenida en campo, realizar el procesamiento requerido y realizar los ajustes necesarios.

Este centro de medición o Unidad Administrativa estará destinado al manejo de las estaciones, tanto desde el aspecto técnico: modelación hidrológica, hidráulica y calidad de aguas, rediseño de la red de medición, adquisición de tecnología apropiada para la obtención de los datos, análisis de datos, etc., así como el aspecto administrativo para su debida operación y mantenimiento: proyecciones de costos, personal, sistema de control y vigilancia, análisis de tasas retributivas, etc.

#### **5.2.1 Aspectos organizacionales**

La Unidad Administrativa para el manejo de la información que se propone, en primera instancia, estará conformada por el coordinador de la Unidad de Gestión Ambiental de la Subdirección Ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. A continuación se



presenta cada uno de los equipos que se proponen para que hagan parte de la Unidad Administrativa, para el manejo de la información:

#### **EQUIPO 1 (COORDINACIÓN UNIDAD ADMINISTRATIVA)**

Este equipo estará conformado por el coordinador del componente de gestión perteneciente a la Unidad de Gestión Ambiental de la Subdirección Ambiental del Área Metropolitana. Es responsable de las funciones de recopilar y priorizar la información de la red, tendrá el apoyo de técnicos; ingenieros sanitarios e hidráulicos, para la búsqueda y organización de la información, acorde a la temática que maneje cada uno.

#### **EQUIPO 2 (SOPORTE DE TRABAJO DE CAMPO)**

Este equipo está conformado por el personal que realizara todos los monitoreos y trabajo de campo, estará conformado por ingenieros coordinadores de campo, auxiliares de ingeniería, técnicos, etc. Su función básica es la de soportar la captura de información.

#### **EQUIPO 3 (SOPORTE DE INFRAESTRUCTURA)**

Para llevar a cabo las labores de mantenimiento y reparaciones locales de cada estación, se requiere de personal para las reparaciones que se consideren necesarias.

#### **EQUIPO 4 (SOPORTE DE EQUIPOS DE MEDICIÓN)**

Este equipo realizara las labores de mantenimiento y reparaciones de cada equipo de medición de la calidad del agua; así como de la cantidad.

### **5.2.2 Alternativas para el manejo de la unidad administrativa**

La *primera alternativa contempla que el AMVA sea quien este a cargo de la Unidad Administrativa* para la captura, manejo y administración de la información. Por esto se hace necesaria la conformación de un grupo de profesionales entre los que se encuentran: Un especialista en gestión ambiental quien dará las pautas sobre la gestión de la red; un ingeniero Sanitario y un ingeniero hidráulico quienes soportaran los componentes de calidad y cantidad de agua respectivamente.

La *segunda alternativa contempla la contratación de un outsourcing* con un tercero que podría ser otra organización, empresa o entidad para la ejecución del proceso. Esta alternativa se basa en el desprendimiento de alguna actividad, que no forme parte de las habilidades principales de una organización, a un tercero especializado, quien se encargará de realizar la captura y transformación de la información.

Si bien es cierto que la alternativa del outsourcing presenta grandes ventajas para una organización, la selección de la mejor alternativa debe realizarse por medio de diferentes análisis y uno de los más importantes es el de costos versus beneficios. Se propone que en la fase III, que da inicio de operación de la Red, se utilice la primera alternativa, ya que es necesario afinar los procesos de operación y mantenimiento del sistema.

## **5.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED**

### **5.3.1 Operación y mantenimiento de la estructura física de las estaciones**

La operación de las estaciones está afectada por los cambios estacionales (invierno – verano), los patrones del cauce y factores antrópicos (daños ocasionados por terceros). Se deben considerar en esta fase las acciones necesarias que provean de una adecuada operación y mantenimiento de la estructura física, la inspección del estado de la estación. Igualmente, se debe tener en cuenta las acciones necesarias que garanticen la seguridad de la estación de medición.

### **5.3.2 Operación y mantenimiento de los equipos de medición**

La operación y mantenimiento del equipo de medición depende del equipo que se este usando, para un adecuado manejo y operación del equipo de medición instalado debe seguirse las instrucciones y especificaciones técnicas de la casa que suministró los equipos.

### **5.3.3 Monitoreo de sección transversal y equipo de medición (Kalestos)**

Se debe analizar la evolución de la sección transversal en cada estación. Cada estación de medición cuenta con una curva de calibración (Q vs. H), la cual debe ser chequeada como mínimo después de temporada invernal (dos veces al año) ya que así se podrán hacer los correctivos necesarios. Adicionalmente se debe monitorear el equipo Kalesto y verificar que todos sus componentes estén funcionando en perfectas condiciones.

### **5.3.4 Inspección y operación**

Los técnicos deben realizar las labores de inspección de las estaciones en Operación y Mantenimiento de las estaciones y deben reportar a la Unidad de Administración, las anomalías encontradas en cada estación.

### **5.3.5 ADMINISTRACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para la administración y manejo de la información, es importante contar con profesionales idóneos, que tengan conocimientos en el recurso hídrico, en aspectos como calidad fisicoquímica, biológica, hidrológica e hidráulica. Se sugiere ingenieros sanitarios y civiles; en lo posible con una especialización o maestría en áreas afines, quienes sepan revisar y controlar la calidad de la información obtenida en campo, realizar el procesamiento requerido para obtener las curvas de calidad y de calibración respectivas de cada estación y sepa realizar los ajustes en la forma de medición y decida en caso fortuito por la permanencia de una estación en un sitio determinado o no.

Se debe crear una Unidad Administrativa para el manejo de información, a la cual ingresaran todos los datos de las estaciones tales como: estudios de calidad, hidráulicos e hidrológicos de las cuencas, inventarios de obras de captación de aguas, concesiones de aguas e inventarios de oferta y demanda de agua que sirvan de apoyo para la toma de decisiones en la administración del recurso. Todos los datos con los que cuente “La Unidad Administrativa” estarán a cargo de un coordinador del componente de gestión perteneciente a la Unidad de Gestión Ambiental de la Subdirección Ambiental del Área Metropolitana y tendrá, al menos dos técnicos que ayudarán inicialmente, en la recolección de la información.

### **5.3.6 Capacitación de los funcionarios**

Se debe capacitar a los técnicos y al personal que se encargara de manejar los equipos y recolectar la información. Se entiende aquí como técnicos, a quienes hallan desarrollado actividades en el área de calidad del agua, hidráulica o la hidrología, que esté familiarizado con los términos y que sepan y conozcan algún tipo de recolección de información de campo.

### **5.3.7 Recolección de información**

Las jornadas de recolección se deben establecer dentro de períodos de tiempo y depende de los recursos y de la capacidad de respuesta de los laboratorios que se tienen en la región.

### **5.3.8 Personal requerido**

Para llevar a cabo las labores planteadas en los términos y tiempos establecidos se requiere entonces para el primer año: un coordinador, jefe de la Unidad Administrativa, dos técnicos auxiliares (Ingenieros Sanitario y Civil) y personal que soporte el sostenimiento y reparaciones de las obras civiles de las estaciones que se consideren necesarias. Para los siguientes años (año dos y siguientes) se requiere del mismo personal, se sugiere que existe continuidad.

### **5.3.9 Recursos logísticos**

Los equipos seleccionados para el almacenamiento de la información, cuentan con software especializado para bajar (método mediante el cual se pasa la información recolectada por el equipo de medición a un computador portátil) la información y el mismo software para visualizar en forma gráfica los datos almacenados. Como el procesamiento de los datos se usará para la generación de las curvas de calidad y de calibración, el software de visualización debe mirarse como un recurso secundario y en ningún momento indispensable para el procesamiento de la información. Se debe evaluar hacia el futuro, las necesidades de software y de equipos para el almacenamiento de información con miras a generar una red de medición vía satélite.

### 5.3.10 Costos

En las siguientes tablas se presentan los costos que demandaría la operación de la red durante un año.

**Tabla 28 Costos personal operación de la red de monitoreo**

PERSONAL	DEDICACION (%)	VALOR/MES	MESES	ADMINISTRACION(%)	TOTAL
Un Ingeniero (Coordinador)	50	4500000	12	25	33750000
Dos técnicos durante un año. Procesamiento de información, elaboraciones curvas de calibración de la Estación, Análisis de homogeneidad para las series registradas, verificación de la calidad de la información.	100	3500000	12	25	105000000
Personal Auxiliar(6)	100	1800000	12	25	162000000
TOTAL					300750000

**Tabla 29 Costos Monitoreo**

COSTOS MONITOREO	TOTAL
Se incluyen los costos de laboratorio, transporte y toda la logística necesaria de acuerdo a la tabla de programación de monitoreos.	\$1600.000.000

## 6 SOCIALIZACION Y DESARROLLO DE LOS PRODUCTOS INFORMATIVOS

### 6.1 LOGO

En el siguiente gráfico se muestra el logo aprobado por la oficina de comunicaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.



**Figura 13 Logo vallas de la Red Monitoreo**

## 6.2 VALLAS

En la Figura 14 se presentan los diseños de las vallas aprobados por la interventora y la oficina de comunicaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.



Figura 14 Vallas de la Red Monitoreo

## **7 PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL - CONSOLIDACION DE LA RED EL RÍO MEDELLÍN Y SUS QUEBRADAS AFLUENTES-PLAN DE ACCIÓN PARA EL DESARROLLO Y SOSTENIBILIDAD DE LA RED**

El plan de Gestión Ambiental para el río Medellín, se debe soportar en los indicadores de calidad elaborados para el río tanto, en la primera fase como en la segunda, los cuales se obtuvieron a partir del estudio detallado de la calidad del agua del río Aburrá—Medellín, considerando las condiciones propias de esta fuente de agua como son: calidad del agua en San Miguel, respuesta del cuerpo de agua a los vertimientos, características de los vertimientos, condiciones hidráulicas, entre otros, y adicionalmente, los tipos de monitoreo realizados (con y sin equipos automáticos. Es un PROCESO DE INVESTIGACIÓN que debe seguir, que va entregando resultados progresivamente, en la medida en que se consoliden los resultados, consecuencia de mejorar procedimientos de medición, refinamiento de parámetros, optimización de frecuencias, estaciones y épocas climáticas, de concebir el tiempo y el progreso de la red, hacia una estandarización que conjugue lo científico, con el entorno, con el uso del territorio y sus transformaciones, las técnicas de medición y las tecnologías, los recursos económicos, su racionalidad en función de la capacidad instalada y de las necesidades.

## **8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Por las condiciones cambiantes del río Medellín, se recomienda que la red de monitoreo sea lo más flexible posible; se deben tener algunas estaciones móviles, que complementen la información de las estaciones de monitoreo fijas (a construir), para adecuarse a los cambios en la configuración del sistema hídrico y de descargas al río Medellín.

Las autoridades ambientales administradoras de la red, deben fijar políticas y metas anuales, estas serán las directrices para los procesos de medición en la red.

Es evidente la necesidad de instrumentar el río. En la actualidad es clara la carencia de información hidrológica en el Valle de Aburrá. Dicha instrumentación debe llevar a avanzar desde un conocimiento inicial de las tendencias del río y la evolución del mismo, hasta su vigilancia y control, desarrollándose esta como objeto final de una red de medición, después de varias fases previas en las que se acumule el conocimiento necesario para dicha implementación.

Para la definición de la red de monitoreo, las autoridades ambientales deberán enunciar políticas y metas sobre la calidad del río. Dichas políticas se verán reflejadas en programas en la red. Puesto que las políticas y metas pueden variar con el tiempo, la red debe ser lo suficientemente flexible para responder a dichos cambios, sin embargo se deben conservar estaciones fijas que guarden un registro del comportamiento histórico del río.

La red monitoreo, debe permitir acceder a información eficaz, que articulada a métodos de estimación basados en balances hídricos y modelos lluvia - escorrentía en cuencas, permita trazar un perfil adecuado de los caudales en los sectores de interés. Cuando su función es apoyar la indagación del estado de calidad, permitirá configurar balances de masas y evaluar procesos de transporte en el sistema, para las sustancias o contaminantes de interés. Desde

el punto de vista técnico y económico, la observación directa de la red estará también íntimamente acoplada con instrumentos de predicción y simulación.

A mediano plazo la red de monitoreo, junto con las entidades operadoras de las estaciones hidroclimatológicas del Valle de Aburrá, puede construir un sistema de alertas tempranas, con el fin de avisar posibles inundaciones en puntos críticos a lo largo del Río Medellín.