



ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

cta

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE
DEL RECURSO HÍDRICO EN EL
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA
2010 – 2012**

COMPILACIÓN

**CENTRO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ANTIOQUIA – CTA**

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL CÁTEDRA DEL AGUA



NOVIEMBRE DE 2013

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO EN EL
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

Segunda Edición: 2012

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA

ISBN: 978-958-8470-24-5

Elaborado por:

Carlos Augusto Benjumea Hoyos – Universidad Católica de Oriente

Gloria Alexandra Arango – Universidad Católica de Oriente

Juan Fernando Barros Martínez – Escuela de Ingeniería de Antioquia

Luz Eliana Vallejo Giraldo – Escuela de Ingeniería de Antioquia

María del Pilar Arroyave Maya – Escuela de Ingeniería de Antioquia

María Elena Gutiérrez L – Escuela de Ingeniería de Antioquia

Juan Camilo Villegas Palacio – Universidad de Antioquia

Luis Javier Montoya Jaramillo – Universidad de Medellín

Blanca Adriana Botero Hernández – Universidad de Medellín

José Adrián Ríos Arango – Universidad Pontificia Bolivariana

Miriam Benjumea Hernández – CTA

Comité Editorial:

Claudia Patricia Campuzano Ochoa

Oscar Gabriel Cárdenas Hernández

José Lino Jurado Montaña

Edier Vicente Aristizábal Giraldo

Julia Cristina Cadavid Gallego

Juan Fernando Barros Martínez

Edición

Catalina Guzmán

Diseño y diagramación

Impresos Begón Ltda.

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total de esta publicación, sin la autorización expresa del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA. Para la reproducción parcial debe citarse la fuente.

Hecho el depósito legal.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁGINA
PRESENTACIÓN	9
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 1. INVENTARIO GENERAL DE AGUAS EN ANTIOQUIA	13
1.1 METODOLOGÍA	14
1.2 CONTEXTO NACIONAL DE LA OFERTA HÍDRICA	14
1.3 ESTADO DE LA OFERTA HÍDRICA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	15
CAPÍTULO 2. CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN ANTIOQUIA	53
INTRODUCCIÓN	53
2.1 METODOLOGÍA Y RESULTADOS	54
2.2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
CAPÍTULO 3. CRECIDAS, TORRENTES Y ASENTAMIENTOS HUMANOS	91
INTRODUCCIÓN	91
3.1 METODOLOGÍA	92
3.2 ESTUDIO GENERAL DE LOS REGISTROS DE DESASTRES ASOCIADOS A EVENTOS HIDROLÓGICOS EN ANTIOQUIA	93
3.3 PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS CLAVE PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN	110
3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

CAPÍTULO 4. SERVICIOS ECOSISTEMICOS	125
INTRODUCCIÓN	125
4.1 METODOLOGÍA	126
4.2 RESULTADOS	127
4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
4.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
CAPÍTULO 5 PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y DEPÓSITO DE SEDIMENTOS	151
INTRODUCCIÓN	151
5.1 LOS SEDIMENTOS EN LOS RÍOS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	153
5.2 REVISIÓN DE ESTUDIOS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA PUBLICADOS ENTRE LOS AÑOS 2009-2012	155
5.3 PERSPECTIVAS EN LOS ESTUDIOS DE SEDIMENTOS	157
5.4 CONSOLIDADO DE ESTUDIOS Y CARENCIAS DE INFORMACIÓN	161
5.5 CONCLUSIONES	162
5.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
CAPÍTULO 6. USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA	167
INTRODUCCIÓN	167
6.1 DEMANDA DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO	169
6.2 REGLAMENTACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	175
6.3 SECTOR DOMÉSTICO	177
6.4 SECTOR INDUSTRIAL	180
6.5 ÍNDICES DE CONSUMO	181
6.6 MÓDULOS DE CONSUMO RECOMENDADOS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL PARA EL SECTOR INDUSTRIAL	196
6.7 SECTOR COMERCIAL Y SERVICIOS	200
6.8 FACTORES DE VERTIMIENTO	202

6.9 TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS DE USO EFICIENTE	207
6.10 CONCLUSIONES	209
6.11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	210

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

PRESENTACIÓN



Desde 1996 el convenio interinstitucional Cátedra del Agua es un mecanismo de articulación promovido y coordinado por la línea de Plataformas Competitivas del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA, con el objetivo de convocar a los profesionales y a las instituciones más capacitadas de Antioquia para interactuar en la construcción de pensamiento estratégico sobre política, investigación y desarrollo tecnológico del recurso hídrico en la región, creando condiciones propicias para que los grupos que trabajan en el área del recurso hídrico y del medio ambiente interactúen de manera creativa, cooperativa, colectiva y aporten sus conocimientos en pro de la región.

Actualmente, la Cátedra del Agua está conformada por un dinámico grupo de instituciones signatarias, generadoras y usuarias de conocimiento sobre agua: la Corporación Autónoma Regional del Río Negro-Nare –CORNARE-, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia –CORANTIOQUIA, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá –CORPOURABA, Isagen S.A.E.S.P, la Alcaldía de Medellín a través de su Secretaría de Medio Ambiente, la Universidad Pontificia Bolivariana, la Universidad Católica de Oriente, la Escuela de Ingeniería de Antioquia, la Universidad de Medellín, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Antioquia, el Tecnológico de Antioquia, la Fundación Agua Amiga, la Corporación Ambiental de la Universidad de Antioquia, la Corporación Ambiental URAI y la red Interamericana de Academias de Ciencias -IANAS.

En su afán de transferir y socializar el conocimiento en torno al recurso hídrico, la Cátedra desarrolló y compiló resultados de significativas investigaciones realizadas

por diferentes grupos de investigación de universidades ubicadas en Antioquia, que juntas actualizan el estado del arte del recurso hídrico en el Departamento, desde el 2002 cuando se publicó la primera edición, hasta el período actual 2010 – 2012.

En este sentido, la Cátedra del Agua seguirá publicando, cada vez que sea pertinente una actualización del estado del recurso hídrico antioqueño. Sea este, de paso, el espacio para que quede guardado en el tiempo y liberado en el mundo, no sólo el conocimiento, si no el agradecimiento a todas las personas que compartieron generosamente información para esta publicación. Esperamos que llegue hasta donde se necesite, para que cumpla el fin para el que se ha recopilado.

SANTIAGO ECHAVARRÍA ESCOBAR

Director

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA

INTRODUCCIÓN

El estado del arte de un recurso, parte de un proceso investigativo cuyos resultados deben ilustrar objetivamente sobre la forma en que dicho recurso se encuentra en determinado territorio, haciendo uso de diferentes herramientas de levantamiento de información, evaluación y análisis; por lo tanto siempre debe hacerse con la participación de un equipo interdisciplinario e interinstitucional, el cual recopila, organiza y analiza la información secundaria, lo cual a generando un valor agregado al presente libro.

Los seis capítulos que se presentan a continuación, son un manifiesto de un grupo de investigaciones de varias entidades y universidades para dar a conocer el estado del recurso hídrico en Antioquia, expresando de forma clara y analítica los siguientes temas:

- Inventario general de aguas en Antioquia.
- Calidad del recurso hídrico en Antioquia.
- Crecidas, torrentes y asentamientos humanos.
- Servicios ecosistémicos
- Producción, transporte y depósito de sedimentos.
- Uso eficiente y ahorro del agua.

Este libro es la cuarta actualización del estado del recurso hídrico en el departamento de Antioquia; la primera se presentó en el 2002 compilada por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, la segunda en el 2008 compilada por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia y la Universidad de Medellín y la tercera se

realizó en 2010, y fue compilada por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA.

Esta actualización es realizada por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, la Escuela de Ingeniería de Antioquia, la Universidad de Medellín, la Universidad Católica de Oriente y la Universidad Pontificia Bolivariana, con el apoyo de las entidades participantes en el Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua.

Esta publicación da por cumplido uno de los principales productos de la Cátedra del Agua de transferir el conocimiento en torno al estado del recurso hídrico en el departamento de Antioquia, como apoyo a la información, la planeación y la toma de decisiones en nuestro Departamento.

En adelante, además del trabajo continuo de las universidades y entidades participantes en la Cátedra del Agua, estas instituciones y las personas que hicieron posible esta publicación, esperan que dicho conocimiento pueda ser útil para otros y se convierta en una herramienta de apoyo para las entidades que tienen a su cargo la administración, protección y conservación del recurso hídrico.

CLAUDIA PATRICIA CAMPUZANO OCHOA

Directora

Línea de Agua y Medio Ambiente

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA

CAPÍTULO 1

INVENTARIO GENERAL DE AGUAS EN ANTIOQUIA¹

.....

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural único y escaso que es esencial para la vida en la tierra, se distribuye de manera irregular presentándose zonas con una abundante oferta y otras donde ésta es escasa. El conocimiento del comportamiento de la oferta hídrica en una región es imprescindible para satisfacer exitosamente la demanda y realizar una gestión integral del recurso.

El objetivo general del presente capítulo es mostrar los avances del conocimiento sobre el estado de la cantidad del recurso hídrico en el departamento de Antioquia para el periodo 2010 - 2012, teniendo en cuenta las aguas superficiales y subterráneas. Para ello, se recopiló y revisó la información disponible en las Corporaciones Autónomas Regionales de Antioquia, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Gobernación de Antioquia, las universidades y los centros de investigación.

Los objetivos específicos son:

- Recopilar y analizar los avances en cuanto a la caracterización y cuantificación de la oferta hídrica en cada una de las subregiones de Antioquia.
- Identificar los avances metodológicos, los programas y las herramientas para el manejo de la información sobre la oferta hídrica en Antioquia.
- Determinar prioridades, vacíos de información y oportunidades de investigación a partir de la revisión realizada.

¹ Inventario general de agua en Antioquia.
Elaborado por: Miriam Benjumea Hernández, Ingeniera Civil, MSc en Medio Ambiente y Desarrollo - Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA.

1.1. METODOLOGÍA

Para la actualización del estado del arte del macroproyecto cantidad del agua, se desarrollaron las siguientes actividades:

- **Recopilación de la información.** Se realizó la búsqueda de información en los centros de documentación, las bibliotecas y las páginas de internet de las universidades y las entidades públicas del departamento de Antioquia, las cuales por sus funciones desarrollan estudios relacionados con el recurso hídrico, tales como: planes de ordenamiento y manejo ambiental de cuencas hidrográficas, inventarios hídricos, entre otros.
- **Análisis de la información y construcción del documento.** El análisis de la información recopilada permitió identificar los avances en la caracterización y cuantificación de la oferta hídrica, en las metodologías, los instrumentos y las herramientas desarrolladas, y en las fortalezas y las debilidades, entre otros.

1.2. CONTEXTO NACIONAL DE LA OFERTA HÍDRICA

En el Estudio Nacional del Agua (ENA; IDEAM, 2010) se hace una estimación de la oferta hídrica superficial de Colombia a partir del procesamiento y el análisis hidrológico de las series de tiempo seleccionadas previamente. A partir de este análisis se concluyó que el país tiene un rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km^2 , lo cual supera seis veces el rendimiento promedio mundial. Colombia está entre los países con una mayor oferta hídrica natural en todo el mundo.

Colombia cuenta con un volumen anual de precipitación de 3.700 km^3 , de los cuales el 61% se convierte en escorrentía superficial equivalente a un caudal medio de $71.800 \text{ m}^3/\text{s}$ y a un volumen de 2.265 km^3 al año. Este caudal se distribuye en las cinco áreas hidrográficas en las que se ha dividido el territorio nacional continental: Magdalena - Cauca, Caribe, Pacífico, Orinoco y Amazonas (IDEAM, 2010).

En términos de la cantidad de agua que fluye por unidad de área, el área hidrográfica del Pacífico presenta el mayor rendimiento hídrico del país, estimado en 124 l/s-km^2 . En cuanto a los caudales, el Amazonas presenta los más altos con $27.830 \text{ m}^3/\text{s}$,

con una oferta anual año medio de 893.389 Mm³ y anual año seco de 576.442 Mm³ (millones de metros cúbicos). Respecto a la oferta hídrica natural disponible, las mayores limitaciones se presentan en los ríos de las áreas hidrográficas Magdalena - Cauca y Caribe (IDEAM, 2010).

La información para determinar la oferta de las aguas subterráneas en el país aún es escasa. El Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010) realizó una caracterización y cuantificación de este recurso a escala nacional a partir de la identificación y delimitación de 16 provincias hidrogeológicas. Estas provincias, que se asocian a ambientes sedimentarios y vulcanoclásticos, abarcan el 74% del total del territorio nacional y representan zonas con un alto potencial hidrogeológico, lo que indica una gran riqueza del recurso subterráneo, que según el IDEAM (2010), corresponde a un volumen de 5.848 km³, del cual el 41,5% se encuentra en la provincia de los Llanos Orientales.

1.3 ESTADO DE LA OFERTA HÍDRICA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

De manera resumida, este numeral describe la oferta hídrica y los avances en la caracterización y cuantificación de la misma en el departamento de Antioquia, haciendo énfasis en la información disponible para el periodo 2010 - 2012.

1.3.1 La oferta hídrica en Antioquia

Por su ubicación geográfica y su topografía, el departamento de Antioquia mantiene promedios de lluvia anuales por el orden de los 2.500 mm, presentándose tres grandes núcleos lluviosos en el departamento (occidente, en el Chocó biogeográfico, en el sur oriente en los límites con el departamento de Caldas hasta los alrededores de Guatapé y los límites de las subregiones del Bajo Cauca, Norte y Nordeste), los cuales llegan a tener precipitaciones alrededor de los 6.000 mm al año. Estas áreas tienen rendimientos promedios cercanos a los 63 l/s/km² en sus cuencas altas, para un volumen total producido y aproximado de 3.816 m³/km²/s para todo el departamento (Porras, 2012).

La oferta hídrica superficial en el departamento de Antioquia está representada principalmente por la gran cantidad de ríos, quebradas y humedales. Los ríos y quebradas definen 4 grandes cuencas (Figura 1): Cauca medio y bajo, Magdalena Medio, Porce – Nechí y Atrato medio y bajo. A éstas se suman otras cuencas destacadas: la del río León y la del Caribe, que ascienden a 679.532 hectáreas. Se tiene una pequeña porción de la cuenca alta de los ríos Sinú y San Jorge que nacen en el Parque Nacional Paramillo (Porras, 2012).

Las zonas hidrográficas en las cuales se ubican estas cuencas, según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH et al, 2011), presentan la siguiente oferta hídrica:

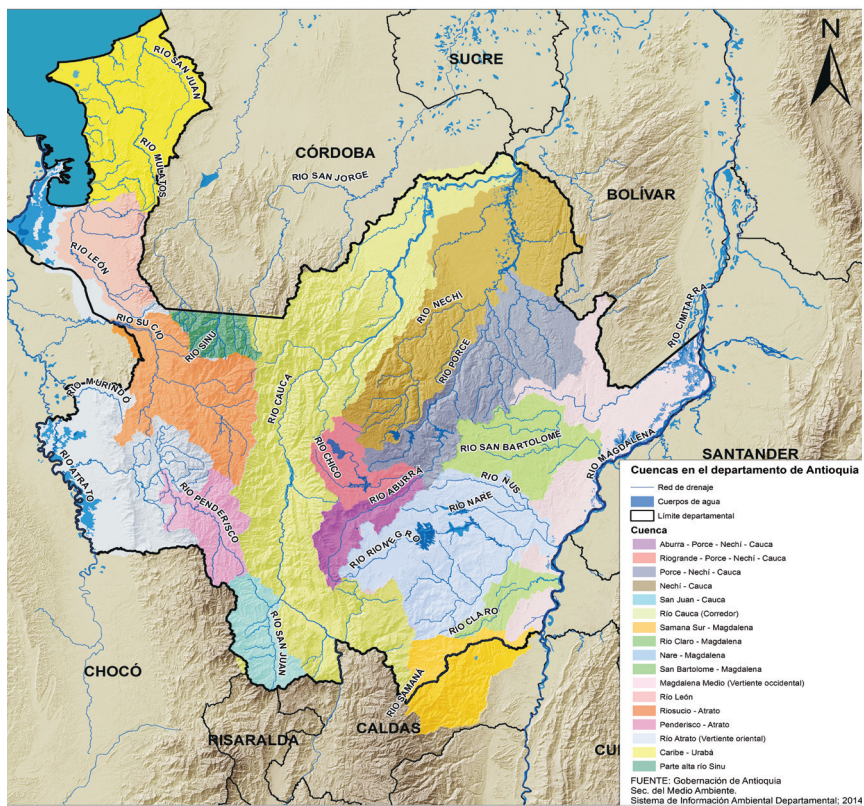
- Magdalena Medio: caudal año medio de 3.199 m³/s y una oferta año medio de 100.886 Mm³.
- Cauca: caudal año medio de 1.581 m³/s y una oferta año medio de 49.862 Mm³.
- Nechí: caudal año medio de 826 m³/s y una oferta año medio de 26.065 Mm³.
- Atrato - Darién: caudal año medio de 3.993 m³/s y una oferta año medio de 125.952 Mm³.

Por otra parte, en las partes bajas del departamento existen importantes sistemas cenagosos que aumentan esa riqueza hídrica, localizados en: el Atrato medio, en el cual se destaca la ciénaga de Buchadó en el municipio de Vigía del Fuerte; el Bajo Cauca, donde están las ciénagas de Nechí y del Bagre; en el Magdalena Medio, allí están las ciénagas de Yondó y Puerto Berrío; y en el Caribe, dónde está la ciénaga de Marimonda en el municipio de Necoclí.

En la planicie aluvial del Bajo Cauca, entre los ríos Man, Cauca y Nechí existen más de 70 ciénagas en 25 complejos que cubren un área aproximada de 40.000 hectáreas en aguas medias y almacenan un volumen cercano a los 800 Mm³.

En el cordón fluvial de los ríos Man y Nechí y en el tramo del río Cauca entre los municipios de Caucasia y Nechí, se conforma un sistema importante de ciénagas que han sufrido un deterioro progresivo por actividades antrópicas como la ganadería, la minería aluvial y la agricultura, entre otras.

Figura 1. Principales ríos y cuencas del departamento de Antioquia.

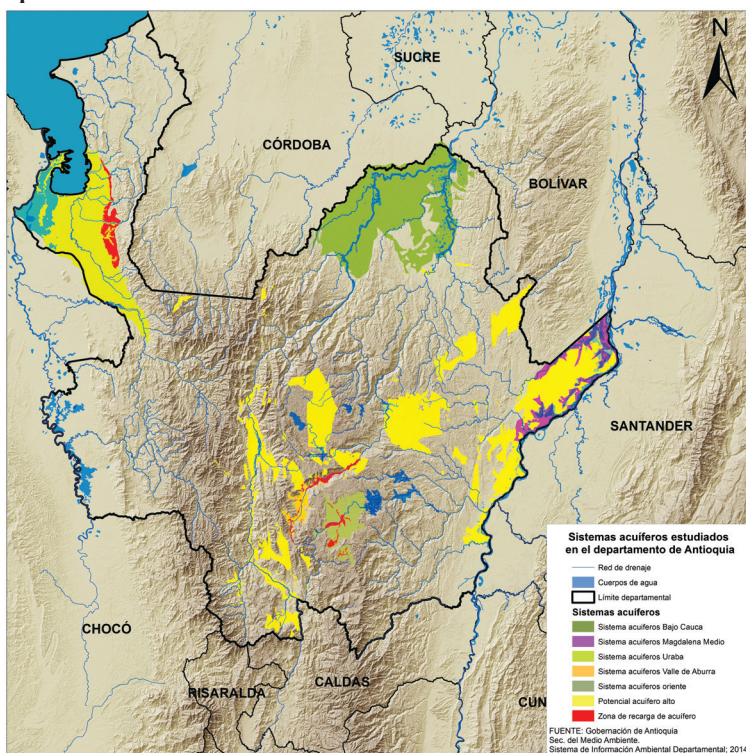


Fuente: Boletín temático: Medio Ambiente. Anuario Estadístico de Antioquia (Porras, 2012).

Con respecto a la oferta hídrica subterránea en el departamento de Antioquia, se han identificado 415.039 ha de acuíferos y 38.395 ha de zonas de recarga. El acuífero más extenso se encuentra en la región de Urabá, incluyendo casi toda la cuenca del río León y las áreas del río Atrato (Porras, 2012).

Los principales acuíferos existentes en Antioquia son: el del Valle de Aburrá, el del Bajo Cauca - Nechí, Urabá, del Magdalena Medio, el del altiplano del Oriente, Valle de San Nicolás y La Unión (Porras, 2012).

Figura 2. Oferta recurso hídrico subterráneo en el departamento de Antioquia



Fuente: Boletín temático: Medio Ambiente. Anuario Estadístico de Antioquia (Porras, 2012).

1.3.2 Estado del arte de la cantidad de agua en el departamento de Antioquia

En la presente actualización del estado del arte de la cantidad de agua en el departamento de Antioquia se hace referencia a aquellos estudios, avances metodológicos y herramientas que han permitido profundizar en el tema.

El departamento de Antioquia lo conforman 125 municipios distribuidos en 9 subregiones. En estos municipios la autoridad ambiental la ejercen cuatro (4) Corporaciones Autónomas Regionales, encargadas de la administración, control y gestión de los recursos naturales en su jurisdicción. Estas corporaciones son: la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE) con 26 municipios, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA) con 19 municipios, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) con 80 municipios, y adicionalmente el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), ésta es una entidad administrativa que asocia a 9 de los 10 municipios que conforman el Valle de Aburrá y ejerce la autoridad ambiental en sus áreas urbanas.

La Ley 99 de 1993, que crea el Sistema Nacional Ambiental, establece que las Corporaciones Autónomas Regionales son las encargadas de administrar los recursos naturales, entre ellos, el agua. Por tal motivo, son ellas quienes han hecho los mayores desarrollos relacionados con la caracterización y cuantificación de la oferta del agua en todo el país, y en este caso en Antioquia. El presente estado del arte cubre cada una de las jurisdicciones de las Corporaciones, haciendo una revisión general de los estudios realizados por las mismas e identificando la subregión de Antioquia para la cual se desarrollaron.

Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCH).

Según Porras (2012), para el 2011 se tenían formulados 53 Planes de Ordenación y Manejo (POMCH) en el departamento de Antioquia, 7 en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), 1 en CORANTIOQUIA, 37 en CORNARE y 8 en CORPOURABA. Es de anotar que dichos POMCH son los adoptados por acuerdo de los consejos de dichas corporaciones o por comisiones conjuntas como es el

caso del POMCA del río Aburrá. Además de estos, las corporaciones han realizados otros POMCH que no han sido adoptados. En la Tabla 1 se hace un inventario de los mismos por las subregiones y las CAR. Más adelante se muestra, para los más recientes, los resultados obtenidos en lo que respecta a la cantidad de agua.

Tabla 1. Planes de ordenación y manejo por subregiones y corporaciones.

Cuencas o microcuencas con POMCH	Subregión	Número de POMCH por subregión	CAR
Quebradas: La Quintana, La Malpaso, Altavista, La India, La Pastora y La Cangreja, La Herrera o Granizal, La Iguaná, La Rosa, La Bermejala y La Presidenta, La Picacha, La Guayabala, La Volcana, La Madera y Santa Elena, El Salado, Doña María, La García y El Hato, La Grande, La Doctora, La Valeria, La López, Piedras Blancas, La Ayurá, La Honda.	Valle de Aburrá	28	Área Metropolitana del Valle de Aburrá y CORANTIOQUIA.
Río Aburrá Medellín.	Valle de Aburrá		Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CORNARE y CORANTIOQUIA.
Quebradas El Salado y La Correa.	Valle de Aburrá		CORANTIOQUIA
Ríos Grande y Chico.	Norte y Occidente	1	CORANTIOQUIA
Quebrada Orobajo.	Norte	4	
Ríos Guadalupe, Grande y Chico, San Alejandro y otros.			
Ríos Aurra, Mulatos y Mulaticos.	Occidente	5	
Quebrada La Noque.			
Río Peque.			CORPOURABA
Quebradas Sinafaná y Organales.	Suroeste	11	CORANTIOQUIA
Ríos Amagá, Poblano, Buey, Piedras, Pedral, Amacerí, Frio y La Cruz.			
La Herradura.			

Fuente: elaboración propia.

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012**

Cuencas o microcuencas con POMCH	Subregión	Número de POMCH por subregión	CAR
Ríos Cacerí, Amacerí, El Bagre, Tarazá, Tigüí.	Bajo Cauca	5	CORANTIOQUIA
Ríos Cupiná y San Bartolomé.	Magdalena Medio y Nordeste	2	
Plan de ordenación y manejo de las áreas de regulación hídrica, con influencia sobre el proyecto de generación termoeléctrica de La Sierra. Quebrada El Oro.	Magdalena Medio	2	
Formulación del plan de ordenación y manejo de las áreas de regulación hídrica, con influencia sobre el proyecto de hidroeléctrica Porce II-III.	Nordeste	1	
Ríos Tamar e Ite.	Nordeste	1	
Quebradas Malpaso, Barbacoas, La Bolsa, Bodegas, El Salto, La Brizuela, La Cimarrona, La Madera, Chuscalito, La Espinosa, La Palma, Pantanillo, El Buey, La Pereira, El Tabor, La Ceja, Pozo, Minitas, Cuervos, La Cristalina – La Risaralda, La Guayabal, Dosquebradas – La Aguada, Dosquebradas, La Corozal, El Prado, Jerusalén, Los Dolores, Yeguas, Llanadas, La Honda, El Tablazo, San Antonio, San Pedro, Rosario y Nutrias.	Oriente	34	CORNARE
Ríos Calderas, San Pedro, San Javier, Sonsón.			
Ríos Apartadó, San Juan, Mulaticos, Turbo, Apartadó, Chigorodó y Carepa.	Urabá	7	CORPOURABA

• **Estudios sobre aguas subterráneas.**

Entre el 2010 y 2012 se han realizado este tipo estudios en las subregiones del Valle de Aburrá, Magdalena Medio, Bajo Cauca y Urabá. No se identificaron para este periodo estudios en la subregión del Oriente.

• **Otros estudios realizados.**

Con respecto a los estudios que incorporan nuevas técnicas o metodologías para la estimación de la oferta hídrica, se encontraron las siguientes tesis:

• **Desarrollo de un sistema experto para la predicción de caudales medios mensuales en Colombia.**

En este estudio se incluyen dos nuevas metodologías para la predicción de caudales medios mensuales en Colombia. La primera de ellas son los polinomios localmente ponderados, que pueden ser divididos en dos grupos: el método de mínimos cuadrados móviles y las funciones de influencia radial, ambos esquemas de regresión tienen la idea básica de ponderar con mayor valor aquellas observaciones más cercanas al momento de elaborar un pronóstico. La segunda son las redes neuronales polinómicas, son un algoritmo de regresiones polinómicas sucesivas sobre un conjunto de variables independientes, cuyo objeto es combinar pronósticos parciales de la variable dependiente mediante un algoritmo de agrupación de datos basado en los polinomios de Ivakhnenko y la teoría de mínimos cuadrados. La aplicación de estas técnicas permite desarrollar una herramienta de pronóstico para la predicción de caudales medios superior a las usadas tradicionalmente en el país (Rojo, 2011).

En el estudio se describe cada una de las metodologías, se presentan las ecuaciones básicas y el procedimiento para encontrar los parámetros de las regresiones locales.

Plataforma SIG para el Modelamiento de Sistemas Acuíferos. En este estudio se desarrolla una plataforma de análisis que permite el modelamiento espacial de las variables y los fenómenos asociados a los sistemas acuíferos. Es útil, no solo para la determinación de la geometría de las unidades hidrogeológicas en función de la geología y la correlación estratigráfica, sino también en la identificación de las características de uso, la determinación y espacialización de las condiciones de flujo,

los parámetros hidráulicos y la evaluación de la recarga. Para ello, desarrolla una plataforma SIG acoplable al sistema de modelamiento de aguas subterráneas MODFLOW, conformado por cuatro bloques básicos: el aprestamiento de los datos y la construcción de geodatos, la construcción del modelo conceptual basado en **la geometría** espacial, las funcionalidades para la transacción de información con otras plataformas de modelación e incluso de validación del modelo conceptual, y por último, las funcionalidades que permiten desarrollar análisis complementarios al estudio de los sistemas acuíferos (Escobar, 2011).

Desarrollo de un modelo geoespacial para la gestión integrada del recurso hídrico. Caso de estudio: el Bajo Cauca antioqueño. En este estudio se desarrolla un modelo geoespacial utilizando el software ArcGIS, el cual permite el modelamiento geoespacial de variables hidrológicas para la gestión integrada del recurso hídrico (agua superficial y subterránea). Empleando procesos estadísticos y técnicas geoinformáticas para la estimación de la oferta hídrica, el cálculo de la demanda de agua y el cálculo de los balances zonales (González, 2011).

Simulador piloto de la oferta y la demanda hídrica en una microcuenca rural para la validación de metodologías y la evaluación de políticas de manejo sostenible del recurso agua. En este estudio se desarrolla una herramienta que permite evaluar la relación entre oferta hídrica – demanda hídrica – gestión institucional en cuencas rurales, es útil para la toma de decisiones en la gestión sostenible del recurso agua. La dinámica de la oferta y la demanda hídrica se define mediante una metodología de modelación que se hace para diferentes escenarios. Para la oferta hídrica se utiliza un modelo de balance hidrológico de largo plazo (Zuluaga, 2011).

• **Red de monitoreo de variables hidrometeorológicas.**

En el departamento de Antioquia se cuenta con aproximadamente 409 estaciones de hidrología y meteorología distribuidas a lo largo del departamento, parte de ellas le pertenecen al IDEAM, las Empresas Públicas de Medellín, CORNARE, CORANTIOQUIA y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Esta red permite la estimación y el seguimiento a los caudales en las corrientes en las cuales se localizan las estaciones y por métodos indirectos en otras cercanas.

Modelos y herramientas para el análisis de la oferta hídrica.

HidroSIG 4.0

HidroSIG es un Sistema de Información Geográfica que ofrece una serie de herramientas para el procesamiento y análisis de información hidrológica y climatológica.

Este software fue desarrollado por la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional, sede Medellín, en el marco del proyecto Balances Hidrológicos de Colombia (UPME et al, 1999). En la “Actualización del estado del arte del recurso hídrico en el departamento de Antioquia 2005-2006” se hizo entrega de la versión HidroSIG 3.0, la cual contiene una base de datos compuesta de mapas de variables hidrológicas para Antioquia.

La última versión realizada en 2011 - HidroSIG 4.0 - está constituida por una serie de plug-ins para la plataforma MapWindow, los cuales se clasifican según su funcionalidad, en tres grupos: procesamiento hidrológico, herramientas operativas y exploración de bases de datos. El primer grupo de herramientas contiene un trazador de cuencas y corrientes, un módulo de disponibilidad hídrica, un acumulador de variables sobre la red de drenaje en distintas direcciones y un módulo de estimación de caudales para calcular, entre otras cosas, los caudales máximos y mínimos asociados a diferentes periodos de retorno. El grupo de herramientas operativas proporciona una calculadora de mapas raster, un integrador de datos contenidos en el área definida por un polígono y un convertidor de sistemas de direcciones de drenaje. Finalmente, el grupo de exploración de las bases de datos permite realizar procesos de inserción, edición y exploración de datos en formatos vectorial y raster, además de series de tiempo. La exploración se realiza con mayor énfasis para sitios de interés y estaciones de medición, posibilitando no solo consultar la información sino también exportarla (Universidad Nacional, 2011).

1.3.2.1 Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)

En su jurisdicción se encuentran las zonas urbanas de los municipios de la subregión del Valle de Aburrá (AMVA), excepto el municipio de Envigado. Localizados todos en la cuenca del río Aburrá - Medellín.

• **Aguas superficiales.**

Parte del conocimiento de la oferta de agua superficial en el Valle de Aburrá se ha producido, principalmente, en el marco del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá -POMCA- (Área Metropolitana del Valle de Aburrá et al, 2007) que recopila los estudios realizados a la fecha. También se hace un aporte a este conocimiento en los Planes de Ordenación y Manejo realizados para algunas microcuencas del Valle de Aburrá por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Secretaría del Medio Ambiente del municipio de Medellín y CORANTIOQUIA. El municipio de Medellín inició un proceso de formulación de Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de Microcuencas (PIOM) con la microcuenca de la quebrada La Iguaná. A la fecha, además de éste se han formulado los PIOM de las quebradas: La Quintana, La Malpaso, Altavista, La India, La Pastora y La Cangreja, La Herrera o Granizal.

Por otra parte, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el 2007 inició la formulación de una serie de Planes de Ordenación y Manejo de las Microcuencas, entre los que se encuentran los de las quebradas: La Picacha, La Guayabala, La Volcana, La Madera y Santa Elena en el municipio de Medellín, El Salado en el municipio de Girardota, Doña María en el municipio de Itagüí, La García y El Hato en el municipio de Bello, La Grande en el municipio de la Estrella, La Doctora en el municipio de Sabaneta, La Valeria en el municipio de Caldas, La López en el municipio de Barbosa y Piedras Blancas localizada en la jurisdicción de los municipios de Barbosa, Copacabana, Guarne y Medellín.

En los Planes de Ordenación y Manejo realizados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y por el municipio de Medellín, se elaboró de forma detallada la caracterización y cuantificación de la oferta de cada una de las cuencas mencionadas, calculándose los caudales medios, mínimos, máximos y ecológicos. En general, las metodologías utilizadas fueron las siguientes: para los caudales medios, la metodología del Balance Hidrológico a largo plazo; para los caudales mínimos, el método denominado Modelo de Tanques (agregado), en el cual para la elaboración del mapa se realizó una regresión lineal del caudal mínimo y el área de drenaje de cada uno de los tributarios para los periodos de retorno de 2, 33, 5, 10, 25, 50, y 100 años, utilizando para ello el software ArcGIS; para los caudales máximos se aplicaron dos metodologías: el método racional y las hidrógrafas unitarias sintéticas; y finalmente, para los caudales

ecológicos se empleó la metodología propuesta en la Resolución 865 del 22 de julio de 2004 expedida por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En la Tabla 2 se muestran estos resultados para las cuencas mencionadas.

Tabla 2. Oferta hídrica en diferentes microcuencas del Valle de Aburrá.

Cuenca	Caudal medio anual a la salida de la cuenca (m³/s)	Caudal Mínimo Tr=10 años (m³/s)	Caudal Ecológico (m³/s)
Quebrada La Picacha	0,2900	0,1356	0,0210
Quebrada La Guayabala	0,2601	0,0850	0,0305
Quebrada La Volcana	0,0767	0,0196	0,0137
Quebrada Santa Elena	1,3768	0,3792	0,1195
Quebrada El Salado	0,768	0,226	
Quebrada Doña María	2,8000	0,7760	
Quebrada La García	0,2525	0,6550	0,0197
Quebrada El Hato	0,5050	0,1560	0,1984
Quebrada La Grande	0,3586	0,0981	0,0437
Quebrada La Doctora	0,3508	0,0890	0,1165
Quebrada La Valeria	1,5400	0,4900	0,2300
Quebrada La López	0,1521	0,0400	0,1298
Quebrada Piedras Blancas	0,9100	0,2530	0,1700

Fuente: Planes de Ordenamiento y Manejo de las respectivas microcuencas.

La Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá – Medellín (REDRÍO) es otro de los avances importantes en la cuantificación y caracterización de la oferta hídrica de esta cuenca. El proyecto que se inició en 2003 viene

realizando el monitoreo de la calidad y cantidad del agua a lo largo del río Aburrá – Medellín, desde su nacimiento en el alto de San Miguel (Municipio de Caldas) hasta su desembocadura en el río Grande a la altura del paraje conocido como Puente Gabino (Municipio de Santo Domingo), a través de 19 estaciones distribuidas a lo largo de dicho tramo y 22 estaciones en quebradas afluentes. En 2010, este proyecto incorporó el componente de agua subterránea.

Durante la Fase III del 2010, se realizó el monitoreo simultáneo del río y algunas quebradas afluentes. En el informe se presenta un análisis de la hidrología e hidráulica del río Medellín y sus principales afluentes. Adicionalmente, incluye un diagnóstico inicial de aguas subterráneas y la propuesta de un modelo hidrogeológico (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

Con respecto a las aguas superficiales, se hizo una estimación de los caudales líquidos a partir de 30 campañas de aforo sobre las estaciones del río y en las quebradas. El estimativo del caudal líquido se obtuvo por el método Área – Velocidad que consiste en determinar, a partir de medidas de velocidad V y geometría de la sección A , el caudal de la corriente como el producto $Q = VA$ (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

En la zona sur del Valle de Aburrá se realizaron mediciones de caudal sobre el río Aburrá en las estaciones San Miguel, Primavera, Ancón Sur, antes y después de San Fernando y en el Puente Guayaquil; y en las quebradas afluentes La Valeria, La Miel, La Grande, La Doctora, Doña María, La Ayurá, La Aguacatala, La Presidenta, Altavista, La Hueso y La Picacha. En la zona norte se realizaron mediciones de caudal sobre el río Aburrá en las estaciones Aula Ambiental, Puente Acevedo, Puente Machado, Ancón Norte, Puente Girardota, Parque de las Aguas, Hatillo y Papelsa. Ya que en estos sitios la lámina de agua es considerable, las mediciones de caudal se realizaron por suspensión. Además, se realizaron mediciones en las quebradas afluentes La García, La Santa Elena, La Iguaná, La Rosa, La Madera, El Hato, Piedras Blancas, La Señorita, La Rodas, La Niquía, La Seca y La Santiago. En esta zona los sensores de nivel fueron instalados en las estaciones Ancón Norte y Aula Ambiental (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

También, en esta fase del proyecto la hidrología se complementó y actualizó con respecto al estudio realizado durante la Fase I. Se actualizó la información de las

series de precipitación mensual hasta el año 2010 y los mapas de precipitación mensual y multianual de la cuenca del río Aburrá. De esta información se concluyó que el Valle de Aburrá tiene un régimen de precipitación bimodal e interanualmente varía su magnitud con la influencia del fenómeno climático ENSO, aumentando los valores de precipitación anual durante los años La Niña y disminuyendo durante los años El Niño. Igualmente, presenta dos focos de precipitación, uno localizado en el Oriente antioqueño y otro de menor magnitud, en la zona sur de la cuenca del río Aburrá. Los menores valores de precipitación durante todo el año son registrados en el centro de la cuenca del río Aburrá, aumentando su magnitud tanto hacia el norte como al sur de la misma (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

• **Aguas subterráneas.**

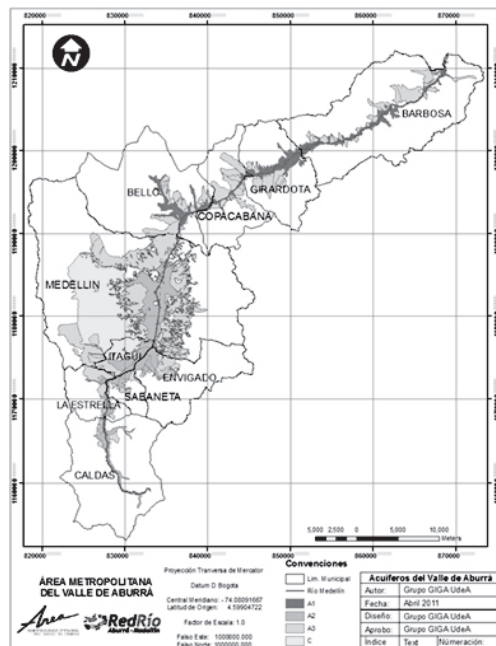
Los avances en el conocimiento de las aguas subterráneas del Valle de Aburrá, durante el periodo 2009 - 2012, se han dado en el marco del proyecto REDRÍO, Fase III. En esta fase y retomando los estudios “Zonas de Recarga y Acuíferos del Valle de Aburrá (EZRAVA)” realizados por la Universidad de Antioquia e Integral en el año 2002 y “Actualización del inventario de captaciones de agua subterránea” realizado por la Universidad Nacional en el año 2008, se avanza en el modelo hidrogeológico del acuífero del Valle de Aburrá haciendo una identificación de las unidades hidrogeológicas y las zonas de recarga de acuíferos. Se describen también variables hidráulicas y tendencias del flujo de las aguas subterráneas.

En el estudio “Zonas de Recarga y Acuíferos del Valle de Aburrá” (Universidad de Antioquia e Integral, 2002, citado en AMVA y Universidad de Antioquia, 2011) se definieron dos unidades hidroestratigráficas con características acuíferas, nombradas A1 y A2 y una con muy baja potencialidad, denominada B1. A1 tiene el carácter de acuífero libre y A2 de semiconfinado. En REDRÍO Fase III, se propone un nuevo modelo hidrogeológico que busca precisar las condiciones acuíferas de unidades litológicas que se extienden más allá de los depósitos aluviales, trascendiendo a los depósitos de vertiente y posiblemente a saprolitos de rocas duras y medios fisurados. Este modelo, como se muestra en la Figura 3, considera una nueva distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en el Valle de Aburrá, definiendo dos nuevas unidades, una correspondiente a los depósitos de vertiente que se denomina unidad hidrogeológica A3 y la asimila preliminarmente a un acuífero libre; y

otra asociada al medio fisurado y a saprolitos con porosidad secundaria que designa como unidad C (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

En el estudio se aclara que el modelo hidrogeológico disponible deberá ser actualizado mediante tareas de exploración que involucren la determinación del potencial hidrogeológico, al menos en los depósitos de vertiente. Todo modelo hidrogeológico se va refinando a medida que se profundiza en el conocimiento de la geología, las variables hidráulicas, el ciclo hidrológico, la piezometría y la calidad de las aguas subterráneas (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011). Es decir, es un proceso en el cual falta camino por recorrer.

Figura 3. Distribución superficial de nuevas unidades hidrogeológicas en el Valle de Aburrá



Fuente: Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá en Jurisdicción del Área Metropolitana: Fase III. Informe Final (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

Otro aspecto importante en el cual avanza este estudio, con respecto a la cantidad de las aguas subterráneas, es en el de precisar mejor las superficies piezométricas para el acuífero libre del Valle de Aburrá (A1 y A3) y el acuífero semiconfinado (A2), las cuales indican que el flujo de las aguas subterráneas se daría desde las vertientes hacia el centro del Valle y en éste en dirección norte - sur (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

En la Fase III de REDRÍO, también se diseña y pone en marcha una red de monitoreo hidrogeológico, con la cual se busca obtener nuevas superficies piezométricas con resolución temporal mensual, y además se propone un plan sistemático de seguimiento a las oscilaciones del nivel freático a través del tiempo. Esta red cumplirá con el propósito de monitorear tres variables: nivel piezométrico, calidad del agua subterránea e hidrogeoquímica (AMVA y Universidad de Antioquia, 2011).

Otro estudio que contribuye al conocimiento de la cantidad de las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá es “Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Norte del Valle de Aburrá” (AMVA y Universidad de Antioquia, 2012). En él se define un modelo hidrogeológico conceptual de los acuíferos del norte del Valle de Aburrá y una caracterización detallada del acuífero libre y de sus potenciales zonas de recarga, delimitándose las directas e indirectas. Lo anterior, se realizó a partir la caracterización geológica y geomorfológica del área de estudio, la prospección geofísica y el modelo geométrico.

Para determinar las zonas de recarga, se identificaron los factores que las condicionan y sus posibles fuentes de recarga. En el estudio se consideró como hipótesis la existencia de tres posibles fuentes de recarga: i) En principio, se tiene una recarga distribuida a lo largo y ancho de las superficies libres en donde afloran las unidades acuíferas, ii) en segundo lugar, está la recarga que se da a través de la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficial como lo son el río Aburrá-Medellín y los afluentes principales, y iii) finalmente, la recarga lateral indirecta desde las rocas ígneas y metamórficas encajantes del sistema (AMVA y Universidad de Antioquia, 2012).

Una vez determinados los procesos de recarga directa e indirecta del acuífero libre

del norte del Valle de Aburrá y determinadas las áreas de la misma, se clasificó la zona de recarga en cinco categorías: zonas de recarga directa, zonas de recarga directa de importancia alta, zonas de recarga directa de importancia media, zonas de recarga directa de importancia baja y zonas de recarga directa de importancia muy baja. La zona de recarga directa corresponde a las áreas donde el acuífero libre está aflorando y la recarga se da principalmente por los excedentes de la precipitación, y por su parte, las zonas de recarga indirecta corresponden a las unidades geológicas encajantes de los depósitos aluviales y de vertiente (AMVA y Universidad de Antioquia, 2012).

En este estudio se encontró que la tendencia de los valores de recarga sigue, en casi todos los meses, la distribución espacial de la lluvia. De esta manera, entre diciembre de 2009 y marzo de 2010 se observan los valores más bajos de recarga, mientras que en los meses de mayo a junio se presentan los valores más altos. Entre los meses de julio y agosto los valores de recarga disminuyen en las zonas donde el potencial de recarga es mayor y vuelven a aumentar en los meses de octubre y noviembre, este último es un mes de transición que marca el final de la época de lluvias. La recarga disminuye hacia el final del año hidrológico (mes de diciembre), lo que es consecuente con el hecho de que en el periodo de abril de 2009 a marzo de 2010 se presentó uno de los eventos del fenómeno del Niño más intensos de los últimos 10 años. Respecto a la distribución espacial, los valores más altos de recarga se presentan hacia el nororiente en el municipio de Barbosa y hacia el noroccidente en el municipio de Bello (AMVA y Universidad de Antioquia, 2012).

1.3.2.2 Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA)

En su jurisdicción se localizan 80 municipios del departamento localizados en las subregiones del Suroeste, Norte, Occidente, Bajo Cauca, Magdalena Medio, Occidente y la zona rural del Valle de Aburrá. Este territorio se divide en seis (6) grandes cuencas que corresponden a los ríos: Cauca, Nechí, Porce, San Juan, Grande y Aburrá - Medellín, que a su vez, están conformadas por 229 cuencas de menor tamaño (CORANTIOQUIA, 2012).

• Agua superficial

En este tema los avances en el conocimiento se han dado a través de los Planes de Ordenación y Manejo que la Corporación realizó hasta el 2009, los estudios “Determinación de las condiciones de calidad y cantidad (físicoquímicas y microbiológicas) de las aguas superficiales abastecedoras y receptoras de vertimientos en las cuencas del área de influencia del sector eléctrico y calcular el ICA (Índice de Calidad Ambiental) para cada una de ellas” (Tecnológico de Antioquia, 2011) y “El Recurso Hídrico en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA 1995 - 2007” (Mejía, 2008), y a través del Sistema de Administración del Recurso Hídrico de CORANTIOQUIA.

Otro estudio es el Plan de Ordenación del Recurso Hídrico en las direcciones territoriales Tahamíes y Zenufaná (CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia, 2009). Aunque no tiene como objetivo estimar la cantidad del agua, ésta se calcula para diferentes cuencas, como insumo para determinar el Índice de Escasez y los objetivos de calidad del agua de las corrientes priorizadas en el mismo.

CORANTIOQUIA ha realizado 36 Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas distribuidos en diferentes subregiones (CORANTIOQUIA, 2012), en la mayoría de ellos se estimó el caudal medio. Éstos no se referencian en la presente actualización ya que se hicieron antes del 2009.

En el estudio “Determinación de las condiciones de calidad y cantidad (físicoquímicas y microbiológicas) de las aguas superficiales abastecedoras y receptoras de vertimientos en las cuencas del área de influencia del sector eléctrico y calcular el ICA (Índice de Calidad Ambiental) para cada una de ellas” realizado por el Tecnológico de Antioquia en 2011, se realizó una campaña de muestreo a fuentes abastecedoras de acueductos y receptoras de vertimientos líquidos domiciliarios de cascos urbanos y centros poblados de municipios del sector eléctrico en jurisdicción de Corantioquia. Dichas campañas de muestreo tenían como objetivo determinar la calidad del agua más que la cantidad de la misma. Por tal razón y como información complementaria para la estimación de los Índices de Calidad del Agua, se afora el caudal en el momento del muestreo, lo cual define la oferta de las corrientes monitoreadas.

En el estudio “El Recurso Hídrico en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA 1995 - 2007” (Mejía, 2008), se hizo una primera aproximación a la oferta hídrica de la jurisdicción por municipio a partir de la precipitación, relacionando promedios multianuales con las áreas de cada jurisdicción municipal. Se realizó un modelo digital de evapotranspiración promedio aplicando la ecuación desarrollada en el Centro Nacional de Estudios del Café (Cenicafé, 1998), la cual se corresponde bien con la complejidad topográfica y la variabilidad altimétrica de la geografía regional.

CORANTIOQUIA cuenta con una herramienta para la administración del recurso hídrico denominada DUBERDICUS. Este sistema cuenta con: metodologías de captura, almacenamiento y procesamiento de información hidrometeorológica; modelos digitales de elevación, temperatura, precipitación, evapotranspiración y escorrentía; y modelos que con la información anterior, permiten estimar caudales: mínimos, promedios, ecológicos, máximos de reparto y de reparto sustentable para las corrientes principales de la jurisdicción. Este sistema se convierte en un soporte técnico para la administración del recurso hídrico en su jurisdicción y de mejora del conocimiento del mismo.

El Plan de Ordenación del Recurso Hídrico en las direcciones territoriales Tahamíes y Zenufaná realizado por la Universidad de Antioquia en 2009, tiene como objetivo principal determinar los usos potenciales del agua y en función de esto revisar y/o definir los objetivos de calidad de los tramos de corrientes analizadas dentro de estas territoriales. Para tal fin, se estimó los caudales mínimos y promedios para las microcuencas que abastecen acueductos o sobre las que se realizan vertimientos puntuales asociados principalmente a centros poblados utilizando el modelo DUBERDICUS (Sistema de Administración del Recurso Hídrico de CORANTIOQUIA). Estos caudales se estimaron en las cuencas de las quebradas: Yarumalito, Chorros Blancos, La Hedionda, Chuscalito, San Juan, El Hato, La Bramadora, La Piedrahita, Don Matías, Los Chorros, Santa Gertrudis, La Viborita, La Reina, La Unión, y en el río San Alejandro. También, en estas corrientes en el muestreo de calidad de agua se realizó un aforo de caudal de las mismas.

• Aguas subterráneas.

Con respecto a la oferta del recurso hídrico subterráneo, CORANTIOQUIA ha realizado varios estudios con la finalidad de evaluar el potencial hídrico subterráneo

de su jurisdicción. Esto comprende la exploración geológica, el inventario de captaciones de agua subterránea, la determinación de la geometría (extensión superficial y espesores) de las formaciones litológicas que almacenan el agua subterránea, la determinación de sus propiedades hidráulicas, la estimación de la recarga y la estimación aproximada de reservas, o en su defecto, la capacidad de almacenamiento de las formaciones acuíferas. A la fecha, se han realizado estos estudios en los acuíferos de los municipios de Yondó, Puerto Berrío y Puerto Nare en la Territorial de Zenufaná; los municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina en la Territorial Hevéxicos; y el acuífero del Bajo Cauca antioqueño en la Territorial Panzenú (CORANTIOQUIA, 2007).

De estos acuíferos, el más estudiado ha sido el del Bajo Cauca antioqueño, ya que éste es la principal fuente de abastecimiento de la población de esta región. Desde el 2003, la Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA han desarrollado una serie de estudios que les han permitido definir un modelo hidrogeológico conceptual que cubre 3.273 de los 8.400 km² de la subregión. Para esta zona se realizó entre el 2010 y 2011 el Plan de Manejo de las Aguas Subterráneas de la Dirección Territorial Panzenú, el cual recopila el conocimiento que a la fecha se tiene del mismo, incluyendo lo que respecta a la oferta del recurso subterráneo.

En este estudio se hace una descripción del sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño, el cual está conformado por tres unidades hidrogeológicas: la unidad hidrogeológica U123, la unidad U4 y la unidad U5. También se hace una descripción de la piezometría y del flujo de las aguas subterráneas, describiéndose la variación de los niveles freáticos en invierno y verano, las zonas de recarga y la estimación de la recarga.

En épocas de lluvia, el nivel freático se localiza cerca de la superficie y el flujo subterráneo presentando importantes divisorias entre los ríos Man y Cauca, y Cauca y Cacerí, definiéndose áreas donde el agua fluye desde altos freáticos localizados entre 90 y 140 m hacia las grandes corrientes superficiales a las cuales aportaría caudal base. También desde el norte, en límites con el departamento de Córdoba, se presenta un flujo subterráneo hacia el río Cauca. Al occidente, en la vertiente izquierda del río Man, solo se logra dibujar de manera aproximada un flujo hacia el cauce y tal vez en algunos sitios en sentido opuesto. Durante el verano, se presenta

un descenso promedio del nivel freático de 5 m con relación al nivel que se obtiene en invierno (Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA, 2011).

En la zona de estudio se identificaron tres fuentes de recarga: una recarga distribuida a lo largo y ancho de la planicie, ocasionada por la infiltración directa del agua lluvia. En segundo lugar, se produce recarga a través de la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficiales, como lo son los ríos Cauca y Man y desde algunas ciénagas y jagüeyes. Finalmente, se da recarga lateral indirecta desde la roca metamórfica encajante del sistema, tanto hacia el acuífero libre como hacia el acuífero confinado. Acerca de la procedencia del agua que satura la unidad U4, la cual tiene regionalmente carácter de acuífardo, ésta constituye una fuente de agua local para algunos moradores de la región, ella se da a través de la conexión vertical con las unidades U123 desde la que se produce goteo y U5 desde la cual se pueden presentar ascensos ocasionados por efecto de flujo pistón (Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA, 2011).

Con respecto a la recarga, los promedios ponderados por unidad de suelo registran una recarga de 1.273 mm para el año medio, 982 mm para el periodo seco y 1.729 mm para un año húmedo. En el análisis mensual se encontró que en condiciones hidrológicas promedio, los máximos valores de recarga se producen en septiembre y las condiciones críticas mínimas se dan en marzo. Durante un año Niño, entre junio y septiembre hay recarga, pero entre enero y abril cesan los aportes de la precipitación. En un año húmedo durante el periodo de junio a octubre se presentan importantes entradas al acuífero (Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA, 2011).

1.3.2.3 Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare (CORNARE).

La jurisdicción de CORNARE, conformada por 26 municipios, se divide con fines de planificación y administración de los recursos naturales en 9 cuencas o tramos de cuencas, 6 de ellas se comparten con otras autoridades ambientales. Éstas son las cuencas de los ríos Nare, Samaná Norte, Nus, Negro, Arma, Samaná Sur, Claro-Cocorná Sur, Grande, y afluentes directos al río Magdalena (CORNARE, 2012).

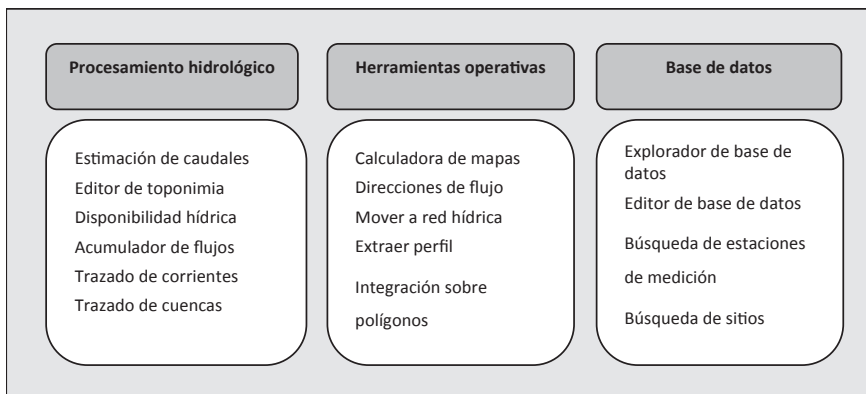
• Aguas superficiales

Uno de los principales avances en el conocimiento de la oferta hídrica superficial en la jurisdicción de CORANRE es el desarrollo del Atlas Hidrológico para el manejo del recurso hídrico en el área de su jurisdicción, el cual fue actualizado en 2009 y 2011 con el estudio “Las cuentas físicas del agua en la jurisdicción de CORNARE”.

El Atlas Hidrológico para el manejo del recurso hídrico en el área de jurisdicción de CORNARE, realizado en el 2005 por la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional, se convierte en una herramienta importante para la evaluación de la oferta hídrica en dicha zona. La propuesta metodológica para el desarrollo del atlas se apoyó inicialmente en el software HydroSIG 3.0 Beta. Actualmente, se tiene la nueva versión HydroSIG 4.0, que ha sido implementada en el software de código abierto MapWindow GIS, el cual es de uso libre y tiene arquitectura modular y flexible.

El HydroSIG 4.0 está constituido por 15 plug-ins para la plataforma MapWindow, los cuales se pueden agrupar según su funcionalidad en tres grupos: procesamiento hidrológico, herramientas operativas y exploración de base de datos, como se muestra en la Figura 4 (CORNARE y Universidad Nacional, 2009).

Figura 4. Plug-ins de HydroSIG 4.0 implementados en MapWindow SIG.



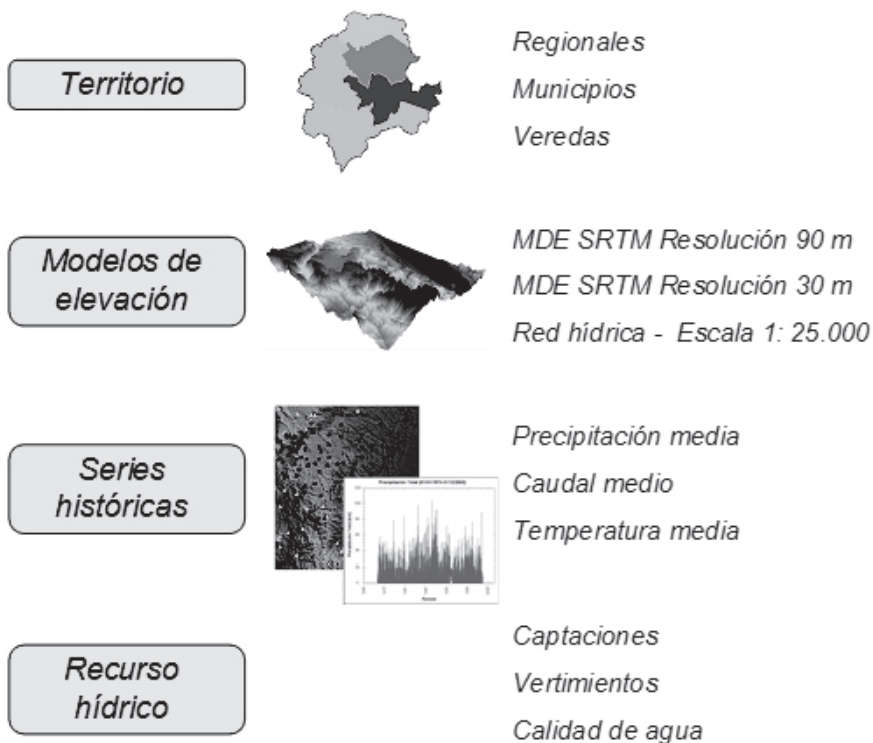
Fuente: Actualización Atlas Hidrológico para CORNARE (Universidad Nacional y CORNARE, 2011).

En 2009, y bajo la nueva plataforma de HidroSIG, la Universidad Nacional realizó la actualización del Atlas Hidrológico de CORNARE a través de un proceso que incluyó la recopilación, actualización y complementación de la información consolidada en la primera versión del atlas. Esta nueva versión ofrece otras ventajas como aumentar el volumen de la información, la facilidad de edición y la manipulación dentro de una base de datos.

En el Atlas Hidrológico actualizado, la información se agrupa en cuatro categorías, tal como se ilustra en la Figura 5. La primera corresponde a aquella información de carácter regional y territorial. Una segunda categoría comprende la información necesaria para la delimitación de las cuencas en la región como son: los Modelos Digitales de Elevación (MDE) y las redes hídricas en formato vectorial. En el tercer grupo se encuentran las series históricas de variables hidro-climáticas (precipitación, temperatura y caudal) adquiridas a través de estudios previos. Finalmente, la información levantada por la Corporación como parte de sus estrategias de gestión define la cuarta categoría, dentro de ésta se encuentra información de las captaciones superficiales de agua, los vertimientos y monitoreos físicos, químicos y biológicos de las fuentes hídricas (CORNARE y Universidad Nacional, 2009).

Para la estimación de caudales medios, en el Atlas Hidrológico se utilizó el método del balance hídrico de largo plazo que permite definir el caudal medio en un punto de una corriente, con base en las características medias de precipitación y evapotranspiración en la cuenca definida por dicho punto. La aplicación de este método se facilita por la buena representación de la variabilidad espacial de las variables hidro-climáticas que define la plataforma HidroSIG 4.0 y por la correcta delimitación de cuencas partiendo del MDE. Para caudales mínimos se utilizó el método de “Regionalización de Características Medias” (CORNARE y Universidad Nacional, 2009).

Figura 5. Categorías de información recopilada.



Fuente: Actualización Atlas Hidrológico para CORNARE (CORNARE y Universidad Nacional, 2009).

Para la construcción de campos de precipitación en la región de estudio se emplearon técnicas de interpolación geoestadísticas, que permitieron utilizar información satelital, además de la información puntual de las estaciones pluviométricas. Para la estimación de la evapotranspiración utilizaron métodos empíricos conocidos en la literatura (Cenicafé y Turc) que se apoyan en el MDE y en los campos de precipitación. Para la definición de las redes hídricas y las direcciones de flujo se utilizó una resolución del MDE de 90 m para la escala regional y para las cuencas de 30 m (CORNARE y Universidad Nacional, 2009).

En el proceso de actualización del Atlas Hidrológico de la Corporación se realizó el estudio “Las cuentas físicas del agua en la jurisdicción de CORNARE”, mejorándolo frente a la actualización del 2009. Lo anterior, debido a la inclusión de nuevos campos climáticos (precipitación y evapotranspiración) basados en la información recopilada y en técnicas geoestadísticas, que permiten la construcción de mapas en conjunto con la corrección de los modelos de elevación del terreno. Por consiguiente, se pueden realizar análisis espaciales de mayor detalle en el territorio, además de mejorar el cálculo de los balances hídricos en las estaciones de medición de caudal.

El avance en estos resultados espaciales se soporta en una plataforma SIG de uso libre (MapWindow GIS 4.6), la cual sirve igualmente como herramienta de cálculo. Con esta herramienta se obtienen: los mapas de caudales medios, mínimos y ecológicos para las diferentes cuencas de la jurisdicción de la Corporación; la demanda hídrica superficial y subterránea para diferentes usos; la actualización de las bases de datos existentes en la plataforma MapWindow GIS que posee la institución; los análisis espaciales de oferta y demanda hídrica; la identificación de zonas deficitarias, en cuanto a la disponibilidad del recurso después de comparar la oferta y la demanda; los análisis temporales de la oferta y la demanda en diversos puntos de interés (CORNARE y Universidad Nacional, 2011).

Otro estudio importante para la planificación, no solo del recurso hídrico sino también del territorio, es el “Atlas Biofísico de la Cuenca del Río Negro, Oriente Antioqueño”, en cuanto recopila de manera sistemática toda la información de los aspectos físicos y bióticos producida en CORNARE, a través de diferentes estudios realizados en la cuenca y en la jurisdicción. En el capítulo 7 “Hidrología”, se estiman los parámetros hidrológicos (precipitación, temperatura, evapotranspiración, lámina, y caudales medio, ecológico, mínimo y máximo) para la cuenca del Río Negro y para cada una de sus subcuencas y microcuencas. Los caudales ecológicos se estimaron utilizando la metodología del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actualmente Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible) adoptada mediante la Resolución 0865 de 2004, en la que se define el caudal mínimo ecológico como el valor correspondiente al 25% del caudal medio multianual más bajo de la corriente en estudio (Cadavid e Iral, 2012).

Por otra parte, y en cumplimiento del Decreto 1729 de 2002, CORNARE inició un proceso de ordenación de cuencas en los 26 municipios de su jurisdicción, priorizando aquellas que surten los acueductos urbanos y corregimentales. En el 2004 se realizaron los Planes de Ordenación y Manejo de 14 cuencas de la subregión Valle de San Nicolás. En el 2005 se realizaron 5 planes en la subregión Aguas. En el 2008 se formularon 7 en la subregión Bosques. En 2009, 4 planes en la subregión Páramo. Además, están los planes de la parte alta de las microcuencas Santa Catalina y Los Dolores que surten acueductos multiveredales. En la mayoría de estos planes se estimó la oferta hídrica mediante el cálculo de los caudales medios, mínimos y ecológicos y por el Índice de Escasez. Al 2012, CORNARE ha realizado 37 Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (CORNARE, 2012). En la Tabla 3 se presenta la oferta hídrica de las cuencas en las cuales se realizaron los Planes de Ordenación y Manejo entre 2009 y 2011.

Tabla 3. Oferta hídrica calculada en los Planes de Ordenación y Manejo realizados entre 2009 y 2011.

Cuenca	Municipio	Oferta Hídrica		
		Caudal Medio (m ³ /s)	Caudal Ecológico (m ³ /s)	Caudal Mínimo para TR de 10 años (m ³ /s)
Quebrada Yeguas	Abejorral	0,96	0,49	0,264
Quebrada La Honda	Guarne	0,98	0,294	0,25
Quebrada San Antonio	Abejorral	0,22	0,045	0,07
Quebrada El Tablazo	Rionegro	0,30	0,093	0,09
Río Calderas	Granada, San Carlos y Guatapé	7,38	1,421	4,72
Quebrada Rosario	Santo Domingo	1,150	0,345	0,1079
Quebrada Nutrias		0,025	0,075	0,0076
San Pedro	Alejandría	0,39	0,0254	0,117
San Javier	San Roque	1,8	0,540	0,1869

Fuente: Capacitación, planificación y formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica enumeradas.

• **Aguas subterráneas.**

Para la jurisdicción de CORNARE, en lo referente al tema de aguas subterráneas, se cuenta con el estudio “Diagnóstico de los Sistemas de Abastecimiento de Aguas Subterráneas de Cabecera Urbana de Puerto Triunfo, Puerto Perales, Puerto Pita y Santiago de Berrío”, realizado por CORNARE y la Universidad Nacional en 2011. En este estudio se localizaron y georeferenciaron seis (6) pozos, los cuales abastecen 4 sistemas de acueductos: Puerto Perales, Puerto Triunfo (zona urbana), Santiago Berrío y Estación Pita.

En este estudio, aunque se realizaron pruebas de bombeo las cuales permitieron definir las principales características hidráulicas de los acuíferos que alimentan las captaciones de los pozos estudiados, no se hicieron estudios y análisis complementarios que permitiesen la construcción del modelo hidrogeológico conceptual para determinar la dinámica de los mismos, y así, la oferta del recurso subterráneo.

1.3.2.4 Jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA).

La jurisdicción de CORPOURABA está conformada por 19 municipios, en su mayoría pertenecientes a la subregión de Urabá. El sistema hidrológico hace parte de la vertiente del mar Caribe con dos principales subsistemas: los ríos San Juan y Mulatos (CORPOURABA, 2012).

• **Aguas superficiales.**

En el estudio “Análisis de la Calidad y Cantidad del Agua Superficial en la Jurisdicción de CORPOURABA” (CORPOURABA, 2011), se hace un análisis estadístico de la calidad del agua de las principales cuencas de la jurisdicción de la Corporación durante un periodo de 9 años (2003 a 2011). Estas cuencas corresponden a los ríos: León, Sucio y Atrato, están además las cuencas del Golfo y del Litoral. También se presenta información de la oferta hídrica de algunas de las cuencas y corrientes más importantes, cuyos resultados se enuncian a continuación.

Para la cuenca del río León y la cuenca del río Sucio no se abordó el tema de caudales por falta de información. El cauce principal del León fue aforado solamente una

vez en octubre de 2010 con un registro de 135.200 l/s.

La cuenca del río Atrato se considera como una de las cuencas de mayor rendimiento del mundo. Si se compara su caudal promedio con su área de captación, se obtiene 161 l/s/km² de caudal relativo, siendo éste un dato muy alto comparado con el resto del país que está en 53 l/s/km². El caudal medio del río a la altura de la ciudad de Quibdó es de 1.022 m³/s. El volumen promedio de su descarga se estima en 344 millones de m³/día, lo que corresponde a un aforo de 4.000 a 5.000 m³/s.

Para la cuenca del Golfo solo se cuenta con información de caudal para el río Guadualito, que se localiza en jurisdicción del municipio de Turbo con un área aproximada de 121 km². El caudal promedio multianual para la estación El Tres sobre el río Guadualito es de 2,73 m³/s.

Para la cuenca del Litoral se tiene información del río San Juan, con un caudal promedio de 7,6 m³/s. Sin embargo, en el 2010 se determinó un caudal en época húmeda en la estación AAU de San Pedro de Urabá de 0,49 m³/s. En ésta misma estación para 2011, pero en época de transición, se presentó un caudal similar de 0,5 m³/s. También se tiene información del caudal del río Volcán, para el cual se estimó un caudal en 2009 de 123 l/s, en 2010 de 40 l/s y en 2011 de 4 l/s, indicando una disminución drástica; y aunque este comportamiento puede ser causado por la diferencia en los periodos de muestreo, se hace muy notorio el caudal tan bajo en que disminuye el río teniendo en cuenta que el monitoreo no fue en un periodo de estiaje.

De los 49 cuerpos de agua, el 29% se ubica entre 100 y 500 l/s. Los ríos más caudalosos con más 10.000 l/s son los cauces principales de los ríos Sucio, Atrato, Mutatá, Turbo, León y Penderisco.

En los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico en la Zona Centro y en la Regional Nutibara de la jurisdicción de CORPOURABA (CORPOURABA, 2011), se reporta información de la oferta hídrica superficial para las principales cuencas de estas zonas, la cual se resume en la Tabla 4 en la que se muestra la oferta hídrica neta (On), la cual fue calculada teniendo en cuenta la oferta total (Ot), la reducción por caudal ecológico (Re) y la reducción por calidad de aguas (Rcal).

Tabla 4. Oferta hídrica neta en las principales corrientes superficiales de la subregión de Urabá.

Zona	Corriente	Q Año Normal (m³/s)				Q Año Seco (m³/s)			
		Ot	Re	Rcal	On	Ot	Re	Rcal	On
Centro	Apartadó	173,26	16,97	86,63	106,28	67,89	16,97	33,94	16,97
	Carepa	215,19	18,1	21,52	187,09	72,41	18,1	7,24	47,06
	Chigorodó	484,01	77,04	145,2	376,97	308,18	77,04	92,45	138,68
	Turbo	88,21	10,65	8,82	67,55	42,61	10,65	4,26	27,7
Región Nutibara	Río Sucio	1131,82	24,43	282,95	824,44	770,42	24,43	192,6	553,39
	Apucarco Cañasgordas	31,53	2,36	7,88	21,29	12,61	2,36	3,15	7,1
	La Cerrazón Dabeiba	116,68	1,58	29,17	85,93	6,31	1,58	1,58	3,15

Fuente: Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico en la Zona Centro y en la Regional Nutibara de la Jurisdicción de CORPOURABA (CORPOURABA, 2011).

• Aguas subterráneas.

CORPOURABA ha venido desarrollando una serie de actividades, con la finalidad de conocer la hidrogeología del acuífero del eje bananero y mejorar la gestión del agua subterránea de forma integral. Entre el 2010 y 2012 realizó el “Plan de Manejo del Acuífero del Golfo de Urabá” (CORPOURABA, 2012). En este estudio se presenta un diagnóstico exhaustivo y la propuesta de manejo.

El acuífero del eje bananero de Urabá, se localiza al noroccidente del departamento de Antioquia, cubre aproximadamente 1.030 km² (103.000 ha) y se caracteriza por ser continental y tener una franja costera que recibe influencia marina. Constituye una fuente principal de abastecimiento para la agroindustria del banano y para las comunidades urbanas y rurales.

El clima de la región de Urabá es cálido semihúmedo; la precipitación promedio anual aumenta en el sentido noreste-suroeste desde 2.200 mm hasta los 3.800 mm, alcanzando una recarga de 29,1 millones de metros cúbicos anuales. En la zona existen alrededor de 550 pozos activos, en su mayoría para satisfacer la demanda

del cultivo del banano. Las conductividades hidráulicas calculadas son variables, van desde 0,6 m/día (noreste de la región) hasta 28 m/día (en el sur) y su coeficiente de almacenamiento es del orden de #10-4, indicando el confinamiento del acuífero con caudales de hasta 150 l/s.

1.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas son el instrumento más completo de planificación del recurso hídrico, ya que incluye su interrelación con los demás recursos y la cuenca. Aunque el énfasis es el recurso hídrico, en algunos de ellos la caracterización de éste es muy pobre y la estimación de la oferta se limita a los caudales medios anuales. Esto hace que este instrumento no cumpla con su objetivo de orientar adecuadamente la gestión integral del agua.
- La subregión del Valle de Aburrá presenta un número alto (28, según inventario que se compila en la Tabla 1) de Planes de Ordenación y Manejo de Microcuencas con información detallada en todos sus componentes, en especial en lo que respecta al recurso hídrico. En éstos se estiman los caudales medios, mínimos y máximos por diferentes metodologías, al igual que el caudal ecológico. Además, cuenta con el POMCA del río Aburrá - Medellín. Esto hace que la información disponible en esta subregión sea suficiente para la planificación del recurso hídrico en gran parte de su territorio, a pesar de las deficiencias en cuanto a la organización y sistematización de dicha información a nivel de la subregión. Lo anterior, se dificulta también porque estos estudios se han realizado por tres entidades diferentes: el municipio de Medellín, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y CORANTIOQUIA. El desarrollo de una herramienta que permita organizar y sistematizar esta información, permitiría no solo democratizar este conocimiento, sino también un mejor uso de dicha información por parte de las entidades que la han producido.
- La subregión Oriente presenta el mayor número de Planes de Ordenación y Manejo (37, según inventario que se compila en la Tabla 1), pero la información de cantidad de agua que se encuentra en ellos, no es lo suficientemente detallada para una adecuada planificación del recurso hídrico a partir de estos planes. Es así que CORNARE para su gestión cuenta con otros estudios y herramientas que se describen a continuación.

- El Atlas Hidrológico para el manejo de recurso hídrico implementado por CORNARE, que permite mediante un modelo de elevación de terreno estimar la cantidad de agua en todos los puntos de la red de drenaje de la región, es el avance más importante en el tema, permitiéndole a la Corporación contar con información de soporte para la administración del recurso hídrico. Esto hace que la subregión Oriente cuente con la información suficiente para una adecuada planificación del recurso hídrico en todo su territorio
- CORNARE cuenta con otros estudios como: “Cuentas Físicas del Agua” y el “Atlas Biofísico de la cuenca del Río Negro”, que recopilan toda la información sobre la cantidad del agua existente en su jurisdicción y en la subregión Valle de San Nicolás, lo que permite conocer la misma en la totalidad de su territorio. Por la forma en la que se organiza, sistematiza y se dispone la información, se puede decir que el oriente antioqueño, y en mayor medida la subregión del Valle de San Nicolás, es la subregión de Antioquia con mejor y mayor información disponible en lo que respecta a la cantidad de agua.
- Aunque menos sofisticada que el Atlas Hidrológico, CORANTIOQUIA también cuenta con una herramienta para la administración del recurso hídrico denominada DUBERDICUS, con la cual es posible realizar la estimación de los caudales promedio, mínimo, máximo y ecológico para 553 cuencas de la jurisdicción, localizadas en las subregiones Norte, Nordeste, Bajo Cauca, Occidente, Suroeste y Magdalena Medio.
- Las tesis consultadas desarrollan herramientas y metodologías de utilidad en la estimación de la cantidad de agua, tanto superficial como subterránea, las cuales para cumplir con su objetivo de ser usadas en la planificación del recurso hídrico deben ser conocidas por las CAR e integradas en los estudios y procesos que realizan para ampliar el conocimiento sobre el recurso hídrico. Se recomienda una mayor interacción entre las universidades y las corporaciones.
- Si bien falta avanzar en el conocimiento de las aguas subterráneas de la subregión del Valle de Aburrá, los avances en el conocimiento de las mismas durante el periodo 2009 - 2012, permiten una mejor planificación de este recurso en la zona norte, al tener delimitado con mayor precisión el acuífero del Valle de Aburrá y sus zonas

de recarga. Actualmente, se viene dando una continuidad en el proceso de investigación de este acuífero con la realización del estudio de las zonas de recarga en las zonas centro y sur.

- La subregión del Bajo Cauca, también presenta desarrollos importantes en el conocimiento de sus acuíferos con cierta continuidad en los estudios.
- Se encuentran vacíos en el conocimiento de los acuíferos del Magdalena Medio, a pesar que para algunas comunidades ésta es la fuente de abastecimiento de agua. Lo anterior también pasa en los municipios del oriente antioqueño, específicamente en los del Valle de San Nicolás.
- En la subregión de Urabá, específicamente en el acuífero del golfo de Urabá, se presentan avances importantes en el conocimiento del recurso subterráneo, ya que desde 1993 con los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minera y Química Colombia (INGEOMINAS), se inició un proceso de investigación continuo que aún se realiza y que en 2012 arroja como resultado el Plan de Manejo del Acuífero del Golfo de Urabá.
- En la red hidrometeorológica del departamento Antioquia, herramienta fundamental para la estimación de la cantidad de agua tanto superficial como subterránea, se encuentran deficiencias en el cubrimiento de la misma, presentando zonas con alta densidad de estaciones y otras donde no existen, como es el caso del municipio de Puerto Triunfo. Esta deficiencia se traduce posteriormente en problemas de ajustes de los balances hidrológicos para la zona y mayores incertidumbres en la estimación de los caudales.
- Es necesario trabajar en el diseño e implementación de un instrumento que permita construir una verdadera base de datos de la oferta hídrica en el departamento donde se almacene, organice y sistematice toda la información disponible, así como una entidad que la administre y además se permita el acceso a la ciudadanía. De tal forma, que se convierta en una verdadera herramienta de soporte en la toma de decisiones, tanto para las entidades que les compete la gestión del recurso hídrico como para las que generan el conocimiento o tienen interés en el tema.

1.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) Y CENTRO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ANTIOQUIA (CTA). Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada Doña María, municipios de Itagüí, Medellín y La Estrella. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2008.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) Y ConCol. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada La Picacha, municipio de Medellín. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2008.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) y Consorcio Estrategia (CE). Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada La Guayabala, municipio de Medellín. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2009.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) y Consorcio ECOFOREST – SILVOTECNIA. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada La Volcana, municipio de Medellín. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2009.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) y EPAM – CPT. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada Santa Elena, municipio de Medellín. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2007.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) y Unión Temporal BIOTROPICO - Pérez. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada El Salado, municipio de Girardota. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2007.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) Y ConCol. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada La García, municipio de Bello. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2009.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) y Consorcio H y H. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada El Hato, municipio de Bello. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2007.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) y EPAM – CPT. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada La Grande, municipio de La Estrella. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2007.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) y Consorcio H y H. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada La Doctora, municipio de Sabaneta. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2007.

- **ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA)** y Andean Geological Services Limitada – A.G.S. Ltda. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada La Valeria, municipio de Caldas. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2007.
- **ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA)** e INGEOCILCÓN Ltda. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca La López, municipio de Barbosa. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2008.
- **ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA)** y Andean Geological Services Limitada – A.G.S. Ltda. Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca de la quebrada Piedras Blancas, municipio de Caldas. Tomo I: Diagnóstico. Medellín: AMVA, 2008.
- **ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) Y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.** Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá en Jurisdicción del Área Metropolitana: Fase III. Informe Final. Medellín: 2011.
- **ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) Y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.** Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el norte del Valle de Aburrá. Informe final. Medellín: 2012.
- **CADAVID, Julián Cristina e IRAL, Gloria Offir.** Atlas biofísico de la cuenca del río Negro, oriente antioqueño. Trabajo final presentado para optar al título de Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Medellín: Universidad Santo Tomás, Facultad de Ciencias y Tecnología, 2012. 243p.
- **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.** Actualización Atlas Hidrológico para CORNARE. Medellín: 2009.
- **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE), ISAGEN y MASBOSQUES.** Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del río Calderas – Área de influencia de la central hidroeléctrica del río Calderas. El Santuario: CORNARE, 2009.
- **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - CORPORACIÓN ACADEMICA AMBIENTAL.** Capacitación, planificación y formulación del Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Yeguas en el municipio de Abejorral. Informe Final. El Santuario: CORNARE, 2010.

- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL. Capacitación, planificación y formulación del Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica de la quebrada La Honda en el municipio de Guarne. Informe Final. El Santuario: CORNARE, 2010.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL. Capacitación, planificación y formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca hidrográfica de la quebrada San Antonio en el municipio de Abejorral. Informe Final. El Santuario: CORNARE, 2010.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL. Capacitación, planificación y formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la subcuenca El Tablazo del municipio de Rionegro. El Santuario: CORNARE, 2010.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL. Capacitación, planificación y formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca hidrográfica Rosario-Nutrias del municipio de Santo Domingo. El Santuario: CORNARE, 2011.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL. Capacitación, planificación y formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca hidrográfica San Pedro del municipio de Alejandría. El Santuario: CORNARE, 2011.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE) y UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL. Capacitación, planificación y formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca hidrográfica San Javier del municipio de San Roque. El Santuario: CORNARE, 2011.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE), GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA, MASBOSQUES y GOTTA. Cuentas físicas del agua en la jurisdicción de CORNARE. El

Santuario: CORNARE, 2011.

- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE (CORNARE). Plan de Acción 2012 - 2015. El Santuario: CORNARE, 2012. [Citado el 5 de abril de 2013]. Disponible en http://www.cornare.gov.co/PlanAccion/2012-2015/plan_de_accion-2012-2015.pdf.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA (CORANTIOQUIA). Plan de Acción 2012 - 2015: Administración Integral del Patrimonio Ambiental. Medellín: 2012. [Citado el 2 de abril de 2013]. Disponible en http://www.corantioquia.gov.co/images/stories/pdf/PLAN_DE_ACCION_CORANTIOQUIA_2012-2015.pdf.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA (CORANTIOQUIA). Plan de Gestión Ambiental Regional 2007 - 2019. Medellín: 2007. [Citado el 2 de abril de 2013]. Disponible en <http://www.corantioquia.gov.co/images/stories/pdf/PGAR0719.pdf>.
- CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ (CORPOURABA). Plan de Gestión Ambiental Regional 2012 - 2024. Apartadó: 2007. [Citado el 17 de abril de 2013]. Disponible en: <http://www.corpouraba.gov.co/sites/default/files/R-PG-01PGARAPROBADO.pdf>
- CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ (CORPOURABA). Estudio de Análisis de la Calidad y Cantidad del Agua Superficial en la Jurisdicción de CORPOURABA. Apartadó: 2011.
- CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ (CORPOURABA). Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico en la Zona Centro de la Jurisdicción de CORPOURABA. Apartadó: 2011.
- CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ (CORPOURABA). Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico en la Regional Nutibara de la Jurisdicción de CORPOURABA. Apartadó: 2011.
- CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ (CORPOURABA). Plan de Manejo del Acuífero del Golfo de Urabá. Apartadó: 2011.
- ESCOBAR, John Fernando. Plataforma SIG para el modelamiento de sistemas acuíferos. Tesis para optar al título de Doctor en Ingeniería. Medellín: Universidad de Antioquia - Facultad de Ingeniería, 2011. 196p.
- GONZÁLEZ, Francisco Javier. Desarrollo de un modelo geoespacial para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Caso de estudio: el Bajo Cauca antioqueño.

Tesis para optar al título de Magister en Ingeniería. Medellín: Universidad de Antioquia - Facultad de Ingeniería, 2011. 115p.

- GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. Anuario Estadístico de Antioquia. Medellín: Departamento Administrativo de Planeación, 2012. [Citado el 2 de abril de 2013] Disponible en http://www.antioquia.gov.co/Anuario_Encuesta_2011/anuario_web/.
- IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010.
- IAvH, IDEAM, IIAP, INVEMAR, SINCHI. Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2010. Bogotá D.C, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2011. 384 p.
- MEJÍA, Oscar. El Recurso Hídrico en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA 1995 - 2007. Medellín: CORANTIOQUIA, 2008.
- PORRAS, Hernán. Boletín temático. Anuario Estadístico de Antioquia 2011: Medio Ambiente. Medellín: Gobernación de Antioquia, 2012. [Citado el 2 de abril de 2013]. Disponible en http://www.antioquia.gov.co/PDF2/boletin_2011_medio_ambiente.pdf.
- ROJO, Julián David. Desarrollo de un sistema experto para la predicción de caudales medios mensuales en Colombia. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas – Escuela de Geociencias y MedioAmbiente, 2011. 128p.
- TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA, Facultad de Ciencias de la Tierra y del Ambiente. Determinación de las condiciones de calidad y cantidad (físicoquímicas y microbiológicas) de las aguas superficiales abastecedoras y receptoras de vertimientos en las cuencas del área de influencia del sector eléctrico y calcular el ICA (Índice de Calidad Ambiental) para cada una de ellas. CORANTIOQUIA: Medellín, 2011.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA y UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO – ENERGÉTICA (UPME). Balances Hidrológicos de Colombia. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín: 1999.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. HidroSIG 4.0: Manual de Usuario. Medellín, 2011. [Citado el 17 de abril de 2013]. Disponible en http://www.medellin.unal.edu.co/~hidrosig/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=37&lang=es.

- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA (CORANTIOQUIA). Formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico en las Direcciones Territoriales Tahamíes y Zenufaná. Medellín: CORANTIOQUIA, 2009.
- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA (CORANTIOQUIA). Plan de Manejo de las Aguas Subterráneas de la Dirección Territorial Panzenú. Medellín: CORANTIOQUIA, 2011.
- ZULUAGA, Lina. Simulador piloto de la oferta y la demanda hídrica en una microcuenca rural para la validación de metodologías y la evaluación de políticas de manejo sostenible del recurso agua. Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas – Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2011. 77p.

CAPÍTULO 2

CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN ANTIOQUIA¹



INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso vital que se requiere para el desarrollo de cualquier sociedad, la disponibilidad de este recurso, bien sea por su escasez y/o mala calidad, puede convertirse en un factor limitante para el desarrollo de actividades económicas y sociales, adicionalmente pone en peligro la salud, la seguridad alimentaria y la diversidad biológica.

El término calidad del agua está relacionado con el uso del recurso y éste a su vez depende de una serie de características físico-bióticas (físicas, químicas y biológicas) que permiten o no un potencial para la utilización o sostenimiento de ecosistemas.

El Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, consciente de esta problemática, ha elaborado desde el año 2001 por medio del convenio interinstitucional Cátedra del Agua, el estado del arte en el tema de calidad del recurso hídrico, como el desarrollo de uno de los macroproyectos de sus ejes prioritarios y que permite identificar las brechas en el conocimiento y los aspectos más importantes en los cuales se debe avanzar para el mejoramiento de la calidad de este recurso en el departamento de Antioquia (CTA, 2008).

En la presente recopilación se plantea realizar un acercamiento a la información existente en términos de diferentes parámetros fisicoquímicos, biológicos e índices de calidad que dan cuenta del estado del recurso hídrico superficial en Antioquia

¹ Calidad del recurso hídrico en Antioquia.
Elaborado por: Carlos Augusto Benjumea Hoyos, Ingeniero Ambiental, MSc en Ingeniería; Alexandra Arango, Bióloga, MSc en Biología. Universidad Católica de Oriente.

entre los años 2008 y 2012. Esta información es proveniente de diferentes estudios o proyectos desarrollados por la academia y por los entes gubernamentales, que generosamente comparten sus resultados para la divulgación y análisis de este tópico en particular.

2.1 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Para la actualización de este macroproyecto se consultaron bases de datos en las diferentes corporaciones autónomas regionales, universidades, entes de control, gobiernos locales, regionales y gobierno nacional, así como estudios específicos contenidos en la red de bibliotecas del departamento, informes nacionales pertinentes y trabajos de ONG que consolidan información estadística en torno al estado de los recursos naturales, en especial lo concerniente a temas de calidad del recurso hídrico. La evaluación de esta información y los principales indicadores al respecto se muestran a continuación.

2.1.1 Revisión Bibliográfica

Se identificaron las principales entidades que manejan información referente a la gestión del recurso hídrico, bien sea autoridades ambientales (corporaciones autónomas) o generadores de nuevo conocimiento (universidades, consultores). Una vez realizada esta identificación se procedió a consultar sus bases de datos por medio de visitas a los centros de documentación y consulta virtual. La Tabla 1 presenta un comparativo entre las diferentes entidades consultadas para los trabajos realizados entre 2000-2008 y la presente revisión, 2008-2012.

Tabla 1. Entidades consultadas.

ENTIDAD	REFERENCIAS EN LAS BASES DE DATOS 2000-2008	REFERENCIAS EN LAS BASES DE DATOS 2008-2012
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	22	2
Gobernación de Antioquia	2	
Área Metropolitana del Valle de Aburrá	16	4
CORANTIOQUIA	39	2
CORNARE	10	
CORPOURABÁ	9	2
Contraloría	2	
Universidad Nacional	16	22
Universidad de Antioquia	22	20
Universidad Pontificia Bolivariana	2	
Universidad de Medellín	4	2
Universidad Católica de Oriente	2	
Escuela de Ingeniería de Antioquia	6	
Universidad San Buenaventura	5	
Corporación Universitaria Lasallista		4
IDEAM	3	
EPM	3	2
Otros (revistas, consultores)	16	
TOTAL REGISTROS	179	60

Posterior a esta revisión, se procedió a clasificar estos documentos de acuerdo al tipo de estudio (trabajo de grado, informe, artículo, libro, decreto) y a la subregión a la cual hace referencia.

Se encontró que la mayor cantidad de documentos se clasifican como trabajos de grado e informes de consultoría o convenios; con un total de 23 y 20 referencias bibliográficas respectivamente. Este resultado es coherente con el número de trabajos registrados por entidad (Tabla 1), en la cual se observa cómo la Universidad Nacional y la Universidad de Antioquia aportan el mayor número de referencias con un total de 22 y 20 productos, respectivamente.

En cuanto al número de estudios por subregión, se destacan los ubicados en el Valle

de Aburrá con un total de 21 estudios. Las figuras 1 y 2 presentan en forma detallada los resultados de la clasificación mencionada

Figura 1. Tipos y cantidad de estudios

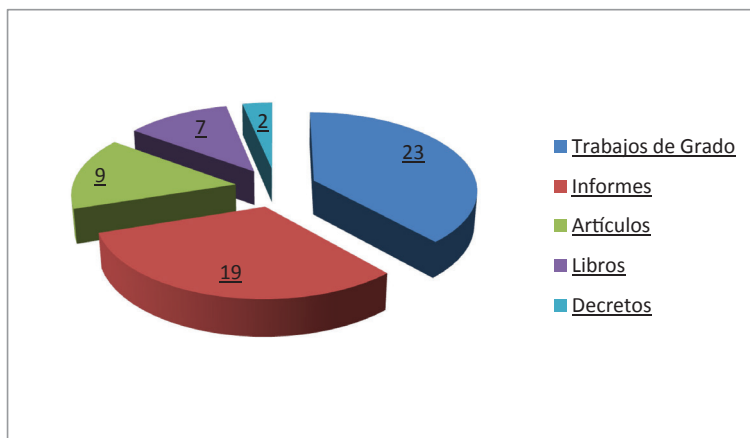
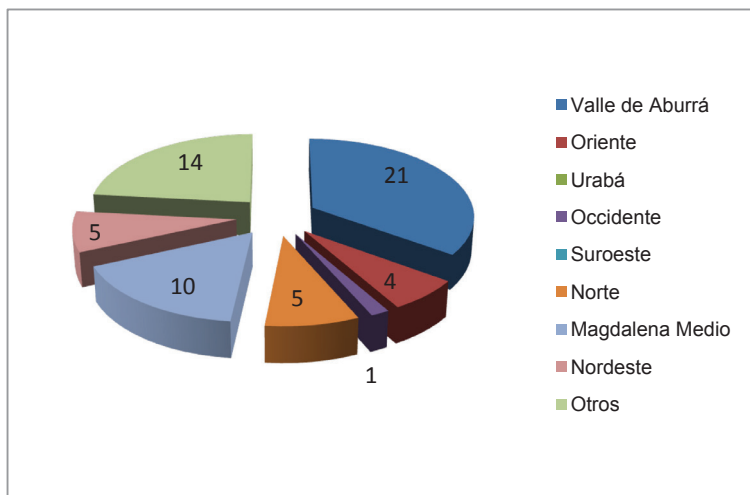


Figura 2. Número de estudios por subregión.



Las principales temáticas que se encontraron durante este proceso, fueron las enfocadas a caracterizaciones de fuentes hídricas (físicoquímica y biótica), las cuales propenden a la gestión, control e investigación del recurso. Dentro de los estudios más sobresalientes se destaca la “Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá - Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana” (Red Río); desarrollado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y ejecutado por la Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad de Medellín.

El proyecto Red Río, es una de las líneas estratégicas para la administración del recurso hídrico en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, e incorpora la gestión para el seguimiento y el control de la cantidad y la calidad ambiental del recurso hídrico superficial, los cuales están encaminados al mejoramiento de la calidad y cantidad del recurso.

El proyecto Red Río en su componente superficial, se concibió inicialmente en tres (3) fases generales, dependientes una de la otra, que se integran al final para proporcionar una herramienta que le permite a la autoridad ambiental, primero conocer el estado del recurso y segundo planear su gestión disponiendo de los insumos básicos para realizar el seguimiento y el control a los planes y mecanismos para la recuperación del recurso (AMVA, 2011). Adicionalmente, este proyecto ha tenido asociados un gran número de informes de práctica y algunos trabajos de investigación de pregrado, maestría y doctorado, durante sus diferentes fases.

Un segundo documento de especial relevancia es el titulado: “Formulación del Plan de Ordenación del Recurso Hídrico y Diseño de un Programa de Monitoreo y Seguimiento a la Calidad de Cuerpos Hídricos en las Cuencas de Influencia del Sector Eléctrico en las Direcciones Territoriales Tahamíes y Zenufaná.”, contratado por CORANTIOQUIA y desarrollado por la Universidad de Antioquia durante el 2009. Dentro de los objetivos de este proyecto se destacan la definición de una red de monitoreo para los componentes atmosférico, superficial y subterráneo; además de la caracterización de un gran número de cuerpos de agua con los parámetros y sustancias de interés sanitario en los municipios ubicados al Norte, Nordeste y Magdalena Medio de Antioquia (territoriales Tahamíes y Zenufana).

A lo largo de este documento se presentan los resultados obtenidos, en términos de calidad del agua superficial, de la revisión bibliográfica en cada una de las instituciones señaladas anteriormente. Este proceso se hace discriminando cada una de las subregiones del departamento de Antioquia, mostrando los principales datos obtenidos en los últimos cuatro años sobre información referente a la calidad del agua.

Se presentan diferentes indicadores que dan cuenta del estado de la calidad del agua, como lo son, el Índice de Calidad del Agua–ICA y el Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales-ICACOSU. Adicionalmente se presentan algunos resultados de variables importantes tales como el Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales en Suspensión, Demanda Química de Oxígeno, Conductividad Eléctrica, pH, entre otros.

Con los datos presentados en estos índices y el análisis de la información disponible, aunque no se puede determinar ciertamente el estado de la calidad del agua por su heterogeneidad, si permite esbozar de manera general el estado de la calidad de algunas fuentes hídricas de Antioquia (CTA,2008).

2.1.1.1 Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

La subregión del Área Metropolitana del Valle de Aburrá está localizada en el centro del departamento de Antioquia, limitando con las subregiones Norte, Nordeste, Oriente, Suroeste y Occidente. Hace parte de la jurisdicción administrativa de la Corporación Autónoma Regional–CAR para el centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) y del Área Metropolitana. Se configura geopolíticamente por los municipios del Valle de Aburrá: Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín, Sabaneta y Envigado.

Dentro de este proyecto se establecieron 19 estaciones de monitoreo a lo largo del eje longitudinal del río, partiendo desde el nacimiento en el Alto San Miguel (en jurisdicción del municipio de Caldas), hasta la estación denominada Puente Gabino en jurisdicción del municipio de Santo Domingo, además, han sido incluidas 22 quebradas y dos vertimientos de agua residual tratada y sin tratar. La información acerca de la localización geográfica y de las estaciones localizadas sobre el río se pre-

senta en la Tabla 2. Igualmente, este tipo de información relacionada con las estaciones ubicadas sobre las quebradas afluentes se presenta en la Tabla 3, (AMVA, 2011).

Tabla 2. Estaciones de monitoreo sobre el río Aburrá– Medellín (AMVA, 2011).

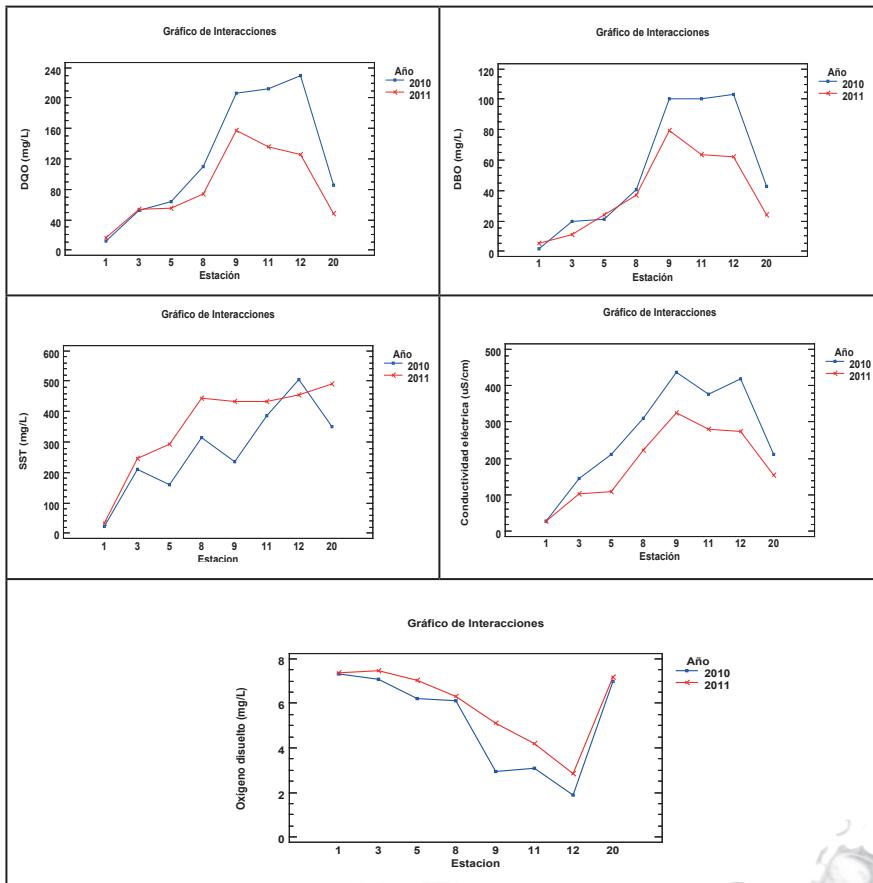
ESTACIÓN	COORDENADAS		DISTANCIA NACIMIENTO Km	MUNICIPIO
	LATITUD	LONGITUD		
<i>San Miguel (E1)</i>	6° 02' 50,4''	75° 37' 09,9''	5,8	Caldas
<i>Primavera (E2)</i>	6° 4' 4,72''	75° 37' 54,28''	10,6	Caldas
<i>Ancón Sur (E3)</i>	6° 09' 07,8''	75° 37' 54,9''	21	La Estrella
<i>Antes de San Fernando (E5)</i>	6° 11' 12,4''	75° 35' 07,9''	27,9	Medellín
<i>Descarga San Fernando (D1)</i>	6° 11' 26,78''	75° 34' 79,15''	28,5	Medellín
<i>Después de San Fernando (E6)</i>	6° 11' 43,5''	75° 34' 53,3''	29	Medellín
<i>Puente de Guayaquil (E7)</i>	6° 14' 02,7''	75° 34' 32,4''	33,4	Medellín
<i>Aula Ambiental (E8)</i>	6° 15' 51,8''	75° 34' 20,4''	37,1	Medellín
<i>Puente Acevedo (E9)</i>	6° 18' 25,0''	75° 33' 24,7''	42,4	Medellín
<i>Puente Machado (E11)</i>	6° 20' 09,6''	75° 32' 15,8''	46,7	Bello
<i>Niquía (E21)</i>	6°20' 17,73''	75°31'32,57''	48,1	Bello
<i>Ancón Norte (E12)</i>	6° 22' 16,21''	75° 29' 21,29''	54,4	Copacabana
<i>Puente Girardota (E13)</i>	6° 22' 48,4''	75° 27' 06,9''	59,2	Girardota
<i>Parque de las Aguas (E14)</i>	6° 24' 21,44''	75° 25' 04,73''	65	Girardota
<i>Hatillo (E15)</i>	6° 24' 44,2''	75° 23' 37''	70,7	Barbosa
<i>Papelsa (E16)</i>	6° 26' 46,14''	75° 19' 53,26''	80,9	Barbosa
<i>Popalito (E17)</i>	6° 28' 37,1''	75° 16' 45,6''	89,8	Barbosa
<i>Pradera (E18)</i>	6° 30' 59,0''	75° 15' 18,1''	96,2	Barbosa
<i>EADE (E19)</i>	6° 33' 21,72''	75° 12' 25,35''	104,1	Santo Domingo
<i>Puente Gabino (E20)</i>	6° 33' 33,9''	75° 12' 20,3''	105	Santo Domingo

Tabla 3. Estaciones de monitoreo sobre las principales quebradas afluentes al río (AMVA, 2011).

ESTACIÓN	COORDENADAS		MUNICIPIO
	LATITUD	LONGITUD	
<i>Quebrada La Valeria (Q1)</i>	6° 5' 46,6''	75° 38' 08,7''	Caldas
<i>Quebrada La Miel (Q2)</i>	6° 5' 45,3''	75° 38' 06,3''	Caldas
<i>Quebrada La Doctora (Q3)</i>	6° 9' 11,9''	75° 37' 13,6''	Sabaneta
<i>Quebrada La Ayurá (Q4)</i>	6° 11' 06,9''	75° 34' 59,0''	Envigado
<i>Quebrada La Grande (Q5)</i>	6° 9' 1,1''	75° 38' 09,9''	La Estrella
<i>Quebrada Doña María (E4)</i>	6° 10' 52,1''	75° 35' 28,3''	Itagüí
<i>Quebrada La Aguacatala (Q6)</i>	6° 11' 36,3''	75° 34' 76,3''	Medellín
<i>Quebrada La Presidenta (Q7)</i>	6° 12' 41,3''	75° 34' 33,1''	Medellín
<i>Quebrada Altavista (Q8)</i>	6° 14' 5,2''	75° 34' 35,6''	Medellín
<i>Quebrada La Hueso (Q9)</i>	6° 15' 11,7''	75° 34' 59,2''	Medellín
<i>Quebrada Santa Elena (Q10)</i>	6° 15' 32,5''	75° 34' 24,2''	Medellín
<i>Quebrada La Iguaná (Q11)</i>	6° 15' 44,7''	75° 34' 43,3''	Medellín
<i>Quebrada La Rosa (Q12)</i>	6° 17' 29,2''	75° 33' 46,1''	Medellín
<i>Quebrada La Madera (Q13)</i>	6° 18' 42,3''	75° 33' 24,7''	Bello
<i>Quebrada El Hato (Q14)</i>	6° 19' 44,6''	75° 33' 28,4''	Bello
<i>Quebrada La García (E10)</i>	6° 20' 01,9''	75° 33' 00,7''	Bello
<i>Quebrada La Señorita (Q17)</i>	6° 20' 18,36''	75° 32' 40,52''	Bello
<i>Quebrada Rodas (Q18)</i>	6° 20' 06,07''	75° 32' 06,51''	Bello
<i>Quebrada Niquía (Q19)</i>	6° 20' 39,33''	75° 31' 48,28''	Bello
<i>Quebrada La Picacha (Q20)</i>	6° 14' 44,00''	75° 34' 51,96''	Medellín
<i>Quebrada La Seca (Q21)</i>	6° 18' 33,99''	75° 33' 22,88''	Medellín
<i>Quebrada Piedras Blancas (Q15)</i>	6° 20' 46,2''	75° 30' 38,3''	Copacabana
<i>Quebrada La Santiago (Q16)</i>	6° 33' 12,43''	75° 12' 16,09''	Santo Domingo

A continuación se describe y se presentan los perfiles del comportamiento de las variables Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₃), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Conductividad Eléctrica (CE) y Oxígeno Disuelto (OD) (Figura 3), considerados como parámetros de interés en el río Aburrá - Medellín, debido a que son variables respuestas a los vertimientos directos que se dan sobre el río, esto para los dos años de ejecución de la tercera fase del proyecto Red Río, 2010 y 2011.

Figura 3. Variación de parámetros en el perfil del río durante los dos años de ejecución de la fase III. (AMVA, 2011).



Se observa claramente una tendencia creciente en parámetros como DQO, DBO, SST y CE entre las estaciones ubicadas aguas arriba del eje principal del río hasta la estación Ancón Norte (E12) y Puente Acevedo (E9) durante 2010 y 2011, respectivamente. Estos resultados son fiel reflejo de la intervención antrópica por vertimientos de tipo doméstico e industrial de la zona más densamente poblada, la cual se ubica en jurisdicción del municipio de Medellín y Copacabana (E5 a E 12), respectivamente. Es claro como aumentan gradualmente los niveles de demanda de oxígeno a nivel químico y biológico a medida que se avanza en el recorrido del río; esto se debe principalmente a la composición de estos vertimientos, material orgánico e inorgánico que demandan oxígeno para ser oxidados. También se evidencia cómo este material se presenta en forma particulada o disuelta y se ve reflejado en el aumento de parámetros como los SST y la CE.

En el caso del OD ocurre el proceso contrario, presentándose un decrecimiento continuo conforme se avanza en las estaciones ubicadas en el eje principal del río Medellín; siendo coherentes estos resultados con los observados en las variables analizadas anteriormente.

Con estos resultados se evidencia el deterioro de la calidad del agua conforme se avanza en el río Medellín hasta llegar a las estaciones Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11) y Ancón Norte (E12), a partir de esta última estación las condiciones de calidad del agua mejoran hasta llegar a Puente Gabino (E20). Cabe resaltar que el trayecto donde se presentan las condiciones más desfavorables de calidad, corresponde al tramo en el cual el río Medellín recibe la descarga de los interceptores de aguas residuales sin tratar de Empresas Públicas de Medellín (EPM) y de las quebradas que presentan el menor saneamiento en el Valle de Aburrá. Posterior a este tramo crítico comienza una zona de características principalmente rurales, con presencia de quebradas con mejor calidad de agua, el ingreso de Tasajera y río Grande, por tanto la dilución es el principal benefactor de la calidad del río en este tramo (AMVA, 2011).

Un índice de calidad de agua define el grado de calidad de un cuerpo de agua determinado, con lo que se pretende reconocer problemas de contaminación de una manera ágil; además, permite evaluar una amplia cantidad de recursos hídricos en forma periódica (IDEAM; 2009).

En la fase III del proyecto Red Río se continúa con la formulación y refinamiento de nuevos indicadores de calidad de agua para el río Aburrá - Medellín, con el propósito de obtener un índice de calidad de agua propio que dé cuenta de las condiciones del río y que además permita realizar un seguimiento de la calidad del mismo. Para ello se tuvieron en cuenta variables fisicoquímicas y biológicas registradas tanto en ésta como en la fase II de Red Río. Se consideraron los muestreos de estas dos fases debido a que así era posible incluir información registrada bajo épocas de caudales altos, medios y bajos. Con base en estos nuevos indicadores se construyeron entonces, el Índice de Calidad Global (ICA-Global) e ICA para cada época de caudales. Con estos nuevos ICA se busca una mayor precisión en la valoración de la calidad del agua, ya que se tuvieron en cuenta una buena cantidad de datos registrados en diferentes escenarios de caudales. El ICA-Global se define como un índice de calidad de agua construido específicamente para la corriente principal del río Aburrá - Medellín (AMVA, 2011). Mientras que el Índice de calidad del agua para corrientes superficiales (ICACOSU), es un indicador de calidad de agua formulado y adaptado para las condiciones ambientales de Colombia, por el IDEAM, el cual de manera cualitativa permite el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico del país.

Las tablas 4 y 5 presentan los rangos, código de colores y criterios de valoración para los índices ICA-Global e ICACOSU.

Tabla 4. Clasificación y criterio de valoración ICA global (AMVA, 2011).

CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	RANGO NUMÉRICO DE VALORES	COLOR
<i>Buena</i>	<=3,50	Azul
<i>Aceptable</i>	3,51 – 7,00	Verde
<i>Regular</i>	7,01 – 10,50	Amarillo
<i>Mala</i>	10,51 – 14,00	Naranja
<i>Muy Mala</i>	>14,00	Rojo

Tabla 5. Clasificación y criterio de valoración ICACOSU (IDEAM; 2009).

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

En la Tabla 6 se presenta una comparación para 2010 y 2011 de las medias de los resultados de calidad obtenidos mediante los indicadores ICA-Global e ICACOSU sobre el río. Es importante resaltar que el indicador ICA-Global involucra la variable BMWP/COL más no la variable SST y viceversa para el ICACOSU (AMVA, 2011).

Tabla 6. Comparación de los resultados promedio de los indicadores ICA-Global e ICACOSU para el río durante la fase III (AMVA, 2011).

ESTACIONES	2010				2011			
	ICA-GLOBAL		ICACOSU		ICA-GLOBAL		ICACOSU	
	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN
<i>San Miguel (E1)</i>	3,64	Aceptable	0,85	Aceptable	2,94	Buena	0,74	Aceptable
<i>Ancón Sur (E3)</i>	7,74	Regular	0,62	Regular	6,91	Aceptable	0,57	Regular
<i>Antes de San Fernando (E5)</i>	8,72	Regular	0,56	Regular	7,33	Regular	0,58	Regular
<i>Aula Ambiental (E8)</i>	11,38	Mala	0,47	Mala	10,07	Regular	0,45	Mala
<i>Puente Acevedo (E9)</i>	14,46	Muy mala	0,36	Mala	12,51	Mala	0,37	Mala
<i>Puente Machado (E11)</i>	14,96	Muy mala	0,31	Mala	12,24	Mala	0,33	Mala
<i>Ancón Norte (E12)</i>	15	Muy mala	0,29	Mala	12,39	Mala	0,32	Mala
<i>Puente Gabino (E20)</i>	9,87	Regular	0,5	Mala	7,89	Regular	0,52	Regular

Según se puede observar, para 2010, la calidad del agua registrada por ambos indicadores en el tramo comprendido entre las estaciones San Miguel (E1) y Aula Ambiental (E8) fue la misma, pasando de condiciones aceptables en E1 a condiciones regulares en la parte media (E3 y E5) y luego a mala en E8; mientras que para el comprendido entre Puente Acevedo (E9) y Ancón Norte (E12) se da una diferenciación entre las calidades obtenidas por cada indicador, para el ICA-Global se dio una condición de muy mala y para el ICACOSU de mala, esto puede estar asociado al índice BMWP/Col, la cual se ve afectada tanto por las condiciones de calidad del agua propias del río en el trayecto demarcado por estas estaciones, como por las condiciones climáticas. Dado que durante el primer semestre de 2010 se dieron los caudales más bajos registrados en el río Aburrá – Medellín, la calidad físicoquímica y biológica del mismo se vio afectada negativamente, en especial en el último tramo citado, el cual se caracteriza por recibir los vertimientos de aguas residuales transportadas por los interceptores del alcantarillado de EPM, así como los efectuados sobre algunas corrientes tributarias (quebradas La Rosa, La Madera, El Hato, La García y La Señorita, principalmente) lo que altera en mala medida a las comunidades biológicas presentes en el lecho del río. Además, durante el segundo semestre del mismo año se dio comienzo a un período de invierno muy acentuado, en el cual se presentaron algunos de los caudales más altos registrados en el histórico del río, los cuales producen un lavado del lecho y reducen significativamente las comunidades biológicas presentes en él, esto también afecta negativamente el BMWP/Col. Esta afectación no se ve registrada en los resultados arrojados por el ICACOSU, para el cual la calidad mala predomina desde Aula Ambiental (E8) hasta Puente Gabino (E20) debido principalmente a la re-suspensión y arrastre de sólidos suscitado por el incremento del caudal (AMVA, 2011).

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

En la Tabla 7 se muestran los resultados del indicador ICA-Global calculado para las principales quebradas afluentes al río Aburrá - Medellín durante la fase III del proyecto.

Tabla 7. Resumen promedio del indicador global para quebradas durante la fase III (AMVA, 2011).

ESTACIONES DE MUESTREO	PROMEDIO DEL INDICADOR ICA-GLOBAL EN	
	LA FASE III	
	Valor	Calificación
<i>La Valeria</i>	8,64	Regular
<i>La Miel</i>	5,49	Aceptable
<i>La Doctora</i>	5,85	Aceptable
<i>La Ayurá</i>	5,79	Aceptable
<i>La Grande</i>	4,35	Aceptable
<i>La Aguacatala</i>	8,09	Regular
<i>La Presidenta</i>	6,89	Aceptable
<i>Altavista</i>	9,97	Regular
<i>La Hueso</i>	11,59	Regular
<i>Santa Elena</i>	10,94	Regular
<i>La Iguaná</i>	8,86	Regular
<i>La Rosa</i>	14,9	Mala
<i>La Madera</i>	13,88	Mala
<i>El Hato</i>	7,15	Aceptable
<i>Piedras Blancas</i>	4,15	Aceptable
<i>La Santiago</i>	2,01	Buena
<i>La Señorita</i>	13,66	Mala
<i>Rodas</i>	9,63	Regular
<i>Niquía</i>	8,05	Regular
<i>La Picacha</i>	9,49	Regular
<i>La Seca</i>	10,48	Regular
<i>La Chuscala</i>	9,48	Regular
<i>Doña María</i>	8,03	Regular
<i>La García</i>	11,73	Regular

De acuerdo con el ICA-Global, se puede apreciar que La Santiago (Q16) es la quebrada que mejores condiciones de calidad presenta, dado que ésta es una corriente de montaña y se encuentra ubicada en una zona alejada de asentamientos poblacionales, lo cual hace que su afectación antrópica sea mínima y su calidad dependa de las condiciones naturales de la microcuenca. Con calidad aceptable se encuentran las quebradas La Miel (Q2), La Doctora (Q3), La Ayurá (Q4), La Grande (Q5), La Presidenta (Q7), Piedras Blancas (Q15) y El Hato (Q14), este conjunto de corrientes, a diferencia de la última, se caracterizan por contar con obras de saneamiento que permiten la recuperación de la calidad de sus aguas. Para El Hato (Q14) se encontró una calidad aceptable dado que el ICA-Global no considera la variable SST, los cuales representan una problemática marcada en la calidad de esta microcuenca. En el resto de las quebradas se determinó una calidad regular, a diferencia de La Rosa (Q12), La Madera (Q13) y La Señorita (Q17), las cuales obtuvieron una calificación mala debido a que son las corrientes más afectadas por vertimientos directos de aguas residuales domésticas (AMVA, 2011).

De acuerdo a la información recopilada y al análisis de los diferentes proyectos ejecutados en el Valle de Aburrá, se pueden identificar algunas de las problemáticas más relevantes en el río y sus principales quebradas afluentes, dentro de ellas tenemos la contaminación del agua por vertimientos directos, la inadecuada disposición de residuos sólidos, inadecuada explotación de material de construcción, ocupación no planificada del cauce y la baja articulación entre entes territoriales y autoridades ambientales.

2.1.1.2 Zona Norte y Nordeste.

Para el análisis de la calidad del agua en estas subregiones se tuvo en cuenta el documento titulado “Formulación del Plan de Ordenación del Recurso Hídrico y Diseño de un Programa de Monitoreo y Seguimiento a la Calidad de Cuerpos Hídricos en las Cuencas de Influencia del Sector Eléctrico en las Direcciones Territoriales Tahamíes y Zenufaná”; el cual extracta y define con un buen nivel de detalle la calidad fisicobiótica del agua en estos territorios.

La Dirección Territorial Tahamíes está conformada por 17 municipios : Angostura,

Anorí, Belmira, Briceño, Campamento, Carolina del Príncipe, Donmatías, Enterríos, Gómez Plata, Guadalupe, Ituango, San Andrés de Cuerquia, San José de La Montaña, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos, Toledo y Yarumal. Se divide en dos grandes subregiones: la del altiplano y las vertientes hacia los ríos Cauca y Nechí; estas características le dan unas cualidades particulares en lo que a alturas, temperatura e hidrografía se refiere (CORANTIOQUIA, 2009).

La Dirección Territorial Zenufaná está ubicada sobre la margen oriental de la cordillera Central, al Suroeste de la serranía de San Lucas, con una extensión de 10.818 Km² y conformada por doce municipios: Amalfi, Caracolí, Cisneros, Maceo, Puerto Berrío, Puerto Nare, Remedios, Segovia, Vegachí, Yalí, Yolombó y Yondó.

Considerando las grandes corrientes que bañan el territorio correspondiente a la jurisdicción de CORANTIOQUIA en las subregiones Norte y Nordeste del departamento, los cuerpos de agua seleccionadas fueron agrupados según las vertientes de los ríos a los que fluyen: Nechí, Grande, Guadalupe-Porce, Nus, San Bartolomé, Ituango y Nare. La Tabla 7 presenta el listado de los principales cuerpos de agua estudiados por cada una de las vertientes descritas anteriormente (CORANTIOQUIA, 2009).

Tabla 8. Principales corrientes por vertiente (CORANTIOQUIA, 2009).

VERTIENTE	CUENCA	MUNICIPIO
<i>Vertiente del río Nechí.</i>	Quebrada Yarumalito	Yarumal
	Quebrada Chorros Blancos	
	Quebrada La Hedionda	Angostura
	Río Dolores	
<i>Vertiente del río Grande</i>	Alta del río Chico	Belmira
	Quebrada Chuscalito, San Juan y Miraflores	San Pedro de los Milagros
	Quebrada El Hato y La Pulgarina	
	Quebrada La Bramadora	Santa Rosa de Osos
	Quebrada La Torura	Entreríos
	Quebrada La Piedrahita	Donmatías
	Quebrada Donmatías	
<i>Vertiente del río Guadalupe-Porce.</i>	Río Guadalupe	Santa Rosa de Osos
	Quebrada Los Chorros	Guadalupe
	Quebrada Santa Gertrudis	
	Quebrada Santa Isabel	Carolina del Príncipe
	Quebrada Hojas Anchas	Gómez Plata
	Quebrada La Víbora	Amalfi
<i>Vertiente del río Nus</i>	Quebrada Santa Gertrudis	Cisneros
	Quebrada La Reina	Caracolí
<i>Vertiente del río San Bartolomé</i>	Río San Lorenzo	Yolombó
	Quebrada La Unión	Yalí
<i>Vertiente del río Ituango</i>	Quebrada San Luis	Ituango
	Quebrada Los Naranjos	
	Quebrada Chapinero	
<i>Vertiente del río Nare</i>	Quebrada La Soná	Puerto Nare

Durante este proyecto se analizaron un total de 18 municipios de las territoriales Tahamíes y Zenufaná. En estos municipios se establecieron programas de monitoreo en 36 corrientes de agua y 67 puntos de control diferentes. Para cada estación se tomaron variables in situ como pH, temperatura del agua, temperatura ambiente y caudal. Adicionalmente se recolectaron muestras de agua para analizar en el laboratorio parámetros como DBO, DQO, Nitratos, Ortofosfatos, Coliformes Totales y Fecales, Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos totales y turbiedad.

Mediante esta información se procedió a calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por la Fundación Nacional para el Saneamiento de los Estados Unidos en 1970. El valor del índice (cuantitativo) permite definir en forma cualitativa la calidad de las aguas, de acuerdo con la clasificación y criterio de valoración que se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación y criterio de valoración ICA(NFS,2006).

VALOR DEL ÍNDICE	CLASIFICACIÓN	COLOR
0 -25	Calidad muy mala	Rojo
26 – 50	Calidad mala	Naranja
51 – 70	Calidad media	Amarillo
71 – 90	Calidad buena	Verde
91 – 100	Calidad excelente	Azul

Los resultados más importantes se sintetizan en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores del ICA para las corrientes y estaciones de monitoreo muestreados (CORANTIOQUIA, 2009).

CORRIENTE	TIPO	MUNICIPIO	ICA	CALIDAD
Quebrada Yarumalito		Yarumal	78,3	BUENA
Quebrada. Yarumalito	Receptora		69,5	MEDIA
Quebrada Chorros Blancos			78,3	BUENA
Quebrada Chorros Blancos	Receptora		73,8	BUENA
Quebrada La Florida	Abastecedora	Angostura	72,9	BUENA
Quebrada La Hedionda	Receptora		66,9	MEDIA
Río Dolores	Receptora		78,3	BUENA
Río Dolores	Receptora		77,2	BUENA
Río Chico		Belmira	80,1	BUENA
Río Chico	Receptora		77,6	BUENA
Quebrada Chuscalito		San Pedro de los Milagros	76,6	BUENA
Quebrada San Juan	Receptora		80,1	BUENA
Quebrada El Hato	Abastecedora		70,4	BUENA
Quebrada Miraflores			75,5	BUENA
Quebrada Miraflores	Receptora		72,-1	BUENA
Quebrada La Pulgarina	Receptora		52,9	MEDIA
Quebrada La Pulgarina	Receptora		46,7	MALA
Quebrada El Hato	Receptora		55,3	MEDIA
Quebrada El Hato	Receptora		38,4	MALA
Río Chico			81	BUENA
Río Chico	Receptora	Belmira	59,4	MEDIA
Quebrada Bramadora	Receptora	Santa Rosa de Osos	37,1	MALA
Quebrada Bramadora		Santa Rosa de Osos	58,9	MEDIA
Quebrada La Torura		Entrerrios	76,1	BUENA
Quebrada La Torura	Receptora		65,1	MEDIA
Quebrada La Torura	Receptora		56,4	MEDIA
Río Grande		Don Matias	79,2	BUENA
Río Grande	Receptora		72,8	BUENA
Quebrada La Piedrahita	Abastecedora		79,4	BUENA
Quebrada La Iborra	Receptora		74,5	BUENA
Quebrada Los Eljidos			77,5	BUENA
Quebrada Los Eljidos	Receptora		56,2	MEDIA
Río Grande	Receptora		64,1	MEDIA
Río Grande	Receptora		71	BUENA
Quebrada Las Cruces	Abastecedora		79	BUENA
Río Guadalupe			74,4	BUENA
Quebrada El Turco	Receptora	Santa Rosa de Osos	67,1	MEDIA
Quebrada San Juan	Receptora		66	MEDIA
Río Guadalupe	Receptora		67,8	MEDIA
Quebrada Los Chorros	Receptora	Guadalupe	57,8	MEDIA
Quebrada Santa Gertrudis	Abastecedora		79,5	BUENA
Quebrada Sacatin	Abastecedora		76	BUENA
Quebrada Santa Isabel	Abastecedora	Carolina del Principe	76,6	BUENA
Quebrada Santa Isabel	Receptora		67,5	MEDIA
Quebrada Hojas Anchas		Gómez Plata	74,2	BUENA
Quebrada Hojas Anchas	Receptora		69,5	MEDIA
Quebrada Guayabito	Abastecedora	Amalfi	78	BUENA
Quebrada La Víbora			77,2	BUENA
Fuente San Ignacio	Abastecedora		74,4	BUENA
Quebrada La Víbora	Receptora		60,8	MEDIA

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

CORRIENTE	TIPO	MUNICIPIO	ICA	CALIDAD	
Quebrada Santa Gertrudis	Abastecedora	Guadalupe	81	BUENA	
Río Nus	Receptora	Cisneros	79	BUENA	
Quebrada La Reina	Abastecedora	Caracolí	82	BUENA	
Quebrada La Reina	Receptora		59,5	MEDIA	
Río Nus	Receptora	Cisneros	78	BUENA	
Río San Lorenzo		Yolombó	73,8	BUENA	
Río San Lorenzo	Receptora		75,3	BUENA	
Receptora Yalí	Receptora	Yalí	67,5	MEDIA	
Receptora Yalí	Receptora		39	MALA	
Caño de Nacimiento	Receptora		40,9	MALA	
Quebrada El Viento	Receptora		71	BUENA	
Quebrada El Viento	Receptora		73,4	BUENA	
Quebrada El Viento	Receptora		73,6	BUENA	
Quebrada Candelaria	Receptora		68,9	MEDIA	
Quebrada Candelaria	Receptora		69,1	MEDIA	
Pozo San Pedro	Abastecedora		San Pedro de los Milagros	74,6	BUENA
Pozo San Félix	Abastecedora		San Pedro de los Milagros	71,6	BUENA

La quebrada El Hato y su afluente La Pulgarina, en el municipio de San Pedro de los Milagros, registraron durante este proyecto un índice de calidad mala, ésta condición había sido referida sistemáticamente en caracterizaciones anteriores. Los cuerpos de agua receptores de vertimientos en el municipio de Yalí también registraron un ICA característico de calidad mala. Esta condición es debida principalmente a descargas de agua residual de tipo doméstico o industrial, las cuales no tienen ningún tipo de tratamiento o éste es insuficiente.

La problemática entorno al agua en las direcciones territoriales Tahamíes y Zenufaná de CORANTIOQUIA (subregiones del Norte y Nordeste de Antioquia), se centra en primer lugar en la disminución de la calidad por el aumento de las cargas contaminantes que se vierten directamente a las corrientes o se disponen sobre el suelo, al manejo inadecuado de residuos sólidos y a la producción o beneficio de bienes utilizando de forma no planificada sustancias que una vez alcanzan un cuerpo de agua impactan negativamente sus características naturales. Todo ello asociado a actividades agrícolas, pecuarias, industriales, mineras y domésticas (CORANTIOQUIA, 2009).

La carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los municipios que hacen parte de la zona de estudio favorece la contaminación de las corrientes de agua que atraviesan los centros poblados y cascos urbanos, así mismo la presencia de grandes industrias y sus consecuentes descargas a las corrientes cercanas, ace-

leran los procesos de deterioro de las mismas.

El inadecuado manejo de los residuos sólidos y las políticas de aseo propias de cada municipio posibilitan la presencia de éstos en los cauces de las corrientes, así como la presencia de escombros (Gómez Plata) y residuos de actividades comerciales localizadas en las márgenes de las corrientes, residuos de aserrín y demás productos de los aserríos (San Pedro de los Milagros), productos de la actividad minera, de talqueras y de la extracción de material de playa (Yarumal, Yolombó), y actividades piscícolas (Belmira) (CORANTIOQUIA, 2009).

2.1.1.3 Zona del Oriente

En esta subregión encontramos diferentes estudios que aportan al conocimiento de la calidad hídrica de sus fuentes principales, gracias a la formulación de los diferentes Planes de Ordenación y Manejo realizados en la zona. En la Tabla 11 y Tabla 12 se muestran los diferentes resultados para los parámetros de calidad en algunas fuentes principales de esta subregión.

Tabla 11. Índices de Calidad.

LUGAR	ICA	ICOMO
<i>Cuenca del río Negro: quebrada Abreo (Mira)</i>	73	0,35
<i>Cuenca del río Negro: quebrada Malpaso</i>	79	0,417
<i>La Cimarrona: estación Coltepunko</i>	55	0,658
<i>La Palma: aguas arriba del municipio (octubre 2005)</i>	64	0,498
<i>La Pereira: Divino Niño, después de confluencia El Tambo y Pereirita (agosto 2005)</i>	75	0,322
<i>El Salto: antes de El Santuario (febrero 2003)</i>	58	0,474
<i>La Bolsa: sobre puente (marzo 2004)</i>	71	0,433
<i>Río Pantanillo: estación cerca al embalse La Fe(2004)</i>	74	0,554
<i>La Brizuela: 300m arriba bocatoma acueducto municipal (marzo 2004)</i>	73	0,335

Fuente: IDEA-UNAL, 2004

Tabla 12. Parámetros de calidad

LUGAR	TEMPERATURA AGUA (°C)	PH	DBO ₅ (mg/l)	TURBIEDAD (unt)	OXÍGENO DISUELTO (mg/l)
<i>Cuenca del río Negro: quebrada Abreo (Mira)</i>	18,2	8,39	1,3	6	2,91
<i>Cuenca del río Negro: quebrada Malpaso</i>	19,5	8,1	1,7	5	5,2
<i>La Cimarrona: estación Coltepunko (mayo 2005)</i>	19,3	6,26	12,8	60,8	5,04
<i>La Palma: aguas arriba del municipio (octubre 2005)</i>		1,106	6,9	11,4	<11,0
<i>La Pereira: Divino Niño, después de confluencia El Tambo y Pereirita (agosto 2005)</i>	20	6,9	1,9	5	5,71
<i>El Salto: antes de El Santuario (febrero 2003)</i>	19,3	7,1	1,4	-	0,54
<i>La Bolsa: sobre puente (marzo 2004)</i>	22,1	7,9	27,8	12,7	6,9
<i>Río Pantanillo: estación cerca al embalse La Fe (2004)</i>	15	0,06	0,008	1,561	0,0335
<i>La Brizuela: 300m arriba bocatoma acueducto municipal (marzo 2004)</i>		4,3	0,33	1,12	1,52

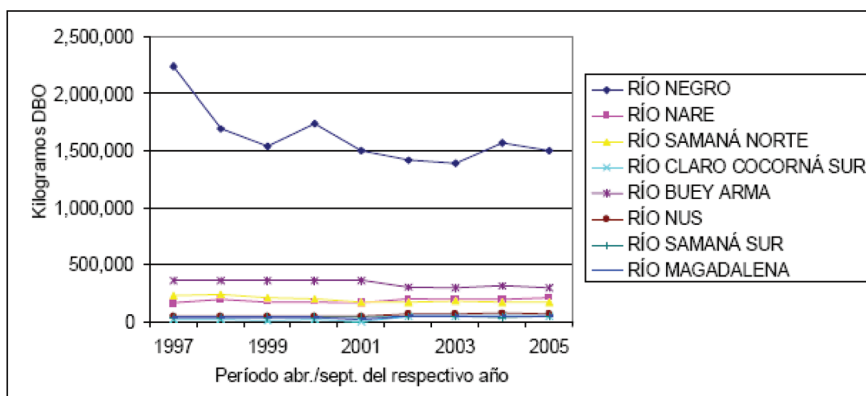
Fuente: DSSA, 2005 y CORNARE.

En estos resultados, se encuentra que en la mayoría de las corrientes la calidad disminuye a medida que descienden. Esta contaminación se debe principalmente a desechos de tipo orgánico, como se refleja en sus altos niveles de nitrógeno amoniacal y de coliformes, tanto fecales, como totales. Sin embargo, también se presentan características de aguas eutróficas.

Examinando los análisis de plaguicidas que la Dirección Seccional de Salud de Antioquia (DSSA) viene realizando en convenio con CORNARE, se encuentra que las concentraciones de clorpirifos, carbofurán, clorotalonil y metamidofos están presentes, aunque en los últimos muestreos estas concentraciones están por debajo del límite detectable del método. Esta situación es alarmante, teniendo en cuenta que, en los últimos años, en la zona se han presentado diferentes casos de intoxicación por este tipo de compuestos en la población, tal como lo reporta la DSSA (IDEA-UNAL, 2006).

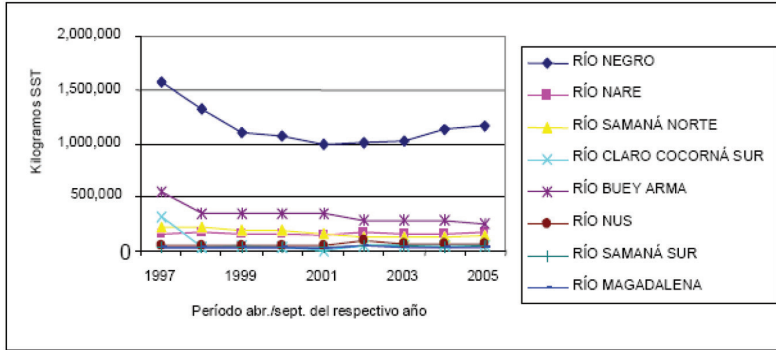
De acuerdo con el reporte emitido para el año 2005 por parte de CORNARE, en la región, las cargas orgánicas (DBO_5) domésticas/urbanas puntuales predominan en magnitud sobre las cargas industriales puntuales. Las primeras representan aproximadamente el 80% dentro de los usuarios documentados. Lo anterior representa en promedio, aportes que producen demandas de 13.308 kg/día de oxígeno (como DBO_5), correspondiente a 2.429 toneladas por semestre; aproximadamente, el 63% del total regional. En cuanto a sólidos suspendidos, el aporte subregional es de 2.342 T/semestre, el 61% del total regional (CORNARE-UIDEA, 2006).

Figura 4. DBO_5 carga contaminante, vertidas por los usuarios de tasas retributivas en las cuencas de la región CORNARE.



Fuente: Resultados ambientales y económicos alcanzados por CORNARE en la aplicación de la tasa retributiva en el oriente antioqueño, 1997-2005.

Figura 5. Carga contaminante de SST, vertidas por los usuarios de tasas retributivas en las cuencas de la región CORNARE.



Fuente: Resultados ambientales y económicos alcanzados por CORNARE en la aplicación de la tasa retributiva en el oriente antioqueño, 1997-2005.

La Tabla 13 presenta los aportes de carga contaminante de diferentes sectores económicos.

Tabla 13. Carga contaminante por sectores económicos.

SECTOR ECONÓMICO	NÚMERO DE USUARIOS	CARGA CONTAMINANTE (Kg/Sem)		PORCENTAJES		CARGA DIARIA
		DBO	SST	DBO	SOL. SUS.	kg/día
Municipal	10	2.428.807	2.167.821	79,68%	92,54%	13308,5
Industrial	56	613.362	160.795	20,12%	6,86%	3360,9
Floricultor	42	3.800	5.568	0,12%	0,24%	20,8
Avícola	4	1.026	980	0,03%	0,04%	5,6
Acuícola	2	1.059	7.321	0,03%	0,31%	5,8
Subtotal	114	3.048.054	2.342.484	63,6%	61,1%	16701,7
TOTAL REGIÓN	153	4.793.730	3.834.850			

Fuente: Resultados ambientales y económicos alcanzados por CORNARE en la aplicación de la tasa retributiva en el oriente antioqueño, 1997-2005.

La cuenca que vierte una mayor carga contaminante a las fuentes hídricas de la región es la del río Negro, seguida de lejos por la cuenca del río Nare, tanto en DBO_5 , como en SST. Una de las razones del alto nivel de contaminación de esta cuenca es porque en ella se encuentra concentrada la mayor parte de la población y el sector industrial de esta subregión.

Aunque la disminución total relativa de carga contaminante desde 1997 hasta el 2005 fue de 24% para DBO_5 y de 35% para SST, se debe tener en cuenta que la población y la industria en los municipios ha aumentado en forma constante, especialmente los asentados en la cuenca del río Negro y que solo hasta que estén en pleno funcionamiento las plantas de tratamiento se podrán mostrar mayores reducciones en los valores de carga contaminante. (Quintero, 2007).

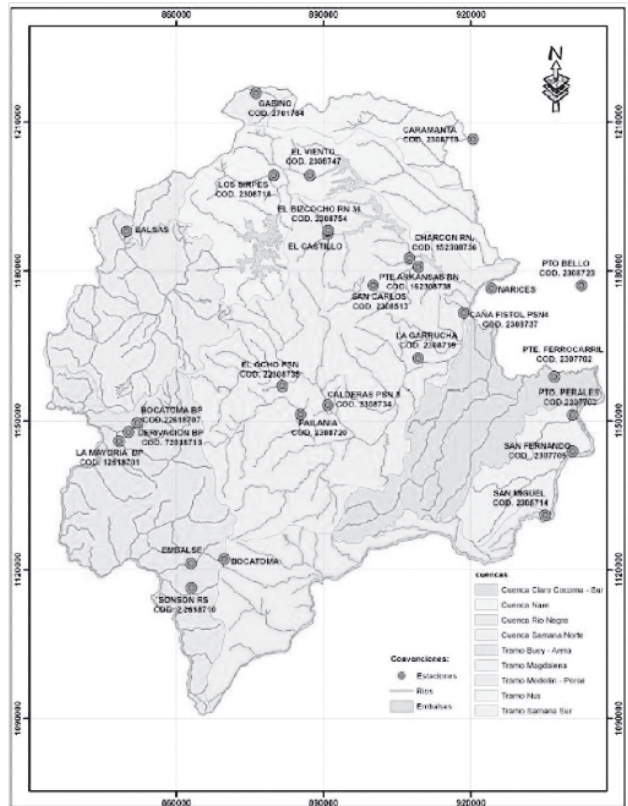
Para el oriente de Antioquia fue realizado un estudio por Cadavid - Gallego et al (2010), en el cual se calculó el índice de calidad de aguas general en corrientes superficiales, propuesta por el Laboratorio de Calidad Ambiental del IDEAM, a la cual la Unidad de Monitoreo de CORNARE realizó los ajustes pertinentes, basados en las características de las cuencas de la región, en la destinación del recurso y en el tipo de actividades desarrolladas. Los muestreos fueron realizados en las cuencas tramo Buey-Arma, tramo río Nare, tramo río Nus, tramo río Samaná Sur, tramo río Magdalena, río Claro Cocorná, río Samaná Norte y río Porce, de acuerdo con lo dispuesto en el Plan de Monitoreo Anual establecido por CORNARE para definir los sitios de muestreo y la periodicidad de la toma de datos. En el año 2008, se tomaron muestras en 30 estaciones distribuidas aleatoriamente en cada una de las cuencas estudiadas, en las cuales los principales resultados apuntan a definir la calidad del agua en los sitios de muestreo en mención. Las ecuaciones aplicadas en la obtención del índice de calidad de aguas general en corrientes superficiales se relacionan a continuación.

ICA GLOBAL

Para el cálculo del ICA_g se tienen en cuenta dos componentes: el primero se denomina ICA_{fa} determinado por la calidad fisicoquímica del agua y el segundo ILCAG, establecido por el caudal. Se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$ICA_g = ICA_{fa} * 0.8 + ILCAG * 0.2$$

Figura 6. Ubicación de las estaciones de muestreo.



Entre los resultados más relevantes en el estudio se cita, que los índices agregados de calidad físico química ICA en los tres muestreos que fueron realizados al año oscilaron entre 0,66 y 0,75, clasificados en los índices de calidad media y buena y los índices de calidad general ICAg se encuentran entre rangos de 0,54 y 0,62, ubicándolos dentro de la categoría de índices de calidad media.

La cuenca del río Negro, ubicada en el valle de San Nicolás del cual hacen parte los municipios de Guarne, San Vicente, Rionegro, La Ceja, Marinilla, El

Carmen de Viboral y El Retiro, es muy vulnerable a problemas de contaminación debido a que coincide con la zona de mayor desarrollo industrial y comercial del oriente antioqueño y de los mayores asentamientos humanos. De los ocho municipios de esta cuenca, solo el municipio de San Vicente no ha construido su sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

En el año 2008, en la cuenca del río Negro, se realizaron tres campañas de muestreo en las 16 estaciones en diferentes épocas del año, para un total de 48 muestreos. El análisis general de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en las estaciones ubicadas en esta cuenca señala en nueve muestreos equivalentes a 18,75%, valores de DBO_5 inferiores a 3,0mg/l, lo que evidencia agua de excelente calidad; dieciocho muestreos con valores que oscilan entre 3 y 6mg/l, equivalentes a 37,5%, que clasifican las fuentes en una categoría de calidad buena con bajos contenidos de materia orgánica biodegradable, y 21 muestreos, equivalentes a 43,75%, con valores que oscilan entre de 6,0 y 30 mg/L, lo que da indicios de descontaminación pero con capacidad de asimilación de cargas contaminantes.

Los resultados de los muestreos del año 2008 en las estaciones ubicadas en la cuenca del río Negro indican que sus afluentes presentan una buena capacidad de asimilación de las cargas contaminantes generadas por los sectores domésticos e industriales. La estación San Sebastián ubicada sobre la quebrada La Pereira, aguas abajo de la cabecera del municipio de La Ceja, es el punto más crítico del muestreo en cuanto a la calidad del agua, básicamente porque en este lugar se presentan vertimientos puntuales provenientes del área urbana del municipio de La Ceja que no han sido recolectadas para ser conducidas a la planta de tratamiento de aguas residuales y el caudal multianual en este punto es de 427,76 l/s, insuficiente para diluir la carga contaminante vertida en la fuente por su baja pendiente y poca aireación.

Al realizar un análisis de la caracterización de los cuerpos de agua lóticos según el caudal, se encuentra que en la cuenca del río Negro, a la altura de las estaciones Puente real, Puente Autopista, La Fresera y río Abajo, la capacidad ambiental se encuentra dentro de una categoría media y los caudales oscilan entre 10-100m³/s. En las estaciones Alcaravanes, Casa Mía, Charco manso, Colte punto, Compañía Abajo, kilómetro 26 de la autopista Medellín-Bogotá, La Amistad, Montenevado y Riotex, los caudales están entre 1 y 10m³/s y se clasifican dentro de una capacidad ambien-

tal baja; y por último, las estaciones San Sebastián, Flor Silvestre, FAC y Bodegas cuyos caudales son inferiores a $1\text{m}^3/\text{s}$, se ubican dentro de las categorías de muy baja capacidad ambiental.

2.1.1.4 Zona de Urabá

Los estudios realizados en el área de estudio del Urabá consistió en determinar las concentraciones de cloruros, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio, magnesio, sodio, potasio, manganeso, hierro, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, alcalinidad y las propiedades físicas, como la temperatura, la conductividad eléctrica, el color y la turbidez de las muestras de agua seleccionadas. Como ejemplo de las diferentes actividades se muestran los resultados obtenidos en el estudio “Geología, geofísica, hidrogeoquímica e Isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: acuífero costero del municipio de Turbo.”

En la Tabla 14 se muestran los resultados de los parámetros físicos analizados; en la Tabla 15, los resultados de sólidos totales, suspendidos y disueltos; en la Tabla 16 los de durezas total, magnésica y cálcica.

Tabla 14. Parámetros físicos acuífero costero del municipio de Turbo.

MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	PH	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (ms/cm)	COLOR (U.P.C)	TURBIEDAD (N.T.U)
A5	28,10	6,65	664,00	1,33	0,70
A61	28,30	6,26	908,00	5,90	14,30
A14	28,50	6,59	408,00	3,82	324,00
A20	28,90	6,53	693,00	3,00	1,60
A23	29,90	6,06	405,00	1,75	5,86
A25	28,30	6,89	478,00	6,32	24,80
A32	28,80	7,20	1101,00	7,98	3,16
A38	28,60	6,73	1005,00	17,95	155,00
A4	28,60	6,82	845,00	5,07	8,10
A45	28,00	6,80	848,00	2,58	1,51
P1	28,00	7,02	883,00	7,10	40,40
P17	27,50	6,99	2460,00	28,34	21,60
P18	28,80	6,84	2080,00	6,73	8,40
P19	27,70	7,16	1162,00	23,77	6,82
P5	28,70	7,22	1479,00	20,86	8,60
P6	28,20	6,64	2430,00	2,99	7,08
P7	27,30	7,53	14400,00	84,20	10,20
P8	27,10	6,70	4180,00	26,30	55,60

**Tabla 15. Resultados de sólidos acuíferos costeros municipio de Turbo.
de Turbo.**

MUESTRA	SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)	SÓLIDOS DISUELTOS (mg/l)	SÓLIDOS TOTALES (mg/l)
A5	11,50	454,00	486,00
A61	1,50	624,00	626,00
A14	734,29	228,00	990,00
A20	1,00	448,00	452,00
A23	9,00	272,00	292,00
A25	17,33	304,00	322,00
A32	2,80	716,00	732,00
A38	19,00	606,00	626,00
A4	6,00	608,00	636,00
A45	8,00	554,00	564,00
P1	12,67	520,00	544,00
P17	8,50	1.492,00	1.502,00
P18	4,00	1.242,00	1246,00
P19	25,00	732,00	758,00
P5	8,67	902,00	932,00
P6	5,20	1.554,00	1560,00
P7	25,33	8.496,00	8.522,00
P8	25,33	2.920,00	3.072,00

Tabla 16. Resultados de durezas y alcalinidad del acuífero costero del municipio de Turbo.

MUESTRA	DUREZA TOTAL (mg/l caco ₃)	DUREZA CÁLCICA (mg/l caco ₃)	DUREZA MAGNÉSICA (mg/l caco ₃)	ALCALINIDAD (mg/l caco ₃)
A5	145,00	103,50	41,50	153,00
A61	405,00	150,00	255,00	406,00
A14	55,00	54,00	1,00	114,00
A20	242,00	123,00	119,00	190,00
A23	160,00	65,00	95,00	124,00
A25	86,00	35,50	50,50	212,00
A32	480,00	300,00	180,00	472,00
A38	440,00	180,00	260,00	468,00
A4	284,00	170,00	114,00	181,00
A45	315,00	180,00	135,00	286,00
P1	52,00	25,00	27,00	241,00
P17	475,00	105,00	370,00	626,00
P18	234,00	32,00	202,00	414,00
P19	170,00	55,00	115,00	560,00
P5	300,00	99,00	201,00	817,00
P6	670,00	145,00	525,00	400,00
P7	750,00	80,00	670,00	982,00
P8	860,00	240,00	620,00	476,00

Tabla 17. Resultados químicos acuífero costero del municipio de Turbo

MUESTRA	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	CL ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NA ⁺ (mg/l)	CA ⁺² (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	MG ⁺² (mg/l)	FE (mg/l)	MN (mg/l)
A5	186,66	81,61	29,99	41,34	30,59	84,20	2,35	24,93	0,02	0,07
A61	495,32	22,41	32,49	0,50	81,88	57,80	0,78	59,29	1,94	4,73
A14	139,08	75,12	22,49	3,05	36,11	36,60	1,96	14,76	18,86	2,84
A20	231,80	22,93	69,98	13,48	36,80	67,20	17,20	29,52	0,14	0,88
A23	151,28	10,45	47,48	0,56	31,05	24,00	0,78	18,76	0,61	1,28
A25	258,64	21,63	12,50	0,43	28,29	42,60	16,03	15,97	1,97	0,37
A32	575,84	57,26	69,98	0,25	91,54	135,60	1,96	41,62	0,22	2,00
A38	570,96	4,53	77,48	1,81	60,03	84,00	1,56	60,26	13,92	0,98
A4	220,82	147,66	49,98	0,99	78,66	74,40	1,96	24,93	0,81	0,29
A45	348,92	50,54	89,97	1,99	82,57	75,40	2,35	33,15	0,13	0,50
P1	294,02	12,82	142,46	0,25	184,69	10,60	1,17	17,79	4,55	0,37
P17	763,72	19,56	499,84	1,93	395,60	50,00	2,74	91,48	1,98	0,95
P18	505,08	5,31	474,85	0,70	278,30	54,20	3,13	86,03	0,99	0,98
P19	683,20	6,08	74,98	0,87	246,10	21,80	2,35	25,65	1,40	0,34
P5	996,74	6,35	39,99	0,00	261,05	41,80	10,56	14,16	1,54	0,33
P6	488,00	5,83	599,81	0,19	326,60	65,20	2,35	101,52	0,57	2,00
P7	1198,04	14,12	4198,70	0,81	3394,80	44,40	133,72	147,62	1,84	0,19
P8	580,72	8,68	1174,60	0,50	528,77	120,40	3,52	156,09	9,24	0,31

En general en el estudio se encontró que el agua subterránea de las captaciones en el municipio de Turbo es para uso doméstico y agrícola, la calidad para uso agrícola depende de cada cultivo en específico y se considera que no es pertinente un análisis en el desarrollo de este trabajo, Para uso doméstico y consumo humano, se hace un análisis de calidad respecto a la resolución 2115 de 2007 (Gómez, 2009, página 5).

2.1.1.5 Zona del Bajo Cauca

En esta subregión aparecen como los dos mayores responsables en el deterioro de la calidad de sus fuentes hídricas, el vertido de aguas residuales provenientes de la minería y las descargas domésticas, CORANTIOQUIA, como autoridad ambiental de esta subregión, ha realizado diferentes estudios que han permitido caracterizar algunas fuentes y priorizar algunas cuencas.

Una muestra de los diferentes análisis que permiten evaluar la calidad del recurso, se presenta en la Tabla 18, se muestran los parámetros medidos para una de las cuencas priorizadas en las diferentes direcciones territoriales de CORANTIOQUIA, en este caso Panzenú; dicha cuenca es la de la quebrada Juan Vara, en la cual se asienta el 25% de la cabecera urbana del municipio de Zaragoza.

Tabla 18. I.C.A. de la cuenca de la quebrada Juan Vara en su desembocadura al río Nechí

VARIABLE PARA EL CÁLCULO DEL WQI (NSF)	PORCENTAJE DE PONDERACIÓN (W)	DESEMBOCADURA DE LA QUEBRADA JUAN VARA AL RÍO NECHÍ (E5)		
		MEDIDA	ÍNDICE (Ii)	VALOR
% SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTUO	17%	100%	98,4	16,7
NMP COLIFORMES FECALES/100 ml	15%	1,40E+04	8,3	1,2
Ph (Unidades)	12%	7	91,3	11,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅ mg/L)	10%	5,3	52,2	5,2
NITRATOS (NO ₃ en mg/L)	10%	0,63	95,8	9,6
FOSFATOS TOTALES (PO ₄ en mg/L)	10%	0,02	97,8	9,8
DESVIACIÓN DE TEMPERATURA (°C)	10%	0	94,5	9,5
TURBIEDAD (UNT)	8%	12,8	71,1	5,7
SÓLIDOS TOTALES (ST en mg/L)	8%	120	82,2	6,6
TOTAL ICA Y DESCRIPTOR DE CALIDAD	100%	75,2	BUENA	

En la Tabla 18 se consolidan los diferentes resultados de calidad de agua en algunas corrientes de esta subregión.

Tabla 18. Calidad de diferentes fuentes del Bajo Cauca.

CUENCA	NÚMERO DE MONITOREOS REALIZADOS	PUNTOS DE MONITOREO	FECHA MONITOREO	CAUDAL (l/s)	CALIDAD (ICA)
Quebrada Juan Vara	1	8	Sep-03	2.252,90	Regular
Quebrada Juan Vara	2	14	Dic-04	1.897,85	Buena
Caño Atascoso	1	5	Nov-03	39,75	Mala
Caño El Silencio	1	8	Nov-03	67,82	Mala

Fuente: CORANTIOQUIA, Subdirección de Recursos Naturales, 2006.

Para el tema de calidad del agua subterránea, se tiene información de parámetros físico químicos y bacteriológicos para casi 90 captaciones de la zona, que permiten obtener una visión general de las condiciones de calidad de las aguas, más del 90% de las captaciones registran presencia de coliformes; es frecuente la presencia de nitritos y puntualmente se detectó la presencia de mercurio (Rueda, 2005),

De 123 datos de calidad de agua subterránea tomados desde el acuífero libre, se observa que el 21% de las captaciones no cumple el criterio de color; el 19,7%, el de turbiedad; el 22%, el de alcalinidad, por otro lado, el 19,7% de las muestras supera el valor admisible de hierro total y el 62% está por fuera de los rangos de pH; la DQO y los nitritos registran el 13% y 11% de muestras por fuera de los rangos permitidos para esos parámetros; algunas muestras acumulan 4 o 5 parámetros con valores por fuera de la norma, en todos los casos en que se realizó medición de coliformes, éstos se encontraron presentes; situación no deseada en agua para consumo humano (Betancur, 2008),

Se evaluaron algunas características morfométricas básicas en la microcuenca de la quebrada Los Andes en el departamento de Antioquia (Colombia), la microcuenca tiene un área pequeña (20km²) con dirección principal en el eje S-N, con un rango

altitudinal entre los 2.700 y 2.200 msnm, presenta una red de drenaje bien estructurada por lo que presenta un tiempo de concentración de las aguas mayor a 5 horas, la microcuenca es de clase Kc2 con una pendiente elevada y un sistema de drenaje subdendrítico, este trabajo permitió identificar los usos del suelo, entre los cuales el uso adecuado fue el que presentó mayor porcentaje (55%) y se recomienda el uso conservacionista en general para la microcuenca, en esta microcuenca se han realizado algunas investigaciones, entre las que se puede citar la caracterización de la biodiversidad acuática y de la calidad de las aguas (Montoya-M, 2008), la colonización de sustratos rocosos por parte de los macro-invertebrados acuáticos (Montoya-M, 2009) y la caracterización físico química y biológica de sus aguas, por medio de los índices de calidad ambiental (ICA) y biological monitoring working party modificado para Colombia (BMWP/Col), la microcuenca de la quebrada Los Andes es un subsistema pequeño, tipo embudo, con pendientes altas y una elevada densidad de drenaje ($Dd = 7,17$) ya que presenta en un área de solo $2,87 \text{ km}^2$, 94 tributarios con una longitud total de 20,58 km, forma oval redonda a oval oblonga, una frecuencia de drenaje superior a la unidad ($Fx=1,79$), esta microcuenca presenta asimetría entre sus vertientes y un sistema de drenaje de tipo subdendrítico, caracterizado por aguas claras y poco profundas.

La quebrada Los Andes del municipio del Carmen de Viboral es una de las fuentes principales de abastecimiento de agua del acueducto del municipio, en ésta se realizaron 12 muestreos entre enero de 2004 y diciembre de 2005 en una estación aguas arriba de la bocatoma del acueducto, las variables físicas, químicas y estadísticas no mostraron variabilidad estadística aunque se observó fluctuación en los índices comunitarios, sobre todo en la riqueza numérica de taxones se encontraron 95 taxones pertenecientes a 52 familias y cinco phyla. Los valores del BMWP oscilaron entre 77 y 294, con un valor promedio de 159 lo cual indica que las aguas de la quebrada son muy limpias (Montoya-Moreno, 2008).

2.1.1.6 Zona del Suroeste

Las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico superficial en esta cuenca, se relacionan de manera directa con los vertimientos de los sistemas de recolección de las aguas residuales de los diferentes asentamientos que van a la fuente

sin ningún tipo de tratamiento y con el uso actual de los suelos con monocultivos, Quebradas como Combia, (Tabla 19) y Sinifaná nos muestran el panorama en cuanto a calidad se refiere.

Tabla 19. Índice de Calidad Ambiental de la quebrada Combia.

VARIABLE PARA EL CÁLCULO DEL WQI (NSF)	ESTACIÓN 4 DESEMBOCADURA AL RÍO CAUCA		
	MEDIDA	ÍNDICE (Ii)	VALOR
% SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO	90%	94,9	18,0
NMP COLIFORMES FECALES/100 ml	200	33,5	5,7
Ph (Unidades)	8,33	75,7	10,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅ mg/L)	15,84	17,6	1,9
NITRATOS (NO ₃ en mg/L)	0,5	96,6	10,6
FOSFATOS TOTALES (PO ₄ en mg/L)	0	99,7	0,0
DESVIACIÓN DE TEMPERATURA (°C)	0	94,5	10,4
TURBIEDAD (UNT)	7,2	81,2	7,1
SÓLIDOS TOTALES (ST en mg/L)	138	80,3	7,1
TOTAL ICA Y DESCRIPTOR DE CALIDAD	70,9	BUENA	

Fuente: CORANTIOQUIA, 2005

Tabla 20. Índice de Calidad Ambiental General de la cuenca de la quebrada Sinifaná, 2004.

VARIABLE PARA EL CÁLCULO DEL WQI (NSF)	ESTACIÓN 4 DESEMBOCADURA AL RÍO CAUCA		
	PORCENTAJE DE PONDERACIÓN (W)	ÍNDICE (Ii)	VALOR
% SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO	19%	96,4	18,3
NMP COLIFORMES FECALES/100 ml	17%	13,4	2,3
Ph (Unidades)	13%	84,4	11,1
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅ mg/L)	11%	46,7	5,1
NITRATOS (NO ₃ en mg/L)	11%	96,6	10,6
FOSFATOS TOTALES (PO ₄ en mg/L)	0%	99,7	0,0
DESVIACIÓN DE TEMPERATURA (°C)	11%	94,5	10,4
TURBIEDAD (UNT)	9%	5,0	0,4
SÓLIDOS TOTALES (ST en mg/L)	9%	48,0	4,2
TOTAL ICA Y DESCRIPTOR DE CALIDAD	100%	MEDIO	

Fuente: CORANTIOQUIA, 2005

Tabla 21. Calidad de diferentes fuentes en el suroeste antioqueño.

CUENCA	NÚMERO DE MONITOREO REALIZADO	PUNTOS DE MONITOREO	FECHA MONITOREO	CAUDAL (L/s)	CALIDAD (ICA)
Río Amagá		26	Mar-03	2.157,60	Regular
Quebrada La Ardila	1	9	Ago-04	6.033	Regular
Río Poblano	1	11	May-03	2.271,2	Regular
Río Poblano	2	15	Nov-04	6.060,2	Regular
Quebrada Combia	1	9	Sep-04	394,2	Buena
Quebrada Sinifaná	1	15	Sep-04	7.000,00	Regular
Río San Juan	1	20	May-02	75.000,00	Buena
Río San Juan	2	22	May-04	19.410,00	Buena
Quebrada Magallo	1	11	Ago-03	1.524	Regular
Quebrada Magallo	2	15	Oct-04	4.117,7	Regular
Quebrada Comia	1	10	Sep-03	1.410,9	Regular
Quebrada Comia	2	13	Oct-04	2.446,72	Regular
Quebrada San Mateo	1	7	Jun-03	3.966,74	Mala
Quebrada San Mateo	2	10	Sep-04	2.997,08	Regular
Quebrada Purco	1	9	Ago-04	245,5	Regular

Fuente: CORANTIOQUIA, Subdirección de Recursos Naturales 2006

En el tema de vertimientos se puede concluir que a la fecha gran parte de la población asentada en la zona rural vierte sus aguas residuales en los cursos de agua más cercanos, algunas de las haciendas ganaderas y fincas de recreo se han ajustado a la normatividad ambiental y cuentan con algún sistema de tratamiento de los residuos líquidos (CORANTIOQUIA, 2006).

2.2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2011, Red de Monitoreo Ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana Fase III, Informe Final, Convenio 397 de 2009.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2011, Red de Monitoreo Ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana Fase III, Informe Final, Convenio 397 de 2009.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2011, Red de Monitoreo Ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana Fase III, Informe Final, Convenio 397 de 2009.
- ARIAS ACEVEDO S, 2011, Distribución espacial de los ensamblajes de algas perifíticas y comunidades de macro-invertebrados acuáticos en un sector del río Aburrá - Medellín (Vereda La Clara, Caldas Antioquia), Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.
- BOTERO ARIAS I, C, 2010, Gestión sostenible del recurso hídrico, mediante la participación en la evaluación de la calidad de este y la revisión de los procesos de reglamentación de corrientes, Informe de Práctica Profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.
- CADAVID GALLEGO J, C.; ECHEVERRI RUIZ J, D.; GÓMEZ GUTIÉRREZ, A, E, 2010, Modelación Índices de Calidad de Agua (ICA) en las cuencas de la región de CORNARE, Revista Gestión y Ambiente, vol, 13, núm, 2, agosto, 2010, pp, 7-24 Universidad Nacional de Colombia.
- CANO CASAS L, J, 2010, Diseño de una red de monitoreo y seguimiento de la calidad de cuerpos hídricos en la cuenca del río Grande, Investigación Aplicada, Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática, Universidad de Antioquia.
- CORANTIOQUIA, Universidad de Antioquia, 2009, Formulación del Plan de Ordenación del Recurso Hídrico y diseño de un programa de monitoreo y seguimien-

to a la calidad de cuerpos hídricos en las cuencas de influencia del sector eléctrico en las direcciones territoriales Tahamíes y Zenufaná, Informe Final, Contrato 8211.

- CORREA OCHOA I, C, 2008, Toxicidad de florecimientos de cianobacterias en el embalse Riogrande II, Trabajo de Investigación, Maestría en Ingeniería, Universidad de Antioquia
- GARCÍA LEOZ V, 2009, Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga al norte del Valle de Aburrá, Informe Final Practica Académica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.
- GONZÁLEZ GONZÁLEZ J, A, 2009, Lineamientos de gestión ambiental en el embalse Porce II, con el objeto de correlacionar la variación de los parámetros de calidad del agua y su impacto en la operación de la central de Porce II, Universidad de Antioquia.
- GUERRA ROJAS A, 2010, Mapificación y análisis de la distribución espacial de organismos indicadores de la calidad del agua en la quebrada La Ayurá (Envigado, Antioquia), Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática, Universidad de Antioquia.
- IDEAM, Laboratorio de Calidad Ambiental, (26 de Agosto de 2009), Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales ICACOSUS, Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales ICACOSUS, Bogotá, Colombia.
- IDEAM, Laboratorio de Calidad Ambiental, 2009, Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales ICACOSUS, Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales ICACOSUS, Bogotá, Colombia.
- MONTOYA MORENO Y, 2007, Colonización de sustratos rocosos por los macroinvertebrados acuáticos en la quebrada LosAndes, El Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia, Revista Universidad Católica de Oriente, no, 23, pp, 89-104, 2007.
- MONTOYA MORENO Y, 2008, Caracterización de la biodiversidad acuática y de la calidad de las aguas de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral (Antioquia), Revista institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Diversidad y Desarrollo, 2008, 27 (1), 85-91.
- MONTOYA MORENO Y, 2009, Caracterización morfológica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, el Carmen de Viboral, (Antioquia), Revista Ingenierías Universidad de Medellín, volumen 8, No, 15, pp, 11-29 - ISSN 1692-3324 - julio-diciembre de 2009/146 p, Medellín, Colombia.
- NSF, “WQI – National Sanitation Foundation, Consumer Information” 2006.

- ARENAS ZAPATA CARLOS ALBERTO, 2011, Análisis de calidad de agua con referencia a variables fisicoquímicas, microbiológicas y macro-invertebrados acuáticos en la quebrada La Popala (Bolombolo, Venecia - Antioquia), Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniería Sanitaria, Universidad de Antioquia.
- R, BROWN, N, MACCLELLAND, R, DEININGER et al., “A Water Quality Index – Do We Dare?,” Water and Sewage Works, vol, 11, pp, 339 - 343, 1970.
- R, BROWN, N, MACCLELLAND, R, DEININGER, 1970, “A Water Quality Index – Do We Dare?,” Water and Sewage Works, vol, 11, pp, 339 - 343, 1970.
- TOBÓN A, CHICA L, 2010, Análisis de la calidad del agua, en cuencas con embalsamiento del recurso hídrico, con propósitos de generación de energía, Especialización en Manejo y Gestión del Agua, Universidad de Antioquia.

CAPITULO 3

CRECIDAS, TORRENTES Y ASENTAMIENTOS HUMANOS¹



INTRODUCCIÓN

La actualización del macroproyecto: “Crecidas, torrentes y asentamientos humanos 2010-2011” parte del trabajo consolidado en la anterior “Actualización del estado del arte del recurso hídrico en el departamento de Antioquia 2007-2009”, incorporando los nuevos resultados obtenidos de los registros de la base de datos Des-Inventar. Además de esta información que representa un valioso diagnóstico para el departamento, se ha propuesto un análisis de tres casos con el propósito que los resultados se conviertan en un primer paso del análisis de las situaciones que deben ser incorporadas en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de los municipios y en las acciones coordinadas por las secretarías de medio ambiente, las corporaciones ambientales y los organismos involucrados en la gestión del riesgo de desastres.

A partir de este trabajo aspiramos que para la próxima actualización la participación de otros actores sea mayor, de manera que pasemos de la recopilación de registros al análisis de casos que puedan incorporar referentes en la gestión del riesgo y en la construcción de metodologías y políticas más integradoras. El ejercicio que aquí se presenta demuestra que se requieren mayores esfuerzos en la integración de la información y en acciones con una consideración de procesos de conocimiento y reducción del riesgo que se reflejen en la planificación territorial de una manera más efectiva.

¹ Crecidas, Torrentes y Asentamientos Humanos.
Elaborado por: Juan Fernando Barros Martínez, Ingeniero Civil, MSc en Aprovechamiento de Recursos Hídricos, candidato a PhD; Luz Eliana Vallejo Giraldo, ingeniera ambiental. Escuela de Ingeniería de Antioquia.

3.1 METODOLOGÍA

El trabajo desarrollado se divide en dos partes. La primera dedicada al análisis de los registros departamentales y la segunda, al análisis de algunos casos específicos en tres municipios.

Para el estudio general de los registros de desastres asociados con eventos hidrológicos en Antioquia se trabaja con los registros consignados en la base de datos de desastres DesInventar, de acceso público a través de la web, que para Antioquia recoge información de la base de datos del Departamento Administrativo del Sistema de Prevención, Atención y Recuperación de Desastres DAPARD, con registros desde 1894.

Los registros de desastres seleccionados corresponden a los asociados a tres eventos hidrológicos: inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales. A pesar de la existencia de un campo en la base de datos, para incluir la descripción de la causa detonante del evento al que se asocia el desastre, la información no siempre está completa y por tanto no se puede diferenciar. Por ejemplo deslizamientos con lluvia, antecedente de aquellos dados bajo condiciones secas.

Así mismo, en las inundaciones podrían diferenciarse las inundaciones aluviales o inundaciones lentas, de las inundaciones súbitas o de tipo torrencial. Las segundas son las de mayor probabilidad de ocurrencia en gran parte del departamento de Antioquia dadas las condiciones de lluvias intensas en áreas de cuenca aportante reducida y con fuertes pendientes; sumado a que en las corrientes de los cascos urbanos es común tener condiciones modificadas con intervenciones que emplean medidas estructurales que no consideran la dinámica de inundación como parte del equilibrio de la corriente.

Un gran porcentaje de los registros de interés en DesInventar están asociados con eventos de inundación. Para el estudio de registros también se tienen en cuenta los eventos reportados como avenidas torrenciales, considerando para el análisis, que las condiciones topográficas e hidrometeorológicas de las cuencas hidrográficas del departamento facilitan las avenidas torrenciales como eventos asociados al desastre.

En la segunda parte se incorporan para el análisis cuatro elementos considerados clave para la gestión del riesgo por inundación:

- Registros de desastres asociados con eventos de inundación.
- Registros de precipitación.
- Planes de ordenamiento municipales y de cuencas hidrográficas.
- Estudios e informes técnicos generados por atención de una emergencia o propuestas de medidas para mitigación de riesgos asociados a inundaciones.

Este análisis se ejecuta en tres localidades de tres municipios de Antioquia: Rionegro, Bello y Medellín.

3.2 ESTUDIO GENERAL DE LOS REGISTROS DE DESASTRES ASOCIADOS A EVENTOS HIDROLÓGICOS EN ANTIOQUIA

Son objeto de estudio del macroproyecto “Crecidas, torrentes y asentamientos humanos”, los desastres asociados a eventos hidrológicos, el territorio y la población del departamento de Antioquia.

Para el entendimiento espacial de los desastres y la planeación del actuar de una comunidad frente a riesgos en su territorio, se requiere un referente histórico de ocurrencia de desastres asociados al evento particular, que permita identificar recurrencias y con ello vincular los asuntos relacionados con la amenaza natural o con la vulnerabilidad de la organización territorial y de la infraestructura de la comunidad asentada en el territorio.

En esta actualización se mantienen dos elementos para presentar el análisis de distribución temporal y espacial de desastres asociados a eventos hidrológicos: las bases de datos de desastres y las unidades espaciales.

La base de datos EM-DAT sobre desastres y emergencias ocurridos en el ámbito mundial es la materialización de la gestión de registros adelantada por el Center for Research on the Epidemiology of Disasters CRED, para la evaluación de repercusiones económicas de los grandes desastres mundiales. La base de datos EM-DAT almacena información sobre la ocurrencia de desastres en el mundo originados por fenómenos naturales, tecnológicos y por conflictos o guerras, y sus efectos. Tiene

registros desde 1900 hasta la actualidad. Los datos de EM-DAT se utilizan para evaluar la magnitud de los eventos, así como su frecuencia y para facilitar el desarrollo de estrategias apropiadas (Verelst, 1999; citado por Santana y Escobar, 2005). El CRED, la Organización Mundial de la Salud y la Universidad Católica de Lovaina editan anualmente el Annual Disaster Statistical Review a partir de la información registrada en EM-DAT. Estos reportes hacen parte de la información utilizada para la contextualización mundial de ocurrencia de desastres asociados a eventos de interés del macroproyecto.

El inventario de desastres DesInventar, de acceso público a través de la red en <http://online.desinventar.org>, contiene información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con bases de datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en Asia, Centroamérica, Norteamérica, Región Caribe, Pacífico Sur y nueve países de América del Sur, incluida Colombia. Este sistema de inventario de desastres, presenta actualmente para Colombia 13 bases de datos que dan cuenta de tres grandes temas:

- Inventarios de desastres: departamento de Antioquia (1 base de datos), los municipios de Armenia (2 bases de datos) y Yumbo (1 base de datos).
- Inventarios de pérdidas: país (1 base de datos), departamento de Risaralda (1 base de datos), Huila (1 base de datos) y Valle del Cauca (2 bases de datos). Área Metropolitana del Valle de Aburrá (1 base de datos) y zona urbana de Cali (1 base de datos). Pérdidas asociadas con la ola invernal del año 2010 en el Valle del Cauca (1 base de datos).
- Base de datos asociada con el proyecto “Actualización Diagnóstica de Riesgos de la Cuenca Hidrográfica del río La Vieja”, Ecorregión Eje Cafetero, departamentos de Risaralda, Valle del Cauca y Quindío (1 base de datos).

Las unidades espaciales empleadas para el análisis consideran las condiciones geográficas como base ideal para realizar la planificación del territorio y las condiciones político-administrativas reconocidas en el mismo. La unidad común es municipio, que corresponde a la máxima resolución espacial que se registra en la base de datos DesInventar. Para condensar y analizar la historia y distribución espacial de desastres asociados

con inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales, esta actualización presenta un estudio general de los registros de desastres para los años 2008, 2009, 2010 y 2011, y se compara con la cantidad y distribución espacial de registros, para los años con mayor cantidad de desastres asociados a cada uno de los eventos en el período 1997-2007. La identificación de dichos años fue presentada en detalle en el documento de actualización 2007-2009 (CTA, 2010).

3.2.1 Distribución temporal de los desastres asociados con cada uno de los eventos de interés.

De acuerdo con el Annual Disaster Statistical Review, publicado por el CRED, la Organización Mundial de la Salud y la Universidad Católica de Lovaina, la cantidad de registros de desastres en el mundo durante 2011 (332) fue menor que en 2010 (386), aunque muy similar al promedio anual de ocurrencia de desastres en la década 2001-2010 (384), registros de la base de datos EM-DAT. Al igual que en la última década, los desastres asociados a eventos hidrológicos fueron los de mayor cantidad en el mundo en 2010 y 2011, siendo respectivamente 56,1% y 52,1% del total de desastres registrados en la base de datos EM-DAT sobre desastres y emergencias.

La gran cantidad de víctimas (personas muertas y afectadas) causadas por desastres asociados a eventos hidrológicos en el mundo, sigue mostrando el alto impacto de este tipo de sucesos. Para los años 2010 y 2011 Colombia se encuentra entre los diez países con desastres importantes en términos de la mortalidad causada por ellos. Los desastres reportados en los diez países tienen asociada el 97% (2010) y el 82,5% (2011) de la mortalidad mundial en esos años (CRED et al., 2011 y 2012) (Figura 1). En 2010, Colombia aparece también entre los países con los diez desastres más importantes en cuanto a víctimas asociadas a su ocurrencia (suma de personas muertas y de personas afectadas). Este grupo acumula el 87,6% de las víctimas causadas por desastres y emergencias en el mundo que fueron registradas en EM-DAT (CRED et al., 2011) (Figura 2). Colombia también aparece dentro del grupo de diez países con mayores pérdidas económicas causadas por desastres durante 2011, grupo que acumula el 87,7% de las pérdidas registradas durante el año (CRED et al., 2012) (Figura 2). En los dos años mencionados, los desastres ocurridos en Colombia para estar considerado como uno de los diez países con mayor mortalidad, víctimas o pérdidas económicas, se asocian con eventos hidrológicos.

Figura 1. Diez principales países en términos de la mortalidad causada por desastres ocurridos en 2010 y 2011 en el mundo y distribución por tipo de desastre de acuerdo con clasificación de la EM-DAT (CRED et al., 2011 y CRED et al., 2012)

2010			2011				
PAÍS	DISTRIBUCIÓN DEL DESASTRE	NÚMERO DE MUERTES	PAÍS	DISTRIBUCIÓN DEL DESASTRE	NÚMERO DE MUERTES		
Haití		222.641	Japón		19.975		
Rusia		55.844	Filipinas		1.933		
China		7.186	Brasil		978		
Pakistán		2.186	Tailandia		896		
India		1.405	India		852		
Indonesia		1.294	Estados Unidos		809		
Chile		562	China		746		
Colombia		528	Turquía		655		
Perú		497	Pakistán		511		
Uganda		388	Colombia		313		
	Climatológicos		Geofísicos		Hidrológicos		Meteorológicos

Figura 2. Diez principales países en términos de víctimas de desastres ocurridos en 2010 en el mundo y distribución por tipo de desastre de acuerdo con clasificación de la EM-DAT (CRED et al, 2011). Diez principales países en términos de pérdidas económicas asociadas con desastres ocurridos en 2011 en el mundo y distribución por tipo de desastre de acuerdo con clasificación de la EM-DAT (CRED et al, 2012).

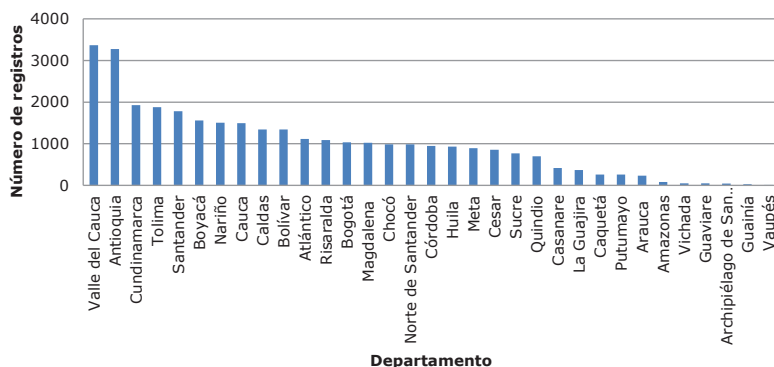
2010			2011		
PAÍS	DISTRIBUCIÓN DEL DESASTRE	NÚMERO DE VÍCTIMAS (MILLONES)	PAÍS	DISTRIBUCIÓN DEL DESASTRE	DAÑOS (BILLONES DE DÓLARES)
China		145,7	Japón		212,5
Pakistán		20,4	Estados Unidos		59,4
Tailandia		15,5	Tailandia		40,3
India		4,8	Nueva Zelanda		18,0
Haití		4,0	China		14,4
Filipinas		3,9	Australia		2,6
Chile		2,7	Pakistán		2,5
Somalia		2,4	Colombia		2,3
Colombia		2,2	Canadá		2,3
Zimbawe		1,7	India		2,0
Climatológicos	Geofísicos	Hidrológicos	Meteorológicos		

Los departamentos de Valle del Cauca y Antioquia son los que tienen mayor cantidad de registros en la base de datos DesInventar, selección de desastres con pérdidas en Colombia entre 1914 y 2011 (Figura 3).

Para la actualización del estado del recurso hídrico en el departamento de Antioquia, son de especial interés los registros de desastres asociados con tres eventos hidrológicos: inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales.

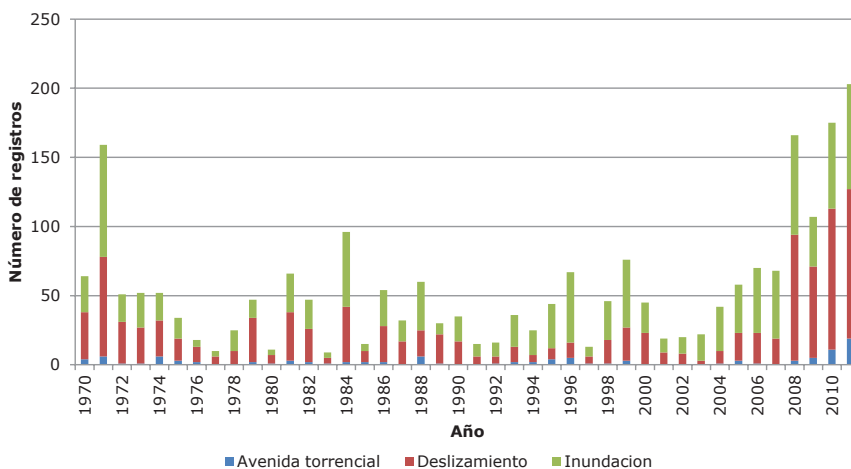
La Figura 4 presenta la distribución temporal en el período 1970-2011 de los desastres asociados con cada uno de los eventos de interés a partir de 1970, que equivalen a más del 90% de los registros de ese tipo que se han reportado en el departamento desde principios del siglo XX (Figura 4). Se observa una tendencia ascendente en la cantidad de registros entre 2008 y 2011, debido a que no puede asegurarse una información completa, tampoco puede afirmarse que este aumento corresponda en efecto a un aumento de los desastres.

Figura 3. Cantidad de registros de desastres con pérdidas por departamento en Colombia, entre 1914 y 2011, Fuente: DesInventar en Paredes, 2012.



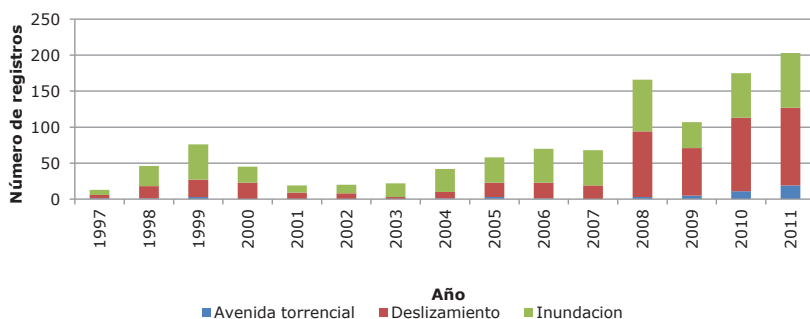
La década 1997-2007 fue tomada como referente para el análisis de la ocurrencia en la actualización 2007-2009 del macroproyecto. En la Figura 5, la distribución por tipos de eventos hidrológicos de interés muestra que de 479 registros, el 63% se asoció con eventos de inundación, el 34% con deslizamientos y el 2% con avenidas torrenciales, para los años 2008, 2009, 2010 y 2011 se observa un aumento notable en la cantidad de registros por año y un cambio en la distribución por tipo de evento, ya que para estos cuatro años, de 651 registros el 38% se asoció con eventos de inundación, el 57% con deslizamientos y el 5% con avenidas torrenciales (Figura 5)

Figura 4. Distribución temporal de la cantidad de registros de desastres asociados con eventos hidrológicos en Antioquia: inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales, para el periodo 1970-2011.



Fuente: DesInventar.

Figura 5. Distribución temporal de la cantidad de registros de desastres asociados con eventos hidrológicos en Antioquia: inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales, para el período 1997-2011.



Fuente: DesInventar.

3.2.2 Distribución espacial de los registros de desastres

Los inventarios de desastres, además de suministrar la información que permite observar la evolución en el tiempo de los registros de ocurrencias por tipos de eventos que los causan, están asociados a la información espacial que por sí misma permite identificar regiones del territorio con cierta tendencia a la ocurrencia de desastres, y a partir de allí se hace posible identificar prioridades en procesos de conocimiento y reducción del riesgo, y para determinar la asistencia humanitaria de diferentes niveles. A medida que la información del desastre puede llevarse a una escala espacial de mayor detalle, se convierte en una mejor herramienta para generar opciones de gestión preventiva frente al riesgo y no solo reactiva para una comunidad en condiciones particulares. De tal manera que la historia de desastres ocurridos en cierto entorno permee de manera continua la planeación del territorio guiada por los gobiernos, y en consecuencia, se formulen las acciones integrales de gestión ante riesgos remanentes.

La resolución espacial de los registros en la base de datos DesInventar corresponde a la unidad municipal. Para un mejor análisis de la información de desastres, sigue haciendo falta el registro de la ubicación exacta del desastre para que sea posible relacionar los eventos entre sí y asociarlos con información hidrológica (espacial y temporal) o factores de ocupación del territorio, que caracterizan los asentamientos

humanos afectados por el desastre. En este documento se presenta la distribución espacial de los registros de desastres a escala municipal y también agrupada en las nueve subregiones del departamento que reúne a los 125 municipios: 11 municipios en Urabá, 23 en Oriente, 6 en Bajo Cauca, 10 en el Valle de Aburrá, 17 en el Norte, 10 en el Nordeste, 6 en Magdalena medio, 23 en Suroeste y 19 en Occidente.

Se retoma aquí el análisis realizado en la actualización anterior en la que se identificaron los años que superaron cierto número de registros para cada uno de los eventos de interés entre 1997 y 2007, para presentar en comparación con ellos la distribución espacial de los registros de desastres asociados con eventos hidrológicos en Antioquia en 2008, 2009, 2010, 2011.

En la Figura 6 se muestra la distribución de los registros de desastres asociados con eventos de inundación en el departamento de Antioquia para los años 1999, 2006 y 2007, que son los años de la década 1997-2007 que superan 42 registros anuales por inundación. Los años 2008, 2010 y 2011 superan la cantidad de 42 registros. En el año 2009 se registraron 36 desastres en municipios de Antioquia asociados con eventos de inundación. Entre 2008 y 2011, se presentaron en promedio anual 62 registros de desastres asociados con inundaciones frente a 163 promedio anual de registros por eventos hidrológicos (inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales), en la década 1997-2007 se identificó que en 1999, año con mayor cantidad de registros asociados con inundación, fueron 33 los municipios afectados en el departamento. En el período 2008-2011 se observa que en el año 2008 fueron 45 municipios los afectados por inundaciones y que 2011 fue el año con mayor cantidad de registros por este evento.

La Figura 7, muestra la distribución de los registros de desastres asociados con eventos de inundación en el departamento de Antioquia en las nueve subregiones estratégicas. Todas las subregiones presentaron desastres asociados con eventos de inundación. En 2008 y en 2010 la subregión de Urabá (agrupa 11 municipios) tuvo más de 16 registros de desastres por inundaciones.

Entre 2008 y 2011 se registraron 651 desastres en Antioquia asociados con eventos hidrológicos, el 57% de los registros se asociaron con deslizamientos que afectaron entre el 33% (41) y el 51% (64) de los municipios del departamento como se detalla para cada año en la Figura 8. En comparación con los años de mayor cantidad de registros asociados con deslizamientos en la década de 1997 a 2007, los últi-

mos cuatro años (2008-2011) presentan cantidades anuales de estos registros que al menos duplican lo registrado en 1999 y 2002; en particular, en 2010 y 2011 son cantidades cuatro veces mayores.

La Figura 9 muestra la distribución de los registros de desastres asociados con eventos de deslizamiento en las nueve subregiones estratégicas del departamento de Antioquia. En 2008 y 2009 no se registraron en la base de datos desastres asociados con eventos de deslizamiento en los municipios de la subregión Urabá, en 2010, la subregión del Bajo Cauca no presenta registros asociados con deslizamientos.

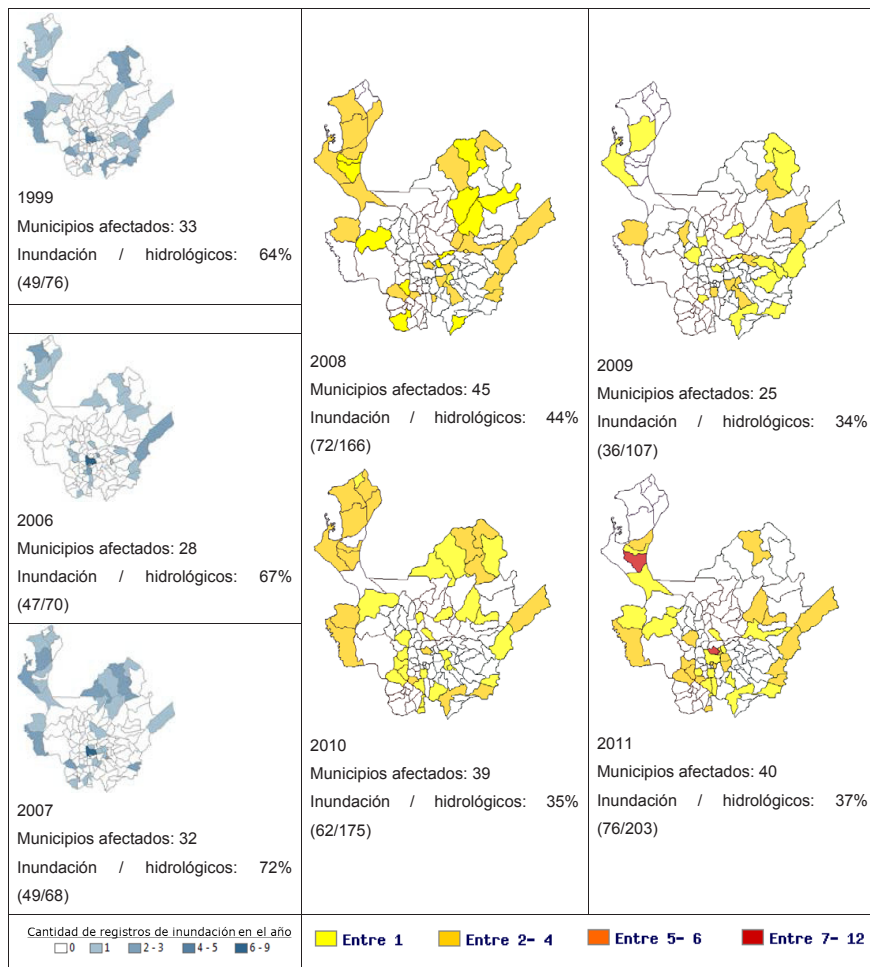
Para la subregión del Suroeste (agrupa 23 municipios) y la subregión del Oriente (agrupa 23 municipios) se registraron más de 16 desastres por año asociados con deslizamientos, en 2008, 2010 y 2011 para la primera y en 2009, 2010 y 2011 para la segunda.

Los registros de desastres asociados con avenidas torrenciales no fueron más del 5% del total de registros de desastres relacionados con eventos hidrológicos en la década de 1997 a 2007, y los años de mayor cantidad de registros en esa década (1999 y 2005) no superaron tres registros por año, ni afectaron más de tres municipios, la Figura 10 muestra que para el período 2008 - 2011, la cantidad de registros asociados con este tipo de eventos aumentaron por año, y alcanzaron a afectar hasta 15 municipios del departamento en 2011.

La Figura 11 muestra la distribución espacial de los registros por subregión estratégica. La subregión del Bajo Cauca no presentó desastres asociados con avenidas torrenciales entre 2008 y 2011, en comparación con la subregión del Suroeste que presentó más registros de este tipo en los cuatro años, en 2010, la subregión del Oriente presentó la mayor cantidad de desastres asociados con avenidas torrenciales ocurridas en una misma subregión entre 1997 y 2011. Debe considerarse que las condiciones topográficas e hidrometeorológicas de las cuencas hidrográficas del departamento de Antioquia, favorecen el desarrollo de inundaciones súbitas o avenidas torrenciales, aunque en la base de datos DesInventar sea común que los registros de desastres asociados con estos eventos o con las inundaciones lentas, se clasifiquen de manera general como inundaciones.

En la Tabla 17, se presenta la cantidad de desastres asociados con eventos hidrológicos por unidad de área, teniendo como referencia espacial las nueve subregiones estratégicas de Antioquia-

Figura 6. Distribución espacial por municipios de los registros de de-sastre asociados con eventos de inundación en Antioquia 2008, 2009, 2010, 2011, frente a los años de mayor cantidad de ese tipo de registros en la década 1997 - 2007



ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

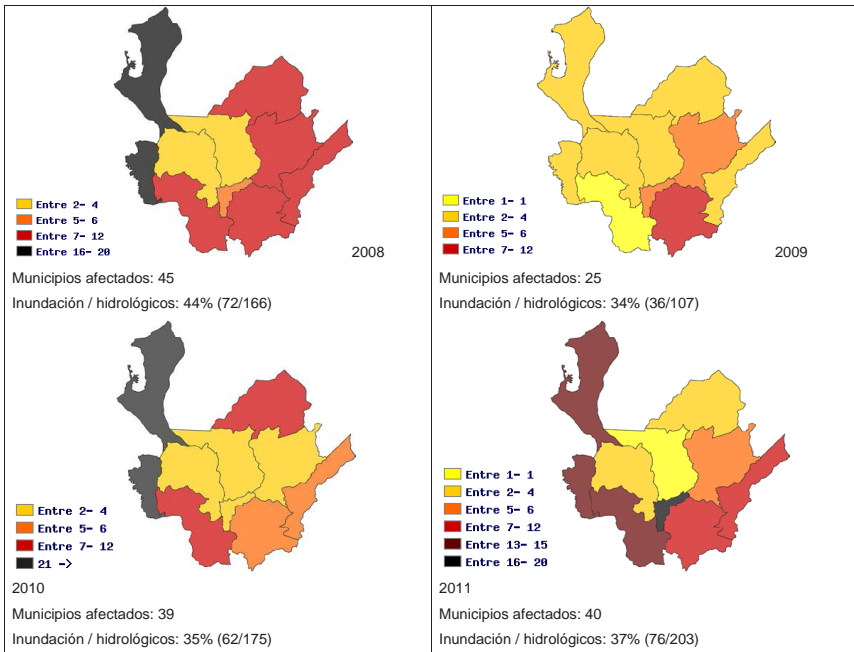


Figura 7. Distribución espacial por subregiones estratégicas de los registros de desastres asociados a eventos de inundación en Antioquia en 2008, 2009, 2010 y 2011.

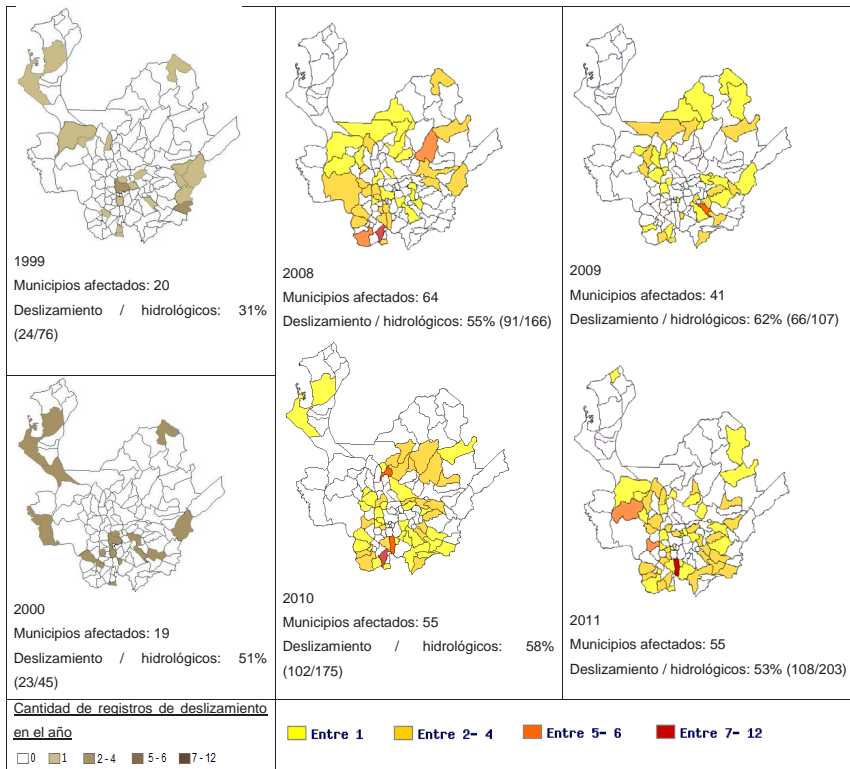


Figura 8. Distribución espacial por municipio de los registros de desastres asociados con eventos de deslizamiento en Antioquia en 2008, 2009, 2010 y 2011, frente a los años de mayor cantidad de ese tipo de registros en la década 1997-2007.

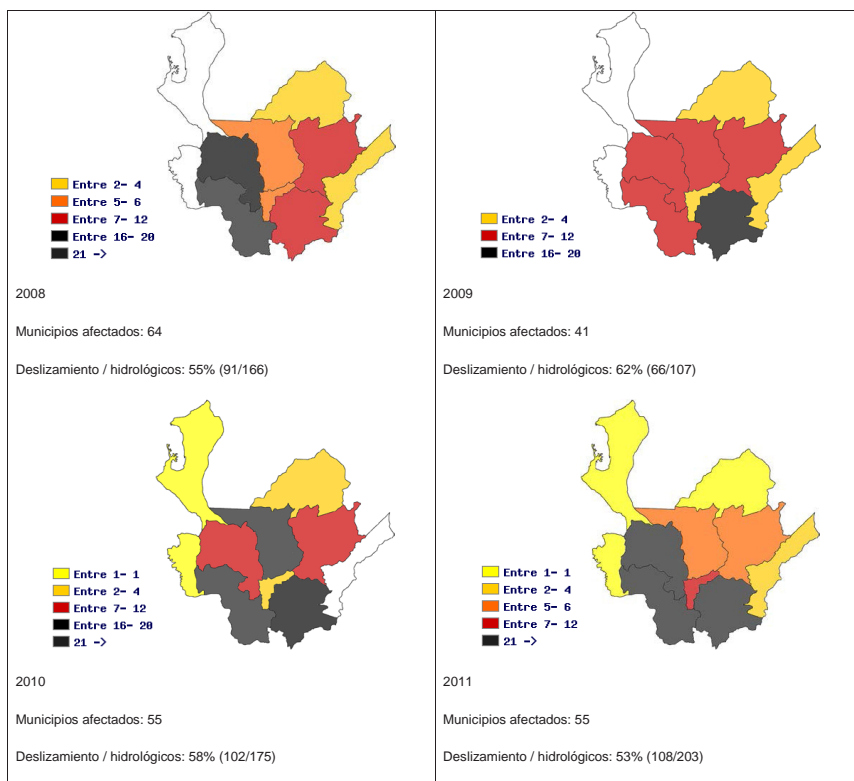


Figura 9. Distribución espacial por subregiones estratégicas de los registros de desastres asociados con eventos de deslizamiento en Antioquia en 2008, 2009, 2010 y 2011.

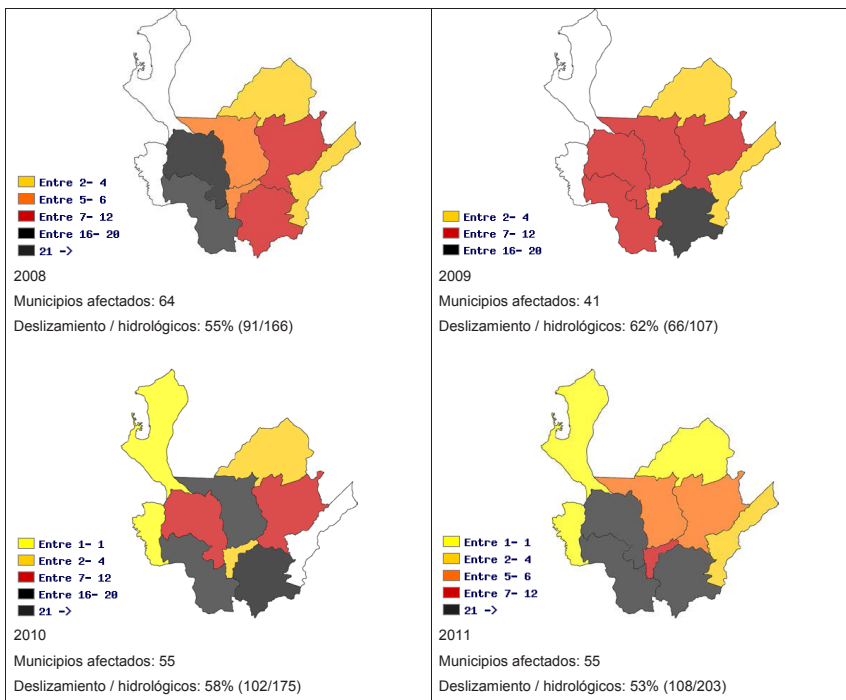


Figura 10. Distribución espacial por municipio de los registros de desastres asociados con eventos de avenida torrencial en Antioquia en 2008, 2009, 2010 y 2011, frente a los años de mayor cantidad de ese tipo de registros en la década 1997-2007.

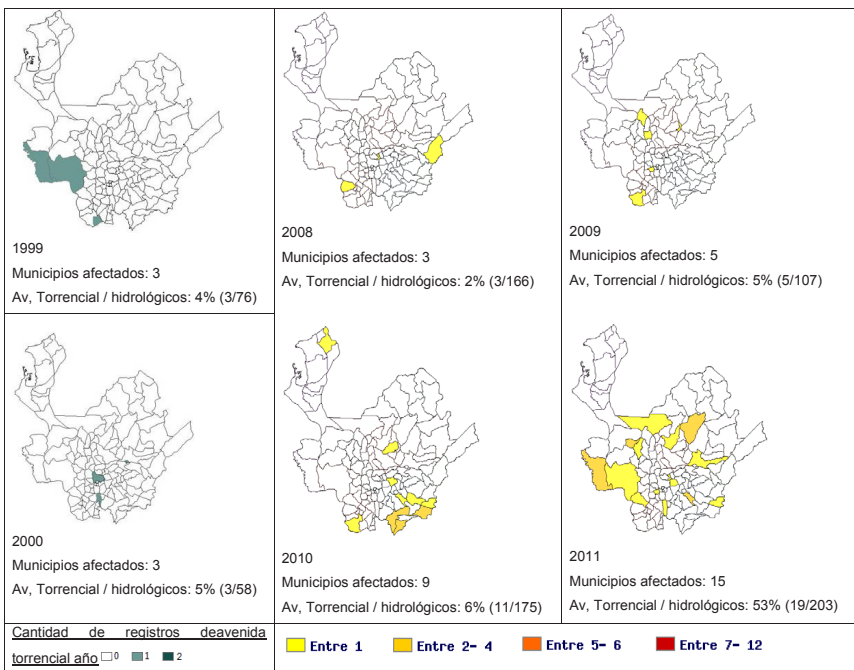


Figura 11. Distribución espacial por subregiones estratégicas de los registros de desastres asociados con avenidas torrenciales en Antioquia en 2008, 2009, 2010 y 2011.

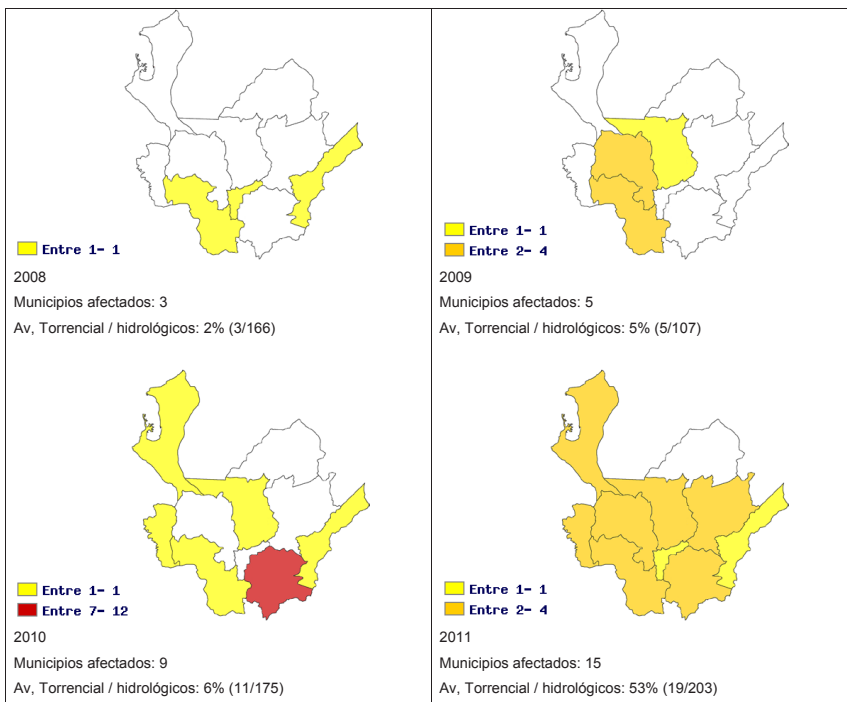


Tabla 1. Cantidad de desastres por área en las subregiones del departamento de Antioquia

SUBREGIONES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	SUPERFICIE (km ²)(1)	CANTIDAD DE REGISTROS DE DESASTRES POR EVENTOS DE INUNDACIÓN, DESLIZAMIENTO Y AVENIDAS TORRENCIALES			CANTIDAD DE REGISTROS POR CADA 1.000 km ²		
		1970-2007	1997-2007	2008-2011	1970-2007	1997-2007	2008-2011
Valle de Aburrá	1.152	427	136	51	371	119	45
Suroeste	6.513	284	73	160	44	12	25
Urabá	11.664	167	66	63	15	6	6
Bajo Cauca	8.485	166	57	31	20	7	4
Occidente	7.294	137	39	76	19	6	11
Oriente	7.021	122	38	117	18	6	17
Magdalena Medio	4.777	108	24	39	23	5	9
Norte	7.390	102	20	54	14	3	8
Nordeste	8.544	76	15	60	9	2	7

(1) Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Antioquia, 2008

3.3 PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS CLAVE PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN

Paredes (2012) revisa los sistemas para la prevención y atención de desastres desde el nivel nacional hasta el municipal. El 24 de abril de 2012 el gobierno sancionó y publicó la Ley 1523 de 2012, mediante la cual adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, incorporando en la gestión del riesgo de desastres lo que en normas anteriores se denominaba prevención, atención y recuperación de desastres, manejo de emergencias y reducción de riesgos.

El Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), hoy Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, “lleva a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano, mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida y

contribuir al desarrollo sostenible” (artículo 6 de la Ley 1523 de 2012), el sistema Nacional, coordinado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (creada por el Decreto 4147 del 3 de noviembre de 2011), tiene definidos cuatro componentes mediante los cuales garantiza la gestión del riesgo en el país: la estructura organizacional, los instrumentos de planificación, los sistemas de información y los mecanismos de financiación (ver Tabla 2).

El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, antes denominado Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (PNAD), es el instrumento del Sistema para definir “los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante los cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo nacional” (artículo 33 de la Ley 1523 de 2012), siendo guía para la definición de planes departamentales, distritales y municipales de gestión del riesgo y estrategias de respuesta en su respectiva jurisdicción, con programas y proyectos que se integrarán en los planes de ordenamiento territorial, de manejo de cuencas y de desarrollo departamental, distrital o municipal.

Se plantea por parte de la administración nacional, que el riesgo es competencia de la administración pública y de la participación de la comunidad, que para afrontar los eventos naturales se debe comenzar por un entendimiento y conocimiento de los tipos de eventos presentados, y a partir de esto, definir procesos en gestión del riesgo e implementarlos. La relación entre el riesgo y el desarrollo departamental y municipal, es una de las razones por las que los planes del riesgo se convierten en parte fundamental de la labor de la administración pública para cualquier departamento y municipio, ya que la comunidad está bajo la responsabilidad de tal administración. En los procesos de gestión del riesgo en los departamentos y los municipios, el liderazgo recae sobre los Consejos Territoriales de Gestión del Riesgo, que reemplazan a los antes denominados Comités Regionales y Locales para la Atención y Prevención de Desastres (CREPAD, CLOPAD). Estos consejos están encargados de la implementación de los procesos de gestión del riesgo incluyendo el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres en el área de su jurisdicción.

Tabla 2. Componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de acuerdo con la Ley 1523 de 2012.

PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (LEY 1523 DE 2012)			
ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN	SISTEMAS DE INFORMACIÓN	MECANISMOS DE FINANCIACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo. • Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <ul style="list-style-type: none"> • Tres Comités Nacionales: Conocimiento del Riesgo, Reducción del Riesgo, Manejo de desastres. • -Consejos departamentales, distritales y municipales para la Gestión del Riesgo (reemplazan los CREPAD y los CLOPAD). <p>Las Corporaciones Autónomas Regionales son integrantes del Sistema Nacional que cumplen funciones de apoyo a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres,- Estrategia Nacional para la Respuesta a Emergencias. <ul style="list-style-type: none"> • Planes departamentales, distritales y municipales de gestión del riesgo y estrategias de respuesta. • Los planes de ordenamiento territorial, de manejo de cuencas hidrográficas y de planificación del desarrollo deben incorporar los procesos de gestión del riesgo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres, Integra contenidos de todas las entidades nacionales y territoriales, Fomenta la generación y uso de la información sobre el riesgo de desastres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fondo Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (antes denominado Fondo Nacional de Calamidades). • Fondos territoriales para gestión del riesgo.

La Ley 1523 de 2012 es explícita en el deber de la integración de la gestión del riesgo en la planificación territorial y del desarrollo en los diferentes niveles del gobierno, define un plazo no mayor a un año, posterior a la fecha de sanción de la ley, para que las entidades territoriales revisen y ajusten los planes de ordenamiento territorial y de desarrollo municipal y departamental incluyendo el proceso de gestión del riesgo.

La Ley 1523 define pues un Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, un Plan Nacional, una estructura organizacional, también detalla unos instrumentos de planificación directamente involucrados con la ordenación del territorio y del desarrollo, previstos sistemas de información y mecanismos de financiación. Sin embargo, hasta ahora la dinámica de acción en el tema de gestión del riesgo de desastres se ha centrado en la atención, evidenciando una situación de desarticulación entre la gestión de riesgos y la ordenación del territorio, que se espera cambie bajo la nueva organización normativa.

Como parte de esta actualización del macroproyecto: Crecidas, torrentes y asentamientos humanos, se plantea una propuesta de análisis que involucra elementos existentes de planeación técnica, administrativa, jurídica y política del territorio para ser analizados en conjunto, De tal manera que permitan de forma dinámica conocer y entender el riesgo por inundación que es recurrente para unas condiciones específicas de geografía y ocupación humana del territorio (microcuencas), y a partir de allí proponer procesos de gestión del riesgo de desastres (conocimiento y reducción del riesgo), tal como recientemente se ha definido desde la administración nacional.

3.3.1 Descripción de la propuesta

La diversidad geográfica de un territorio, la heterogeneidad cultural y socioeconómica de las comunidades que se asientan y se benefician de él y la variedad que ofrecen las unidades político-administrativas que lo gobiernan, son elementos orientadores del diseño de intervenciones de ordenamiento de ese territorio para atender visiones de desarrollo a mediano y largo plazo. Cada uno de los elementos tiene una dinámica propia y otra dinámica de interrelación con los demás. Esas dinámi-

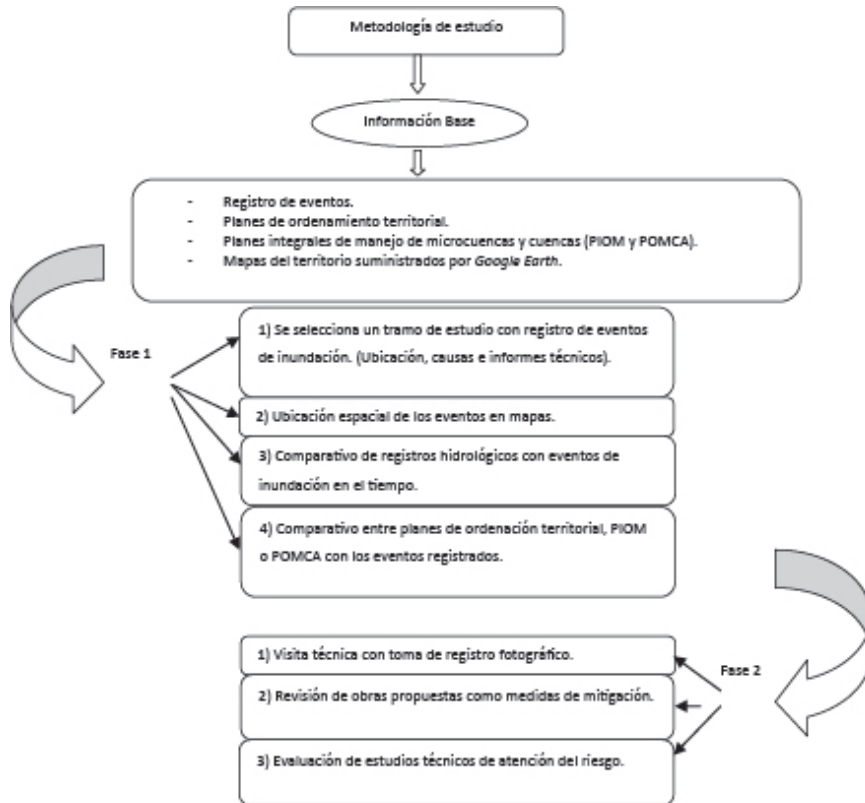
cas requieren una revisión continua que permita hacer de las intervenciones de ordenamiento una respuesta prospectiva oportuna a las necesidades del territorio, tanto desde sus particularidades ambientales, económicas y sociales, como desde la gestión frente a las condiciones de riesgo generadas por el cambio en la diversidad geográfica con el actuar del asentamiento humano.

La ocupación urbana de las planicies de inundación de ríos y quebradas ha representado históricamente una intervención directa del cauce que involucra cambios en la dinámica funcional de la cuenca como un ecosistema, la misma que se considera como unidad espacial ideal para realizar la planificación del territorio. La conectividad hidrológica y geomorfológica entre los hábitats asociados con el cauce es crítica para mantener la biodiversidad, la productividad, la atenuación de crecientes, el control de cargas de nutrientes, la mejora de la calidad del agua, la regulación como trampa de sedimentos y la promoción de la recarga de acuíferos (Wheaton, 2005). La intervención de las corrientes urbanas en nuestro país no ha obedecido a un plan que involucre adecuadamente el entendimiento del sistema hídrico dentro del ordenamiento del territorio. Los patrones de intervención y manejo han ocasionado incremento en la magnitud y frecuencia de los eventos de creciete y en el aporte de sedimentos y contaminantes a la corriente, así como pérdida de la biota asociada y modificación, cuando no pérdida, de los beneficios ambientales asociados a la cuenca.

En general, el incremento en el riesgo del ecosistema frente a ciertas amenazas como la de inundación, es consecuencia del cambio en la vulnerabilidad asociada con la modificación directa de los factores físicos donde se desarrolla. En este sentido, se propone analizar la relación entre cuatro elementos que llaman a la reflexión cuando se identifica una ocurrencia reiterativa de desastres asociados con inundaciones en un territorio que ha sido objeto de ejercicios concertados de planeación. La propuesta de análisis se estructura en dos fases que agrupan actividades relacionadas con la revisión de los cuatro elementos (Figura 12).

- Elemento 1: registros de desastres asociados con eventos de inundación,
- Elemento 2: hidrología,
- Elemento 3: planes de ordenamiento municipales y de cuencas,
- Elemento 4: estudios e informes técnicos.

Figura 12. Propuesta para el análisis de elementos clave para la gestión del riesgo, caso eventos de inundación (Paredes, 2012).



En la primera fase se llevan a cabo las siguientes actividades:

1) En cada caso de estudio se selecciona un tramo de referencia de una corriente con registros de desastres asociados con eventos de inundación, tales registros deben encontrarse de preferencia en las bases de datos (p.e, en la de DesInventar). El estado de estos registros es el primer indicativo de la gestión del riesgo, se espera que cada registro se acompañe de la ubicación del desastre, sus causas, y los informes técnicos, de acuerdo con el nivel de detalle se puede determinar la capacidad y la preparación de las organizaciones de atención del riesgo y de la administración pública.

2) Con la información del registro se procede a la ubicación espacial del evento en un mapa, cada municipio debe tener mapas digitales de su jurisdicción. En este trabajo se ha utilizado la información que ofrece Google Earth, suficiente para los propósitos y el alcance de la investigación.

3) Otra información importante son los registros hidrológicos. Tales registros tienen una estrecha relación con los eventos, permitiendo la identificación del riesgo de acuerdo con los valores de precipitación.

4) Todo municipio cuenta con un Plan de Ordenamiento Territorial y en algunos casos con Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de Microcuencas (PIOM) o de Cuencas Hidrográficas (POMCH). Estos planes son revisados a la luz de los registros de los desastres. En este caso se hace posible evaluar la validez de los planes mediante su correspondencia con los registros.

La segunda fase de la metodología consiste en seleccionar una localidad específica con desastres recurrentes y adelantar las siguientes actividades:

- 1) Visita con toma de registro fotográfico.
- 2) Verificación de las obras (estructurales y no estructurales) propuestas para el lugar como medidas de mitigación.
- 3) Evaluación de los estudios técnicos para atender el riesgo.

3.3.2 Análisis de eventos de inundación en sitios específicos de tres municipios del departamento (aplicación de la propuesta).

La propuesta que ha sido descrita se aplica para tres municipios del departamento: Rionegro, Bello y Medellín. A continuación se recogen las principales conclusiones que resultaron de este análisis que detalla Paredes (2012) en el trabajo titulado “Evaluación de sitios inundados en el departamento de Antioquia, un estudio de casos”.

- Caso de Estudio 1: Municipio de Rionegro

- El contar con los eventos georreferenciados permitió la comparación con las zonas definidas en el POT y evaluar la delimitación de estas zonas, la comparación de la ubicación de los eventos de inundación con el POT demuestra que la definición de las denominadas: “Zona de Riesgo Inundable” y la de “Riesgo Posiblemente Inundable”, no corresponde con los eventos, dado que algunos de ellos han ocurrido por fuera de estas zonas, demostrando que tales zonas deben extenderse más de lo que define el POT.
- En el POT se ha incluido como estrategia la recuperación del cauce por medio de la construcción de un parque lineal a lo largo del río Negro, esto incluye entre las obras de mitigación y control del riesgo, la reubicación de las viviendas vulnerables en las riberas del río, Aunque esta disposición existe dentro del POT, las obras de reubicación que se han hecho han sido obligadas por los efectos de los eventos de inundación, y no como parte de un plan de prevención de la administración municipal, casos como el de este estudio (Centro Comercial Córdoba) no previenen de futuros eventos sino que tan solo mitigan una situación indeseable.
- El POT debe recoger los resultados de estudios técnicos realizados en zonas de riesgo, Si bien para el municipio de Rionegro se cuenta con análisis para su corriente principal (el río Negro), no se toman suficientes medidas preventivas para la protección de la población.
- La inversión para la prevención y atención del riesgo no parece responder a un

plan bien definido, sino tan solo a la atención de los eventos por inundación. Un problema de ordenamiento y control del territorio que parece estar más en manos de la naturaleza que de los administradores públicos, debido a ello los costos de inversión son altísimos y en muchos de los casos para acciones temporales.

- El dragado del río y la estabilización de taludes son medidas que pudieran ser útiles para el control del riesgo. Sin embargo, deben corresponder a un plan técnico que considere la corriente como un sistema y no tan solo los sitios de afectación, ignorar la visión de sistema podría trasladar el problema a los tramos vecinos. Desafortunadamente no se reconoce todavía una visión de restauración de corrientes y mucho menos de los elementos que ésta requiere.

- Sumado a los problemas de inundación por el río, resultan otros por el sistema de alcantarillado del municipio. El mal uso de este sistema, en especial por la acumulación de basuras, provoca que colapse precisamente en tiempos de fuertes precipitaciones por la disminución de su capacidad de transporte. esto sucedió en el Centro Comercial Córdoba.

- La actualización del POT debería ser periódica, de manera que la administración pública pudiera incluir los lineamientos de aquel, en su plan de desarrollo. La conexión entre POT y administración pública es un asunto que requiere todavía de muchos ajustes. Lo que se ha visto en este caso es que a pesar del POT no se aprecia que las acciones de la administración sigan sus directrices.

- Obras temporales para la atención de las inundaciones pueden convertirse en un problema mayor en las zonas vecinas a la atención del desastre. Las altas inversiones llevadas a cabo por la administración de Rionegro en el barrio Las Playas puede ser un ejemplo de esto.

- Caso de Estudio 2: Municipio de Bello

- La falta de información primaria, de medición de variables hidrológicas y geográficas, dificulta la planificación del territorio y la definición del riesgo, para el caso de la quebrada El Hato, la información es todavía muy deficiente.

- En el caso del municipio de Bello, los registros de eventos no cuentan con la ubicación exacta en las bases de datos. Los datos en DesInventar solo informan el barrio al que corresponde el evento. Esto impide la revisión de la delimitación de las zonas de riesgo como sí se pudo hacer para el municipio de Rionegro.
- De acuerdo con los registros de artículos de prensa, en la quebrada El Hato, las zonas donde se han presentado los eventos de inundación coincide con la ubicación de las obras de control.
- Las principales obras de control en la quebrada El Hato son barreras de contención como muros en concreto a lo largo del cauce que fueron diseñados para controlar los desbordamientos. Sin embargo, estos diseños deben revisarse ya que las obras han resultado insuficientes y posiblemente agudicen el problema en los tramos vecinos.
- Para la quebrada El Hato se ha definido en el POT el desarrollo de un parque lineal como una forma de ordenamiento y defensa del territorio. Sin embargo, es una obra que no se ha ejecutado.
- La “Zona de Riesgo No Mitigable” incluye poblaciones asentadas que por su vulnerabilidad son susceptibles de la ocurrencia de un desastre. Adoptar medidas de mejoramiento de la vulnerabilidad no garantiza la seguridad de estas poblaciones, siendo preferible su reubicación.

- Caso de Estudio 3: Municipio de Medellín

- La quebrada La Picacha es una de las corrientes dentro del Plan de Manejo y Ordenación de la Cuenca del río Aburrá (POMCA) que se propone como corredor ribereño para conservación ambiental. Se reconoce aquí una tendencia general por parte de las administraciones municipales de transformar zonas de afectación de inundaciones por zonas de conservación ambiental.
- El POT del municipio de Medellín define una zona de retiro para la quebrada La Picacha que es insuficiente para abarcar las zonas afectadas por los eventos de inun-

dación. Se requiere por lo tanto una actualización de esta delimitación en el POT.

- Existe una tendencia a que los estudios hidrológicos vayan encaminados al control del riesgo mediante el control de la inundación y no mediante el del territorio. Esta tendencia puede provocar que cada vez el problema del riesgo se agudice no solo para las zonas directamente afectadas sino para aquellas zonas vecinas a las cuales llegue a trasladarse la afectación con la medida de control. Por ejemplo, en el tramo de la quebrada La Picacha, la inversión en obras de mitigación consistió en rehabilitar la canalización destruida por el evento.

- Una de las medidas de control de inundación más comunes es la canalización de las corrientes superficiales. La canalización, sin embargo, produce enormes cambios no solo en la corriente, sino también en la cuenca. Trae consigo además afectación en el ambiente natural, Sin embargo guías de desarrollo como los POT no incluyen todavía conceptos propios de miradas más holísticas como lo son la restauración de cauces. Miradas que además incluyan elementos culturales que amplíen la visión hacia las corrientes superficiales, para que dejen de ser vistas como causas de inundaciones, riesgos y desastres y puedan llegar a incorporarse como fuente de bienestar para la vida de las comunidades.

3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La actualización de los registros ha mostrado un aumento en los eventos hidrológicos en 2010 y 2011 y un cambio en la distribución por tipo de evento. Para los años 2008 a 2011 se cuenta con 651 registros, 57% por deslizamientos, 38% por inundación y 5% por avenidas torrenciales.

La estructura general de los sistemas de prevención y atención del riesgo, sea de nivel nacional, departamental o municipal, parecen cumplir más acciones de atención que de prevención. Las acciones de atención son la respuesta que toda administración debe cumplir con su comunidad, pero si no se acompañan de planes de prevención, no irán más allá de consumir recursos.

Medidas de control de inundaciones, son una forma de medidas de control del

riesgo principalmente de tipo estructural. Lo que se ha visto en los tres casos presentados es que el riesgo por inundación lleva, por lo general por parte de las administraciones públicas, a la ejecución de obras para alterar el cauce ya sea mediante el dragado o la construcción de muros de contención y canalizaciones. Poco se contempla la reubicación de la población, a no ser en casos extremos donde la zona ya se vuelve inhabitable. Es pues el suceso natural quien finalmente obliga a tomar esta medida, mas no una adecuada planificación del territorio.

La Ley 1523 de 2012, publicada el 24 de abril, enmarca sus temas en el concepto de Gestión del Riesgo de Desastres, que incluye los procesos de conocimiento y reducción del riesgo de desastres y de manejo de desastres. Allí se incorpora todo lo que en normas anteriores se denominaba prevención, atención y recuperación de desastres. La norma es explícita en que las entidades del Sistema Nacional formularán e implementarán planes de gestión del riesgo, cuyos programas y proyectos deberán integrarse en los planes de ordenamiento territorial, de manejo de cuencas y de desarrollo departamental, distrital o municipal.

Aunque el POT es el mecanismo de planificación del territorio, los tres casos que se han presentado muestran que las zonas de riesgo no están bien delimitadas en el POT. El POT no responde así con efectividad a la planificación del territorio. Esta grave “vulnerabilidad” del POT tiene además dos caras. De un lado, la falta de estudios técnicos de buena calidad, la falta de visiones más holísticas de ciudad, en particular en lo que se refiere a las corrientes superficiales (por ejemplo, el desconocimiento de metodologías para la restauración de cauces y medidas de tipo biotecnológico). Y por el otro lado, la falta de articulación del POT con los desarrollos de la administración municipal. En cuanto a lo primero, es difícil aspirar a estudios técnicos de calidad si no se incluye en las acciones de la administración municipal estudios de diagnóstico y prevención del riesgo con una visión más amplia, en la que se consideren no solo medidas estructurales para el control del riesgo sino también no estructurales (por ejemplo una legislación efectiva para el control de zonas de ribera). Es decir, tener reales procesos de conocimiento y reducción del riesgo que identifiquen, analicen y evalúen escenarios de riesgo, lleven a cabo seguimientos que retroalimenten la definición de escenarios y permitan incorporar medidas de mitigación y prevención adoptadas con antelación ya sea frente a la amenaza, la

exposición o la vulnerabilidad asociadas a un riesgo de desastre. En cuanto a la articulación del POT con la administración municipal, la dificultad parece ser aún mayor. La falta de cumplimiento del POT por parte de las administraciones no solo lo hace ineficaz sino además obsoleto.

La metodología que se ha propuesto y aplicado en los casos que se han evaluado, ha pretendido mostrar que se cuenta con elementos para el análisis del riesgo. Que se requiere sobre todo más compromiso por parte de los Sistemas para la Prevención y Atención del Riesgo y por parte de las administraciones nacionales, departamentales y municipales.

3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ**, (2010). Gestión ambiental metropolitana 2010. Medellín: AMVA.
- **CTA (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia)** (2010). Actualización del estado del arte del recurso hídrico en el departamento de Antioquia 2007-2009. Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua. Medellín.
- **CRED; OMS; Universidad Católica de Lovaina** (2011). Annual Disaster Statistical Review 2010. The numbers and trends. Disponible en Internet: http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2010.pdf
- **CRED; OMS; Universidad Católica de Lovaina** (2012) Annual Disaster Statistical Review 2011. The numbers and trends. Disponible en Internet: http://cred.be/sites/default/files/2012.07.05.ADSR_2011.pdf
- **DesInventar**. Base de datos. Disponible en Internet: <http://online.desinventar.org/>
- **EM-DAT**. Base de datos. Bruselas. Disponible en Internet: <http://www.emdat.be/>
- **PAREDES PEÑA, DIEGO FERNANDO** (2012). Evaluación de sitios inundados en el departamento de Antioquia. Un estudio de casos. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- **REPÚBLICA DE COLOMBIA** (2011). Decreto 4147 del 3 de noviembre de 2011.
- **REPÚBLICA DE COLOMBIA** (2012). Ley 1523 del 24 de abril de 2012.
- **SANTANA RODRÍGUEZ, LUIS MARINO; ESCOBAR MARTÍNEZ, FRANCISCO**. Las bases de datos globales y SIG en la toma de decisiones: oportunidades y limitaciones. 2005. Disponible en Internet: <http://www.ua.es/grupo/giecryal/>

documentos/docs/L.M.%20Santana.pdf

- WEATHON, J. M. (2005). Review of river restoration motives and objectives. Recuperado el 2010, de University of Southampton. Disponible en Internet: <http://www.geog.soton.ac.uk/users/wheatonj/downloads/motivesandobjectives.pdf>

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012



CAPÍTULO 4

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS¹

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas, el reconocimiento de los servicios ambientales o ecosistémicos ha adquirido mayor importancia y uso en las políticas globales de conservación (Bastian et al. 2011). Este concepto fue inicialmente introducido por Costanza et al. (1997), quienes evidenciaron la contribución fundamental de éstos al bienestar de la población mundial y el soporte al funcionamiento de los sistemas bióticos del planeta. Los servicios ecosistémicos fueron formalmente definidos por las Naciones Unidas en el Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas.

Dado que la mayoría de los servicios ecosistémicos resultan de procesos y funciones derivados de interacciones entre los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas, el macroyecto anteriormente denominado “Interacciones Agua-Suelo-Vegetación” cambió su nombre por el de “Servicios ecosistémicos”, de modo que fuera posible incorporar a su alcance los desarrollos que en el departamento se han hecho, en la valoración de las funciones y servicios que se derivan de las relaciones entre la vegetación, los suelos y los componentes del balance hídrico. Adicionalmente, se considera que esta nueva denominación se ajusta en mayor medida a la terminología utilizada actualmente en los ámbitos académico, político y de la comunidad en general. En este documento se pretende continuar con la recopilación de los estudios sobre las interacciones entre estos recursos, asociarlos con los servicios que prestan los ecosistemas y asimismo, analizar el estado de avance en el tema de los servicios ambientales para las subregiones de Antioquia.

En Colombia, los términos servicios ecosistémicos y servicios ambientales son usados como sinónimos, y se han asociado principalmente con la valoración económica de los beneficios derivados de los procesos y funciones de los ecosistemas. Este uso está de acuerdo con la literatura académica internacional y el desarrollo concep-

¹ Servicios ecosistémicos.

Elaborado por: María del Pilar Arroyave M. Ingeniera Forestal, MSc en Ecosistemas Terrestres y Acuáticos; María Elena Gutiérrez L. Ingeniera Ambiental, M.Sc en biología de la conservación. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Juan Camilo Villegas P. Ingeniero Ambiental, M.Sc en Bosques y Conservación Ambiental y PhD en Recursos Naturales, ciencias de la cuenca y eco hidrología. Universidad de Antioquia.

tual del campo de los servicios, que provienen principalmente de las disciplinas relacionadas con la economía ambiental. Es así como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) formuló en el año 2008 la Estrategia Nacional de Pago por Servicios Ambientales (MAVDT, 2008) con el fin de “diseñar e implementar instrumentos que coadyuven a la conservación y recuperación de los recursos naturales y los servicios ambientales que proveen, con el consecuente beneficio para la calidad de vida de la población”. Sin embargo, el término servicios ecosistémicos ha sido adoptado como el término estándar en la literatura científica internacional desde que fue formalizado por las Naciones Unidas en el MEA (2005).

De acuerdo con el MEA (2005), dichos servicios pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- Servicios de provisión: son los productos materiales obtenidos de los ecosistemas, incluyendo alimentos, agua, maderas y fibras.
- Servicios de regulación: son los beneficios resultantes del sostenimiento de los procesos ecosistémicos, como la regulación del clima e inundaciones, la calidad del agua y del aire, la captura de carbono y el control de enfermedades humanas.
- Servicios culturales: son los beneficios no materiales provenientes de la percepción de los ecosistemas, como la recreación, la belleza escénica y el enriquecimiento espiritual.
- Servicios de soporte: son aquellos necesarios para la producción de los demás servicios, como producción primaria, formación de suelos, fotosíntesis y ciclos de nutrientes.

4.1 METODOLOGÍA

Se desarrollaron las siguientes actividades: búsqueda, comparación, síntesis y análisis de información. Se recopiló la información existente en el medio sobre los servicios ecosistémicos en los centros de documentación de las universidades e instituciones del departamento de Antioquia, y posteriormente se consignó en una base de datos. Es importante aclarar que en la elaboración del presente documento solo se citan aquellos estudios consultados que resultaron ser más relevantes para consolidar la información de la manera más completa y concisa posible. Sin embargo, la totalidad de los trabajos consignados en la base de datos a la fecha sí fueron

considerados en el cálculo de los indicadores de estudio por tema, subregión y tipo de estudio.

Se continuó con la base de datos anterior del macroproyecto “Interacciones Agua-Suelo-Vegetación” y con su formato, agregando un nuevo campo denominado “tipo”, que hace referencia a la clase de documento consultado. Los campos son los siguientes:

- Título del estudio
- Tema Específico
- Autor
- Año de publicación
- Sitio del estudio
- Biblioteca
- Código
- Tipo (artículo, tesis, ponencia, otro)
- Resumen
- Metodología

El análisis de la información recopilada permite identificar los estudios relacionados con los servicios ambientales en el departamento y su aplicación en los procesos de gestión de áreas protegidas y en la evaluación de la sostenibilidad ambiental. A partir de este análisis se determinaron las regiones y los temas específicos más estudiados. Así mismo, se identificaron las principales fortalezas y debilidades en el conocimiento de este tema en el departamento, que faciliten formular algunos lineamientos de estrategias y proyectos en el futuro.

4.2 RESULTADOS

La base de datos elaborada hasta el año 2011 cuenta con un total de 159 registros. En la presente actualización para el período 2010-2012, se recopilaron 34 estudios lo que da como resultado un acumulado de 193 referencias sobre los temas de Interacciones Agua-Suelo-Vegetación y de servicios ecosistémicos.

A continuación, se presentan los resultados más relevantes de los temas consultados.

4.2.1 Servicios ecosistémicos y ecosistemas estratégicos.

Los ecosistemas estratégicos en una región se definen de acuerdo con los bienes y servicios que estos ecosistemas prestan a la comunidad. Márquez (1996) los define como aquellos que cumplen funciones vitales para el bienestar y desarrollo de la sociedad. Por su parte, en el Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín (2006) se definen los ecosistemas estratégicos como “una porción geográfica, en la cual la oferta ambiental, natural o inducida por el hombre, genera un conjunto de bienes y servicios ambientales imprescindibles para la población que los define como tales”.

La identificación de los servicios ambientales, además de ser útil para la definición de ecosistemas estratégicos, permite conocer la oferta natural y se constituye en la base para la formulación de los objetivos de conservación de planes de manejo de cuencas hidrográficas y de áreas protegidas. Adicionalmente, son considerados en las políticas territoriales y ambientales, en el análisis de impactos de proyectos de infraestructura y en la evaluación de la sostenibilidad urbana.

Un número significativo de los estudios analizados en la presente actualización trata sobre la identificación de los servicios ambientales en determinada región geográfica, y de cómo el reconocimiento de estos servicios se ha utilizado como criterio para la definición de ecosistemas estratégicos.

En un estudio publicado por CORANTIOQUIA (2001) se realizó la identificación, caracterización y valoración económica de los servicios ambientales prestados por ecosistemas localizados en el área de influencia del Valle de Aburrá. La identificación y caracterización de los ecosistemas estratégicos se hizo en función de los servicios ambientales que proporcionan. Para la caracterización se tuvo en cuenta también la oferta ecosistémica, la demanda antrópica de ésta y las amenazas que por acciones del hombre tiene dicha oferta. Para la valoración económica se parte de estudios de referencia y se aplica el método de valoración marginal que utiliza como medida general la disposición a pagar (Costanza et al., 1997). Los servicios identificados fueron: transporte y depuración de contaminantes, fijación de carbono, regulación hídrica, seguridad alimentaria y provisión de bellezas escénicas y paisajísticas. Finalmente, se desarrollaron propuestas de directrices para la gestión de los ecosistemas estratégicos.

En la misma región, Agudelo (2003) utilizó los servicios ambientales como uno de los criterios para definir los ecosistemas estratégicos del Valle de Aburrá. Se seleccionaron los ecosistemas que tuvieran ciertos elementos como cobertura vegetal, zonas de vida, corredores de biodiversidad y variedad de servicios ambientales prestados, entre otros. De igual forma, para la definición del Sistema Metropolitano de Áreas Protegidas en el Valle de Aburrá, se utilizó la oferta de bienes y servicios ambientales como uno de los criterios para su identificación (Hoyos, 2007). Las variables consideradas fueron las siguientes: regulación y potencial hídrico, regulación climática, prevención y control de la erosión y sedimentación, barrera de expansión urbana, depuración de contaminación y disminución de CO₂. Se hizo, además, un reconocimiento y valoración de la existencia de atributos que dan cuenta del aporte de bienes y servicios ambientales. En dicho trabajo se hizo un análisis a través de talleres con un grupo de expertos de universidades, corporaciones autónomas, ONG ambientales y comunidades locales.

González y Castillo (2002) realizaron el análisis de los principales flujos de bienes y servicios ambientales entre la región de influencia del proyecto Porce II y el Valle de Aburrá. Se identificaron los efectos de la interacción del proyecto Porce II y su región de influencia en los principales bienes y servicios ambientales desde y hacia el Valle de Aburrá, y se recomendaron acciones que conduzcan a un equilibrio en su transferencia. Se evaluaron los siguientes servicios: transporte y dilución de contaminantes líquidos, domésticos e industriales; fijación de gases de efecto invernadero y regulación del clima, abastecimiento y regulación hídrica, seguridad alimentaria, provisión de bellezas escénicas y paisajísticas, conservación y protección de la biodiversidad y soporte de la diversidad cultural humana. Se hizo un análisis de los flujos de bienes y servicios ambientales a partir de la evaluación de parámetros como intensidad, dirección y temporalidad. Se consideraron varios escenarios: antes del proyecto hidroeléctrico de Porce II y bajo tres escenarios de gestión ambiental.

Martínez, García y López (2011) identificaron los servicios ambientales que presta una zona de la subregión Norte en el departamento de Antioquia, teniendo en cuenta su alta riqueza en diversidad biológica e hídrica. Los productos finales están conformados por mapas que fueron analizados y que permitieron concluir que la zona estudiada tiene importantes fortalezas para prestar los servicios de regulación

de gases, regulación y prevención de desastres, regulación y oferta hídrica, refugio de especies y producción de alimentos y materias primas dadas sus condiciones de diversidad biogeográfica. En la investigación se empleó información secundaria tanto literaria como geográfica (cartografía básica y temática) que fue suministrada por las instituciones ambientales responsables de la zona o que se obtuvo a partir de la revisión bibliográfica, ésta se analizó empleando herramientas SIG. La investigación se realizó aplicando las siguientes cinco fases metodológicas: determinar e identificar la zona de estudio teniendo en cuenta la información disponible, construir el marco legal y conceptual, construir el modelo analítico apoyado en el modelo PER (Presión-Estado-Respuesta), analizar y sintetizar la información y elaborar los productos finales.

En el Plan de Manejo de la Reserva Las Nubes, La Trocha y La Capota (CORANTIOQUIA, 2002) se definen los planes, programas y proyectos que sirven de ejes de desarrollo del área y se identifica la figura jurídica bajo la cual quedaría mejor declarada la zona de reserva forestal ubicada en el Alto de Marita. Se resaltan como objetivo de conservación los servicios de regulación hídrica y la diversidad biológica, específicamente los recursos genéticos. En la elaboración del Plan de manejo del área de reserva Cuchilla Cerro Plateado-Alto San José, ubicada entre los municipios de Salgar, Betulia y Concordia (CORANTIOQUIA, 2004), específicamente en la zonificación ambiental, se identifican los ecosistemas estratégicos y se hace énfasis en que su conservación tiene por objetivo garantizar los bienes y servicios ambientales.

Para la elaboración del diagnóstico de bienes y servicios ambientales del páramo de Belmira, Silva (2007) realizó una caracterización de los principales bienes y servicios ambientales ofrecidos por este ecosistema. Se hizo especial énfasis en el análisis de acceso y disponibilidad de los recursos hídricos en la zona del páramo, con el fin de generar propuestas de uso y manejo más eficiente del agua y de manejo conjunto con la comunidad, además de dar insumos a los procesos de conversión y fortalecimiento de líderes locales en el manejo de los mismos. Se hizo una revisión de información secundaria, entrevistas con actores organizacionales y usuarios directos del recurso hídrico, una evaluación de la cantidad y calidad del agua, y reuniones con las juntas administradoras de acueductos.

En el Plan de manejo ambiental del páramo de Santa Inés, ubicado en el distrito de manejo integrado del sistema de páramos y bosques altoandinos del noroccidente medio de Antioquia, elaborado por el Instituto Alexander Von Humboldt (IAvH) y CORANTIOQUIA (2011), se pretende establecer mecanismos claros y concretos para el reconocimiento, conservación, uso sostenible y con sentido social equilibrado de los recursos naturales que deriven del páramo de Santa Inés y sus áreas inmediatas de influencia. De acuerdo con este plan, la zonificación y ordenamiento territorial se basan en el potencial de oferta de los siguientes bienes y servicios ambientales: recursos genéticos (alta biodiversidad), formación y estabilización de suelos, regulación hídrica, y escenarios recreativos y de belleza escénica.

En el Plan de manejo sostenible y participativo de los bosques en San Nicolás elaborado por CORNARE (2004) se plantea un modelo de financiación alternativo para el manejo sostenible de los bosques en San Nicolás. El Plan permite la implementación de estrategias de conservación de los bosques y del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para proyectos de cambio de uso del suelo, propuesto como mecanismo de flexibilidad en el protocolo de Kyoto a través de actividades forestales productivas construidas de manera participativa con diversos actores en la región. Este plan justifica la importancia del manejo sostenible de los bosques con base en la calidad y cantidad de los siguientes bienes y servicios: mitigación del cambio climático con la captura y almacenamiento de gases de efecto invernadero (GEI), regulación hídrica para riego y generación de hidroelectricidad, control de la erosión hídrica, ecoturismo y productos forestales maderables y no maderables.

En el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Aburrá (AMVA et al., 2007) se propone como uno de los lineamientos de política el desarrollo de mecanismos económicos para la gestión ambiental, el cual tiene como objetivo definir los beneficios y costos en los sistemas de pago por servicios ambientales, y así, implementar mecanismos que permitan recaudar recursos económicos para el desarrollo de planes y programas de protección, conservación y uso racional de los recursos naturales en áreas estratégicas.

En síntesis, de acuerdo con este diagnóstico, los servicios ecosistémicos que con mayor frecuencia se abordan en estos estudios son los de regulación, de los que sobresale la regulación hídrica y de gases (tanto contaminación atmosférica como efecto

invernadero). El alcance de muchos de estos trabajos llega hasta la identificación, en un momento del tiempo, de atributos físicos-bióticos de los ecosistemas que los hacen potencialmente aptos para el mantenimiento de funciones que soportan los servicios. Sin embargo, es necesario que se desarrollen ejercicios de monitoreo y seguimiento que permitan cuantificar y entender efectivamente estos procesos ambientales y sus potenciales respuestas ante perturbaciones a las condiciones de los ecosistemas. Adicionalmente, es necesario avanzar de la identificación de servicios potenciales (a partir de atributos físico-bióticos) a la valoración (económica y social) de ellos. Esta tarea es urgente y compleja, especialmente en un ámbito como el del departamento, con tasas de transformación ecosistémica elevadas que pueden amenazar la potencialidad de las áreas identificadas para mantener sus condiciones de potencialidad en la oferta de servicios. Por esto, es urgente desarrollar estos mecanismos de valoración, que permitan contraponer el beneficio ecosistémico con el de otros usos económicos del territorio.

4.2.1.1 Sostenibilidad urbana.

Una ciudad será sostenible ambientalmente si gestiona adecuadamente los ecosistemas que están dentro de su jurisdicción y apoya la gestión de los ecosistemas de los que se derivan los servicios con los que ella se beneficia. Este es un reto para la gestión ambiental y la academia, puesto que para algunos servicios ecosistémicos es difícil establecer la conectividad espacial entre la fuente y el receptor del servicio. En el caso de Antioquia, y avanzando en esta dirección, se desarrolló un ejercicio de aplicación de la identificación de los servicios ecosistémicos como herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental en regiones urbanas (González, 2009) para Medellín y el Valle de Aburrá. Este trabajo propone una metodología para la identificación de servicios ecosistémicos (SE) de importancia en regiones urbanas, para lo cual se presenta un listado de 40 SE identificados en los diferentes estudios a nivel mundial y se definen unos criterios para la selección de éstos. Por último, se expone un análisis sobre la planeación, formulación y ejecución de políticas territoriales y ambientales, a partir de la necesidad del mantenimiento de estos servicios.

González (2010) identificó como servicios ecosistémicos prioritarios para la gestión urbana del Valle de Aburrá los siguientes: generación y suministro de agua, transporte, dilución y tratamiento de contaminantes, generación de oxígeno, asimilación

de gases de efecto invernadero y retención de contaminantes del aire, recepción y desintoxicación de residuos sólidos peligrosos, capacidad de respuesta a los cambios ambientales y moderación de los impactos de los eventos atmosféricos y climáticos extremos, bellezas escénicas, estéticas y paisajísticas, producción de alimentos y materias primas. Para determinar la dependencia de una región urbana respecto a un servicio ambiental, se evaluaron cinco parámetros determinantes de sostenibilidad ambiental: social, ecológica, política, habitabilidad, y económica; y se asignó un puntaje siguiendo un rango desde muy bajo hasta muy alto. Con base en esto se identificaron los servicios ecosistémicos claves para la sostenibilidad ambiental urbana.

4.2.1.2 Estimación cuantitativa de los servicios ecosistémicos.

Una vez identificados los servicios que prestan los ecosistemas en determinada región, es necesario realizar una cuantificación de éstos. Por ejemplo, en el servicio de reducción de gases de efecto invernadero es importante estimar la cantidad de carbono fijado por unidad de área y tiempo. En la Tabla 1 se presenta una propuesta de variables que pueden ser utilizadas como indicadores para verificar el cumplimiento de cada servicio ecosistémico. Infortunadamente, este tema no ha tenido un gran avance en el departamento, por lo que no se cuenta con mucha información para determinar los valores de estos indicadores. La mayoría de estudios consultados se limitan a la identificación de los servicios ecosistémicos basándose en la percepción de la comunidad y en atributos como la presencia de nacimientos de agua y de vegetación natural poco intervenida.

Tabla 1. Propuesta de indicadores para los servicios ecosistémicos

SERVICIO ECOSISTÉMICO	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
Regulación climática	Fijación de carbono	T/ha*año
Regulación hídrica	Porcentaje de la escorrentía con respecto a la precipitación	Porcentaje
Dilución contaminantes	DBO	mg/L
	Sólidos suspendidos	kg/día
	Sustancias tóxicas	kg/día
Conservación de suelos	Pérdida de suelo	kg/ha
	Porcentaje áreas erosionadas	Porcentaje
Recreación	Áreas recreativas	Hectáreas

Otros dos indicadores que pueden ser utilizados son el área con coberturas vegetales naturales y la tasa de deforestación. Para Antioquia, se reporta una deforestación promedio anual de 25.280 hectáreas durante el período 2000–2007 (Yepes et al., 2011), lo que significa que en el departamento se tiene una de las tasas de deforestación más altas del país, en las que el promedio anual durante el mismo período es de aproximadamente 300.000 hectáreas (IDEAM, 2010). La tala afecta la regulación hídrica y climática, el equilibrio del ecosistema, la biodiversidad y la capacidad productiva del suelo.

Lopera, Gutiérrez y Lema (2003) evaluaron la fijación de carbono en plantaciones de *Pinus patula* mediante el análisis de biomasa de la vegetación, otros componentes del bosque (hojarasca fina, necromasa y otras especies), y en los suelos. Se estimó la fijación de carbono en 295 toneladas de carbono por hectárea durante 30 años de crecimiento, de los cuales 88% corresponden al *Pinus patula*. Se establecieron al azar 41 parcelas circulares de 250 m², en plantaciones de pino pátula con edades que varían entre 7 y 30 años. También se establecieron parcelas en rodales con y sin entresaca, y se midió carbono en los suelos. Se midió biomasa y necromasa y se convirtió a cantidad de carbono.

Por su parte, Naranjo et al. (2003) estimó la existencia de carbono en el sistema silvopastoril *Acacia decurrens* con *Pennisetum clandestinum*. Los sistemas agropastoriles son considerados como sumideros de carbono y pueden ayudar a mitigar los impactos del cambio climático. Se midió la cantidad de carbono existente en los árboles, pasturas, suelo y heces, que equivale a 403 tC/ha. Se evaluaron diferentes sistemas silvopastoriles: potrero sin árboles y con árboles, y con pastoreo rotacional. Se establecieron parcelas aleatorias circulares de 500 m². Se estimó la biomasa aérea y de raíces para árboles, la biomasa aérea de pasturas, y el carbono en el suelo y en las heces.

El Grupo de Investigación en Bosques y Cambio Climático de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, viene evaluando desde el año 1999 la dinámica del carbono en la vegetación y en el suelo, en función del estado sucesional en distintas coberturas vegetales: bosques primarios (BP), bosques secundarios (BS)

y pastizales degradados (P), que rodean el embalse de la Central Hidroeléctrica Porce II, localizada en la cordillera Central de los Andes colombianos (departamento de Antioquia). De acuerdo con los resultados presentados por Moreno, del Valle y Orrego (2008) la conversión de los BP a P degradados conduce a pérdidas sustanciales de carbono tanto en la vegetación como en los suelos; en estos últimos las pérdidas se presentan no solo en los horizontes superficiales sino también en los profundos. Estos resultados se explican principalmente por las mayores entradas de carbono al suelo en la materia orgánica muerta en BP, seguidas por los BS y los P. Así mismo, se concluye que el desarrollo de BS sobre sitios de P abandonados conlleva, aunque muy lentamente, a la recuperación de las existencias de carbono no solo en la vegetación sino también en el suelo desde las etapas iniciales de regeneración del bosque. Se realizaron seis censos en los BS y BP entre 1999 y 2006, así como un censo en los P en el año 2003. Para determinar las existencias del carbono del suelo se excavaron calicatas hasta 4 metros de profundidad en las 3 coberturas y se muestreó el suelo en las 4 paredes de cada calicata a 14 profundidades. Se utilizaron ecuaciones no lineales para modelar el cambio en el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) entre los distintos tipos de coberturas.

Yepes et al. (2011) estimó las reservas y pérdidas de carbono por deforestación en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia. Se evaluó la distribución de la biomasa aérea (BA) y carbono en relación con la variación altitudinal de los bosques naturales del departamento de Antioquia, así como las pérdidas potenciales asociadas con la deforestación, durante el período 2000-2007. Los resultados evidencian que la BA y los contenidos de carbono en los bosques naturales de Antioquia presentan una relación inversa con la altitud. "La BA promedio fue 244 ± 63 Mg/ha y la tasa de deforestación en el período 2000-2007 fue 25.279 ha/año. Durante este período se perdieron en total 176.950 ha de bosque natural, con las cuales se emitieron potencialmente a la atmósfera 79.161,29 Gg de CO₂. En Antioquia, problemáticas como la deforestación pueden llegar a destruir considerablemente estos ecosistemas, ocasionando la pérdida de servicios ecosistémicos importantes como el almacenamiento de carbono."

A continuación, se mencionan varios proyectos formulados por la Fundación Natura (2006) como mecanismo de mitigación voluntaria de emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI) en Colombia. En el estudio se buscó analizar una muestra de por lo menos 20 proyectos de diferentes regiones del país, caracterizar su estado de avance actual en términos de mercados de carbono y establecer su potencial de obtener “VER” (Verified Emission Reductions) en el corto, mediano y largo plazo. Los proyectos son los siguientes:

- Restauración de áreas degradadas y reforestación en Cáceres y Cravo Norte: establecimiento de un proyecto de reforestación de 11.000 ha en estos municipios con aproximadamente 25 especies nativas. Se espera promover prácticas sostenibles de manejo de los recursos forestales maderables y no maderables del bosque. Se estima una captura de 2,6 millones de toneladas de CO₂.
- Establecimiento de áreas de conservación sembrando especies nativas en Antioquia: reforestación de áreas degradadas y potreros abandonados con especies nativas de acuerdo con la oferta ambiental local con fines de conservación del área sin aprovechamiento forestal. El área total del proyecto es de 3.280 ha.
- Creación de bosques protector, recuperador, productor: siembra de 10.000 hectáreas con *Jatropha curcas* L. Se espera la generación de empleo para 4.500 campesinos en 3.000 hectáreas produciendo cada tres meses distintas variedades de pancoger, para la sostenibilidad de esas familias.

Con relación a los efectos de diferentes coberturas vegetales en la regulación hídrica, el ciclo de nutrientes y el control de erosión, Ortega et al. (2012) reportó en un estudio en la quebrada El Hato, subcuenca del río Grande, los beneficios que tienen los bosques naturales en estas funciones ecosistémicas. Al comparar cultivos de papa, pastos, bosque secundario y rastrojo, se registró el mejor efecto regulador en tipo de cobertura boscosa, con valores anuales de 0,3% de escorrentía superficial, 6 kg/ha de pérdida de suelo y flujos de nitrógeno y fósforo en la escorrentía de 6,6 y 0,4 Kg/ha, respectivamente. La escorrentía en los cultivos de papa fue ocho veces mayor que en el bosque y en los pastos fue cien veces mayor. La pérdida de nitrógeno en los pastos fue 108 veces mayor que el bosque y de fósforo fue 48 veces mayor. De estos resultados se concluye la importancia de los bosques en la regulación hídrica y en la conservación del suelo, contribuyendo así al servicio ambiental del suministro de agua, tanto en cantidad como en calidad.

4.2.1.3 Pago por servicios ambientales como estrategia de conservación.

Desde el punto de vista normativo, el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011 (Plan de Desarrollo Nacional), estipula que los departamentos y municipios deben dedicar un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales, distritales y regionales o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales. Las autoridades ambientales deben definir las áreas prioritarias a ser adquiridas con estos recursos o dónde se deben implementar los esquemas por pagos de servicios ambientales de acuerdo con la reglamentación que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expida para el efecto. El pago por servicios ambientales corresponde al incentivo económico que las entidades territoriales reconocen a los propietarios, poseedores regulares o tenedores de predios ubicados en las áreas de importancia estratégica que surten de agua los acueductos, en razón a sus acciones o decisiones sobre el uso del suelo que permiten la conservación, restauración y rehabilitación de los ecosistemas naturales y, consecuentemente, la provisión y/o mejoramiento de los servicios ambientales asociados al recurso hídrico.

De acuerdo con el proyecto de decreto para reglamentar el Artículo 111, para la selección de los predios, se deberán evaluar al menos los siguientes criterios:

- Presencia en el predio de corrientes hídricas, manantiales, afloramientos o reservorios de agua.
- Proporción de coberturas y ecosistemas naturales poco o nada intervenidos presentes en el predio.
- Ubicación del predio en la zona de mayor recarga o suministro hídrico.
- Grado de amenaza de los ecosistemas naturales por presión antrópica.
- Fragilidad de los ecosistemas naturales existentes.
- Conectividad ecosistémica.
- Incidencia del predio en la calidad y cantidad del agua que reciben los acueductos beneficiados.

Como se puede observar, la aplicación de este artículo requiere la caracterización de los ecosistemas presentes en los predios, la evaluación de los servicios que éstos prestan y el análisis de los impactos humanos que puedan afectar la oferta ambiental. De acuerdo con el informe de la Contraloría de Antioquia (2012), 81 municipios del departamento tienen identificadas las áreas potenciales que se deben adquirir para la protección de cuencas y abastecimiento de acueductos.

Con el fin de valorar los recursos naturales para la gestión ambiental y definir una renta de la conservación del agua en el Páramo de Belmira (Antioquia), González (2002) propone una metodología para definir una renta de la conservación del agua, estimada a partir de un análisis costo-beneficio, de acuerdo con el sistema productivo. Con este estudio se estableció la relación entre prestación de servicios ambientales y renta del suelo, que permita identificar los elementos a considerar en los procesos de planificación y gestión urbana. Se concluye que es mayor el costo de la compra de tierras para la conservación, que el pago de renta por conservación. Se hizo una delimitación del área, avalúo de cada lote, la rentabilidad del sistema productivo y las unidades del paisaje. Se generó un modelo para calcular la renta de la conservación a partir de unidades del paisaje, avalúo catastral y área del predio.

Correa (2004) realizó la valoración económica del recurso hídrico como servicio ambiental prestado por el Páramo de Sonsón. El trabajo constituye una aproximación a la valoración económica del recurso hídrico como servicio ambiental prestado por este páramo. Se pretende encontrar una estimación de la disponibilidad a pagar de los habitantes de este municipio por la protección del páramo lo que implica tener agua potable por un tiempo indefinido. Se evidencia que los habitantes del casco urbano del municipio muestran una alta disponibilidad a pagar por la protección del páramo pues se encontró una cifra promedio de \$8.042, la cual agregada anualmente refleja unos altos beneficios para el posible desarrollo de un proyecto de recuperación, conservación y manejo integral del ecosistema de manera que se evite la escasez de agua potable en el municipio. La valoración se realizó por medio del método directo de valoración contingente.

Por su parte, CORANTIOQUIA (2004) desarrolló una propuesta de incentivos a la conservación para el distrito de manejo integrado del sistema de páramos y bosques

altoandinos del noroccidente medio antioqueño (SPBANMA). El proyecto tiene como propósito principal plantear la propuesta de un incentivo económico a los diez municipios que hacen parte de esta área. La implementación de un incentivo económico hace referencia a la “exención del pago del impuesto predial” el cual se encuentra dentro de los instrumentos económicos de política ambiental aprobados por la ley colombiana y cuya finalidad es la conservación y protección de ecosistemas estratégicos. Adicionalmente, se plantean otros tipos de incentivos que se acomodan a las necesidades de algunos municipios del área núcleo del SPBANMA. Para el municipio de Belmira, se propone el incentivo económico de Pago por Servicios Ambientales, el cual es un instrumento económico desarrollado para impulsar cambios en el comportamiento de los agentes para que realicen acciones de conservación y uso sostenible, que compense los costos de oportunidad del cambio de comportamiento. Este incentivo directo consiste en hacer pagos en dinero a aquel propietario de tierras que toma la decisión de proteger y conservar o establecer plantaciones forestales protectoras en todo o parte de sus tierras de forma contractual.

Con el fin de hacer la valoración económica de ecosistemas estratégicos asociados a fuentes hídricas que abastecen acueductos veredales, Correa (2005) realizó una aproximación al valor económico de los beneficios de preservar los ecosistemas estratégicos que garantizan el recurso hídrico destinado al consumo humano en cinco veredas del Valle de Aburrá (Colombia). En un horizonte de 20 años, el valor económico por servicios ambientales en las cuencas hidrográficas se estimó en 16.000 millones de pesos, mientras que los costos de oportunidad se calcularon en 2.000 millones de pesos. Estas cifras indican la importancia económica y social de mantener los ecosistemas para conservación. En este sentido, esta valoración de los beneficios por los servicios ambientales ofrecidos por los ecosistemas en cuestión, y los respectivos costos de oportunidad de la conservación, en particular los asociados al recurso agua, sirven de base para establecer esquemas de compensación a los propietarios de tierras en las áreas de influencia de las cuencas hidrográficas. La aproximación a la valoración económica de los servicios ambientales ofrecidos por los ecosistemas existentes en las áreas asociadas a las veredas objeto de estudio se realizó mediante el método de transferencia de beneficios, más específicamente por medio de la transferencia de valores.

En la formulación del Plan Maestro del Área de Reserva del Occidente del Valle de Aburrá (AROVA) la Universidad de Antioquia, Holos y Fundación Natura (2006), se incluyó la valoración de bienes y servicios en diversos componentes (generalidad y dimensión ambiental, dimensión socio-cultural, dimensión socio-económica y política, dimensión de planeación y jurídica y plan de manejo ecoturístico) como una sustentación para la conservación de esta zona de reserva y la propuesta de creación de la Corporación del Área de Reserva del Occidente del Valle de Aburrá.

González (2008) elaboró una propuesta de pago por servicios ambientales (PSA) en la cuenca la Sopetrana (Antioquia). En el estudio se obtuvo un indicador cuantificable de los costos de oportunidad de los usos de suelo y demás características socioeconómicas en la cuenca para sugerir modificaciones y contribuir a la mejora de las condiciones de calidad ambiental y social de ésta. Como resultado principal, se plantean lineamientos metodológicos para la implementación de este tipo de esquemas, los cuales integran el análisis ambiental y social. Este proceso conlleva no solo a la formulación de los lineamientos básicos para la aplicación de PSA, sino que constituye una propuesta que involucra la participación comunitaria como elemento estratégico en la resolución de conflictos asociados al uso de los recursos en el territorio, de los que depende en gran medida el éxito de la gestión del agua.

En la región del oriente antioqueño, CORNARE (2008) desarrolló un Modelo de Financiación Alternativo para el Manejo Sostenible de los Bosques de San Nicolás. En el estudio se reconoce la importancia, no solamente de la valoración económica de los bienes y servicios forestales en la región, sino la influencia que el valor social y ambiental tiene en la definición de los valores de mercado. Este proyecto se propone probar y perfeccionar, sobre la experiencia de un proyecto piloto, un modelo alternativo de financiación del manejo sostenible de los bosques en el Valle de San Nicolás, que combine el manejo sostenible de los bosques con fuentes de financiación alternativas tales como la inversión privada y las posibilidades que podría ofrecer el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para la región. Se basa en una metodología para la financiación a largo plazo del manejo sostenible de los bosques, elaborada en 1998 por el EMPA (Instituto Federal Suizo de Investigación y Prueba de Materiales y Tecnologías). Se propuso la creación de un Área de Manejo Sostenible

(AMS) de 72.367 hectáreas. El modelo de financiación incluye productos del bosque secundario, acciones de medio ambiente y certificado de emisiones reducidas.

En la formulación del Plan Integral de Manejo del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables Divisoria Valle de Aburrá – río Cauca, CORANTIOQUIA (2009) se hace un diagnóstico socioeconómico y ambiental, en el que se realizó una valoración económica de los bienes y servicios ambientales asociados a los cerros occidentales del Valle de Aburrá.

En el municipio de Medellín se cuenta con la formulación del proyecto MDL forestal “Más bosques para Medellín: un ambiente sano para el presente y el futuro” en el municipio de Medellín (Hoyos, 2009). El artículo registra los aspectos más importantes relacionados con la formulación de proyectos bajo el esquema del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto -PK- y específicamente, del proyecto “Más bosques para Medellín: un ambiente sano para el presente y el futuro”. Este proyecto busca obtener recursos internacionales mediante la venta de créditos de carbono a través del establecimiento de plantaciones forestales, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y modelos de regeneración natural asistida, teniendo en cuenta la tradición socioeconómica y cultural de la población asentada en los corregimientos del municipio de Medellín.

En la región metropolitana del Valle de Aburrá, se desarrolló el estudio de factibilidad y socialización institucional de la implementación de un proyecto forestal bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio–MDL(Carbono y Bosques, 2011). Se realizó el estudio de factibilidad para la implementación de un proyecto MDL forestal en el marco del Protocolo de Kyoto, en los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas, pertenecientes al Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Se encontró un área elegible potencial de 9.436 hectáreas, principalmente en los municipios de Barbosa, Bello y Girardota. Se determinó que las coberturas más apropiadas para la ejecución del proyecto son los pastos (8.545 ha), cultivos (624 ha) y rastrojos bajos (267 ha), debido a las condiciones de elegibilidad en el marco regulatorio del MDL. Durante el estudio, se realizaron diversos acercamientos con expertos forestales de entidades territoriales y académicas, con

el fin de definir los modelos forestales productivos más óptimos para las condiciones de la zona, haciendo uso de especies nativas de alto potencial comercial, teniendo en cuenta el juicio y las experiencias desarrolladas por los expertos. A partir de estas concertaciones, se propusieron sistemas forestales comerciales, agroforestales, silvopastoriles y de regeneración natural asistida.

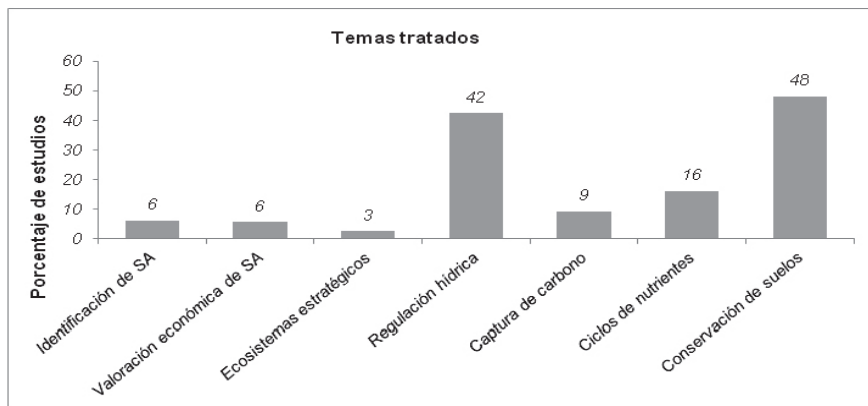
4.2.1.4 Temas y subregiones más estudiadas.

En la Tabla 2 y en la Figura 1 se observa que el tema con mayor porcentaje de estudios corresponde al servicio ambiental de la conservación de suelos, seguido de la regulación hídrica, el ciclo de nutrientes y la captura de carbono. Sin embargo, esto no indica que la cuantificación de estos servicios se encuentre en un estado avanzado. La identificación de los servicios ambientales y su valoración económica presentan igual porcentaje, dado que en varios estudios estos dos aspectos se desarrollan de manera conjunta. Es importante anotar que en esta tabla y este gráfico se incluyen todos los estudios recopilados en las anteriores actualizaciones del estado del arte del macroproyecto Interacciones Agua-Suelo-Vegetación, además de los registrados en el presente informe.

Tabla 2. Temas tratados en los estudios consultados

TEMAS TRATADOS	NÚMERO ESTUDIOS	PORCENTAJE DE ESTUDIOS QUE TRATARON EL TEMA
Identificación de servicios ambientales	12	6,2
Valoración económica de servicios ambientales	11	5,7
Ecosistemas estratégicos	5	2,6
Regulación hídrica	82	42,5
Captura de carbono	18	9,3
Ciclos de nutrientes	31	16,1
Conservación de suelos	93	48,2

Figura 1. Porcentaje de estudios que trataron cada uno de los diferentes temas.

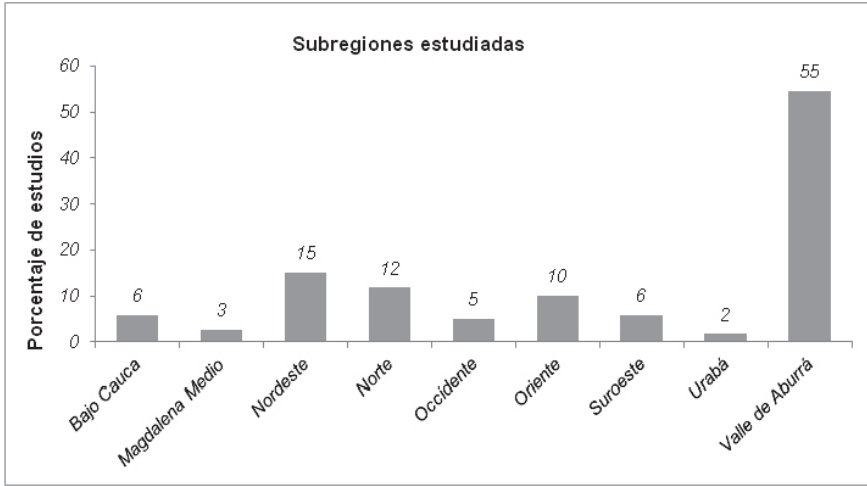


En la Tabla 3 y en la Figura 2 se observa que la subregión que presenta el mayor número de estudios es el Valle de Aburrá, donde se han desarrollado varios trabajos relacionados con la identificación de servicios ambientales, su valoración económica y la evaluación de la sostenibilidad ambiental urbana. Le siguen las regiones Nordeste, Norte y Oriente, donde principalmente se han identificado ecosistemas estratégicos y áreas para la implementación de proyectos de desarrollo limpio, generalmente de fijación de carbono. El bajo porcentaje reportado para las subregiones del Magdalena Medio y Urabá indican la necesidad de llevar a cabo un mayor número de estudios en estas áreas.

Tabla 3. Subregiones consideradas en los estudios consultados para Antioquia.

SUBREGIONES ESTUDIADAS	NÚMERO ESTUDIOS	PORCENTAJE DE ESTUDIOS QUE TRATARON EL TEMA
Bajo Cauca	7	5,9
Magdalena Medio	3	2,5
Nordeste	18	15,1
Norte	14	11,8
Occidente	6	5,0
Oriente	12	10,1
Suroeste	7	5,9
Urabá	2	1,7
Valle de Aburrá	65	54,6

Figura 2. Porcentaje de subregiones consideradas en los estudios consultados para Antioquia.



4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la mayoría de los estudios consultados se identifican los servicios ecosistémicos asociados a una región particular como criterio determinante para la definición de los ecosistemas estratégicos de dicha región. De esta forma, el concepto de “servicio ecosistémico” se ha desarrollado como una respuesta frente a la necesidad de identificar de forma concreta (y en muchos casos cuantitativa) la importancia funcional de un ecosistema. Se resalta, entonces, que son estos servicios los factores que en muchos casos son fundamentales para soportar la denominación de un ecosistema como uno de tipo estratégico, y que favorezca las acciones encaminadas a su conservación.
- En la mayoría de los planes de manejo consultados de áreas protegidas y de microcuencas se realiza la identificación de los servicios ambientales, y su conservación se reconoce como un objetivo clave que hace parte de los lineamientos y estrategias

definidas para garantizar la sostenibilidad ambiental.

- La identificación de los servicios ambientales también es realizada como paso previo a la valoración económica de los mismos. Esta valoración constituye otra herramienta de creciente uso en las actividades relacionadas con la conservación de los ecosistemas. Sin embargo, dado el nivel de complejidad involucrado en dicha valoración y la incertidumbre asociada a los valores calculados, esta valoración se ha usado más como una aproximación a un valor idealizado y en muchos casos como fundamento para discusiones de tipo académico.
- En algunos de los estudios consultados se expone el pago por servicios ambientales como una estrategia de conservación. En estos estudios se hace referencia a los costos de oportunidad por las actividades de conservación, es decir, el valor económico que deja de percibirse al destinar un área a la conservación y no a una actividad de explotación económica. En algunos de los estudios se encontró que el valor de los servicios ambientales sobrepasa significativamente los costos de oportunidad, lo que soporta el uso de incentivos económicos para favorecer el establecimiento de áreas de conservación en lugar de su explotación. Además, el uso de estas estrategias, de impacto social, involucra a los diferentes actores que hacen uso de los recursos naturales.
- En esta revisión se hace una propuesta inicial de algunas variables y sus unidades de medida, que puedan ser utilizadas como indicadores para verificar el cumplimiento de cada servicio ecosistémico. Estas variables se proponen como una síntesis, de acuerdo con lo propuesto en los diferentes estudios consultados. En Antioquia son escasos los estudios que cuantifiquen estas variables, por lo que se recomienda la realización de más estudios rigurosos y de tipo científico que permitan obtener aproximaciones a estos indicadores para el departamento.
- Algunos estudios indican altas tasas de deforestación en el departamento de Antioquia, con su consecuente pérdida de servicios ambientales. Por lo tanto, se requiere que en los planes de desarrollo de los entes territoriales y de las autoridades ambientales se incluyan los mecanismos para garantizar la preservación de los bosques en Antioquia y las funciones ecosistémicas requeridas para garantizar la sostenibilidad ambiental de las regiones.
- Los estudios técnicos que demuestren la relación entre los ecosistemas y los servicios ambientales que prestan son escasos. En la mayoría de los estudios no hay una cuantificación exacta de la magnitud de los bienes y servicios ambientales, y por

Lo tanto solo se conoce su “valor aproximado” en términos económicos. Por esta razón, se requiere el desarrollo de investigaciones que cuantifiquen estos servicios, con el fin de contar con métodos objetivos para su valoración económica.

4.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDELO, R. (2003). Ecosistemas estratégicos de la ecorregión del Valle de Aburrá. *Eolo: Revista Ambiental*, 08, 18-20.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, CORNARE, CORANTIOQUIA Y UNIVERSIDAD NACIONAL. (2007). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá.
- BASTIAN, O., HAASE, D., & GRUNEWALD, K. (2011). Ecosystem properties, potentials and services – The EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecological indicators*, 7-16.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ECOSISTEMAS Y CAMBIO GLOBAL, CARBONO Y BOSQUES - ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2011). Estudio de Factibilidad y Socialización Institucional de la Implementación de un Proyecto Forestal Bajo el mecanismo de Desarrollo Limpio – MDL, en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- CONTRALORÍA GENERAL DE ANTIOQUIA. (2012). Informe anual sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente en Antioquia 2012.
- CORANTIOQUIA. (2001). Identificación, caracterización y valoración económica de los servicios ambientales prestados por ecosistemas localizados en el área de influencia del Valle de Aburrá. Medellín: CORANTIOQUIA.
- CORANTIOQUIA. (2002). Plan de Manejo Reserva “Las Nubes, La Trocha y La Capota”. Medellín.
- CORANTIOQUIA. (2004). Plan de manejo del área de reserva Cuchilla Cerro Plateado - Alto San José, ubicada entre los municipios de Salgar, Betulia y Concordia. Medellín.
- CORANTIOQUIA. (2009). Plan Integral de Manejo del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables Divisoria Valle de Aburrá – río Cauca. Medellín.
- CORNARE. (2004). Plan de manejo sostenible y participativo de los bosques en

San Nicolás. Rionegro.

- CORREA, F. J. (2005). Valoración económica de ecosistemas estratégicos asociados a fuentes hídricas que abastecen acueductos veredales. *Semestre económico*, 08(16), 29-48.
- COSTANZA, R., D' ARGE, R., DE GROOT, R. S., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., Y OTROS. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 253-260.
- GONZÁLEZ, A. (2009). Los servicios ecosistémicos como herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental en regiones urbanas: Medellín y el Valle de Aburrá. Medellín: Tesis de maestría, Universidad Nacional sede Medellín.
- GONZÁLEZ, A. (2010). Regiones urbanas. Sostenibilidad ambiental y servicios ecosistémicos. *Eolo: Revista Ambiental*, 15, 137-153.
- GONZÁLEZ, A. M. (2008). Propuesta de pago por servicios ambientales (PSA) en la cuenca La Sopetrana (Antioquia). Medellín: Tesis, Universidad Nacional sede Medellín.
- GONZÁLEZ, A., & CASTILLO, J. M. (2002). Análisis de los principales flujos de bienes y servicios ambientales entre la región de influencia del proyecto Porce II y el Valle de Aburrá. *Revista Ingenierías*, 01, 49-64.
- GONZÁLEZ, E. (2002). Valoración de recursos naturales para la gestión ambiental. Renta de la conservación del agua. Páramo de Belmira (Antioquia). *Revista Entornos (Neiva)*, 15, 23-30.
- HOYOS, C. (2009). Formulación del proyecto MDL forestal “Más bosques para Medellín: un ambiente sano para el presente y el futuro” en el municipio de Medellín (Antioquia – Colombia). *Revista Producción+Limpia, Corporación Universitaria La Sallista*, 04(01), 83-108.
- HOYOS, C. H. (2007). El sistema metropolitano de áreas protegidas. *Eolo: Revista Ambiental*, 12, 42-49.
- INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT Y CORANTIOQUIA. (2011). Plan de manejo ambiental del Páramo de Santa Inés en el distrito de manejo integrado – DMI del sistema de páramos y bosques altoandinos del noroccidente medio de Antioquia – SPBANMA.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2010). Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia – Bosques 2009. Bogotá D.C., 236 p.

- LOPERA, G., GUTIÉRREZ, V. H., & LEMA, Á. (2003). Fijación de carbono en plantaciones tropicales de pinus patula. En J. I. Del Valle, S. A. Orrego, & F. H. Moreno, Medición de la captura de carbono en ecosistemas tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático (pág. 314). Medellín: Panamericano Formas e Impresos.
- MÁRQUEZ, G. (1996). Ecosistemas estratégicos y otros estudios de Ecología ambiental. Bogotá: Fondo FEN.
- MARTÍNEZ, A. C., GARCÍA, A., & LOPEZ, B. E. (2011). Identificación de servicios ambientales en una zona del norte antioqueño. Medellín: Tesis especialización, Universidad de Antioquia.
- MEA, MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2005). ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: SYNTHESIS. WASHINGTON DC: ISLAND PRESS.
- MAVDT, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2008). Estrategia Nacional de Pago por Servicios Ambientales. 97 p.
- MORENO, F. H., DEL VALLE, J. I., & ORREGO, S. A. (2008). Dinámica del carbono en bosques tropicales del norte de los Andes. Memorias Seminario Internacional Bosques Tropicales, (pág. 40). Medellín.
- MUNICIPIO DE MEDELLÍN. (2006). Acuerdo 046 de 2006: Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Medellín. Medellín: Gaceta oficial.
- NARANJO, J. F., SNEIDER, E., CUARTAS, C., & BOTERO, A. (2003). Estimación de las existencias de carbono en el sistema silvopastoril Acacia decurrens con Pennisetum clandestinum.
- EN J. I. DELVALLE, S. A. ORREGO, & F. H. MORENO, Medición de la captura de carbono en ecosistemas tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático (Vol. 33, pág. 314). Medellín: Panamericano Formas e Impresos.
- OROZCO, D. C. (2008). Propuesta de incentivos a la conservación para el distrito de manejo integrado (dmi) del sistema de paramos y bosques altonadinos del noroccidente medio Antioqueño (SPBANMA). Rionegro: CORNARE.
- ORTEGA, L. F., LEÓN, J. D., VILLEGAS, J. C. Y LARA, C. E. (2012). Estudio comparativo del efecto de diferentes coberturas vegetales sobre funciones ecosistémicas en los Andes colombianos. Memorias del 5° Simposio Nacional Forestal. Medellín, 11 y 12 de octubre de 2012. Colombia Forestal, 15:64
- SILVA, L. A. (2007). Diagnóstico de bienes y servicios ambientales del Páramo de Belmira. Bogotá: Instituto Alexander Von Humboldt.

- TOBÓN, M. P. (2008). Valoración de Bienes y Servicios Forestales en el Proyecto OIMT 54//99 (F): Modelo de Financiación Alternativo para el Manejo Sostenible de los Bosques de San Nicolás. Rionegro: CORNARE.
- UNIÓN TEMPORAL UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - HOLOS LTDA - FUNDACIÓN NATURA. (2006). AROVA- Plan maestro del Área de Reserva del Occidente del Valle de Aburrá. Medellín.
- VÉLEZ, A., LUGO, H. A., & GONZÁLEZ, J. D. (2006). Valoración de servicios ambientales vs. Mecanismos de protección. Eolo : Revista Ambiental, 06(11), 117-119.
- VON LAER, Y. (2010). Mecanismo de mitigación voluntaria de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Colombia, Portafolio de Proyectos de Carbono Forestal .Medellín: Fundación Natura.
- WUNDER, S. (2005). Payments for environmental services: some nuts and bolts. Jakarta: Center for International Forestry Research.
- YEPES, A., DUQUE, Á. J., NAVARRETE, D., PHILLIPS, J., CABRERA, E., CORRRALES, A., Y OTROS. (2011). Estimación de las reservas y pérdidas de carbono por deforestación en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia. Actuales biológicas, 33(95), 193-208.



CAPÍTULO 5

PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y DEPÓSITO DE SEDIMENTOS¹

.....

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presenta una revisión del estado del arte de los estudios realizados en el departamento de Antioquia entre los años 2009 y 2012 en materia de generación, transporte y depósito de sedimentos, continuando con el trabajo de actualización realizado en compilaciones previas entre 2005-2006 (Montoya et al., 2008) y 2007-2009 (Montoya et al., 2010). Esta revisión busca identificar datos disponibles y las posibles fuentes de información en esta materia. Se busca que este esfuerzo de actualización ayude a identificar los principales avances y las carencias de información en materia de producción, transporte y depósito de sedimentos en las cuencas del departamento de Antioquia. La actualización aporta información que identifica la factibilidad de estudios adicionales en cuencas con información. Tener un registro geográfico e histórico del conocimiento en el tema de producción, transporte y depósito de sedimentos, constituye un punto de partida para futuros estudios, evita la repetición de estudios en un mismo tema y permite tener una idea general del estado actual sobre éste en la región.

Estudiar la dinámica fluvial, el transporte de sedimentos y los procesos erosivos en cuencas hidrográficas es de gran importancia para realizar un adecuado diagnóstico de los recursos hídricos. En particular, en cuencas de montaña como la gran mayoría de las cuencas en el departamento de Antioquia, son diferentes los problemas en los que es importante conocer la carga de sedimentos, entre ellos se pueden mencionar: los problemas fluviales en que es necesario conocer el comportamiento de los sedimentos para determinar los patrones de alineamiento del río y la forma del canal, los problemas de erosión y sedimentación en cauces y la producción de sedimentos en las cuencas, que finalmente producen cambios en la dinámica del río y modificaciones que pueden afectar las riberas. Adicionalmente, en la construcción

¹ Producción, transporte y depósito de sedimentos.
Elaborado por: Luis Javier Montoya Jaramillo, Ingeniero Civil, MSc en Aprovechamiento de Recursos Hídricos, PhD en ingeniería; Blanca Adriana Botero, Ingeniera Civil, PhD en ingeniería hidráulica y medio ambiente. Universidad de Medellín.

de presas es importante calcular la cantidad de sedimentos aportados por la corriente al embalse para determinar el volumen muerto de éste, algunas zonas como abanicos aluviales, estuarios o deltas son particularmente susceptibles a cambios en los regímenes de sedimentos, cambios en la carga de sedimentos pueden traer consigo cambios en dicha zonas, el aporte de sedimentos afecta también la calidad de las aguas y puede limitar en algunos casos su uso, o encarecer los procesos de tratamiento.

El objetivo de este capítulo es presentar el panorama en materia de generación, transporte y depósito de sedimentos en las cuencas del departamento de Antioquia. Saber en qué situación se encuentra la investigación realizada en el tema, qué estudios o proyectos de investigación se han desarrollado entre el 2009 y 2012 y de esta forma dar una orientación sobre los vacíos de información y hacia dónde se deben orientar los trabajos futuros. Además se quiere listar los principales estudios en materia de generación, transporte y depósito de lodos y sedimentos realizados en Antioquia entre el 2009 y 2012, enunciando brevemente los principales hallazgos de dichas investigaciones. También se quiere referenciar espacialmente las cuencas en que se han centrado dichos estudios, identificando las posibles fuentes de información en dicha materia. Se espera que esta recolección sea una herramienta útil para la formulación de políticas para la protección y el adecuado manejo de los recursos hídricos.

La metodología implementada consistió en la revisión de estudios disponibles en bibliotecas y centros de documentación de la región o en bases de datos indexadas para el periodo 2009 – 2012. Los estudios presentados fueron recopilados en las siguientes entidades: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (Biblioteca Central, de la Facultad de Minas y Centro de Documentación del Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos), Universidad de Antioquia (Biblioteca Central y Centros de Investigación), Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Universidad EAFIT, Instituto Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Biblioteca Empresas Públicas de Medellín, Biblioteca CORANTIOQUIA, Biblioteca CORNARE, Biblioteca Planeación Departamental, Centro de documentación de la Secretaría del medio ambiente del municipio de Medellín Aula Ambiental, Biblioteca Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA).

En este capítulo, se presenta primero un panorama de las generalidades del tema de sedimentos en el departamento de Antioquia, luego se hace un breve recorrido sobre las tendencias del tema en el mundo. Posteriormente se presenta la revisión de estudios publicados, estos estudios han sido clasificados de forma temática agrupando los estudios relacionados con generación de sedimentos, transporte y

sedimentación. Finalmente, se realiza un análisis de las carencias de información identificadas y se presentan algunas conclusiones del ejercicio de recolección de información aquí presentado.

5.1 LOS SEDIMENTOS EN LOS RÍOS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

La estimación de los sedimentos generados en una cuenca (muy asociados a los procesos erosivos), los procesos de transporte de sedimentos en las corrientes y la sedimentación en ríos, lagos y estuarios son problemas complejos por la cantidad de procesos involucrados. La carga de sedimentos depende de diferentes factores como las características hidráulicas de la corriente, la variabilidad de los caudales asociada a las variaciones climáticas, la procedencia de los materiales, el tipo de suelo en las cuencas y cauces, su resistencia al arrastre, la forma como se transporta el material y la fuente aportante de los sedimentos. Adicionalmente, eventos extremos de gran magnitud, como flujos de escombros y/o lodos o avenidas torrenciales, aunque transportan grandes cantidades de sedimentos, deben tratarse de forma particular.

En Colombia han sido pocos los estudios realizados en materia de transporte de sedimentos, a pesar de la importancia que tiene el tema para el desarrollo del país. Al estudiar el tema se encuentra que las tasas de arrastre de sedimentos en cuencas del departamento de Antioquia son alarmantes al compararlas con las de otras corrientes de América o del mundo. Milliman & Meade, 1983 y Milliman, 1990 presentan un panorama de los aportes de sedimentos al mar de los principales ríos del mundo, según sus estudios los ríos de Suramérica aportan un 11% de la carga de sedimentos a los océanos y un 23% de las descargas líquidas (Restrepo J.D, 2000 y Milliman, 1990), los ríos de Asia Meridional y Oceanía aportan un 70% (Milliman, 1990). Restrepo et al., 2006 analizando el comportamiento de los sedimentos del río Magdalena encontró rendimientos de entre 128 a 2.200 T/km²/año analizando 32 sub-cuencas de dicho río. Montoya y Montoya, 2006 presentan un análisis de la carga de sedimentos en diferentes cuencas en el departamento de Antioquia, en la Tabla 1 se presenta la carga de sedimentos y el rendimiento de dicha carga para algunas estaciones, se observan altos rendimientos en la carga de sedimentos en ríos como el río Tarazá, Riosucio o el río Cauca, que presentan altos valores en la carga. Para algunas corrientes como el río Cauca o el río Magdalena, se observa el aumento tanto en la carga como en el rendimiento de la carga de sedimentos en su paso por el departamento, notándose en algunos casos (como el del río Cauca) aumentos

en la carga del 77% y de los rendimientos de un 47%, esto ilustra cómo los procesos de generación de sedimentos son muy activos en esta zona, esto puede explicarse en parte por factores climáticos (como la precipitación) y por la escarpada topografía de la zona que propicia los procesos erosivos.

Tabla 1. Carga de sedimentos y rendimiento de la carga de sedimentos en algunas estaciones de aforo de algunas corrientes en el departamento de Antioquia.

NOMBRE ESTACIÓN	CORRIENTE	CARGA DE SEDIMENTOS PROMEDIO (kT/día)	CAUDAL PROMEDIO (m ³ /s)	RENDIMIENTO DE CARGA DE SEDIMENTOS (T/km ² /año)
Las Camelias	Tarazá	5,4	89,51	3.004,21
Mutatá	Riosucio	13,051	274,79	1.389,98
La Coquera	Cauca	151,128	1.330,97	1.287,55
La Galera	Tonusco	1,481	7,67	1.171,04
Chigorodó	Chigorodó	0,613	14,39	1.009,04
Las Flores	Cauca	151,643	2.051,41	950,44
Barranquillita	León	2,177	67,9	942,64
Puerto Berrío	Magdalena	187,942	2.409,12	919,98
El Remolino	San Juan	3,335	50,19	853,34
Puente Ferrocarril	Cocorná	1,625	53,6	797,45
La Esperanza	Nechí	23,607	859,37	589,77
Apartadó	Apartadó	0,142	5,33	584,72
La Garrucha	Samaná Norte	2,556	188,56	523,32
Cantera	Nare	7,09	395,33	519,54
Caramanta	Nus	0,509	15,54	503,03
Puente Iglesias	Cauca	40,681	731,39	496,28
Puente Anorí	Nechí	2,098	71,14	431,75
Yarumal	San Andrés	0,259	13,11	242,16
Hacienda Palmira	Man	0,249	25,89	235,75
Los Sirpes	Concepción	0,065	7,27	167,14
Puente Real	Negro	0,085	6,69	66,41
El Cedral	San Andrés	0,016	6,13	58,42
Peñalta	Aurra	0,06	3,8	51,01

5.2 REVISIÓN DE ESTUDIOS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA PUBLICADOS ENTRE LOS AÑOS 2009-2012

Se realizó una recopilación de estudios relacionados con la generación, transporte y depósito de sedimentos, limitados a estudios de libre consulta y que hayan sido realizados o publicados entre los años 2009 y 2012, se clasificaron de acuerdo a si el estudio se centró en analizar los procesos erosivos o la producción de sedimentos, el transporte de sedimentos o la dinámica fluvial, o la dispersión de sedimentos y la sedimentación. Se presenta la referencia de los estudios encontrados y se describe de forma muy general las conclusiones encontradas en ellos.

5.2.1 Producción de sedimentos

En términos generales se encontraron pocos estudios en materia de erosión y de producción de sedimentos. Varios estudios apuntaron a analizar procesos erosivos desencadenados en vías (Álvarez, 2011; Arieta, 2011; Escobar, 2011), también algunos autores han estudiado los riesgos de erosión en los suelos en la zona cafetera (Hincapié, 2010) y mecanismos para la prevención y mitigación por deslizamiento en dichas zonas (Salazar, 2010). También se han estudiado los procesos erosivos en algunas cuencas abastecedoras de agua para el Valle de Aburrá, en las afluencias a los embalses de La Fe y Riogrande, Escobar y Rosanía, 2011 estudiaron los procesos erosivos en la cuenca de la quebrada San Francisco, la cual es afluente del embalse Riogrande II.

En la dinámica costera Posada (2012) estudia el efecto del cambio de las coberturas del suelo sobre la geomorfología costera en las cuencas de los ríos Acandí y Turbo del golfo de Urabá, identificando que en esta zona los cambios en el uso del suelo, la deforestación y las prácticas agrícolas, influyen en la cantidad y calidad del aporte de sedimentos en suspensión que es transportado por los ríos, afectando la dinámica costera, por ello buscaron generar un modelo para establecer relaciones entre las variables asociadas al crecimiento poblacional, la dinámica económica y los cambios de coberturas y producción de sedimentos relacionados con el cambio en las formas de estas cuencas costeras.

• Transporte y dinámica fluvial

Se encontró solamente un estudio que abordó el tema del transporte de sedimento y la dinámica fluvial, Ceballos (2011) analiza los procesos de erosión y sedimentación estudiando tres tramos del cauce de la quebrada La Marinilla para conocer su movilidad, condicionada por la intervención antrópica y las fluctuaciones del nivel base (río Negro), utilizando el modelo numérico CCHE2D, simulando los procesos de agradación y degradación del canal y los cambios morfológicos del mismo, también utilizan el modelo RVR Meander (Abad y García, 2006) para caracterizar y analizar la migración de meandros en dicho cauce. Encontrando que las estructuras de puentes implementados sobre el cauce de la quebrada La Marinilla y las fluctuaciones del nivel en el río Negro pueden modificar y limitar la movilidad del canal en el tiempo.

5.2.2 Procesos de dispersión de sedimentos y de sedimentación

En materia de dispersión de sedimentos en zonas estuarinas y costeras, se encontraron los estudios de Montoya, 2010 quien analiza la dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos, utilizando modelos numéricos analizan los patrones de transporte de sedimentos en el golfo y analizan la influencia de diferentes forzadores oceanográficos y climáticos como las mareas y los vientos en dicha dispersión, también analizan el efecto de la estratificación en dicha dinámica, Álvarez, 2010 presenta una metodología para estudiar la evolución morfodinámica de desembocaduras de ríos en una escala intra-anual utilizando modelación numérica y mediciones de campo, aplicaron la metodología propuesta en la desembocadura del río León en el golfo de Urabá, Velásquez, 2011 analiza la sensibilidad de un modelo de transporte de sedimentos en el golfo de Urabá. En la misma zona del golfo de Urabá otros autores han realizado algunas indagaciones sobre los efectos ambientales que tienen los sedimentos (Gómez, 2011 y Hoyos, 2011).

En materia de sedimentación en embalses se han realizado algunos esfuerzos para determinar las características físicas y químicas de los sedimentos en los embalses La Fe, Riogrande y Porce II, pero no se encontraron publicaciones en el período de estudio de la presente actualización.

5.3 PERSPECTIVAS EN LOS ESTUDIOS DE SEDIMENTOS

Diferentes estudios se han preocupado por analizar las cargas de sedimentos en el mundo, Fournier F, 1960 fue el primero en determinar un patrón de erosión a nivel global con los datos de carga en diferentes corrientes, otros trabajos en la misma línea fueron presentados por Walling, 1985; Walling & Webb, 1983, 1996; Lvovich et al, 1991; Janson, 1982, Walling y Webb (1988) presentan algunos de estos patrones globales. Los anteriores autores han enfrentado la dificultad de encontrar datos consistentes de carga de sedimentos, debido a las notorias diferencias en los datos de carga, escasez de los registros, a las inconsistencias en los mismos cuando se encuentran disponibles, a la extrapolación de resultados de campañas muy cortas de medición y a las diferencias en las técnicas de medición. Según los datos presentados por Walling y Webb, 1983 y Lvovich y Cols, 1991 las cargas máximas de sedimentos están asociados con las cuencas ubicadas en China, Oceanía, los Andes en la costa pacífica americana y en las costas del mar Mediterráneo. Valores bajos de la carga de sedimentos se presentan en las áreas desérticas y en las zonas glaciares. Sin embargo, como mencionan Walling y Webb, 1996 estas representaciones son aún limitadas pues representan tan solo los datos de las principales corrientes y no consideran variaciones temporales en la carga, originadas por la variabilidad climática.

Considerando los registros antes mencionados de la distribución de sedimentos en el mundo, en líneas muy generales se puede decir que no necesariamente las cuencas más grandes son las que tienen los mayores rendimientos de cargas de sedimento, algunas cuencas pequeñas en zonas de montaña, como las del pacífico que presentan altos rendimientos. También se ha encontrado que al igual que los caudales, las corrientes en zonas tropicales son las que reportan cargas de sedimentos más altas. Existe una fuerte influencia de la variabilidad climática en la carga de sedimentos que es difícil de registrar. Eventos extremos pueden causar transportes apreciables aún en zonas donde normalmente el transporte no sea apreciable; por ejemplo, en las zonas desérticas la ocurrencia de tormentas desencadenan transportes altos de la carga de sedimentos, pero éstas son poco frecuentes; eventos extremos, por lo general catastróficos, como crecientes muy fuertes pueden desencadenar crecientes súbitas con alta capacidad de transporte, estas son las conocidas avenidas torrenciales muy frecuentes en las zonas andinas.

Se puede identificar una fuerte dependencia de la carga de sedimentos con el clima y con la geomorfología, la geología, los usos del suelo y la intervención humana. También hay que considerar que la carga de sedimentos puede variar a lo largo de una corriente. No es igual el comportamiento de las cuencas en las zonas de montaña a cuencas que tienen amplias zonas de depósito.

Finalmente, se ha encontrado que la actividad humana tiene un alto impacto sobre la carga de sedimentos, en algunos ríos en los cuales la carga disminuye drásticamente después de la construcción de una presa (Zhanqiao et al, 2009, Wang et al, 2007, William y Wolman, 1984).

A continuación se mencionan algunos aspectos particulares que a consideración de los autores se tendrán que estudiar a fondo en el futuro, debido al desarrollo esperado para el departamento de Antioquia a mediano y largo plazo.

5.3.1 Efectos de la minería en la producción de sedimentos

Entre los diferentes impactos de actividades mineras se pueden encontrar las alteraciones en la dinámica fluvial de las corrientes afectadas por zonas con dicha actividad, alteraciones en los alineamientos y en los trazados de las corrientes pueden generar variaciones en el nivel base local alterando de esta forma la dinámica fluvial natural, también se pueden producir alteraciones en las tasas de erosión o sedimentación de la zona. Alteraciones en los cauces por excavaciones, diques o presas generan cambios en los perfiles locales de la corriente, Las descargas o los procesos extractivos mineros pueden producir la incorporación de partículas sólidas a la corriente, generando aumentos locales en la carga de fondo y suspensión de sedimentos, con el consecuente incremento de la tasa de sedimentación aguas abajo de la explotación. En algunos casos estos sedimentos pueden estar cargados de metales, produciendo el drenaje ácido de las minas, por escorrentía y lixiviación. Aunque son muy pocos los estudios que valoren los impactos y realicen estimaciones de estas actividades (CTA et al, no publicado) realiza una valoración de algunos de los impactos generados en la zona por esta actividad a partir de estimaciones de la huella hídrica (en particular de la huella gris) por actividades del sector minero en la cuenca del río Porce.

Existen diferentes técnicas para el control de sedimentos por actividades mineras. Dichas técnicas se pueden clasificar en: (1) técnicas de control en la fuente. (2) técnicas de retención intermedia o en los procesos al interior de la mina y (3) técnicas de control en la descarga. En las primeras existen diferentes estrategias para el control de la erosión, el manejo adecuado del agua para evitar que ésta llegue a las zonas expuestas y la rápida revegetalización de las zonas de extracción. Entre las técnicas al interior de la mina se pueden mencionar las trampas de sedimentos y sedimentadores. Entre las técnicas antes de la descarga las más utilizadas son las presas o lagunas de sedimentación.

5.3.2 Sedimentación en embalses

Uno de los mayores impactos de los sedimentos se produce cuando estos son atrapados por los embalses, dichos sedimentos producen una reducción en la vida útil de los embalses, pues al sedimentarse ocupan un volumen del embalse, reduciendo de esta forma su vida útil y causando obstrucción en las obras de toma. Además de la reducción de la vida útil, estos sedimentos tienen incidencia sobre la calidad del agua en el embalse, pues junto con los sólidos, son arrastradas otras sustancias contaminantes y nutrientes. También afecta la calidad del agua tomada desde el embalse, pues si está muy cargada de sedimentos afecta las conducciones o incluso puede llegar a afectar las máquinas hidráulicas instaladas.

En el departamento de Antioquia en el período de estudio se encontró que han realizado seguimientos a los sedimentos en los embalses de La Fe, Riogrande II y Porce II. Además, en varios de los embalses del departamento se realizan periódicamente batimetrías con el fin de verificar el grado de sedimentación de los mismos.

5.3.3 Generación de sedimentos en cuencas hidrográficas

La dinámica sedimentológica en las cuencas hidrográficas, constituye un problema complejo, que debe ser abordado si se pretende modelar de manera adecuada el sistema hidrológico y ambiental de la cuenca, y la hidráulica de los ríos en la misma. Entre los modelos de erosión de suelos más ampliamente difundidos se encuentran la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), la ecuación de suelos revisada

(RUSLE) y el WEPP (Water Erosion Prediction Project), este último un esfuerzo de la USDA por constituir un modelo de simulación que predice la pérdida de suelo y deposición, más que un promedio de la pérdida neta de suelo (Tiwari et al, 2000). Recientemente con la aparición de modelos hidrológicos distribuidos, que permiten incluir la variabilidad espacial de la lluvia, y de las características del suelo de la cuenca, también se ha incorporado la posibilidad de estimar la producción de sedimentos en una cuenca, ya sea desde la aplicación distribuida de las ecuaciones de la RUSLE, acopladas con el modelo hidrológico y con un mecanismo de transporte de sedimentos; o la incorporación misma de un modelo de sedimentos acoplado con un modelo hidrológico, tal es el caso del modelo expuesto por Kabir et al, (2011), o del modelo TETIS-SED (Bussi y Francés, 2010). Algunas aplicaciones de este modelo se han realizado en Colombia. Tal es el caso del estudio de la cuenca del río La Miel (CTA, 2011) y del río Risaralda (Tavera y Vélez, 2012).

5.3.4 Análisis de paleoindicadores en depósitos de sedimentos

Relacionado con la búsqueda de evidencia de avenidas extremas, que permitan ampliar el registro de caudales y mejorar la estimación de caudales de altos períodos de retorno, se encuentra el análisis de paleoindicadores en depósitos de sedimentos. Los paleoindicadores, son evidencias dejadas por las crecidas, las cuales no fueron registradas sistemáticamente. Las crecidas, que han dejado esta evidencia se conocen con el nombre de paleocrecidas, las cuales no necesariamente ocurrieron en años remotos, sino que no hay registro sistemático de ellas, y se estima su caudal a partir de diferentes evidencias en el cauce, como pueden ser depósitos de sedimentos en lugares altos alcanzados por el agua y sedimentos arrastrados, durante la crecida. La técnica de ampliación de registros de caudales, a partir de la información de paleocrecidas ha sido ampliamente utilizada, en su mayoría en zonas áridas o semi-áridas (Benito et al, 2011, Botero y Francés, 2010, Baker, 2008), y en algunas ocasiones en zonas húmedas y tropicales (Oguichi et al., 2001; Kidson et al, 2005), con buenos resultados. El análisis de paleoindicadores en depósitos de sedimentos, es una herramienta a explorar en nuestro departamento, ya que el uso de esta información combinada con la modelación hidráulica permitiría una mejor caracterización de zonas de riesgo por inundación.

5.4 CONSOLIDADO DE ESTUDIOS Y CARENCIAS DE INFORMACIÓN

A partir de la revisión de la información, es posible arriesgarse a mencionar, los tópicos sobre los cuales se debe investigar en este tema en el futuro y dónde se encuentran las mayores carencias de información. En el tema de generación de sedimentos es importante continuar avanzando en la construcción de modelos distribuidos de generación de sedimentos en cuencas hidrográficas, modelos que consideren las diferentes características topográficas y los diferentes usos del suelo presentes en la zona. Es necesario tener información en campo, sistemática que permita la calibración de estos modelos. No se tienen establecidas tasas de erosión para las diferentes cuencas o zonas del departamento. Es importante para la investigación futura y la toma de decisiones, contar con un mapa de procesos erosivos en el departamento de Antioquia, de tal forma que se haga seguimiento y control a los mismos y se tenga una idea de las zonas donde se presenta una mayor pérdida de suelo.

En cuanto al transporte de lodos y sedimentos, es muy importante ahondar en los riesgos asociados a los flujos torrenciales y en la comprensión de la dinámica fluvial de los ríos. Muchas de las poblaciones del departamento se encuentran localizadas en zonas de amenaza para eventos aluvio-torrenciales, o se ven afectadas por procesos morfológicos de los ríos que con su dinámica afectan la población asentada en sus riveras. Por ello es muy importante profundizar en dichos temas de tal forma que se haga un adecuado manejo de las riveras de los ríos y una valoración de la amenaza de la población allí asentada. Para este fin, podrían implementarse nuevas fuentes de datos como los paleoindicadores, de tal manera que complementen los estudios de amenaza por eventos aluvio-torrenciales. Por otra parte, en el tema de depósito de sedimentos se establece que es muy importante realizar estudios de dispersión de sedimentos en ciénagas, embalses y estuarios del departamento, para una mejor comprensión de los procesos de dispersión de los mismos,

Aunque son pocos los estudios en modelación de transporte de sedimentos y de la dinámica fluvial, se debe avanzar en esta clase de estudios, como los identificados en esta actualización.

En general, se cuenta con poca información sobre el tema de sedimentos en Antioquia y son relativamente pocos los estudios que apunten al avance en el conocimiento del mismo. Se sugiere direccionar a investigación, más que a la solución de problemas concretos y puntuales, hacia la construcción de estudios que aborden de una forma más amplia la generalidad del problema y los procesos involucrados. Finalmente, se evidencia la necesidad de mejorar los sistemas de medición de sedimentos en las corrientes del departamento y de realizar estudios que apunten a una descripción de dichas mediciones de tal forma que se puedan observar tendencias en las mismas o patrones de cambio en dicha variable.

Se observaron pocos estudios en las bibliotecas y centros de documentación consultados, que realizaran seguimientos a la sedimentación en embalses. Adicionalmente, no se encontraron estudios en las zonas urbanas que analicen la producción, transporte y depósito de sedimentos y su afectación sobre los sistemas de drenaje urbano.

A pesar de las implicaciones ambientales de la minería, los efectos de la misma sobre la carga de sedimentos se encuentran poco valorados y estudiados.

No se cuenta con estudios de sedimentación en ciénagas, lagos o humedales y considerando que estos sistemas tienen una importante función ambiental en el tema de retención de sedimentos, sería importante que se valorara mejor dicha funcionalidad.

5.5 CONCLUSIONES

En términos generales en el tema de generación, transporte y depósito de lodos y sedimentos se encontró poca información y pocos avances en estudios sobre el tema. Se observa que el tema se encuentra aún en desarrollo y que involucra una serie de componentes que lo constituyen en problemas complejos, como diferentes tipos de elementos físicos, geográficos, climáticos e hidrológicos, que a su vez, tienen consecuencias e implicaciones sociales, económicas y ambientales.

En respuesta al objetivo de esta actualización, se evidenció que de acuerdo a la revisión de estudios disponibles, en términos generales son pocos los estudios realizados en esta materia y varios de los estudios encontrados responden a problemas localizados más que a estudios de cuenca.

En términos generales se puede decir que las corrientes del departamento de Antioquia tienen un alto transporte de sedimentos. Por esto es importante mantener una medición continua en el tiempo y en el espacio de la carga de sedimentos de muchas de estas corrientes.

5.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ ORTIZ, A, M, (2011), “Caracterización geotécnica de sitios críticos de la vía marginal del Cauca en el tramo Bolombolo-Santa Fe de Antioquia” Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- ÁLVAREZ, O, (2010), “Modelación morfodinámica de desembocadura a escala intra-anual”, Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín: [s,n,]
- ARRIETA RODRÍGUEZ, M, (2011), “Biomineralización aplicada a la mitigación de procesos erosivos superficiales, en un suelo tropical de la ciudad de Medellín” Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- BAKER, V, 2008, “Paleofloodhydrology: Origin, progress, prospects”, *Geomorphology* 101, 1-13.
- BENITO, G, A, B, A, BOTERO, V, R, THORNDYCRAFT, M, RICO, Y, SÁNCHEZ-MOYA, A, SOPEÑA, M, J, MACHADO, Y O, DAHAN, (2011), “Rainfall-runoff modelling and palaeoflood hydrology applied to reconstruct centennial scale records of flooding and aquifer recharge in ungauged ephemeral rivers”, *Hydrol, Earth Syst, Sci.*, 15, 1185-1196.
- BOTERO B, A Y FRANCÉS, F, (2010), “Estimation of high return period flood quantiles using additional non-systematic information with upper bounded statistical models”, *Hydrol, Earth Syst, Sci.*, 14, 2617-2628.
- BUSSI G, Y FRANCÉS, F, (2010), “Automatic calibration of an erosion and sediment yield distributed conceptual model: application to the Goodwin Creek Experimental river basin (USA)”, Vol, 12, EGU2010-5898 *Geophysical Research Abstracts*.
- CEBALLOS LÓPEZ, J, D, (2011), “Modelación hidráulica y morfodinámica de cauces sinuosos aplicación a la quebrada La Marinilla (Ant)” Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- ESCOBAR CHAVARRIAGA, P, E, Y ROSANÍA ALTAHONA, T, A, (2011), “Métodos de prevención aplicables para el problema de colmatación por sedimentos en embalses caso – cuenca quebrada san francisco - los atajos” Trabajo de grado,

Escuela de Ingeniería de Antioquia.

- ESCOBAR, L,J, (2011), “Clasificación y caracterización de suelos tropicales en un talud de la autopista Medellín-Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario” Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia.
- FOURNIER, F, (1960), “Climat et Erosion”, PUF, París.
- GÓMEZ, E, (2011), “Influencia de factores ecológicos en la distribución, abundancia y asociaciones de foraminíferos bénticos recientes en ecosistemas de manglar en el golfo de Urabá”, Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia.
- HINCAPIÉ GÓMEZ, E, (2010), “Riesgo a la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera”, Avances técnicos CENICAFE, No 400 (pp, 1-8).
- HOYOS, R, (2011), “Respuesta de la regeneración natural de los manglares del delta del río Turbo y la bahía” Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 65.
- KIDSON, R., K, S RICHARDSY P, A, CARLING, (2005), “Reconstructing the ca, 100-year flood in Northern Thailand, Geomorphology 70, 279-295.
- JANSON, M, B, “Land Erosion by Water in Different Climates” UNGI Report No, 57, 1982.
- KABIR, M, A, D, DUTTA Y S, HIRONAKA, (2011), “Process based distributed modeling approach for analysis of sediment dynamics in a river basin”, Hydrol, EarthSys, Sci, 15, 1307-321.
- MILLIMAN J, D, 1990, “El sedimento fluvial en los mares costeros: flujo y destino final”, La Naturaleza y sus recursos, Vol, 26 (4) 12-22.
- MILLIMAN J,D,Y MEADE R,H, “World-Wide delivery of river sediment to the oceans”, Journal of geology, Vol 91(1) 1-21,1983.
- MONTOYA, L,J, (2010), “Dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos” Tesis, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, (pp, 254).
- OGUCHI, T,, K, SAITO, H, KADOMURA Y M, GROSSMAN, (2001), “Fluvial geomorphology and paleohydrology in Japan”, Geomorphology, 39, 3-19.
- ORTIZ ZAPATA, J, C, (2010), “Caracterización fisicoquímica, mineralógica y mecánica de un suelo tropical de la margen izquierda del río Medellín a la altura de Barbosa” Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- POSADA MIRA, L, E, (2012) “Efecto del cambio de las coberturas del suelo

sobre la geomorfología costera en las cuencas de los ríos Acandí y turbo del golfo de Urabá”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

- RESTREPO, J,D,, KJERFVE, B,, HERMELIN,M,, RESTREPO, J,C, (2006), “Factors controlling sedimentyield in a major South American drainage basin: the Magdalena River”, Colombia, Journal of Hydrology, Volume 316, Issues 1–4, 10 January 2006, Pages 213-232.
- SALAZAR GUTIÉRREZ, L,F, (2010), “Manejo de suelos y aguas para la prevención y mitigación de deslizamientos en fincas cafeteras” Avances técnicos CENICAFE, No 401 (pp, 1-8).
- TAVERA A, M Y J, J, VÉLEZ, (2012, septiembre), “Impacto de la explotación minera sobre cauces y laderas andinos para lograr un aprovechamiento sostenible de los recursos, Caso de estudio río Risaralda”, Memorias del XXV congreso latinoamericano de hidráulica, San José, Costa Rica.
- TIWARI, A, K,, L, M, RISSE, M, A, (2000), Nearing, “Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE”, Transactions of the ASAE, 43(5): 1229-1135.
- VELÁSQUEZ, L, (2011), “Análisis de sensibilidad a un modelo de transporte de sedimentos: golfo de Urabá Colombia, Trabajo de grado Universidad EAFIT.
- WALLING, D, E, 1983, “The sediment delivery problem”, Journal of Hydrology, 65, 209-237.
- WALLING, D,E, Y WEBB, B,W, 1983, “Patterns of sediments yield” In: Background to Paleohydrology.
- WALLING, D,E, Y WEBB, B,W, 1996, “Erosion and sediment yield: a global overview”, En: Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives, IAHS Pub No 236.
- WILLIAM, G,P, Y WOLMAN, M,G, “Downstream effects of dams on alluvial rivers, USGS professional paper” U,S, Government Printing Office, Washington, D,C (1984) 1286 pp.
- WANG, Z,Y,, WU, B,S, Y WANG, G,Q, “Fluvial processes and morphological response in the Yellow and Weihe Rivers to closure and operation of Sanmenxia Dam” Geomorphology, 91 (2007), pp, 65–79.
- ZHANQIAO WANG, ZHONGYUAN CHEN, MAOTIAN LI, JING CHEN, YI-WEN ZHAO, “Variations in downstream grain-sizes to interpret sediment transport in the middle-lower Yangtze River, China: A pre-study of Three-Gorges Dam”, Geomorphology, Volume 113, Issues 3–4, 15 December 2009, Pages 217-229.



CAPÍTULO 6

USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA¹

.....

INTRODUCCIÓN

El incremento de uso del agua plantea la necesidad de buscar mecanismos para integrar su uso eficiente en los programas y proyectos, considerando el rol del agua como un bien ambiental, social y económico, y los derechos de los grupos más necesitados y vulnerables. Cada vez, el agua adquiere mayor importancia porque es un recurso limitado y no siempre disponible en el lugar en que se requiere. En el futuro la demanda crecerá a medida que la población aumente y a causa de la expansión económica. Al mismo tiempo los recursos del agua permanecerán estables en términos de la cantidad disponible, pero decrecerá la cantidad que se puede usar debido al deterioro de la calidad causada por la contaminación (IRC, 2004).

Por otro lado, el consumo por parte de una comunidad está determinado por una serie de factores tales como el clima de la región, las costumbres de su gente, el sistema productivo en que sustentan su economía, entre otros. Lo anterior implica que es una consecuencia meramente antrópica que hace indispensable que cualquier trabajo enfocado a determinar la demanda de agua en un territorio y al establecimiento de las directrices para el uso eficiente y ahorro del agua, esté acompañado de un diagnóstico previo en la región objeto de estudio.

Es así como el concepto del uso eficiente del agua ha tenido una evolución desde que se empezó a trabajar hace más de dos décadas, como puede verse en las definiciones que se presentan a continuación:

¹ Uso eficiente y ahorro del agua.
Elaborado por: José Adrián Ríos Arango, Ingeniero Químico, MSc en Ingeniería con énfasis en Ambiente y PhD en Ingeniería. Israel Palacio, Ingeniero Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana.

“La eficiencia en el uso del agua incluye cualquier medida que reduzca la cantidad por unidad” (Tate, 1991).

“Hacer más con menos agua, poniendo en práctica conceptos de eficiencia: esto indica prevención de la contaminación y gestión racional del recurso” (Sánchez y otros, 2003).

“La definición de uso eficiente del agua implica toda actividad que esté relacionada con utilizar el recurso de una mejor manera, hacer más o lo mismo con menos cantidad y por eso frecuentemente esto es una “fuente de agua” por sí misma” (Sánchez y Sánchez, IRC, 2004).

Es claro que el uso eficiente del agua ha pasado de ser un simple indicador de consumo y se ha transformado hacia una gestión con enfoque integrado, en el cual se considera un análisis multidimensional, orientándose hacia acciones que tiendan a reducir la cantidad de agua empleada en las diferentes actividades de los sistemas de agua, en la perspectiva de su sostenibilidad.

En Colombia, en las dos últimas décadas, se han establecido las bases jurídicas para darle al agua un manejo óptimo. Esta situación se refleja en diferentes acciones de tipo normativo que concluyen con la promulgación de la Ley 373 de 1997, la cual reglamenta los programas de uso eficiente del agua y adicionalmente la creación de la Política Nacional de Agua (2010), que ha declarado el agua dulce como un recurso escaso y ha incluido en la Estrategia 2.3 el uso eficiente y sostenible del agua. En el ámbito regional se han adelantado estudios enfocados a determinar los valores óptimos de consumo y a evaluar la aplicación de técnicas y tecnologías encaminadas a determinar la viabilidad de reducir o reusar el agua; sin embargo, aún falta lograr la integralidad y multidisciplinariedad que permita que la población se apropie de estas tecnologías.

Este documento se elaboró con información que fue levantada por autoridades ambientales como CORANTIOQUIA, CORNARE, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, IDEAM, Empresas Públicas de Medellín, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, operadores privados y públicos, entre otros. Esta recopilación servirá como diagnóstico del levantamiento de información existente en el medio.

6.1 DEMANDA DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO

Para obtener mayor claridad en los niveles de demanda se divide la utilización del recurso en siete sectores: doméstico, comercial, industrial, agrícola, pecuario, acuicultura y generación de energía; los cuales agrupan la gran mayoría de usuarios del agua, haciendo énfasis en los más representativos para nuestra región. A continuación se presenta la definición de cada uno de estos sectores en los que se indica la forma cómo han sido abordados para el desarrollo del estudio.

- Sector doméstico: en este sector se evaluaron los niveles de consumo de la población en su parte residencial para satisfacer sus necesidades básicas (alimentación e instalaciones hidro-sanitarias).
- Sector comercial y de servicios: en este sector se encuentra la parte de servicios dentro de la cual se destaca la presencia de hospitales, centros comerciales, hoteles, restaurantes, aeropuertos, cárceles y demás entidades que ofrecen servicios a la comunidad.
- Sector industrial: en este sector se ubican todos los establecimientos que realicen alguna transformación de materias primas.
- Sector agrícola: comprende toda la actividad de aprovechamiento de cultivos, este sector es bastante representativo dentro de Antioquia ya que ésta es una región con variedad geográfica y de climas, lo que permite el desarrollo de muchas formas agrarias. Dentro del sector agropecuario se incluye la producción de cereales, hortalizas, fruticultura, cultivos industriales, viñas y ganadería, entre otras.
- Sector pecuario: hace referencia a la crianza, manejo y sacrificio del ganado (bovino, caprino, porcino y equino), y otras especies de animales (abejas, aves, conejos, etc.) que se crían para consumo humano y producción de derivados para la industria.
- Acuicultura: cría de organismos acuáticos, lo que comprende peces, moluscos, crustáceos y plantas. La cría supone la intervención humana para incrementar la producción.
- Generación de energía: es el sector de la economía destinada a la producción, distribución y comercialización de energía eléctrica en todas sus formas.

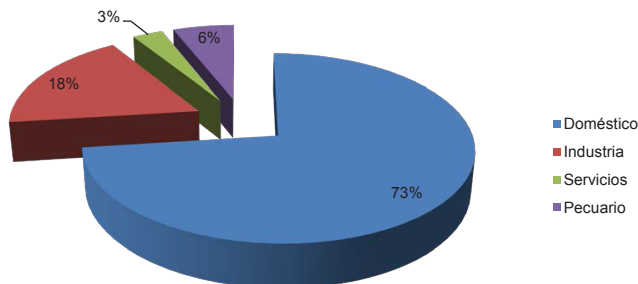
En la Figura 1 se presentan los porcentajes de la demanda de agua en el año 2005 según el Estudio Nacional de Aguas del IDEAM (2008) para los sectores industrial, residencial, servicios y pecuario en Colombia y Antioquia. Como se puede observar en la Figura 1 en nuestro departamento en el año 2005 se utilizaba el 73% de la demanda de agua para el sector residencial, el 18% para el sector industrial, el 6% en el sector pecuario y el 3% restante en el sector de servicios. No se tuvo en cuenta el uso del agua para la generación de energía. Según este estudio, no hay un uso de agua para el riego o la producción agrícola en el departamento de Antioquia.

Geográficamente los municipios que ejercen mayor presión sobre el recurso hídrico, son los que concentran mayor población, centros de explotación agrícola, industrial y ganadera. Es así como la demanda de agua para el consumo doméstico se da en los municipios de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, pues éstos concentran la mayor población del país. La demanda de agua para uso industrial se da notablemente en centros industriales como Barranquilla, Cali, Yumbo, Bogotá y Medellín.

Figura 1. Consumo de agua por sectores en Colombia y Antioquia, según ENA 2008.



Distribución sectorial de la demanda de agua en Antioquia (Gráfico con estadísticas al año 2005)



Fuente: Estudio Nacional del Agua, 2008.

Para el año 2010 el Estudio Nacional del Agua realizó una modificación en la metodología para determinar la demanda de agua en Colombia e incluyó sectores como el agrícola y de generación de energía. Adicionalmente se debe tener en cuenta que se incluyeron los datos de captaciones de agua de algunas autoridades ambientales y de las cuales es imposible obtener datos reales. En la Figura 2 se presenta la distribución sectorial de la demanda de agua en el año 2010, mostrando mayor participación en el sector agrícola, correspondiente al 54%, seguido por el sector de generación de energía con un 20%. Los demás sectores consumen menos del 7% con respecto al total. En la Figura 3 se muestra la demanda total para el país que asciende a 35.877 millones de metros cúbicos de agua y los valores de cada uno de los siete sectores evaluados.

Figura 2. Porcentaje de la demanda de agua por sectores en Colombia en el año 2010.

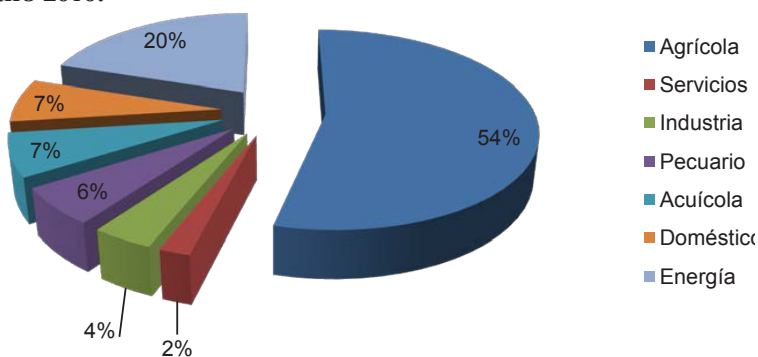
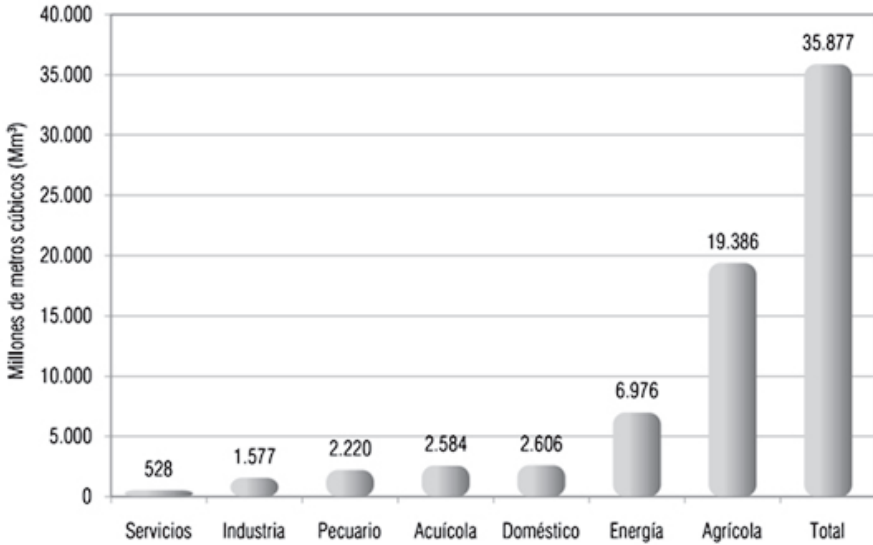


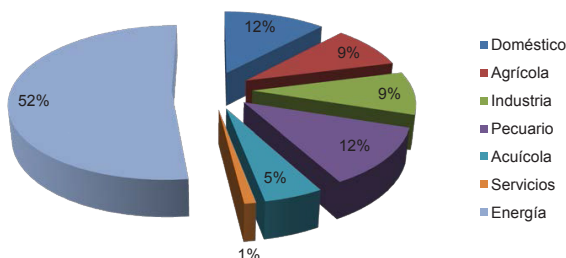
Figura 3. Consumo de agua por sectores en Colombia en el año 2010.



Fuente: Estudio Nacional del Agua, 2010.

Al aplicar la metodología del Estudio Nacional del Agua con los datos departamentales de población, producción agrícola, sacrificio de ganado, generación de energía, entre otros, es posible determinar la demanda de agua en Antioquia. En la Figura 4 muestra que el porcentaje de la demanda de agua en Antioquia es diferente a los valores nacionales. Se evidencia que el principal consumo de agua en el departamento se da para la generación de energía con un 54%, seguido por el sector pecuario y doméstico con un 12%. El uso de agua con fines agrícolas es solo del 9% a diferencia de los datos nacionales que muestran que en este uso es del 54%. La demanda potencial de agua en Antioquia es de 2.980 Mm³/año, equivalente al 8,3% del consumo total del país.

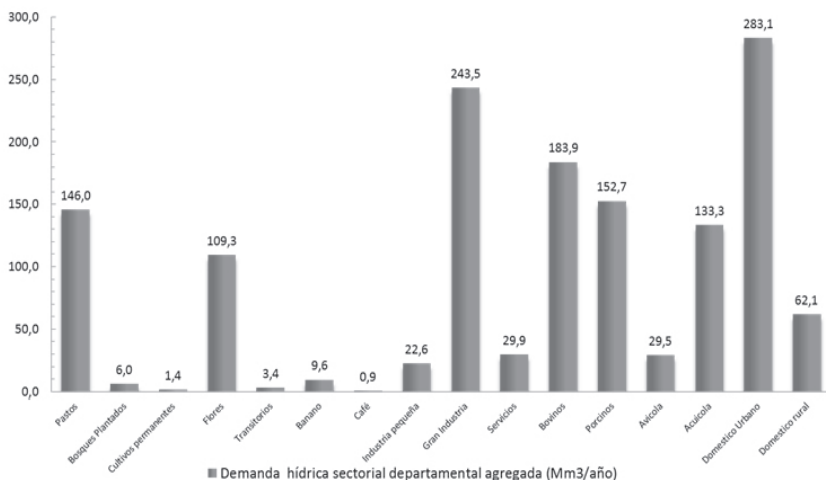
Figura 4. Porcentaje de la demanda de agua por sectores en Antioquia en el año 2010.



Fuente: elaboración propia a partir de la metodología del Estudio Nacional del Agua, 2010.

En la Figura 5 se presenta un resumen de los subsectores más relevantes para el departamento sin incluir el sector energético que como ya se ha dicho, representa el 54% del consumo total de agua. Se puede concluir que en el sector agrícola el uso más relevante del agua se da en el riego de pastos y el cultivo de flores, mientras que la producción de bovinos y porcinos lo son en el sector pecuario. La demanda de agua en las cabeceras municipales representa casi el 80% de toda el agua utilizada en el sector doméstico.

Figura 5. Consumo de agua por sectores en Antioquia en el año 2010



Fuente: elaboración propia a partir de la metodología del Estudio Nacional del Agua, 2010.

Por otro lado, según el Anuario Estadístico de Antioquia 2010, el agua facturada asciende a 225 millones de metros cúbicos anuales de los cuales el 78,2% se destina al sector residencial, el 8,3% al sector comercial y el 6,3% al sector industrial aproximadamente. Nuevamente se evidencia la falta de medición, cobro y control del agua utilizada en usos como el pecuario y agrícola.

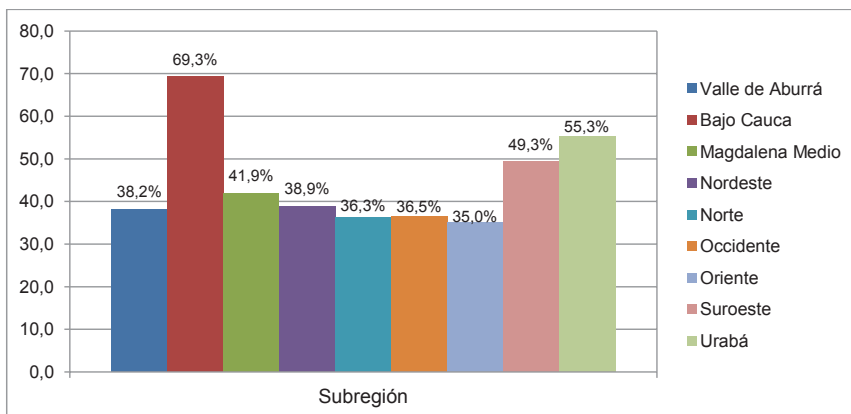
Tabla 1. Agua facturada en el Departamento de Antioquia para el año 2010.

SUBREGIONES Y MUNICIPIOS	AGUA FACTURADA (m ³ /año)				
	RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL	OTROS (1)	TOTAL
Total departamento	175.941.289	18.750.867	14.263.164	14.606.403	225.037.541
Valle de Aburrá	149.561.716	16.051.931	13.831.127	12.458.779	191.903.553
Bajo cauca	3.156.365	186.398	16.575	113.951	3.473.289
Magdalena Medio	2.357.587	257.248	13.539	249.571	2.877.945
Nordeste	1.375.643	131.143	1.103	107.766	2.169.431
Norte	2.626.943	322.709	213.959	285.629	4.074.057
Occidente	604.571	102.951	1.164	82.176	1.088.087
Oriente	7.264.446	766.414	102.859	522.150	8.655.869
Suroeste	5.004.123	542.293	33.344	603.798	6.183.559
Urabá	3.989.895	389.780	49.493	182.583	4.611.751

Fuente: elaboración propia a partir de la información del Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia.

Las pérdidas de agua ya sea por agua no contabilizada, fugas o por fraude también fueron evaluadas en este estudio, encontrándose que la subregión Bajo Cauca del departamento presenta el mayor nivel de agua que es producida por las plantas de tratamiento municipales pero no es facturada, con un 69,3%. El Oriente, presenta el menor nivel de pérdidas reportadas con un 35%. Estos datos se calcularon a partir de la información que maneja la Secretaría de Planeación Departamental en el Anuario Estadístico de Antioquia 2010.

Figura 6. Agua no facturada en el departamento de Antioquia para el año 2010



6.2 REGLAMENTACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

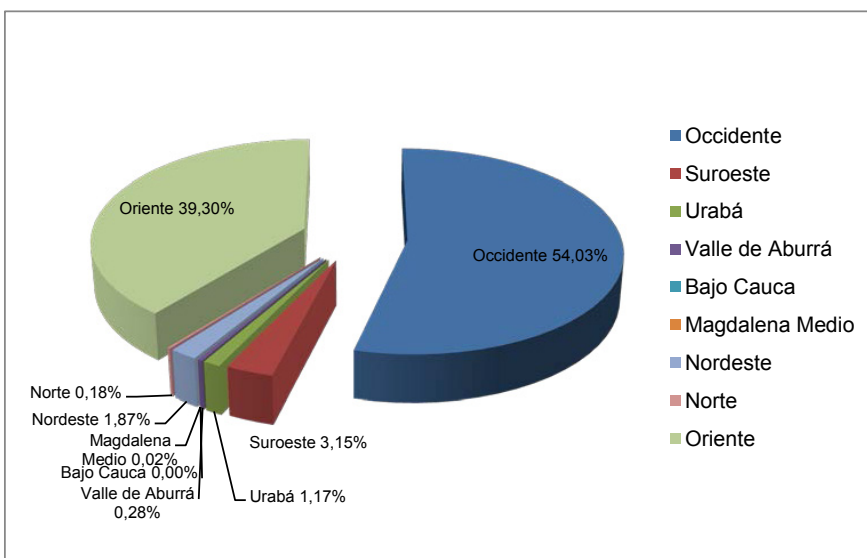
La reglamentación responde a la necesidad del Sistema Regional Ambiental de contar con un modelo de planificación ambiental que asegure un manejo sistémico del medio natural en armonía con la demanda socioeconómica de la región. Da respuesta al Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables (Decreto 1640/2) en lo pertinente a Área de Manejo Especial, Título II, Capítulo III relativo a Cuencas Hidrográficas; a la Ley 99/93 y en especial a lo ordenado en el Decreto 1729/02, el cual determina el procedimiento para adelantar el proceso de ordenamiento de cuencas y ratifica en las corporaciones autónomas regionales la competencia de declarar el ordenamiento y poner en marcha el manejo integral y sistémico de la cuenca.

Tanto en el ámbito nacional como regional, se cuentan con registros en los que se dan a conocer la forma en la cual se está reglamentando el recurso hídrico, con la finalidad de asegurar el abastecimiento de agua a las personas naturales o jurídicas, públicas y privadas.

Las autoridades ambientales regionales expiden actos administrativos, denominados “Concesiones de agua”. Esta función está basada en el cumplimiento del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables (Parte III, Título II Capítulo I) y del Decreto Reglamentario 1541/78.

Estas concesiones de aguas han sido basadas en la disponibilidad del recurso en cada jurisdicción de las entidades, siendo así que el mayor caudal de concesiones otorgado durante el año 2009 en el departamento de Antioquia es la región de Occidente con un 54% del total y la de menor otorgamiento es el Bajo Cauca. El total otorgado en Antioquia es de 60,4 m³/s.

Figura 7. Concesiones de agua en Antioquia.



fuentes: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia- CORANTIOQUIA, Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá - CORPOURABÁ y Corporación Autónoma Regional Rionegro – Nare - CORNARE. Anuario Estadístico de Antioquia.

6.3 SECTOR DOMÉSTICO

6.3.1 Metodología

Para determinar la demanda de agua en el sector residencial, se recurrió al Anuario Estadístico de Antioquia 2010, al departamento de estadística de la Gobernación, a algunas empresas prestadoras del servicio público, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, a CORNARE y CORANTIOQUIA. En esta parte no se utilizó ningún modelo de cálculo, ya que toda la información estaba en las fuentes citadas anteriormente y no se requirió inferir ningún dato.

6.3.2 Demanda de agua en el sector residencial

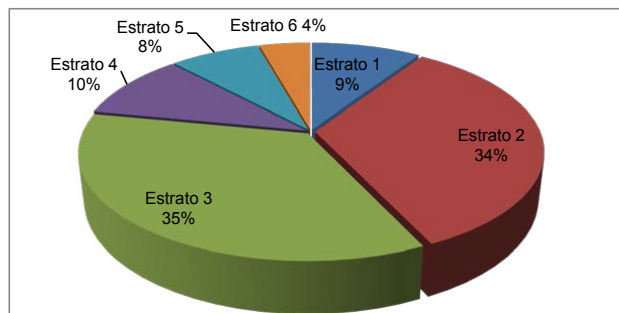
En Antioquia fueron facturados 175,9 millones de metros cúbicos en el año 2010, valor que equivale al 51% la demanda estimada por el Estudio Nacional de Agua del departamento y al 6% de la demanda total. En el Gráfico 8 se puede observar claramente que el estrato 3 consume el 35% de la demanda de agua para uso residencial, seguido por el estrato 2 con un 34% de ésta. Basados en los datos anteriores y el valor del porcentaje de participación del Área Metropolitana se concluye que en los estratos 2 y 3 se utiliza el 69% del recurso hídrico destinado para fines domésticos, es decir, alrededor de 121.000.000 de metros cúbicos anuales.

En la Tabla 2 se presentan también los valores de la demanda en cada una de las subregiones del departamento, de los cuales cabe resaltar que en el Valle de Aburrá se utiliza el 85% del agua demandada para uso residencial, siguiendo en orden descendente el oriente antioqueño (4,1%) y los municipios del suroeste (2,8%). En la Tabla 3, se evidencia el aumento de la cantidad de agua facturada en aproximadamente 17% del promedio de todos los estratos, es decir, más de 26.000.000 de metros cúbicos, comparando los datos del 2010 y 2008 que fueron consignados en la anterior actualización del estado del arte realizada por la Cátedra del Agua.

Adicionalmente se tienen estimaciones que el consumo total de la población asciende a 345 millones de metros cúbicos anuales. Para la realización de dicho cálculo se

tuvo en cuenta la dotación diaria aproximada, según el Departamento de Planeación Nacional, de 134 L/persona/día. Lo anterior implica que en el sector doméstico hay cerca de un 49% de agua no contabilizada por los sistemas de acueducto.

Figura 8. Porcentaje de utilización por estrato del agua de uso residencial en Antioquia



fuentes: www.sui.gov.co, SUI 2010. Empresas Públicas de Medellín - E.P.M., operadores privados y alcaldías municipales.

Tabla 2. Demanda total de agua en el sector residencial para Antioquia.

SUBREGIÓN	AGUA TRATADA PRODUCIDA m ³ /año	AGUA DEMANDADA FACTURADA m ³ /año	AGUA DEMANDADA NO CONTABILIZADA m ³ /año	PORCENTAJE AGUA DEMANDADA NO CONTABILIZADA
Valle de Aburrá	310.296.000	191.903.553	118.392.447	38,2%
Bajo Cauca	12.876.242	3.473.289	9.402.953	69,3%
Magdalena Medio	5.506.930	2.877.945	2.628.985	41,9%
Nordeste	4.424.542	2.169.431	2.255.111	38,9%
Norte	7.251.099	4.074.057	3.177.041	36,6%
Occidente	6.854.054	1.088.087	5.765.967	46,5%
Oriente	15.124.584	8.655.869	6.468.714	35,0%
Suroeste	11.907.749	6.183.559	5.724.189	44,3%
Total departamento	389.998.345	225.037.541	164.960.803	45,1%

En el Valle de Aburrá, la variación en consumos de agua entre el año 2008 y 2010 en el sector residencial ha variado considerablemente en los estratos 1, 2 y 3; sin embargo, algunos estratos socioeconómicos como el estrato 4, estrato 5 y estrato 6 han tenido variaciones inferiores al 4,6% respectivamente. El sector que más incrementó la demanda de agua en el Valle de Aburrá fue el estrato 1 con un incremento del 50,6%, seguido del estrato 2 con un 20,3%. En la Tabla 3 se presentan los datos de cada uno de los estratos para los años 2007, 2008 y 2010 con su respectiva variación en porcentaje.

Tabla 3. Demanda total de agua en el sector residencial para Antioquia.

CONSUMOS DE AGUA EN EL VALLE DE ABURRÁ 2007 - 2010 m ³ /año						
AÑO	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4	ESTRATO 5	ESTRATO 6
2007	10.528.017	49.304.857	52.869.787	16.401.326	13.179.255	7.505.356
2008	10.824.190	49.317.543	52.443.562	16.775.717	13.114.377	7.321.817
2010	16.301.144	59.311.755	61.741.964	17.555.344	13.424.091	7.606.989
% Variación 07-08	2,8%	0,03%	-0,81%	2,28%	-0,49%	-2,45%
% Variación 08 - 10	50,6%	20,3%	17,7%	4,6%	2,4%	3,9%

Fuente: elaboración propia a partir de www.sui.gov.co y Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia – Anuario Estadístico de Antioquia 2010. Dirección Sistemas de Indicadores.

6.3.3 Demanda de agua en el sector terciario y de servicios

En el sector terciario y de servicios se utilizaron en el año 2003 un total de 30,9 millones de metros cúbicos, para el 2007 de 33 millones y en el año 2010 se consumieron 33,4 millones de metros cúbicos, cifras que equivalen al 1% de toda la demanda de agua del departamento. En la Tabla 4, se presentan los valores de la demanda facturada en cada una de las subregiones del departamento, de los cuales cabe resaltar que en el Valle de Aburrá se utiliza aproximadamente el 85,5% del agua demandada para uso del sector terciario y de servicios, siguiendo en orden descendente el oriente con 3,9%, y el suroeste con 3,4%.

Tabla 4. Demanda de agua en el sector terciario y de servicios para el año 2010 en el departamento de Antioquia.

SUBREGIONES	COMERCIAL m ³ /año	OTROS m ³ /año	TOTAL m ³ /año	% PARTIC.
Valle de Aburrá	16.051.931	12.458.779	28.510.710	85,5%
Bajo Cauca	186.398	113.951	300.349	0,9%
Magdalena Medio	257.248	249.571	506.819	1,5%
Nordeste	131.143	107.766	238.909	0,7%
Norte	322.709	285.629	608.338	1,8%
Occidente	102.951	82.176	185.127	0,6%
Oriente	766.414	522.150	1.288.564	3,9%
Suroeste	542.293	603.798	1.146.091	3,4%
Urabá.	389.780	182.583	572.363	1,7%
Total departamento	18.750.867	14.606.403	33.357.270	100%

Fuente: elaboración propia a partir de www.sui.gov.co y Departamento Administra fuente: Empresas Públicas de Medellín - E.P.M., CORNARE, operadores privados y alcaldías municipales 2010.

6.4 SECTOR INDUSTRIAL

La demanda facturada en el departamento de Antioquia asciende a 14,2 millones de metros cúbicos. En la Tabla 5 se presentan los valores de la demanda de agua facturada para uso industrial en cada una de las subregiones del departamento. Según la información levantada, el Valle de Aburrá utiliza el 98% del agua demandada para uso industrial, seguido por la zona del oriente con el 0,99%. El 1% restante se reparte en las otras 7 subregiones del departamento. En este consolidado aún no está incluida la demanda de agua que es captada directamente de las fuentes de agua.

Tabla 5. Demanda de agua en el sector industrial para el departamento de Antioquia.

SUBREGIONES	INDUSTRIAL	%
	miles m ³ /año	PARTICIPACIÓN EN USO INDUSTRIAL
Total departamento	14.263.164	100%
Valle de Aburrá	13.831.127	98%
Bajo Cauca	16.575	0,09%
Magdalena Medio	13.539	0,01%
Nordeste	1.103	1,21%
Norte	213.959	0,01%
Occidente	1.164	0,99%
Oriente	102.859	0,13%
Suroeste	33.344	0,0020%
Urabá	49.493	

Fuente: Empresas Públicas de Medellín - E.P.M., CORNARE, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, operadores privados y alcaldías municipales.

6.5 ÍNDICES DE CONSUMO

Un índice de consumo de agua es la cantidad que se requiere para el desarrollo de una actividad o la obtención de un producto. Sirve para determinar los caudales a asignar a una comunidad o a personas naturales o jurídicas para el desarrollo de sus actividades domésticas, agropecuarias, industriales, comerciales o de otro tipo; así mismo, sirve como criterio de comparación para determinar potenciales de ahorro y uso eficiente del recurso.

A continuación se hace una actualización de algunos índices de consumo complementarios al trabajo realizado en el año 2008. Se consultaron diversas fuentes entre las que se encuentra el Departamento Nacional de Planeación, autoridades ambientales, Cenicafé, IDEAM, entre otros.

6.5.1 Módulos de consumo para uso doméstico

Hace referencia al recurso hídrico utilizado para la preparación de alimentos, higiene personal y servicios sanitarios.

En este ítem se enumeran los diferentes módulos de consumo relacionados con el uso doméstico:

- Módulos de consumo recomendados en el ámbito nacional para acueducto.
- Módulos de consumo doméstico recomendados por diferentes fuentes nacionales.
- Módulos de consumo para uso doméstico recomendados por CORNARE.
- Módulos de consumo para uso doméstico establecidos por CORANTIOQUIA.
- Tabla resumen de los módulos de consumo establecidos por diferentes fuentes para uso doméstico.

Para los sistemas de acueducto el RAS, 2000 ha establecido factores de consumo de agua, de acuerdo a las variaciones climáticas y al nivel de complejidad del sistema, estos factores se van incrementando a medida que se incrementa el nivel de complejidad y aumenta la temperatura ambiente en la zona de ubicación de los mismos.

Acorde con lo anterior, en el momento de determinar o adoptar módulos de consumo de agua para uso doméstico recomendados en la literatura, es importante considerar las condiciones climáticas y socioeconómicas, dentro de las cuales se enmarca la zona o sector de estudio.

A continuación se presenta una tabla resumen con los diferentes módulos de consumo para el sector doméstico, establecidos por diferentes fuentes nacionales y que fueron presentados en un documento elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el año 2008. Los módulos de consumo oscilan entre 110 y 205 L/persona/día y dependen de la temperatura media de la zona así como de la población.

Tabla 6. Resumen de los módulos de consumo de agua para consumo doméstico.

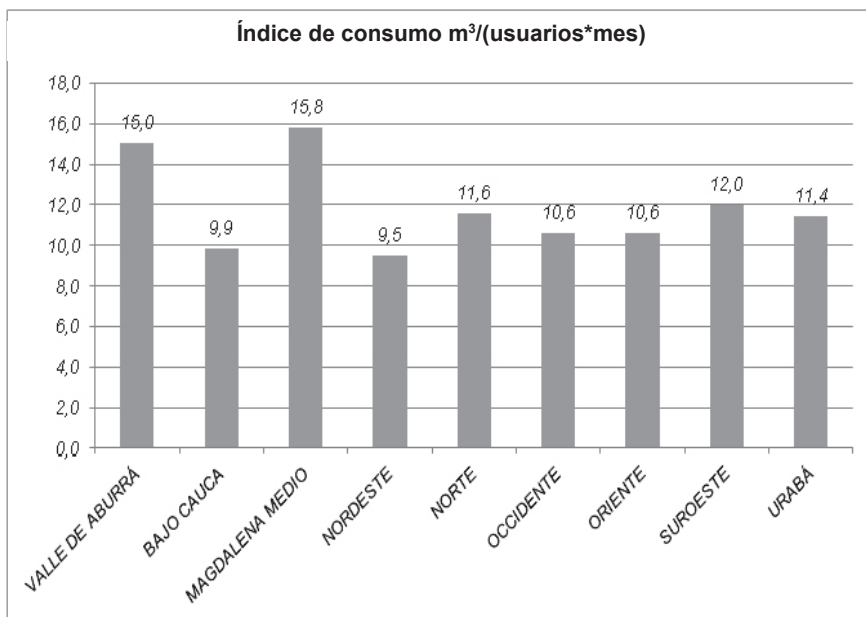
CLIMA	POBLACIÓN	MÓDULOS DE CONSUMO DOMÉSTICO				FUENTE	
		URBANO (L/hab*día)	RURAL GLOBAL (L/hab*día)	RURAL (L/hab*día)	CIUDADES PEQUEÑAS		CIUDADES GRANDES
CÁLIDO (>20°C)		130	150	140			
TEMPERADO (16 - 19°C)		120	140	130		CORNARE	
FRÍO (13 - 15°C)		110	130	120			
CALIDO (>28°C)	<5,000	170 - 200					
	5,001 A 10,000	180 - 220					
	10,001 A 20,000	190 - 230				RAS 2,000	
	>20,000	200 - 240					
TEMPERADO (20 - 28°C)	<5,000	150 - 180					
	5,001 A 10,000	160 - 200					
	10,001 A 20,000	170 - 210				RAS 2,000	
	>20,000	180 - 220 .					
FRÍO (<20°C)	<5,000	130 - 180					
	5,001 A 10,000	150 - 185					
	10,001 A 20,000	170 - 190				RAS 2,000	
	>20,000	185 - 205					
CÁLIDO (>28°C)			140				
TEMPERADO (20 - 28°C)			135			RAS 2,000	
FRÍO (<20°C)			125				
CÁLIDO							
TEMPERADO				100 - 150	135	184,5	López Cualla, R.A, 2000
FRÍO							
1,000	1,000	100					
5,000	5,000	125					
25,000	25,000	150					Acueductos, teor+ia y diseño, Corcho, F, H, 1993
50,000	50,000	160					
100,000	100,000	170					

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Módulos de Consumo de Agua, diciembre de 2008. Pág. 17.

6.5.2 Consumo doméstico básico

De acuerdo a la información encontrada en el Anuario Estadístico de Antioquia 2007, los módulos de consumo de agua para las diferentes subregiones, se calcularon mediante la división entre agua facturada y número de suscriptores. El módulo de consumo general para todo el departamento es de 14,9 m³/usuario/día, que equivale a 124 L/persona/día aproximadamente. En la Figura 9, se presenta un comparativo entre los módulos de consumo en las nueve subregiones, donde la subregión con mayor promedio es el Magdalena Medio con 16,7 m³/usuario/día (140 L/persona/día) y la que menos, Nordeste con 11,4 m³/usuario/día (72,5 L/persona/día).

Figura 9. Índice de consumo en el sector residencial para el departamento de Antioquia por subregiones.



Fuente: elaboración propia a partir de la información del Anuario Estadístico de Antioquia.

6.5.3 Consumo doméstico básico

De acuerdo con el análisis realizado por el Departamento Nacional de Planeación dentro de su investigación con respecto al conocimiento de las cantidades de agua destinadas a cada uso, se determinó para cada estrato socioeconómico, indicadores promedio de consumo expresados en litros por persona por día como se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Consumo promedio por uso según estrato socioeconómico de Medellín.

USOS ESTRATO	DUCHA	LAVADO MANOS	SANITARIO	LAVADO PLATOS	LAVADO ROPAS MANUAL	LAVADO ROPAS MIXTO	ASEO VIVIENDA	RIEGO PLANTAS	RIEGO JARDINES	LAVADO AUTO	CONSUMO PROPIO	TOTAL
I	23,24	3,66	37,71	34,39	35,77	40,13	8,70	1,30	7,65	11,90	2,01	206,5
II	23,24	3,66	37,71	34,39	35,77	40,13	8,70	1,30	7,65	11,90	2,01	206,5
III	23,24	3,66	37,71	35,97	36,76	55,09	6,50	1,60	7,65	11,98	2,13	222,3
IV	36,94	3,56	36,13	34,39	35,77	35,05	12,00	0,80	7,65	11,98	2,03	216,3
V	23,50	4,02	49,43	34,39	35,77	30,84	10,20	1,40	7,65	11,90	2,01	211,1
VI	25,69	5,88	43,20	34,39	35,77	31,25	8,70	0,70	7,65	11,90	2,13	207,3
Promedio	26	4	40	35	36	39	9	1	8	12	2	

El consumo básico está constituido por los usos del agua en: lavado de ropas, sanitario, ducha, lavado de platos, aseo de la vivienda, consumo propio y lavado de manos. La cantidad básica necesaria es un consumo mensual que se ubica entre un mínimo de 113,96 L/persona/día y un máximo de 160,72 L/persona/día para el promedio nacional. En las Tablas 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos para el promedio nacional y específicamente para la ciudad de Medellín.

**Tabla 8. Límites del rango de consumo básico - promedio nacional
(Litros/persona/día).**

USO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Lavado de ropas	31,25	45,89
Sanitario	31,46	35,64
Ducha	20,10	35,88
Lavado de platos	20,03	27,88
Aseo de la vivienda	2,82	3,41
Consumo propio	4,72	6,00
Lavado de manos	3,58	6,02
TOTAL	113,96	160,72

**Tabla 9. Límites del rango de consumo básico. Medellín
(Litros/persona/día).**

USO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Lavado de ropas	30,84	35,77
Sanitario	23,52	27,12
Ducha	25,50	27,41
Lavado de platos	34,39	34,39
Aseo de la vivienda	3,04	3,8
Consumo propio	2,01	2,01
Lavado de manos	3,56	4,12
TOTAL	122,86	134,62

6.5.4 Sector Agropecuario

En este sector se presenta el mayor avance en términos de información levantada por las diversas autoridades ambientales. En el período 2001-2004 se recolectó información primaria por parte de los gestores del recurso a partir de proyectos de investigación o de actos administrativos, los cuales han permitido depurar y obtener información valiosa y aplicable en el departamento.

6.5.5 Sector Pecuario

El sector pecuario del departamento se basa principalmente en la ganadería de carne, leche y doble propósito. También hay una importante actividad porcícola y avícola, aunque en menor proporción. A continuación se presentan los rangos característicos de los índices de consumo para bebida y aseo de instalaciones utilizados por CORNARE y CORANTIOQUIA en sus jurisdicciones.

Los índices de consumo pueden variar de acuerdo a condiciones ambientales, como la temperatura, o fisiológicas del animal. Sin embargo, se pueden utilizar valores promedio los cuales se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Índices de consumo sector pecuario

ACTIVIDAD	VALOR O RANGO PROMEDIO	UNIDADES
Gallinas ponedoras	0,25 – 0,28	L/animal-día
Pollos de engorde	0,28 - 0,30	L/animal-día
Pollos de sacrificio (matadero)	0,16 – 0,20	L/animal-día
Ganado estabulados	100	L/animal-día
Ganado abrevados en potrero	52	L/animal-día
Porcino cría, preceba y ceba	23 – 30	L/animal-día
Porcino cría	28 – 35	L/animal-día
Porcino preceba	13 – 15	L/animal-día
Porcino ceba	17 – 20	L/animal-día
Ganado lechero producción en potrero	70 – 75	L/animal-día
Ganado lechero producción en salas de ordeño	120 - 130	L/animal-día
Pavo 1 semana	0,24 – 0,50	L/ave/día
Pavo 4 semanas	1,1 - 2	L/ave/día
Pavo 18 semanas	4,5 – 8,5	L/ave/día
Pato reproductor	2,4 - 5	L/ave/día
Ganso 4 semanas	2,5 – 4,5	L/ave/día

Fuente: CORANTIOQUIA, 2003. Fenavi, 2000. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2008

6.5.6 Sector Agrícola

Los requerimientos de agua para el riego de productos agrícolas dependen de la ubicación sobre el nivel del mar, la precipitación, la temperatura ambiente y la evapotranspiración. Adicionalmente, es importante tener en cuenta el tipo de tecnología utilizada, ya que es cada vez más común la utilización de sistemas de riego localizado, los cuales demandan menor cantidad del recurso. En la Tabla 11 se presenta un resumen de los índices encontrados para el departamento en diversas fuentes.

Tabla 11. Índices de consumo del sector agrícola.

ACTIVIDAD	VALOR O RANGO PROMEDIO	UNIDADES
BENEFICIO DE CAFÉ		
Café sistema tradicional	40	L/kg cps*
Sistema ecológico	5	L/kg cps*
Sistema Becolsub	0.5	L/kg cps*
Transporte de café cereza en los cafeductos	5	L/kg cps*
ÍNDICES DE RIEGO APROXIMADA		
Riego de flores	0,33 – 0,4	L/ha-s
Riego de hortalizas	0,08- 0,11	L/ha-s
RIEGO DE FRUTALES		
Maracuyá y mango-riego por superficie (precipitación <1000 mm)	0,67-0,70	L/ha-s
Maracuyá y mango-riego por aspersión (precipitación <1000 mm)	0,6	L/ha-s
Maracuyá y mango-riego localizado (precipitación <1000 mm)	0,56	L/ha-s
Cítricos-riego por superficie (precipitación <1000 mm)	0,31	L/ha-s
Cítricos-riego por aspersión (precipitación <1000 mm)	0,28	L/ha-s
Cítricos-riego localizado (precipitación <1000 mm)	0,26	L/ha-s
Pastos-riego por aspersión baja precipitación	0,61	L/ha-s
Cítricos-riego por superficie	0,25 – 0,4	L/ha-s
Cítricos-riego por aspersión	0,23 – 0,4	L/ha-s
Cítricos-riego localizado	0,21 – 0,30	L/ha-s

6.5.7 Sector industrial

La industria necesita, en general, dos tipos de dotaciones:

- Consumo humano: estimado, con base en información secundaria, en 80 litros por operario o empleado por cada turno de 8 horas o fracción.
- Consumo industrial: debe calcularse de acuerdo con la naturaleza de la industria y sus procesos de manufactura. La dotación para oficinas, restaurantes, depósitos, comercio, riego, entre otros, deben ser adicionados.

De acuerdo con la información suministrada por algunas industrias al GIA y a su comparación con los coeficientes de consumo de agua determinados en el Estudio Nacional del Agua para la industria colombiana, fue posible establecer los índices de consumo industriales que se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Índices de consumo para algunos sectores industriales obtenidos a partir de información primaria.

SECTOR INDUSTRIAL	ÍNDICE DE CONSUMO (m ³ /T)
Producción de harina de trigo y maíz	3,7
Producción de galletería, panadería y similares	1,6
Producción de bocadillos y repostería en general	43
Curtiembre	41
Producción de artículos de caucho	0,6
Fundición de metales ferrosos y no ferrosos	24,3
Galvanotecnia	6,4
Producción de carnes frías y embutidos	5,2
Producción de hojalata y lámina cromada	1,6
Fabricación de productos químicos	2,5
Fabricación de telas	315
Tintorería y lavado de telas	120
Textil	209 – 637
Galvanoplastia	21,6 (L/m ²)

Mediante la gestión que realizan las diferentes autoridades ambientales encontramos que durante el 2008, CORNARE ha tomado como referencia índices de consumos por unidades productivas en la región de su jurisdicción, en la Tabla 13 se dan a conocer los índices de consumo por sectores y que fueron recopilados por CORNARE.

Tabla 13. Índices de consumo para algunos sectores industriales obtenidos a partir de información secundaria en documentación de CORNARE.

CÓDIGO CIU	ACTIVIDAD ECONÓMICA	m ³ /TONELADA
3710	Industrias básicas de hierro y acero	77,4
3511	Fabricación de sustancias químicas industriales básicas, excepto abonos.	160
3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas	7,69
3720	Recuperación y fundición de cobre y aluminio	77,4
3213	Fabricación de tejidos de punto	33
3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón n.e.p.	120
3559	Fabricación de productos de caucho n.e.p.	83,5
3560	Fabricación de productos plásticos	83,5
3220	Fabricación de prendas de vestir, excepto calzado	30
3812	Fabricación de muebles y accesorios, principalmente metálicos	4,2
3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas	20,8
3412	Fabricación de envases y cajas de papel y de cartón	99,5
3119	Elaboración de cacao y fabricación de chocolate y productos de confitería	17
3529	Fabricación de productos químicos n.e.p.	52
3551	Fabricación de llantas y neumáticos-cámaras	83,5
3133	Bebidas malteadas y malta	9,5
3819	Fabricación de productos metálicos n.e.p., excepto maquinaria y equipo	4,2
3111	Matanza de ganado, preparación y conservación de carnes	12,5
3839	Fabricación de aparatos y suministros eléctricos n.e.p.	4,2
3420	Imprentas, editoriales e industrias conexas	120
3512	Fabricación de abonos y plaguicidas	270

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

CÓDIGO CIU	ACTIVIDAD ECONÓMICA	m ³ /TONELADA
3528	Fabricación de diversos productos químicos	5
3116	Productos de molinería	2,1
3620	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	68
3833	Fabricación de aparatos y accesorios eléctricos de uso doméstico	4,2
3813	Fabricación de elementos estructurales metálicos	4,2
3219	Fabricación de textiles no clasificados en otra parte	62
3851	Fabricación de material profesional y científico y de instrumentos	4,2
3217	Tejidos y manufacturas de lana y sus mezclas	40
3218	Tejidos y manufacturas de fibras artificiales y sintéticas	62
3909	Otras industrias manufactureras diversas	4,2
3121	Elaboración de productos alimenticios diversos	8,05
3216	Tejidos y manufacturas de algodón y sus mezclas	40
3829	Construcción de máquinas, aparatos y equipos no clasificados antes	4,2
3901	Fabricación de joyas y artículos conexos	4,2
3118	Ingenios y refinerías de azúcar	6,65
3411	Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón	109,2
3523	Fabricación de jabones y preparados de limpieza, perfumes, cosméticos	2
3903	Fabricación de instrumentos de deporte y atletismo	4,2
3821	Construcción de motores y turbinas	4,2
3231	Curtidurías y talleres de acabado	48,4
3814	Fabricación de artículos de fontanería y calefacción	4,2
3513	Fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras artificiales	7,69
3721	Recuperación y fundido de plomo y zinc	77,4
3811	Fabricación de cuchillería, herramientas manuales y artículos de ferretería en general	4,2
3904	Industrias manufactureras diversas	4,2
3844	Fabricación de motocicletas y bicicletas	4,2

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012**

CÓDIGO CIU	ACTIVIDAD ECONÓMICA	m³/TONELADA
3621	Fabricación de vidrio óptico, espejos y artículos de fibra y lana de vidrio	68
3211	Hilado, tejido y acabado de textiles	30
3832	Fabricación de equipos y aparatos de radio, televisión y telecomunicación	4,2
3849	Fabricación de material de transporte n.e.p.	4,2
3233	Fabricación de productos de cuero y sucedáneos del cuero, excepto calzado	48,4
3843	Fabricación de vehículos automotores	4,2
3115	Fabricación de aceites y grasas vegetales y animales, excepto la manteca	4,33
3113	Envasado y conservación de frutas, legumbres y vegetales en general	8,05
3902	Fabricación de instrumentos de música	4,2
3134	Fabricación de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas	5,72
3825	Fabricación de máquinas de oficina, cálculo y contabilidad	4,2
3852	Fabricación de aparatos fotográficos e instrumentos de óptica	4,2
3215	Fabricación de cordelería	10
3240	Fabricación de calzado, excepto el de caucho vulcanizado o moldeado	5
3221	Fabricación de prendas de vestir mediante el corte y costura de cuero	30
3214	Fabricación de tapices y alfombras	33
3214	Preparación de tabaco y fabricación de sus productos	23,3
3824	Construcción de maquinaria y equipos especiales para la industria en general	4,2
3123	Elaboración de compuestos dietéticos y otros	2,1
3845	Fabricación de aeronaves	4,2
3212	Artículos confeccionados de materiales textiles, excepto prendas de vestir	30
3114	Elaboración de pescado, crustáceos y otros animales marinos y de agua dulce	1,5
3122	Elaboración de alimentos preparados para animales	2,1
3320	Fabricación de muebles y accesorios	0,05
3117	Fabricación de productos de panadería	2,1

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

CÓDIGO CIU	ACTIVIDAD ECONÓMICA	m ³ /TONELADA
3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos	7,69
3831	Construcción de maquinaria y aparatos eléctricos industriales	4,2
3827	Construcción de maquinaria y equipo n.e.p. Excepto maquinaria eléctrica	4,2
3691	Fabricación de productos de arcilla para la construcción	0,05
3826	Construcción de maquinaria no clasificada antes, excepto la de trabajar	4,2
3232	Industria de la preparación y teñido de pieles	48,4
3610	Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	0,05
3319	Fabricación de artículos de madera y de corcho n.e.p.	0,05
3140	Industria del tabaco	23,3
3132	Industrias vinícolas	20,8
3530	Refinerías de petróleo	18
3823	Construcción de maquinaria para trabajar los metales y la madera	4,2
3112	Fabricación de productos lácteos	20,9
3311	Aserraderos, talleres de la cepilladura y otros talleres para trabajar madera	0,05
3723	Refinación y fundición de metales preciosos	4,2
3822	Construcción de maquinaria y equipo para la agricultura	4,2
3540	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón	18
3312	Fabricación de envases de madera, caña y artículos menudos de caña	0,05

Fuentes: adaptación de: a) Waterfor Industrial, New York, USA 1963, Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible. B) MAVDT. Resolución 865 de julio 22 de 2004. c) Convenio UIS – IDEAM. CORNARE.

Durante el año 2010 el Área Metropolitana del Valle de Aburrá desarrolló el proyecto “Determinación de módulos de consumo de agua y factores de vertimientos para sectores industriales y de servicios en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”, en el cual se determinan los módulos de consumo promedios y óptimos de los diferentes subsectores. En la Tabla 14 se presenta un resumen de todos los módulos promedio y el consumo óptimo.

Tabla 14. Módulos de consumo promedio y óptimo encontrados para AMVA.

SECTOR	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	MÓDULO DE CONSUMO PROMEDIO	CONSUMO ÓPTIMO
Vehículos	Pistola - lavada sencilla	(L/vehículo)	61,4	38,1
	Hidrolavadora - lavada sencilla	(L/vehículo)	38,2	27,4
	Lavado de chasis y motor	(L/vehículo)	218,5	152
Camionetas y camperos	Pistola - lavada sencilla	(L/vehículo)	87,6	52,4
	Hidrolavadora - lavada sencilla	(L/vehículo)	51,9	37,6
	Lavado de chasis y motor	(L/vehículo)	123,6	87
Taxis	Pistola - lavada sencilla	(L/vehículo)	138,4	94,8
	Hidrolavadora - lavada sencilla	(L/vehículo)	43	40
Van y microbuses	Manual (balde)	(L/vehículo)	44,1	28,4
	Alistada pistola	(L/vehículo)	101,1	63,6
	Lavada sencilla	(L/vehículo)	184	85
Camiones	Pistola - lavada sencilla	(L/vehículo)	343	262
Tractomulas	Pistola - lavada completa	(L/vehículo)	800	603,5
	Pistola - lavado de cabezote	(L/vehículo)	366	294,4
Motos	Hidrolavadora	(L/vehículo)	58,1	44
	Pistola	(L/vehículo)	87	70
Buses y busetas	Pistola - alistada	(L/vehículo)	83,04	50,2
	Pistola - lavada sencilla	(L/vehículo)	320,2	249,6
	Manual (balde) - alistada	(L/vehículo)	54,8	93,6
	Pistola - lavado de capota	(L/vehículo)	101,4	166,3
	Pistola - lavado de chasis	(L/vehículo)	208,7	46,1
	Hidrolavadora - lavado de chasis y motor	(L/vehículo)	242	189
Curtiembres	Pelambre - etapa inicial	(L/kg)	6,2	5,6
	Pelambre - segunda etapa	(L/kg)	5,2	3,7
	Curtido	(L/kg)	14,1	3,6
	Teñido	(L/kg)	8,6	4,4
Teñido de telas	Blanqueo	(L/kg)	24,7	15,8
	Con colorantes directos	(L/kg)	43,02	28,6
	Con colorantes reactivos	(L/kg)	74,72	58,2
Lavanderías y tintorerías	Desengome	(L/kg)	31,9	22,9
	Neutralizado	(L/kg)	28,9	20,7
	Teñido	(L/kg)	133,8	44
	Teñido <i>dirty</i>	(L/kg)	38,4	24,2

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

SECTOR	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	MÓDULO DE CONSUMO PROMEDIO	CONSUMO ÓPTIMO
Teñido de hilos y cintas	Teñido de cintas en continuo con otros colorantes	L/m	0,042	0,030
	Teñido de hilos blanqueo	L/kg	35,5	18,6
	Teñido de hilos con colorantes reactivos	L/kg	57,7	50,6
	Teñido de hilos-fijado-suavizado	L/kg	8,9	7,1
Enfriamiento de equipos	Enfriamiento de equipos o tuberías-bomba (bombeo de agua)	L/kW	9,04	4,2
	Enfriamiento del proceso de teñido de hilos	L/kW	21,5	17,7
	Enfriamiento de proceso productivo	L/kW	2,4	2,1
Riego de jardines	Aspersor	L/m ² día	0,8	0,67
	Pistola	L/m ² día	2,1	1,9
Fabricación de cerámicos	Fabricación artesanal de tejas	L/teja	0,33	0,31
	Fabricación artesanal de ladrillos	L/ladrillo	2,1	2,0
	Fabricación de cerámicos tenaces	L/kg	3,3	2,7
Fabricación de refrescos	Lavado y/o desinfección de equipos de producción	L/maquina	63,47	40,3
	Lavado y desinfección de fruta	L/kg	1,2	0,86
	Lavado de recipientes	L/ recipiente	0,13	0,13
Elaboración de cartón	Convencional - elaboración de papel y/o cartón	L/kg	24,13	19,7
	Convencional mezcla de agua con papel y/o cartón reciclado	L/kg	33,2	19,9
	Convencional vaciado del pulper	L/kg	3,2	0,3
Hoteles y moteles	Baño	L/turno	68	47
	Sauna	L/turno	165	102
	Turco	L/turno	533	239
	Jacuzzi	L/turno	534	164
	Global motel	L/turno	320	254
	Global hotel	L/habitación /día	1321	955
Artes gráficas	Lavado de planchas	L/m ²	6,1	3,8
	Lavado de rodillos	L/m ²	50,2	26,6
Beneficio de materiales	Areneras	L/L arena	20,7	3,24*
	Graveras	L/kg	7,3	3,4
	Canteras	L/kg	8,9	1,8*

* Desviación estándar extremadamente alta, por lo tanto los valores óptimos son muy bajos.

6.6 MÓDULOS DE CONSUMO RECOMENDADOS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL PARA EL SECTOR INDUSTRIAL

La Tabla 15 presenta un listado detallado con índices de consumo para otros lugares del mundo, que pueden ser útiles en caso de no contar con un índice de consumo en el ámbito regional para una industria específica. Las tablas 16 a la 22, presentan los módulos de consumo para diferentes subprocesos en la producción de: cerveza, tabaco, textil, cuero, pulpa y papel, y polímeros. Dichos datos son reportados por un estudio realizado en Colombia por la Universidad Industrial de Santander en convenio con el IDEAM.

Tabla 15. Índices de consumo industrial en Canadá.

USO DEL AGUA POR LA EMPRESA MANUFACTURERA EN CANADÁ, 1981					
GRUPO INDUSTRIAL	CONSUMO DE AGUA (10m ³)				
	PROCESO	ENFRIAMIENTO, CONDENSACIÓN Y VAPOR	SANITARIO	OTROS	TOTAL
Comida y bebida	129	260	36	5	430
Caucho y plástico	19	32	3	---	54
Textiles	46	76	2	---	124
Madera	20	48	5	---	73
Papel y derivados	2.188	658	43	10	2.899
Metales primarios	711	1.943	54	11	2.719
Fabricación de metales	16	12	2	---	30
Equipo de transporte	48	52	7	2	109
Productos minerales no metálicos	19	58	3	2	82
Productos de petróleo y carbón	38	516	3	6	563
Química y productos químicos	195	2.614	31	13	2.853
Total	3.429	6.269	189	49	9.936

Fuente: informe final del Estudio demanda y usos del agua, índices de consumo y planes de acción para la implementación de la Ley 373 de 1997 en la jurisdicción de CORANTIOQUIA

Tabla 16. Cantidades de agua requerida para obtener una tonelada de cerveza.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA UNA TONELADA DE CERVEZA	
ETAPA	m³/T DE PRODUCTO
Agua como materia prima	1,3
Agua limpieza	2,9
Transferencia de calor	0,7
Otros usos (doméstico, pérdidas, etc.)	1,6
Total agua del proceso	6,5

Fuente: Convenio UIS-IDEAM

Tabla 17. Cantidades de agua requerida en la elaboración de cigarrillos.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA OBTENER UNA TONELADA DE CIGARRILLOS	
ETAPA	m³/T DE PRODUCTO
Generación de vapor	2,4
Pre-acondicionamiento de la lámina	0,02
Acondicionamiento de la lámina	0,1
Tratamiento de la vena	0,07
Total agua de proceso	2,59

Fuente: Convenio UIS-IDEAM

Tabla 18. Cantidades de agua en el proceso de acabado textil plano.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA OBTENER UNA TONELADA DE TEXTIL	
ETAPA	m³/T DE PRODUCTO
Desgomado	2,0
Descrude	10,0
Blanqueado	1,0
Acabado y secado	0,02
Total agua de proceso	13,02

Fuente: Convenio UIS-IDEAM

Tabla 19. Consumo de agua en el proceso textil según grado de complejidad.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA OBTENER UNA TONELADA DE TEXTIL (m³/T DE PRODUCTO)			
ETAPA	MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
Simple	5,0	78,4	275,2
Complejo	10,8	86,7	276,9
Complejo+ simple	12,5	113,4	507,9

Fuente: Convenio UIS-IDEAM

Tabla 20. Cantidad de agua requerida en la industria del cuero por etapas.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA OBTENER UNA TONELADA DE CUERO		
ETAPA	m³/T DE PRODUCTO	%
Lavado y remojo	7,7	15,8
Pelambre y encalado	10,21	21,1
Desencalado y purga	12,76	26,4
Piquelado y curtición	8,2	16,9
Teñido	2,44	5,0
Acabado	7,20	14,9
Total agua de proceso	48,4	100,0

Fuente: Convenio UIS-IDEAM

Tabla 21. Uso de agua en la manufactura de pulpa y papel, expresada como toneladas de agua por tonelada de pulpa.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA OBTENER UNA TONELADA DE PULPA Y PAPEL (m ³ /T DE PRODUCTO)		
ETAPA	TECNOLOGÍA CONVENCIONAL	TECNOLOGÍA NUEVA
Depósito de madera	4,0	0,0
Caustificador y horno calcinador	2,0	1,0
Digestor	2,0	1,0
Lavado	12,0	1,0
Cribado	4,0	2,0
Blanqueado	50,0	15,0
Secado	30,0	10,0
Otros	10,0	5,0
Total agua de proceso	114,0	35,0

Fuente: Convenio UIS-IDEAM

Tabla 22. Uso de agua en la fabricación de polímeros.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA OBTENER UNA TONELADA DE POLÍMEROS	
ETAPA	m ³ /T DE PRODUCTO
Polietileno de baja densidad	8,80
Poliestireno	1,09
Polipropileno	1,90
PVC	7,69

Fuente: Convenio UIS-IDEAM

6.7 SECTOR COMERCIAL Y SERVICIOS

En la Tabla 23 se presentan las dotaciones de agua para algunas actividades del sector servicios.

Tabla 23. Índices de consumo del sector servicios.

DESCRIPCIÓN	DOTACIÓN
Hotel	500 litros/alcoba-día
Pensión	350 litros/alcoba-día
Hospedaje	25 litros/día por cada m ² destinado a alcobas
Hospitales y clínicas con hospitalización	800 litros/día-cama
Orfanatos y asilos	300 litros/huésped-día
Consultorios	500 litros/día-consultorio
Clínicas dentales	1.000 litros/día por cada unidad dental
Restaurantes con hasta 40 m ² de área	2.000 litros/día
Restaurantes con área de 41 a 100 m ²	40 litros/m ² -día
Restaurantes con más de 100 m ²	50 litros/m ² -día
Escolar, alumnado externo	40 litros/persona-día
Escolar, alumnado semi-interno	70 litros/persona-día
Escolar, alumnado interno o residente	200 litros/persona-día
Escolar, personal no residente	50 litros/persona-día
Escolar, personal residente	200 litros/persona-día
Cines, teatros y auditorios	3 litros/asiento-día
Sacrificio bovinos	500 litros/animal
Sacrificio porcinos	300 litros/animal
Sacrificio ovinos y caprinos	250 litros/ animal
Sacrificio aves en general	16 litros por cada 100 aves
Oficinas en general(opción 1)	20 litros/m ² -día
Oficinas en general (opción 2)	6 litros/día por m ² de área útil del local
Oficinas en general (opción 3)	40 a 50 litros/persona-día

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012**

DESCRIPCIÓN	DOTACIÓN
Cabarés, casinos y salas de baile	30 litros/día-m ² de área para uso público
Velódromos, autódromos, plazas de toros, similares	1 litro/espectador-día
Circos, hipódromos, parques de atracción y similares	1 litro/espectador-día más dotación requerida para animales
Bares, fuentes de soda y cafeterías hasta de 30 m ² de área	1.500 litros/día
Bares, fuentes de soda y cafeterías de 31 a 60 m ² de área	60 litros/m ² -día
Bares, fuentes de soda y cafeterías de 61 a 100 m ² de área	50 litros/m ² -día
Bares, fuentes de soda y cafeterías de más 100 m ² de área	40 litros/m ² -día
Piscinas con recirculación de las aguas de rebose	10 litros/día por cada m ² de proyección horizontal de piscina
Piscinas sin recirculación de las aguas de rebose	25 litros/día-m ²
Piscinas con flujo continuo de agua	125 litros/hora-m ²
Vestidores y sanitarios anexos a las piscinas	30 litros/día por cada m ² de proyección horizontal de piscina
Depósitos de materiales, equipos y artículos manufacturados	0,50 litros/día-m ² de área útil del local y por cada turno de trabajo de 8 horas o fracción
Carnicerías, pescaderías y similares	20 litros/día por m ² de área del local
Mercados	15 litros/día por m ² de área útil del local
Bombas de gasolina	800 litros/día-bomba
Garaje simple y parqueadero cubierto (opción 1)	2 litros/día-m ²
Garaje simple y parqueadero cubierto (opción 2)	50 litros/día-carro

DESCRIPCIÓN	DOTACIÓN
Lavado corriente, no automático	8.000 litros/día por unidad de lavado
Lavado automático	12.800 litros/día por unidad de lavado
Combate incendios	60 m ³ /ha por un período de 2 horas
Locales comerciales	6 litros/m ² -día
Mercados	100 L./puesto/día
Baños públicos	300 L./bañista/regadera/día
Lavanderías de autoservicio	40 L./kilos de ropa seca
Cárceles	150 litros/interno/día
Cuarteles	150 litros/persona/día
Jardines y parques	5 litros/m ² -día

Fuentes:

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoentuberias/dotacionagua/determinacionde-ladotaciondeagua.html>

http://www.imta.mx/otros/uso_eficiente/decreto/reg_d150.htm

PEREZ CARMONA, Rafael. Instalaciones hidráulicas sanitarias y de gas en edificaciones. Bogotá: 1.998, p.25

6.8 FACTORES DE VERTIMIENTO

La gestión que realizan las autoridades ambientales, implica que los sectores productivos reporten sus vertimientos de forma cuantitativa, con el fin de tener registros y control sobre éstos. La autoridad ambiental identifica los usuarios que generan vertimientos con base en la información contenida en los reportes anuales de las empresas tanto de consumos como de concentraciones de vertimientos. Con base en esta información se define teóricamente la clase de contaminación o el factor de vertimiento de cada empresa, sin tener una línea base de cargas por cantidades de producción. Por lo anterior se hace necesario efectuar una investigación con el fin de tener un punto de partida y comparación para la regulación desde las autoridades ambientales. Como base para obtener una tendencia en el comportamiento de los vertimientos de algunos de los subsectores de interés en el Área Metropolitana, se han recopilado los datos de caracterizaciones de vertimientos encontradas en los expedientes del

AMVA, en el proyecto de módulos de consumo y factores de vertimiento y en otras fuentes bibliográficas como el Centro Nacional de Producción Más Limpia, lo cual se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Factores de vertimiento promedio encontrados.

SUBSECTOR	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	DBO ₅	DQO	GRASAS Y ACEITES	SST
Automóviles	Pistola	g/vehículo	9,7	9,8	1,1	20,0
	Hidrolavadora	g/vehículo	14,6	26,0	1,3	18,1
	Chasis y motor con hidrolavadora	g/vehículo	88,7	230,0	30,2	1486,3
Van y microbuses	Pistola	g/vehículo	34,0	72,1	2,7	137,5
	Manual-alistada	g/vehículo	12,5	27,5	1,3	25,7
Camionetas y camperos	Pistola	g/vehículo	10,2	19,5	0,9	22,2
	Hidrolavadora	g/vehículo	28,1	31,4	4,0	44,1
	Chasis y motor con hidrolavadora	g/vehículo	54,5	134,2	19,3	319,4
Camiones	Pistola	g/vehículo	296,4	561,8	15,9	408,2
Tractomulas	Tractomula con pistola	g/vehículo	593,4	1196,6	60,7	665,7
	Cabezote con pistola	g/vehículo	188,8	381,7	19,4	315,2
	Tráiler con pistola	g/vehículo	404,6	814,9	41,3	350,5
Buses y busetas	Pistola	g/vehículo	46,4	96,0	3,4	74,0
	Chasis y motor con hidrolavadora	g/vehículo	893,4	1888,3	690,5	578,6
	Manual (alistada)	g/vehículo	21,1	53,0	1,7	38,6
Motos	Petrolizada (hidrolavadora)	g/vehículo	30,2	59,4	9,8	33,0
	Pistola	g/vehículo	8,8	18,6	1,1	14,7
Taxis	Pistola	g/vehículo	17,7	37,4	2,4	27,7
Textileras (teñido de telas)	Blanqueo	g/kg de tela	39,6	75,8	4,0	0,9
	Teñido con colorantes reactivos	g/kg de tela	22,4	49,9	-	1,7
	Teñido con otros colorantes	g/kg de tela	32,6	71,8	-	0,5
Tintorerías (teñido de prendas)	Desengome	g/kg de prendas	65,5	129,0	0,9	17,7
	Decoloración	g/kg de prendas	152,6	299,7	-	55,2
	Teñido	g/kg de prendas	182,2	355,6	-	181,7

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

SUBSECTOR	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	DBO ₅	DQO	GRASAS Y ACEITES	SST
Tintorería de hilos y cintas (teñido de hilos y cintas)	Preblanqueo	g/kg	15,4	31,4	0,9	0,2
	Teñido con otros colorantes	g/kg	15,0	27,2	-	0,4
	Teñido con colorantes reactivos	g/kg	13,4	28,7	-	0,9
Lavanderías (lavado de prendas)	Desengome	g/kg de prendas	37,5	75,6	0,5	10,2
	Decoloración	g/kg de prendas	13,3	27,6	-	10,0
	Teñido (<i>dirty</i>)	g/kg de prendas	21,8	44,2	-	6,6
Galvanoplastia	Enjuague decapado	mg/kg pieza recubierta	478,5	1018,7	59,1	87,5
	Enjuague zinc	mg/kg pieza recubierta	166,6	350,1	-	84,3
	Enjuague níquel	mg/kg pieza recubierta	209,1	423,0	-	40,9
	Enjuague cromo	mg/kg pieza recubierta	11,1	41,9	-	3,0
Curtiembres	Lavado inicial	g/kg piel	9,1	20,5	1,8	6,1
	Desencalado	g/kg piel	119,5	237,7	0,0	237,1
	Curtido	g/kg piel	47,7	98,3	0,0	90,5
	Teñido	g/kg piel	21,4	43,1	0,0	12,3
Papelero	Proceso de elaboración de cartón	g/kg de cartón	34,2	78,7	-	45,3
Elaboración de refrescos	Lavado y/o desinfección de equipos de producción y lavado de fruta	g/kg fruta	2,5	4,9	-	1,0
Varios	Enfriamiento de equipos o tuberías	g/kW	0,158	0,489	-	0,091
Moteles y hoteles	Baño	g/turno	6,5	14,0	-	6,2
	Sauna	g/turno	15,8	34,0	-	15,1
	Turco	g/turno	51,0	109,7	-	48,8
	Jacuzzi	g/turno	51,1	109,9	-	48,9
	Global motel	g/turno	30,6	65,9	-	29,3
	Global hotel	g/habitación-día	295,3	603,7	-	141,6
	Lavandería	g/kg lavado	9,3	19,9	-	3,8
Beneficio de materiales	Areneras	g/L arena	2,1	0,4	-	94,5
	Graveras	g/kg de grava	0,7	0,1	-	18,7
	Canteras	g/kg de grava	0,9	0,16	-	22,7
Artes gráficas	Lavado de planchas y rodillos	g/m ² de superficie lavada	939,3	2047,1	-	415,4

La Tabla 25 muestra un compendio de los datos recopilados por la Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias (RITL), liderado por el Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML). De acuerdo con los estudios recopilados por dicha red, la tecnología de mayor contaminación por tonelada es la producción de cuero curtido al mineral, con depilado químico, secado al vacío y pintado mecánico en cuanto a DBO₅ y SST; y la de menor es la tecnología de producción de cuero repujado por troquelado térmico.

Tabla 25. Factores de vertimiento promedio encontrados.

VERTIMIENTOS		
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE JUGO DE FRUTAS PASTEURIZADO		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
ND	ND	ND
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA POR MACERACIÓN DOBLE-MASA Y FERMENTACION-MADURACIÓN UNITANQUE		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
1,20	ND	0,30
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA POR MACERACIÓN DOBLE-MASA Y FERMENTACION-MADURACIÓN UNITANQUE		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
1,20	ND	0,30
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CEBADA MALTEADA POR SECADO ROTATORIO Y GERMINACIÓN EN FRÍO		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
6,60	ND	1,86
TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN CUERO CURTIDO AL MINERAL, CON DEPILADO QUÍMICO, SECADO AL VACÍO Y PINTADO MECÁNICO		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
60	175	90
TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN CUERO REPUJADO POR TROQUELADO TÉRMICO		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
0,00	0,00	0,00
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CUERO CHAROLADO POR BARNIZADO PLASTIFICADO MECÁNICO		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
0,00	0,00	0,00
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA QUÍMICA AL SULFATO (“KRAFT”) CON BLANQUEO Y SISTEMA DE RECUPERACIÓN QUÍMICA		

ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO
EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 2010 – 2012

VERTIMENTOS		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
35	70	26
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA QUÍMICA AL SULFATO (“KRAFT”) SIN BLANQUEAR CON SISTEMA DE RECUPERACION QUÍMICA		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
19	40	26
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPELES VARIOS POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE FOURDRINIER		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
11	25	30
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CARTONES VARIOS POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE FOURDRINIER		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
11	25	30
RECUBRIMIENTO DE LÁMINA METÁLICA POR ELECTRO DEPOSICIÓN CONTINUA		
DBO ₅ U (kg/t)	DQOU (kg/t)	SSTU (kg/t)
ND	ND	ND
PROCESO DE PRE-IMPRESIÓN		
El mayor contaminante presentado en este proceso es el relacionado con los químicos utilizados en el proceso de revelado del negativo ya que estos químicos disminuyen la calidad del agua y afectan los ecosistemas, además de tener emisiones. Otro posible contaminante por residuo sólido es la película, sin embargo, estas no siempre son desechadas y por el contrario son guardadas para futuras eventualidades.		
PROCESO DE IMPRESIÓN		
Se considera que el factor crítico, ambientalmente hablando, está en la emisión de solventes volátiles. Estos provienen de las tintas y su volumen de emisión depende de muchos factores, entre los que se encuentran: el tipo de tinta, el tipo de impresión, la velocidad y la frecuencia de las detenciones en la impresión.		
PROCESO DE POSIMPRESIÓN		
En esta etapa no existe un factor que pueda ser considerado como crítico.		

6.9 TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS DE USO EFICIENTE

Para la revisión de los trabajos referentes a la aplicación de tecnologías o técnicas de uso eficiente de agua en el período 2007-2011, se revisaron 33 trabajos entre los que se encuentran trabajos de consultoría, investigación aplicada, tesis de posgrado y de pregrado. La tabla 26 presenta las temáticas generales, la cantidad de estudios y los temas específicos relacionados con el uso eficiente del agua.

La tratabilidad del agua es el tema más trabajado, lo cual demuestra una tendencia hacia la visión de control de la contaminación al final del tubo y no en la fuente de generación; muy pocos estudios en dicha temática, solo 6, afrontan el problema desde la óptica de la reutilización o la recirculación del agua como alternativa de reducción del impacto tanto en el consumo como en el vertimiento. A pesar de lo anterior se han adelantado trabajos en temas de producción más limpia, potencial de reutilización de agua en la industria, cultura del agua y educación ambiental, como alternativas de gestión integral del recurso hídrico. La mayoría de los estudios han sido desarrollados en el Área Metropolitana, aunque algunos de ellos tienen impacto regional

Tabla 26. Temáticas y cantidad de trabajos asociadas al uso eficiente del agua.

TEMÁTICA	CANTIDAD DE ESTUDIOS	PRINCIPALES TEMAS
Fuentes alternativas	3	Aprovechamiento de aguas lluvias.
Recirculación de agua	6	Membranas, Oxidación avanzada, UV, electrocoagulación.
Gestión del agua	8	Producción más limpia, Potencial de reutilización del agua en la industria, cultura del agua y educación ambiental.
Sistemas de riego	1	Optimización de sistemas de riego.
Tratabilidad del agua	15	Efecto de la turbiedad en potabilización, remoción de nutrientes por métodos biológicos, humedales sub-superficiales y sistemas de tratamiento híbrido.

Fuente: elaboración propia.

De las diversas herramientas de gestión ambiental que permiten orientar los procesos hacia el logro de reducciones en el consumo de agua en las industrias o empresas de servicios, sobresalen algunas técnicas recomendadas por el AMVA (2007) y el Ministerio de Ambiente (2001).

Indicadores de desempeño: el uso de indicadores para convertir las medidas en información útil para la toma de decisiones es recomendable. El establecimiento de líneas base benchmarking, por metas internas o por valores obtenidos de industrias comparables es fundamental para alcanzar niveles eficientes de consumo de agua y de otras variables de gestión ambiental. Igualmente, la utilización de herramientas como balance de masas, tanto teórico como real son de gran importancia en el aumento del desempeño ambiental de las industrias.

Ciclo de Deming e ISO 14001 – Mejoramiento Continuo: como lo sugiere el Ciclo de Deming, un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) bajo ISO 14001 debe estar planteado bajo la siguiente estructura:

- Planeación. Identificar necesidades y establecer planes de solución.
- Implementación y operación. Ejecutar lo planeado.
- Verificar y tomar acciones correctivas. Verificar si los resultados concuerdan con lo planeado.
- Revisión interna del logro de objetivos. Actuar para corregir o eliminar los problemas encontrados en la fase de verificación y generar mejoramiento continuo.

Buenas prácticas: establecer buenas prácticas que estén relacionadas con la dirección y la planeación de la industria, como la incorporación de costos integrales del agua, establecimiento de metas de reducción, etc. Niveles administrativos del proceso relacionados con la definición de indicadores, instalación de medidores de agua, división de procesos, auditores de procesos para el seguimiento a indicadores, y operación y producción. Se debe trabajar en los puntos críticos relacionados con el arreglo de puntos de fuga de agua, procesos de limpieza hidráulica por mecánica, entre otros.

Opciones de uso eficiente del agua: dentro de las principales opciones para el uso

eficiente del agua se plantean las siguientes:

- Optimización de procesos.
- Dispositivos ahorradores.
- Reducción de pérdidas.
- Reutilización o reciclaje de agua.
- Fuentes alternas como la utilización de aguas lluvias.
- Cambio de hábitos y programas de capacitación.
- Cambios tecnológicos.
- Modificación.

6.10 CONCLUSIONES

Se ha avanzado considerablemente en la determinación de la demanda y módulos de consumo; sin embargo, aún se evidencian algunas falencias, principalmente en lo relacionado con el sector agrícola. La articulación de la información mediante la consolidación de redes que permitan el fortalecimiento de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la investigación permitirá el acceso a información de mejor calidad.

El 45% del agua producida en plantas de tratamiento no es facturada, debido a ineficiencias de los sistemas como las fugas o a uso indebido de la red de acueducto como los fraudes o agua no contabilizada. Lo anterior implica que a pesar de los esfuerzos por reducir los módulos de consumo, de cada 100 litros producidos hay 45 litros que no pueden controlarse y por ende una reducción del 10% en el usuario únicamente representa un 5,5% en la producción de agua potable. Este porcentaje se ha incrementado ya que según el estudio anterior, en el año 2008 el porcentaje de agua no contabilizada era del 38%.

La medición de consumos, pérdidas y agua no contabilizada en el área rural del departamento sigue siendo escasa y de los 345 millones de metros cúbicos anuales que se estima que se consumen en el departamento únicamente se miden 225 millones de metros cúbicos.

La implementación de tecnologías sostenibles, a partir de desarrollos locales, que adecuen los patrones de uso a criterios de sostenibilidad y costos accesibles, deberá ser el próximo reto. La importación de tecnologías no siempre brinda la apropiación necesaria para que sea implementada en la región.

La aplicación de los principios de uso eficiente de agua, requiere instituciones adecuadas que posibiliten la continuidad de los procesos de cambio y de su fortalecimiento, así como del trabajo interdisciplinario en el campo técnico, social y económico.

6.11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAMORRO LOPERA, J.D. y BOTERO GÓMEZ, N. (2007). Diagnóstico de la gestión ambiental del consumo y de abastecimiento de agua potable del bloque 004 y centro de laboratorios de la Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.
- ÁLVAREZ TORO, Á. Y COBALEDA RÚA, J.A. (2007). Diagnóstico sobre el uso del agua en la Estación Central Escuela de Bomberos. [CD] Tesis Universidad de Antioquia Facultad Nacional de Salud Pública. Medellín.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DE ANTIOQUIA. (2007). Anuario Estadístico de Antioquia. En: <http://planeacion.antioquia.gov.co/anuario-2007>.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DE ANTIOQUIA. (2008). Anuario Estadístico de Antioquia. En: <http://planeacion.antioquia.gov.co/anuario-2008>.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DE ANTIOQUIA. (2010). Anuario Estadístico de Antioquia. En: <http://planeacion.antioquia.gov.co/anuario-2010>.
- AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2008). Módulos de Consumo de Agua, diciembre de 2008. (pp. 17).
- AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, (2010). Informe final proyecto: “Determinación de módulos de consumo de agua y factores de vertimientos para sectores industriales y de servicios en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de aburrá, con base en la investigación básica y aplicada”. Convenio 330 de 2009. (pp. 135).

- BECERRA ROMERO, A. (2008). Herramientas para la gestión integral del agua (calidad y cantidad). Medellín, Colombia:[s.n.]T 5548/2008.
- BUSTAMANTE, D.Y VÉLEZ UPEGUI, J.I. (2008)Reglamentación de corrientes superficiales en la parte técnica para la gestión del recurso hídrico.Medellín, Colombia: [s.n.]T 5767/2008
- CONGRESO INTERNACIONAL DEL AGUA [1:1993: Medellín]. (1993). The role of decision support systems in rational water resources planning and management: a case study in Spain. Corporación del Agua, Medellín, Colombia.
- CORANTIOQUIA.(2003) Demanda y usos del agua, índices de consumo y planes de acción para la implementación de la ley 373 de 1.997 en la jurisdicción de CORANTIOQUIA Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, (pp. 197).
- CORTES RÍOS, M.Y GÓMEZ, A.M. (2008).Sistema de gestión ambiental Bimbo de Colombia planta de Itagüí. Tesis, Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Sanitaria. (pp. 71).Medellín, Colombia.
- ESTRADA RESTREPO, O.A. (2009). Modelación acoplada de aguas superficiales y subterráneas para la gestión conjunta del recurso hídrico [CD]. Medellín, Colombia:[s.n.], T 6525/2009
- GÓMEZ MOSQUERA, W. (2009). Diseño de la planta de tratamiento de agua potable por gravedad para el Municipio de Quibdó. Medellín, Colombia.T628.162 G633.
- GONZÁLEZ QUINTERO, R.Y PÉREZ ARANGO, J.D. (2007). Programas de ahorro y uso eficiente del agua: planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV). Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental) Universidad de Antioquia Departamento de Ingeniería Sanitaria. (pp. 53). Medellín, Colombia.
- HERRERA BAYONA, N.A.Y GALLO RUEDA, O.M. (2007). Implementación de un sistema de gestión ambiental bajo la norma ISO 14001: 2004. Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental) Universidad de Antioquia Departamento de Ingeniería Sanitaria. (pp.64).Medellín, Colombia.
- LÓPEZ VALENCIA, B.E.Y ROLDÁN VÁSQUEZ, M.A. (2001). Alternativas para el manejo eficiente del agua potable en el municipio de la Ceja. Colombia: [s.n.], T 2013/2001
- MEJÍA MONTOYA, J.M.(2009).Control en el circuito de aguas de la planta papel como requisito fundamental de la ISO14000 Papelsa S.A.[CD-ROM]. Medellín, Colombia: [s.n.], T 6481/2009

- MARÍN SERNA, S.A. Y PULGARÍN, I.C. (2006). Formulación del plan quinquenal para el uso eficiente y ahorro del agua, acueducto multiveredal el Carmelo - Lourdes de El Santuario. Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental) Universidad de Antioquia Departamento de Ingeniería Sanitaria. (pp. 76). Medellín, Colombia.
- MESA VERGARA, D.R. (2008). Implementación de un sistema de gestión integral bajo las normas ISO 9001: 2000, ISO 14001: 2004. Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental) Universidad de Antioquia Departamento de Ingeniería Sanitaria. (pp. 53). Medellín, Colombia.
- PUERTA ZULETA, N.Y. Y CASTRO JIMÉNEZ, C.C. (2008). Formulación de los programas para la mitigación de ruido y el uso y ahorro eficiente de agua en las instalaciones de Une - EPM Telecomunicaciones. Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental) Universidad de Antioquia Departamento de Ingeniería Sanitaria. (pp. 39). Medellín, Colombia.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, Instituto de Estudios Ambientales IDEAM. (2008). Estudio Nacional del Agua 2008.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, Instituto de Estudios Ambientales IDEAM. (2008). Estudio Nacional del Agua 2010. En: <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/021888/021888.htm>
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, Ministerio del Medio Ambiente. (2001). Guía de buenas prácticas para el uso eficiente de energía y agua. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General Ambiental Sectorial: Fundes.
- RIVERA CÍCERO, G.J. Y GUARIN ÁLVAREZ, F.A. (2004). Uso eficiente del agua en el CAMI, parque Ditaires en el centro de convenciones y la casa de la cultura del municipio de Itagüí. Medellín, Colombia: [s.n.], T 3147/2004.
- SOTO CASTILLÓN, D.M. Y AMAYA MORALES, R.D. (2008). Apoyo técnico a la Corporación Autónoma Regional Rionegro- Nare CORNARE en los programas de uso racional y eficiente del recurso agua y el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico. Tesis (Administrador de Servicios de Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental) Universidad de Antioquia Facultad Nacional de Salud Pública. Medellín.
- SUI 2010, Empresas Públicas de Medellín - E.P.M. (2007) Operadores Privados y Alcaldías Municipales. En: www.sui.gov.co

