

**LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO UNIDAD DE PLANIFICACIÓN ECOLÓGICA EN REGIONES
METROPOLITANAS:**

EL CASO DE LA REGIÓN METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

BIOL. JORGE ALBERTO GIL AGUDELO

ASESOR: I.F. DR URBANISMO. LUIS CARLOS AGUDELO

**TRABAJO DE TESIS PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL
TÍTULO DE MAGISTER EN ESTUDIOS URBANO-REGIONALES**

ESCUELA DE PLANEACIÓN URBANO REGIONAL

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (SEDE MEDELLÍN)

JUNIO DE 2009

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	1
2	Marco teórico conceptual	10
2.1	Generalidades	10
2.2	La noción de ciudad	13
2.3	La conurbación de ciudades y las regiones metropolitanas	17
2.4	La cuenca hidrográfica	21
2.5	La cuenca hidrográfica urbanizada	23
2.6	El ecodesarrollo	27
2.7	Desarrollo sostenible (o sustentable)	29
2.8	Sostenibilidad	32
2.9	El capital natural crítico	33
2.10	Sostenibilidad urbana	34
2.11	Biorregionalismo	36
3	Área de estudio: La metrópoli del Valle de Aburrá	38
3.1	Generalidades	39
3.2	La cuenca del río Aburrá	44
3.2.1	Orografía	45
3.2.2	Geología	45
3.2.3	Geomorfología	46
3.2.4	Edafología	47
3.2.5	Vegetación	49
3.2.6	Zonas de vida	53
3.2.7	Hidrografía y caudales	54
3.2.8	Calidad del Agua del río Aburrá	56
4	Metodología	61
4.1	Principios metodológicos	61
4.2	El capital natural	62
4.3	Capital Natural Crítico (KNC)	63

4.4	Los criterios de sostenibilidad débil y fuerte	65
4.5	El método CRITINC y la sostenibilidad fuerte	67
4.5.1	La importancia como criterio para el KNC	73
4.5.2	Importancia ecológica del capital natural (crítico)	73
4.5.3	Importancia socio-cultural del Capital Natural (crítico)	75
4.5.4	Importancia económica del Capital Natural (crítico)	76
4.5.5	Valor monetario como indicador para medir la importancia del Capital Natural (crítico)	76
4.5.6	La medida de la Amenaza como índice de criticidad del capital natural	77
4.6	Metodología aplicada en el estudio	79
4.6.1	Recolección de información teórica	80
4.6.2	Recopilación de información biofísica	80
4.6.3	Construcción del marco conceptual y metodológico	80
4.6.4	Delimitación del Área de estudio	81
4.6.5	Diagnóstico de la base natural y selección de bienes y servicios	81
4.6.6	Adaptación metodológica para el análisis	82
5	Bienes y servicios ambientales al interior de la cuenca	85
5.1	Agua para el consumo de la metrópoli	85
5.1.1	Disponibilidad actual de agua para la metrópoli	87
5.1.2	Plantas de potabilización del agua	89
5.1.3	Acueductos comunitarios	90
5.1.4	Evolución del patrón de consumo de agua	91
5.1.5	Proyecciones de la demanda de agua potable	93
5.1.6	Potencialidad del recurso interno para provisión del consumo	94
5.2	Dilución de vertimientos por el ecosistema del río Aburrá	95
5.2.1	Producción de aguas residuales en la cuenca	96
5.2.2	Cargas de DBO ₅	99
5.2.3	Saneamiento del río Aburrá	101
5.2.4	Función depuradora del río	103

6	Resultados y conclusiones	106
6.1	La importancia de la base natural disponible de la cuenca hidrográfica del río Aburrá.	106
6.2	Algunos bienes y servicios ambientales estratégicos que contribuyen a la sostenibilidad ecológica de la región metropolitana del Valle de Aburrá	107
6.3	Medición de la oferta natural de bienes y servicios ambientales producidos dentro de la cuenca hidrográfica del río Aburrá	110

LISTADO DE FIGURAS

Figura 3-1 Subregiones del Departamento de Antioquia.	38
Figura 3-2 Distribución de los municipios de la Subregión Valle de Aburrá a lo largo de la cuenca del río Aburrá.	41
Figura 3-3 Mapa hipsométrico general de la zona de estudio.	47
Figura 3-4 Asociaciones de suelos pertenecientes a la cuenca del río Aburrá.	48
Figura 3-5 Coberturas vegetales principales en la cuenca del río Aburrá.	52
Figura 3-6 Zonas de vida en la cuenca del río Aburrá.	53
Figura 3-7 Valores del ICA para distintos tramos del río Aburrá.	58
Figura 3-8 Calidad del agua del río Aburrá con base en el índice ICA.	59
Figura 3-9 Calidad del agua del río Aburrá con base en el índice BMWP.	59
Figura 4-1 Relación entre los factores de producción y las clases de capital.	64
Figura 4-2 Las dimensiones del Capital Natural “Crítico”.	74
Figura 4-3 Ejemplo de Índice de Capital Natural.	78
Figura 4-4 Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio.	79
Figura 5-1 Localización de las plantas de potabilización de EPM y acueductos comunitarios.	89
Figura 5-2 Dotaciones históricas estimadas con base en consumos totales sistema del acueducto.	92
Figura 5-3 Localización de las plantas y de los interceptores principales del sistema de tratamiento de aguas residuales del río Aburrá.	102
Figura 5-4 Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para las condiciones del año 2010 en el río Medellín.	102
Figura 5-5 Comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD) para las condiciones del año 2010 en el río Medellín.	103
Figura 5-6 DBO ₅ del río Aburrá medida aguas arriba de la estación EADE y estimada para el tramo aguas abajo.	105

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3-1 Población de los municipios de la región Metropolitana.	40
Tabla 3-2 Áreas aportantes de cada municipio a la cuenca del río Aburrá y otras cuencas.	44
Tabla 3-3 Coberturas vegetales en la cuenca del río Aburrá.	50
Tabla 3-4 Características principales de las zonas de vida presentes en la cuenca.	54
Tabla 3-5 Características de las principales quebradas afluentes del río Aburrá.	54
Tabla 3-6 Caudales medios a lo largo del río Aburrá en diez puntos del cauce principal.	55
Tabla 3-7 Calidad del agua a lo largo del cauce principal del río Aburrá.	58
Tabla 4-1 Funciones, bienes y servicios del Capital Natural.	72
Tabla 4-2 Criterios ecológicos para medir la importancia del capital.	74
Tabla 4-3 Criterios sociales para medir la criticidad del Capital Natural.	75
Tabla 4-4 Criterios económicos para medir la criticidad del Capital Natural.	76
Tabla 4-5 Aspectos del CN identificados para los bienes y servicios analizados.	81
Tabla 4-6 Indicadores de cantidad y calidad propuestos para el CN de la cuenca	82
Tabla 5-1 Caudales medios a lo largo del río Aburrá y potencialidad para abastecimiento.	88
Tabla 5-2 Características de las plantas de potabilización de aguas de EPM.	90
Tabla 5-3 Características de los acueductos comunitarios en la zona de estudio y población abastecida.	91
Tabla 5-4 Consumo de agua en 2007 y suscriptores de acueducto y alcantarillado.	92
Tabla 5-5 Consumo de agua por sectores en la subregión del Valle de Aburrá.	93
Tabla 5-6 Proyección de consumo para el Valle de Aburrá con base en proyecciones de crecimiento de la población.	94
Tabla 5-7 Estimativos de caudal total propio de la cuenca aprovechable para consumo.	95
Tabla 5-8 Población urbana estimada para el 2005 que descargaba al río Aburrá.	96
Tabla 5-9 Suscriptores de acueducto y alcantarillado en 2007.	97
Tabla 5-10 Caudales medios diarios de aguas residuales domésticas para la población urbana.	98
Tabla 5-11 Caudal total de aguas residuales.	98
Tabla 5-12 Resultados de Cargas en el río Medellín el 8 de Septiembre de 2004.	100
Tabla 5-13 Estaciones de medición de DBO5 en la corriente principal del río.	104

Tabla 5-14 Valores de DBO5 estimados para el río Aburrá con el modelo de Streeter & Phelps.	105
Tabla 6-1 Porcentaje de desempeño de las funciones ambientales por parte del KNC	108
Tabla 6-2 Indicadores de cantidad y calidad para los distintos aspectos del Kn considerados.	111
Tabla 6-3 Índice de Capital Natural del recurso hídrico en la cuenca del río Aburrá.	112

ANEXOS.

Anexo 1. Estimación del índice de escasez en algunas subcuencas que se utilizan actualmente para abastecer plantas de potabilización

126

1 INTRODUCCIÓN

La aproximación al problema de investigación empieza con algunas preguntas acerca de la unidad territorial que debe abordarse para el ordenamiento integral de un entorno altamente urbanizado como lo es la región metropolitana del Valle de Aburrá, de manera que se consideren no sólo los aspectos urbanísticos tradicionales sino también aquellos de carácter ambiental (en el sentido ecológico propiamente dicho) que puede hacerla verdaderamente sostenible.

Al examinar los ejercicios de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y otras iniciativas de ordenamiento, se observó la omisión reiterada de una serie de relaciones ecosistémicas existentes con territorios aledaños que, aunque son geográficamente externos a la cuenca hidrográfica y ajenos a la jurisdicción de los municipios de la región metropolitana, hacen parte funcional del sistema urbano del Valle de Aburrá.

Agudelo (2000; 2004) en sus trabajos sobre la sostenibilidad ecológica de la región metropolitana del Valle de Aburrá, señala que este conglomerado urbano-industrial depende, casi en su totalidad, de las regiones vecinas para aprovisionarse de bienes y servicios ambientales necesarios para su normal funcionamiento. Según el autor:

...se puede concluir con certeza que la concentración metropolitana no es sostenible ecológicamente si se entiende el sistema ecológico de soporte restringido al valle geográfico. En conjunto la dependencia ecológica es del 99.99%; la capacidad de carga del Valle de Aburrá apenas alcanza a abastecer una parte mínima de los requerimientos alimentarios, una pequeña porción del consumo de agua (captación directa) y asociado a ésta, una porción reducida de los bosques de protección de las cuencas implicadas. Las coberturas boscosas actuales y las iniciativas de reforestación en marcha conseguirán aumentar la capacidad de carga del valle en el balance Emisiones / coberturas, pero por ahora el déficit ecológico es mayor al 98%. (Agudelo, 2004: ii).

Esta aproximación al posible déficit de bienes y servicios ambientales de la región del Valle de Aburrá, se elaboró a partir de estimativos del consumo de recursos, sin embargo, subsiste una pregunta específica e igualmente interesante sobre cuánto de esos requerimientos pueden ser, o están siendo provistos, por los ecosistemas al interior de la cuenca del río Aburrá.

Parece necesario, por tanto, problematizar el enfoque que se viene dando en el ordenamiento y la planeación del territorio metropolitano, partiendo del concepto de la sostenibilidad fuerte y con la intención de “revalorizar” los bienes y servicios ambientales que aún se producen al interior de la cuenca del río Aburrá considerándolos como un capital natural de gran importancia.

Para poder centrar el debate en torno a la utilidad de la **noción de cuenca** en los procesos de planificación y ordenamiento urbano (objeto central de este estudio) se partió de revisar los **conceptos relacionados con la ciudad** y los distintos aspectos de su metabolismo que la caracterizan como una entidad suficientemente problemática a la hora de delimitar la zona de influencia de su funcionamiento y de analizarla en relación con las necesidades de las personas que la habitan. Para ello se tomaron como base algunos estudios sobre ciudades, y posteriormente se hizo un acercamiento al **fenómeno “metropolitano”**, que es característico de la región de estudio y que sirvió en su momento para justificar la constitución del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), una entidad administrativa de derecho público con propósitos de planificación sub-regional, a partir de procesos de coordinación armónica entre los municipios integrantes (creada mediante Ordenanza 034 de 1980).

Paralelamente, se profundizó en la discusión sobre la diferencia entre “**conurbación**” y “**metrópoli**” estableciendo los aspectos que algunos autores reclaman en cuanto a que el fenómeno metropolitano va más allá de la simple conurbación, y requiere que exista un grado importante de imbricación de relaciones funcionales entre los distintos territorios (municipio núcleo con los otros municipios) las cuales determinan sus procesos de desarrollo mutuo. Adicionalmente, se complementó este apartado con algunas consideraciones críticas de orden normativo (artículos de la constitución política, ley orgánica de áreas metropolitanas, entre otras) sobre aspectos controvertidos de las funciones encomendadas actualmente a las Áreas Metropolitanas como instituciones.

Para empezar a enmarcar la Metrópoli sobre un soporte físico, en este caso el territorio, se conceptualizó el referente de análisis de este estudio: la **cuenca hidrográfica**. A partir de aquí se documentó brevemente la historia de algunas de las innumerables metodologías que la han relacionado con la planificación y ordenamiento de los recursos naturales (gestión de cuencas, manejo integrado o desarrollo, entre otras), particularmente en un contexto de

ruralidad, y con énfasis especial en el manejo y conservación del recurso hídrico para distintos fines (abastecimiento, riego, generación eléctrica).

La intención de utilizar la cuenca como una unidad ordenable o planificable tiene a su vez relaciones evidentes con la equivalencia que de ella se ha hecho como ecosistema, un planteamiento que, aunque ofrece innegables facilidades para el análisis, puede dar pie a bastantes reparos en cuanto a que ha propagado la idea de que el ecosistema es un lugar geográficamente cierto, perfectamente delimitable y confinable que puede, en un momento dado, obedecer a jurisdicciones políticas o de manejo fácilmente asibles. Frente a esto se hace necesario, por lo tanto, recuperar la noción de ecosistema como conjunto dinámico de relaciones entre elementos bióticos y abióticos que implica unos flujos de materia, energía e información el cual admite ser analizado a cualquier escala y con propósitos específicos (productividad, efectos de la contaminación, impacto ambiental).

Desde este enfoque es importante anotar que aún la ciudad misma ha sido abordada por algunos autores como un ecosistema (Parra, 1994) ya que es un sistema conformado por elementos vivos e inertes cuyas relaciones están mediadas por intensos flujos de energía exosomática (a diferencia de los ecosistemas naturales donde la energía es incorporada directamente del sol mediante la fotosíntesis) aunque con algunas complicaciones derivadas de la concentración de residuos, algo que no ocurre en los sistemas naturales, donde todos los subproductos son reciclados o reutilizados al interior mismo del ecosistema.

Sin embargo, en este punto es preciso detenerse en una particularidad de la cuenca hidrográfica que alberga la metrópoli del Valle de Aburrá: su alto grado de **urbanización**. Bajo este escenario el territorio de la cuenca se desdibuja como un ecosistema fuente de recursos y pasa a ser una especie de sustrato inerte, cada vez menos vivo, que se cubre progresivamente de construcciones, asfalto y detritos de toda clase.

La superposición del sistema urbano sobre el sistema natural de la cuenca conlleva la transformación de su fisionomía y funcionamiento, invadiéndolo con una demanda intensa de recursos o con el vertimiento excesivo de residuos que saturan las capacidades de producción y asimilación del ecosistema. Parece que el sistema urbano, no conforme con la modificación del espacio va imponiendo además una lógica artificial que, como veremos más adelante, no alcanza a conciliar sus intereses con las posibilidades del sistema natural.

Esa ciudad, otrora una invención liberadora para la humanidad, que le ha permitido la construcción y difusión de comodidades que incrementaron la esperanza de vida y mejoraron las condiciones de habitabilidad del entorno, ha devenido en una máquina voraz que prolifera y se autorreproduce gracias a su desempeño como procesadora de materias primas y productora de mercancías, generando unos excedentes económicos que retroalimentan positivamente el ciclo.

De esta forma, el territorio de la cuenca (en este caso, el ecosistema mismo) viene a ser el escenario, aparentemente “inerte”, de un proceso de producción y crecimiento económico que no tiene en cuenta, dentro de sus costos de producción, el deterioro inducido en el medio (externalidades) convirtiendo en utilidades una serie de pasivos ambientales que se trasladan, casi siempre silenciosamente, a las generaciones venideras.

Llegados a este punto es inevitable preguntar acerca de la **sostenibilidad** de tal estado de cosas. ¿Será cierto que el llamado “**desarrollo sostenible** (o sustentable)” responde adecuadamente a la lógica de producción de la globalización y garantiza efectivamente “satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas”¹?

Se retoman en este apartado las preocupaciones de varios autores (entre ellos Naredo) sobre la confusión que se ha introducido por el empeño de conciliar el crecimiento (o desarrollo) económico con la idea de sostenibilidad, cuando cada uno de estos dos conceptos se refieren a niveles de abstracción y sistemas de razonamientos diferentes: las nociones de crecimiento (y de desarrollo) económico encuentran su definición en los agregados monetarios homogéneos de “producción” y sus derivados, que segrega la idea usual de sistema económico, mientras que la preocupación por la sostenibilidad recae sobre procesos físicos singulares y heterogéneos de los ecosistemas.

En un extraño ejercicio de malabarismo teórico se hace una mezcla confusa entre crecimiento y desarrollo económico afirmando que “puede haber límites al crecimiento pero no al desarrollo” sin explicar claramente cómo puede lograrse tal desarrollo económico sin acumulación. En efecto, la idea de crecimiento (o desarrollo) económico con la que hoy

¹ Definición del desarrollo sostenible o sustentable en el Informe sobre Nuestro Futuro Común (1987-1988) coordinado por Gro Harlem Brundtland en el marco de las Naciones Unidas.

trabajan nuestros economistas, se encuentra desvinculada del ecosistema y no tiene ya otro significado concreto y susceptible de medirse que el referido al aumento de los agregados de Renta o Producto Nacional.

Para contextualizar este análisis, pero sin derivar hacia las profundidades de la teoría económica, se hace mención de al menos dos de las corrientes precursoras, que se preguntaron en el siglo pasado acerca de la sostenibilidad del aprovechamiento del territorio, bien fuese en un contexto de cuenca o de territorios más amplios: el **Ecodesarrollo** (años setentas) y el **Biorregionalismo** (años noventas). Cada una de estas propuestas se ocupa de reivindicar la importancia de los recursos locales, sin embargo, mientras el Ecodesarrollo se centraba en la importancia de adaptar los niveles de consumo de la población para satisfacer las necesidades básicas a partir de los recursos locales sin rebasar la capacidad de carga del ecosistema, el Biorregionalismo se enfocaba en la trascendencia que tiene para la biorregión el poder aprovechar unos recursos estratégicos que le confieren competitividad en el mercado globalizado pero a cambio de que pueda obtener un verdadero desarrollo integral y equitativo, y no solamente unos mayores índices de productividad y crecimiento económico.

De la mano de estas dos corrientes, y retomando los otros temas tratados, se aborda finalmente el último eslabón del marco teórico del estudio: el de la **sostenibilidad urbana**. A diferencia de lo propuesto por el desarrollo sostenible, que mantiene la fe en el crecimiento pero burla el tratamiento de la problemática ecológica generada por las prácticas productivas actuales y demás aspectos éticos del crecimiento, la idea de sostenibilidad admite una referencia espacio-temporal, así como la delimitación precisa de lo que persigue y una evaluación de escala local o sectorial por aspecto, subsistema o elemento (agua, energía) (Naredo, 1996).

En relación con el tema de la **sostenibilidad** se describieron las dos vertientes actuales de esta corriente: la **sostenibilidad débil** (buenas prácticas ambientales) y la **sostenibilidad fuerte** (salud de ecosistemas). Aunque aparentemente están diferenciadas solamente por el adjetivo que las acompaña, la realidad es que cada una atiende a unos principios filosóficos muy distintos y plantea implicaciones de orden práctico muy profundas.

La **sostenibilidad débil** se basa en la economía neoclásica y admite la perfecta sustituibilidad entre el capital natural y el capital manufacturado, lo cual en última instancia permite afirmar incluso que “el mundo puede prescindir de los Recursos Naturales” (Solow, citado por Daly, 1997). Por su parte, la **sostenibilidad fuerte** considera que el *capital manufacturado* no es independiente del *capital natural*, es decir, que sin este último no es posible construir o fabricar nada, y reconoce que el capital natural realiza otras funciones de soporte de la vida que no desempeña el capital manufacturado, lo cual lo hace insustituible (Pearce & Turner, 1990 y Constanza & Daly, 1992, citados por Lopera, 2003). Adicionalmente, la sostenibilidad fuerte exige que:

- La tasa de extracción de recursos sea menor que la tasa de regeneración natural, para un recurso renovable, y menor que la tasa de sustitución, para el caso de un recurso no renovable, y
- La tasa de utilización del recurso sea menor que la tasa de asimilación de subproductos de los ecosistemas.

A su vez, y como un refinamiento metodológico de la sostenibilidad fuerte, se propone que existe siempre una proporción del capital natural denominada **Capital Natural Crítico** (CNC) definida como el conjunto de recursos medioambientales que, a una escala geográfica dada, asegura las funciones medioambientales importantes y para las cuales no existe ningún sustituto en términos de capital manufacturado o humano (Ekins *et al.*, 2003). Es decir que el CNC es aquella cantidad de capital que realiza estas funciones críticas y que no puede ser sustituida por otros componentes ambientales o por otros capitales para que realicen las mismas funciones (Ekins, citado por Lopera, 2003).

Adicionalmente, y en el sentido de reforzar la propuesta del estudio de reevaluar la importancia de la base natural remanente (capital natural) se recupera la propuesta de Georgescu-Roegen de la llamada “Ley de entropía de la materia” donde propuso que la entropía no solamente actúa a nivel de la energía sino también sobre la forma en que se encuentra la materia que circula a través de los sistemas naturales. Según esta ley, un sistema cerrado puede llegar a verse limitado también por la “disipación de la materia” y no solo por la falta de energía altamente organizada (Cleveland & Ruth, 1997).

Analizando un amplio rango de depósitos minerales y combustibles fósiles, se observa que los recursos naturales en un estado altamente organizado son más útiles económicamente ya que la obtención de cada unidad tiene menores costos energéticos, y que para efectos prácticos, aquellos depósitos de baja calidad se hacen no disponibles. Adicionalmente, el esfuerzo creciente para desarrollar recursos de bajo grado (poco concentrados o diluidos) incrementa también su costo ambiental (Cleveland & Ruth, 1997).

Asumiendo que en la cuenca hidrográfica existen aún fragmentos de ecosistemas que siguen desempeñando funciones ambientales de interés, se procede a realizar la evaluación de dos servicios ambientales que presta el capital natural de la cuenca a la metrópoli del Valle de Aburrá, a saber:

- Agua para consumo proveniente de varias microcuencas del río Aburrá, y
- Dilución de vertimientos ricos en materia orgánica por parte del caudal principal del río Aburrá.

Recapitulando, puede observarse entonces que esta reflexión inició con la idea de ciudad, donde se identificó que el patrón de ocupación urbano se caracteriza por una abierta revolución en los patrones de producción y de consumo, donde la ciudad importa grandes cantidades de bienes y servicios utilizando sistemas de transporte y de comunicaciones que incrementan su habitabilidad local a costa de la insostenibilidad global con el consecuente crecimiento de la huella ecológica (Arias *et al*, 2001; Guimaraes, 2001).

El recorrido del análisis conduce finalmente a concluir que se está ante la imperiosa necesidad de avanzar en la búsqueda de la sostenibilidad ecológica urbana (sostenibilidad fuerte), como una forma de hacer perdurable el modo de vida urbano y los procesos de urbanización (Agudelo, 2005) lo cual debe llevar, sin duda, a reconsiderar las relaciones de manejo del entorno inmediato. Así mismo, se deberá revisar la importancia de la base natural remanente del ecosistema de la cuenca admitiendo que los bienes y servicios ambientales que provee, a pesar de que tienen una participación neta realmente marginal en esta escala de tiempo y lugar, son una parte importante de ese Capital Natural que está quedando por fuera de los ejercicios de ordenamiento y planificación de la región.

Así pues, el estudio se orientó, de manera general, a “Determinar la funcionalidad del concepto de cuenca hidrográfica como unidad de planificación ecológica de regiones metropo-

litanas, con base en el caso de la región metropolitana del Valle de Aburrá”, partiendo de una hipótesis que puede enunciarse de la siguiente manera:

“la cuenca hidrográfica es una unidad de planificación ecológica funcional para las Regiones Metropolitanas”.

Para resolver este planteamiento inicial fue necesario abordar, con un enfoque más específico, los siguientes temas:

- identificar algunos bienes y servicios ambientales estratégicos producidos en la cuenca hidrográfica y su contribución a la sostenibilidad ecológica de la región metropolitana del Valle de Aburrá.
- valorar la importancia de la base natural disponible de la cuenca hidrográfica del río Aburrá, y,
- medir, con base en indicadores existentes, y otros que pudiera construirse durante el estudio, la oferta natural de bienes y servicios ambientales producidos dentro de la cuenca hidrográfica del río Aburrá.

De acuerdo con la temática que se plantea y los antecedentes en el medio, éste puede considerarse un estudio de caso, de carácter exploratorio, que combina elementos cualitativos (identificación y diagnóstico de base natural disponible, cartografía), con elementos cuantitativos (magnitudes de los bienes y servicios).

Como resultado del ejercicio investigativo se elaboró este informe final, estructurado de la siguiente manera:

- Capítulo 1. Introducción. Presenta un recorrido general sobre las preguntas que dieron origen al tema de investigación, así como una breve mención de los conceptos sobre los cuales se articuló el análisis del problema, los objetivos del estudio y el contenido del informe final.
- Capítulo 2. Marco teórico conceptual. Desarrollo amplio, a partir de la bibliografía obtenida, de las nociones y conceptos que sirven como base documental para la

identificación y evaluación de los bienes y servicios ambientales de la cuenca, con énfasis en su consideración como Capital Natural Crítico (CNC).

- Capítulo 3. El Área de estudio. Contiene la descripción general de la zona de estudio desde el punto de vista político y geográfico, y la caracterización específica del estado actual de la cuenca hidrográfica en cuanto a los temas de interés (agua para consumo, caudal para dilución y sumideros de CO₂).
- Capítulo 4. Metodología. Descripción de los aspectos principales de la Metodología CRINTIC, de evaluación del CNC, así como de su adaptación para este estudio.
- Capítulo 5. Bienes y servicios ambientales de la cuenca como CNC. Síntesis y comparaciones de los datos obtenidos sobre los distintos bienes y servicios ambientales de la cuenca que permiten considerarlos como parte del CNC de la cuenca, y
- Capítulo 6. Resultados y Conclusiones. Análisis y comentarios críticos sobre los resultados obtenidos.

2 Marco teórico conceptual

2.1 Generalidades

El estudio parte de reconocer la importancia que ha adquirido la **ciudad** en el mundo contemporáneo como territorio que concentra actividades productivas y aloja grandes poblaciones que consumen cada vez mayores cantidades de recursos naturales, y producen volúmenes proporcionales de residuos, convirtiéndola en un verdadero sistema que determina el funcionamiento ecológico de extensos territorios a sus alrededores (Dourojeanni & Jouravlev, 1999), los cuales pueden o no corresponder con la **cuenca hidrográfica** donde se encuentra localizada la ciudad. Sin embargo, la crisis ambiental, manifiesta en los entornos urbanos modernos, ha llevado a concluir que el **desarrollo sostenible** no es posible si no se logra un esquema de **sostenibilidad urbana**.

Como lo reconoce la misma Agenda 21, en su capítulo 7, donde se introdujo por primera vez el concepto de asentamientos humanos sostenibles: *“la urbanización, si se maneja apropiadamente, ofrece oportunidades únicas para crear infraestructura ambiental sostenible a través de políticas adecuadas de precios, programas educativos y mecanismos de acceso que sean económica y ambientalmente armónicos”* (UN-HABITAT, 2002).

Las ciudades han sido los centros que posibilitaron los desarrollos culturales y productivos que caracterizan la vida contemporánea, sin embargo, la concentración del uso de energía y recursos físicos así como de residuos resultantes de su funcionamiento ha ocasionado el deterioro de las condiciones de habitabilidad para los grupos humanos, constituyendo una verdadera paradoja que amenaza su existencia: desarrollo cultural y económico vs. deterioro de la calidad del hábitat. Por lo tanto, debe avanzarse en la reflexión sobre la urgencia de lograr formas de satisfacer unas condiciones de bienestar, seguridad y realización personal acordes con la oferta natural, en un horizonte de largo plazo.

Se han logrado progresos importantes en la gestión ambiental urbana en términos de desarrollo de tecnologías para atender problemas de contaminación, de saneamiento ambiental y de suministro de servicios públicos domiciliarios, conocidas en su conjunto como “buenas prácticas ambientales” y consideradas dentro de la llamada “**sostenibilidad débil**”. Sin embargo, bajo este enfoque no se incorporan todavía las preguntas sobre la racionalidad en el uso de los recursos (tasas de consumo de materiales y de producción de vertimientos) ni de

los efectos que dicha demanda de bienes y servicios ambientales² ejerce sobre extensas regiones, aledañas a la ciudad.

Aunque en el caso de las regiones naturales se acepta que son el reflejo de realidades existentes en la superficie terrestre y que son, por lo tanto, objetivas, se reconoce que el concepto de *región* es una elaboración mental y personal, sometida a ciertos niveles de subjetividad, especialmente en la catalogación de las unidades regionales (Olcina, 2005).

Estos territorios, desde donde la ciudad recibe los insumos que le permiten funcionar, llamados por algunos autores “**Ecorregiones**”, deben considerarse en los procesos de planificación y gestión de la ciudad si se aspira a asegurar un flujo duradero de bienes y servicios ambientales, que garantice la habitabilidad urbana (Agudelo, 2004).

Surge entonces el concepto de **Ecorregión Urbana**, como un espacio en el cual se debe analizar la sostenibilidad ecológica urbana, en función de la región tributaria que organiza la ciudad (Agudelo, 2004, 2007). Dicha ecorregión será una región tributaria, externa y adicional a la región urbana (metropolitana) que contiene el capital natural que soporta la sostenibilidad ecológica y en parte su sostenibilidad económica, y que se encuentra por fuera del ámbito administrativo ordinario del área urbana de los municipios (Girardet citado por Agudelo, 2004).

Pensar la ciudad como proyecto sostenible, obliga a admitir que ya no se habla del mismo espacio con una morfología dada de otras épocas. La ciudad de hoy se define, se construye en un ámbito que trasciende los lugares centrales; sus límites se ubican donde los efectos directos de la concentración urbana llegan. ... donde los efectos directos de la concentración metropolitana se manifiestan como un cambio, una economía o una deseconomía asociada a la cercanía, el tamaño y la expansión de la urbe. Agudelo (2007:5)

Sin embargo, el interés de este estudio es justamente volver la mirada sobre ese territorio que, estando contenido dentro de la gran ecorregión urbana, hace parte de la cuenca

² Se entiende por “**bienes y servicios ambientales**” tanto la provisión de elementos materiales tangibles e individualizables (agua para abastecimiento de la población, para la generación de energía o riego; el oxígeno, entre otros), como la provisión de una serie de funciones de soporte vital para la sociedad generadas por el entorno natural, como son por ejemplo, la regulación del clima y de la humedad, el mantenimiento del clima y suelos adecuados para la producción de alimentos y materias primas o del sistema natural de prevención de desastres o de control de plagas, bellezas escénicas y paisajísticas, entre otros., Desde la Ley 99 de 1993, los sistemas que proveen estos bienes y servicios ambientales son reconocidos como “Ecosistemas estratégicos”, e incluyen áreas de páramos, bosques, sabanas o cuencas hidrográficas que juegan papel fundamental no sólo en el sostenimiento de procesos naturales y ecológicos, sino en la permanencia del funcionamiento de la sociedad en su conjunto (Marquez, 1996; Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

hidrográfica que soporta la metrópoli y que recibe de manera directa todos los efectos de la urbanización y sus actividades asociadas. Como se verá más adelante, este territorio contiene un remanente de la base natural original que aún subsiste en condiciones de gran precariedad y abandono, resultando invisible para la población de la urbe que no lo considera como parte de su capital natural, un sentimiento que se acentúa a medida que la metrópoli se hace más grande (Agudelo, 2007).

Este desprecio cultural e institucional por los recursos inmediatos de la cuenca es más patente en relación con el recurso hídrico quizá porque existe una sensación generalizada de seguridad en cuanto al aprovisionamiento del agua para consumo que parece quedar satisfecha con el pago mensual de la factura del servicio. Pero, como se verá más adelante, la verdad es que cada vez cobra mayor importancia la evaluación y la valoración de estos remanentes de esa base natural (Capital natural) que desempeña o podría desempeñar funciones ambientales tan importantes para la sociedad.

No de otra forma puede explicarse el interés creciente de grandes trasnacionales por apoderarse del negocio del agua en el Tercer Mundo³ como está documentado para Argentina (El Clarín, 2005; Rossi, 2007) y Bolivia (BolPress, 2007), experiencias que terminaron en escándalos monumentales de corrupción e ineficiencia que obligaron a la intervención estatal para restituir las condiciones óptimas de prestación del servicio en cuanto a calidad e infraestructura, garantizando así el acceso al agua como uno de los derechos fundamentales de sus comunidades.

Desde una perspectiva similar, debe examinarse el progreso de las reformas legislativas en cuanto a la privatización del recurso (por ejemplo Chile: Código de Aguas. Decreto Ley DFL-1222 de 1981) que ha recibido intensas críticas de algunos movimientos por el costo social derivado de la monopolización del recurso, el cual induce elevados costos ambientales y restricciones en su disponibilidad, especialmente para los usuarios tradicionales (indígenas y campesinos) (Visión social del agua, 2007).

³ Aunque expresiones como “países subdesarrollados” o “Tercer Mundo” vienen siendo reemplazadas por otras con menor carga ideológica como “países en desarrollo” o “países del Sur” es importante no perder de vista que, a pesar de los eufemismos, el colonialismo político de la era de los tres mundos se traduce hoy en un colonialismo económico que busca el dominio de recursos vitales como el agua y los bosques.

Una iniciativa parecida viene haciendo carrera en Colombia desde el año 2004 (anteproyecto de Ley del Agua) pero su trámite ha movilizó a más de 60 organizaciones ambientales y sociales en una campaña nacional por el derecho al agua, que dio origen a un “Referendo por el agua”, el cual logró reunir más de dos millones de firmas y fue presentado al Congreso de la República, ante el Secretario General de la Cámara de Representantes, el pasado 14 de octubre de 2008 (Portafolio, 2008)⁴.

Los ejes de la propuesta son: la reivindicación del carácter de bien común y público para el recurso agua, y el reconocimiento de la existencia de un derecho humano fundamental a acceder al recurso, en particular, al agua potable, con el fin de prevenir así su privatización (creación de mercados del agua) y cerrarle el paso a su posible inclusión dentro de los recursos explotables en los Tratados de Libre Comercio (Rodríguez, 2005).

Es decir, que el agotamiento o contaminación de recursos o ecosistemas que ofrecen algunos bienes y servicios ambientales para la sociedad y son de baja sustituibilidad a escala local, hacen que la obtención de dichos beneficios deba ser considerada bajo una perspectiva futurista donde se incluya el estimativo de los costos que implica resolver las dificultades impuestas por la “entropía de la materia” (baja calidad y dispersión), así como la posibilidad de incurrir en riesgos de desabastecimiento y afectación del funcionamiento normal del aparato social.

2.2 *La noción de ciudad*

La ciudad es el corazón de la civilización aunque hasta el año 10.000 a C los seres humanos vivían en campamentos temporales, dedicados a la caza y la recolección del alimento. Durante el Neolítico, dejaron de ser nómadas y, al dedicarse a actividades de administración de tierras, generaron las primeras aldeas permanentes. Los primeros asentamientos urbanos permanentes como Jericó aparecieron hace unos 8.000 años, y desde entonces su crecimiento en número y tamaño ha venido en ascenso acelerado (Girardet, 1992).

⁴ Desafortunadamente el proyecto sufrió numerosos tropiezos en su trámite en la Cámara de Representantes pues a pesar de haber sido incluido en el orden del día para las sesiones del 4 y 10 de diciembre de 2008, su discusión se aplazó hasta el 16 de marzo de 2009. El gobierno ejerció su oposición a través de la Superintendencia de Servicios Públicos y, finalmente, la Comisión I de la Cámara, en su sesión del 22 de abril pasado, aprobó un texto contrario a la iniciativa ciudadana apoyada por más de dos millones de colombianos (mayores detalles en http://ecofondo.org/mambo/index.php?option=com_content&task=view&id=623&Itemid=163).

La Tierra se ha urbanizado incluso más rápido de lo que en un principio predijo el Club de Roma en su informe de 1972, “Los límites del crecimiento”. En 1950, había 86 ciudades en el mundo con una población superior al millón de habitantes; hoy en día hay 400 y, hacia 2015, habrá por lo menos 5.500. En efecto, las ciudades han absorbido cerca de dos tercios de la explosión demográfica global desde 1950 y en la actualidad están creciendo a razón de un millón de bebés y migrantes a la semana. La población urbana actual (3.200 millones) es mayor que la población total del mundo en 1960. El campo global, por su parte, ha alcanzado la cota máxima de población (3.200 millones) y empezará a reducirse a partir del año 2020. Por consiguiente, las ciudades representarán todo el crecimiento demográfico mundial, que se espera que llegue a cerca de 10.000 millones en el año 2050 (Davis, 2004), y cuatro de las quince ciudades más grandes del mundo estarán en la región: Ciudad de México (16,6 millones en 1995), Sao Paulo (16,5 millones), Buenos Aires (11,8 millones) y Rio de Janeiro (10,2 millones) (Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

Para tener una idea general vale la pena examinar las siguientes cifras sin perder de vista que el proceso de urbanización en los países de América Latina y el Caribe es similar al de América del Norte y Europa. En el año de 1950, la población urbana de Latino América ascendía al 41,4 % del total regional (unos 68,9 millones de personas) que para 1955 había alcanzado el 73,4% mientras la población total se había multiplicado por cinco (349,8 millones), estimándose que para el 2030 llegará al 83,2 % de población urbana y 598 millones de personas en la región (Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

En el caso colombiano, en los últimos cuarenta años, la población urbana ha crecido diez veces más que la rural, de tal forma que actualmente el 75% de la población, aproximadamente 25 millones de personas, habita en centros urbanos, el 40% de la cual se concentra en cuatro grandes ciudades: Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla. De mantenerse las tendencias actuales de crecimiento poblacional, se estima que para el año 2025 la población colombiana alcanzará los 53 millones de personas y para entonces la concentración urbana llegará aproximadamente al 90% (MINAMBIENTE, 2000).

Ahora, para evitar las complicaciones que presenta la definición de ciudad desde el punto de vista urbanístico o demográfico se adoptará una reflexión desde el punto de vista de la ecología urbana, que considera la ciudad contemporánea como un sistema urbano abierto

en todos sus componentes que intercambia materia, energía e información con su «entorno» (Roca, 2003; Rueda, 1998).

La ciudad amurallada, opuesta a un entorno rural, ha pasado a la historia, y en su lugar se reconoce que las redes de urbanización se extienden por todo el territorio. Varios autores, citados por Roca (2003), indican que se está ante la *“irrupción del espacio de los flujos, que viene a reemplazar el espacio de los lugares”* y que *“los centros de actividad y la zonas residenciales están relacionados por redes de flujos que han convertido las viejas distinciones entre campo/ciudad, áreas metropolitanas/no metropolitanas, y centro/suburbio, en obsoletas”*, enunciados que ponen en duda no solo el concepto históricamente heredado de ciudad, sino la noción misma.

Sin embargo, las actividades humanas siguen concentrándose en el lugar físico donde se reside y trabaja, que es donde se materializan las relaciones de intercambio material, energético y de información, formado por: elementos físicos constitutivos de la estructura urbana (edificación y urbanización), la movilidad de las personas (obligada o no obligada, de base diaria, periódica o aleatoria), la movilidad de las mercancías (comercio internacional), los flujos de emisión de residuos (sólidos, líquidos y gaseosos) y la transferencia e intercambio de información (la ciudad de la información).

En esta dirección algunos autores proponen considerar la ciudad como un ecosistema (Parrá, 1994; Rueda, 1998) donde el modelo de intercambio de materia y energía es opuesto al que ocurre en un ecosistema maduro. La diferencia estriba en que en un ecosistema del tipo arrecife coralino o bosque húmedo los ciclos son muy cortos y el transporte es eminentemente vertical, en tanto que en la metrópolis se generan flujos horizontales de gran alcance porque extiende su importación de materia y energía hasta distancias considerables, lo cual genera el consumo de grandes cantidades de energía exosomática (generalmente proveniente de combustibles fósiles) (Margalef, 2002).

A partir de estas dos características diferenciales del ecosistema urbano (flujos horizontales y utilización de energía exosomática) puede explicarse el proceso de contaminación como una “enfermedad de transporte” por cuanto se extraen recursos dispersos, donde se encuentren disponibles, se transportan largas distancias, se concentran y se utilizan en la ciudad (o

la fábrica) para verter finalmente los desechos, también en forma concentrada (Margalef, 2002).

Gracias al consumo intensivo de energía exosomática el sistema urbano puede entonces acumular una elevada complejidad de estructuras y flujos energéticos (información, diversidad) que le permite explotar de manera “eficaz” los recursos de sistemas adyacentes menos complejos, los cuales, a la vez que suministran sus productos, tienden a simplificarse con el transcurso del tiempo. Este empobrecimiento adicional y progresivo de los ecosistemas más simples es explicado desde la teoría ecológica como un resultado de la perturbación del proceso de sucesión natural debido a la interrupción del proceso de acumulación de información del ecosistema sencillo, llamado por K. Matsumo el “Principio de Margalef” (Rueda, 1998).

Adicionalmente, se propone que este efecto “simplificador” del ecosistema urbano se debe no solamente a su mayor potencia de extracción de materiales y posibilidades de utilización de energía concentrada, sino también a las consecuencias que tiene la “entrega” de los productos residuales (contaminantes) los cuales se traducen en impactos negativos que degradan las condiciones evolutivas y de sucesión de los ecosistemas receptores más simples.

A medida que aumenta el tamaño de la metrópoli esta situación de desigualdad o desequilibrio se torna más insostenible desde el punto de vista ecológico, por cuanto las ciudades no absorben ni reciclan sus desperdicios, como lo han demostrado estudios desarrollados por Naredo (Parra, 1994). Entonces, a partir de cierto tamaño, la ciudad se convierte en la “explosión del desorden”, o dicho de otra manera “la ciudad ya no es un proyecto sobre el que cabe incidir, sino una realidad que escapa a su control” (Naredo, citado por Parra, 1994).

Actualmente, se propone la conformación de una “ciudad compacta” y compleja donde se liberen espacios para el uso agrícola, que queden integrados dentro de la ciudad metropolitana, articulando las ciudades menores con la ciudad consolidada (Janoschka, 2002; Borja, 2003). Sin embargo, debe tenerse cuidado porque hacer una ciudad compacta no es equivalente a generar una aglomeración de población en edificios de gran altura donde se conserven los mismos hábitos de consumo exagerado de energía y bienes materiales porque lo único que se lograría sería concentrar los problemas de contaminación y evacuación de residuos, y hacer más complejos los problemas existentes de convivencia y relaciones so-

ciales en términos de hacinamiento y aislamiento de las personas (Naredo, 1994), así como posibles recortes en los espacios verdes y de disfrute (Girardet, 1992).

Como se verá más adelante, la sostenibilidad de la ciudad no se obtiene sólo con tratamientos urbanísticos o de distribución física sino que requiere la modificación de los patrones de consumo energético y flujo de nutrientes, los cuales deben hacerse circulares para lograr reducciones importantes en las necesidades de funcionamiento de la metrópoli (Girardet, 1992).

Para el caso del conjunto de municipios del valle de Aburrá, el crecimiento expansivo y desordenado ha generado un fenómeno de conurbación, incluso de desborde de las mallas urbanas para conformar una región de carácter metropolitano alrededor de Medellín como municipio núcleo. Sin embargo, a pesar de que la población está distribuida a lo largo del valle se mantiene la concentración de actividades económicas y de servicios en el municipio núcleo, facilitada por la conexión física que se observa actualmente entre las áreas urbanas de La Estrella, Itagüí, Sabaneta, Envigado, Medellín, Bello y Copacabana.

2.3 La conurbación de ciudades y las regiones metropolitanas

El fenómeno metropolitano es relativamente nuevo, siendo característico de la segunda mitad del siglo XX. La región metropolitana más antigua del mundo es tal vez la de Toronto, que fue organizada en 1954. Las regiones metropolitanas de Chicago, Boston y San Francisco fueron organizadas en los años 60 y las regiones metropolitanas de América Latina corresponden a la época de los años 70 y 80 (Wilheim, 1981).

Como características derivadas de este proceso de metropolitanización se observan dos fenómenos de re-organización de la estructura territorial: de un lado la zonificación urbana, y del otro la difusión-dispersión urbana. La creación de zonas homogéneas especializadas en distintas funciones ha segregado las actividades naturales de la población y ha impuesto la necesidad de efectuar desplazamientos permanentes entre los sitios de habitación, de trabajo, de estudio, de recreación, entre otros. Esta movilidad cotidiana entre los espacios separados supone la construcción de infraestructura vial y de transporte que, a la vez que aumentan la movilidad, se convierten en barreras que reducen la accesibilidad (Alguacil, 2000).

Esta ciudad metropolitana, pujante y desordenada, es entonces el resultado de al menos tres dinámicas distintas pero interrelacionadas (Borja & Castells, 1997):

1. **La globalización**, que exige a las grandes ciudades ofrecer plataformas competitivas a sus actividades económicas, cualificar sus recursos humanos, establecer un buen sistema de intercambios con ámbitos cada vez mayores (incluso continentales y mundiales), promocionar su imagen internacional y funcionar internamente de forma eficiente y con reglas y convenciones claras y estables. Pero la globalización tiene impactos territoriales que suponen un reto a la cohesión de conjunto. La globalización fragmenta al territorio urbano-regional en áreas y grupos internos y externos al mismo tiempo que universaliza los productos y los mensajes de la ciudad metropolitana.

2. **La concentración de actividades y funciones**, no necesariamente de población. El territorio metropolitano se convierte en el medio natural de la actividad económica, caracterizado por su articulación con mercados variables y por las sinergias que se producen entre actores interdependientes: institucionales, empresariales, profesionales, sociales, entre otros.

3. **La comunicación y la información**, que son a la vez la característica y el reto principal de las ciudades metropolitanas. La competitividad en la globalización exige y maximiza, tanto la comunicación con el exterior (puertos y aeropuertos, telecomunicaciones, redes informáticas, nuevas infraestructuras viarias y de ferrocarril, centros de convenciones y congresos, ferias y exposiciones, entre otros), como la comunicación interna, en la medida en que la ciudad metropolitana es un sistema de centros urbanos. La comunicación es requisito indispensable de funcionamiento de la nueva metrópoli.

Pero la complejidad de la realidad metropolitana hace de la nueva ciudad un espacio urbano-regional que se construye por grandes proyectos más que como resultado de la organización institucional y la gestión de los servicios. La ciudad metropolitana se conforma entonces como un sistema o red de nodos multifuncionales, que presentan relaciones de intensidad variable donde los problemas ambientales se multiplican o intensifican a unas tasas mucho mayores que las del crecimiento de la población debido a los patrones crecientes de consumo (Borja & Castells, 1997; Alguacil , 2000).

Así pues, esas ciudades metropolitanas donde se concentran a la vez el mayor potencial de desarrollo así como los más agudos problemas sociales, van alejándose progresivamente de esa ciudad ideal que prometía ofrecer comodidades y una mejor calidad de vida para sus pobladores y configuran un espacio urbano cuyas necesidades superan el alcance municipal.

"Resolver los problemas en el seno de la ciudad supone mejorar la habitabilidad y con ella, la calidad de vida. La calidad de vida de los ciudadanos depende de factores sociales y económicos y también de las condiciones ambientales y físico-espaciales. El trazado de las ciudades y su estética, las pautas en el uso de la tierra, la densidad de la población y de la edificación, la existencia de los equipamientos básicos y un acceso fácil a los servicios públicos y al resto de actividades propias de los sistemas urbanos tienen una importancia capital para la habitabilidad de los asentamientos urbanos. Por lo tanto, para que se cubran las necesidades y aspiraciones de los ciudadanos respecto a la habitabilidad de los barrios y la ciudad entera es aconsejable que se oriente el diseño, la gestión y el mantenimiento de los sistemas urbanos de modo que se proteja la salud pública, se fomente el contacto, el intercambio y la comunicación, se fomente la seguridad, se promueva la estabilidad y la cohesión social, se promueva la diversidad y las identidades culturales, y se preserven adecuadamente los barrios, los espacios públicos y edificios con significado histórico y cultural" (Naredo & Rueda citados por Alguacil, 2000, pag 7).

Adicionalmente, la gestión y gobernabilidad de estas regiones supramunicipales han tenido distinta evolución: desde la constitución de organismos con una estructura organizativa y recursos propios, hasta aglomeraciones donde no se da ningún tipo de articulación supramunicipal, pasando por una coordinación estrictamente funcional para la prestación de servicios públicos (Borja & Castells, 1997).

Algunos autores citados en el Plan Estratégico Ambiental Metropolitano (PEAM, 2003) precisan que un área metropolitana ordena cualitativamente una región mayor en beneficio de todos los asentamientos localizados dentro de su área y fuera de ella, como proveedora de bienes y servicios, a diferencia de la noción de conurbación, donde existe "un grupo de ciudades que están situadas próximas las unas a las otras, sin ninguna relación jerárquica" y sin ninguna organización o articulación (PEAM, 2003). En este estudio definen área metropolitana como "un espacio urbano constituido por una o más ciudades que desempeñan la función de metrópoli regional, es decir, que domina y organiza un espacio regional".

Por su parte, la legislación colombiana confiere a las áreas metropolitanas un claro carácter regional, pues se refiere a la totalidad de los municipios que conforman un área y no exclusivamente al municipio sede o núcleo (Artículo 1º, Ley 128 de 1994). De acuerdo con ello, el objetivo y las funciones de las áreas metropolitanas deben encaminarse, ante todo, a lograr un desarrollo equilibrado, armónico y solidario entre los municipios que la conforman, de acuerdo con los principios y fines del ordenamiento territorial señalados en los Artículos 2º y 3º de la Ley 388 de 1997, y no a reafirmar la centralidad del municipio núcleo (PEAM, 2003). Sin embargo, la realidad es que en la asignación de funciones que hace la ley 128 de 1994 al alcalde Metropolitano (alcalde del municipio núcleo) se configura un desbalance de poderes que le permite a éste tomar decisiones, aún por encima de la voluntad de todos los demás alcaldes involucrados en el área.

En el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), su creación formal, basada en la Ley 128 de 1994 (Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas), estuvo precedida de distintas iniciativas de coordinación y planificación regional consistentes en planes de desarrollo o de infraestructura (1973: Plan Metropolitano y del Oriente Cercano; 1982: “Políticas y Directrices de Desarrollo: Plan de Estructura básica”; 1983: Estudio “Estructura y Vocación Económica del valle de Aburrá”; 1985: Plan Integral de Desarrollo “Para la Consolidación de la Metrópoli”; Plan Vial Metropolitano, mediante Acuerdo 02 de 1986; Estatuto Metropolitano de Planeación, Usos del Suelo, Urbanismo y Construcción, mediante Acuerdo 03 de 1988; Planes de Ordenamiento Territorial de las Zonas Norte y Sur del valle de Aburrá; 1993: Estatuto Metropolitano del Medio Ambiente; 1994: se crea la Dirección de Planeación Metropolitana).

Con la intención de hacer operativas sus funciones planificadoras, el AMVA formuló el Proyecto Metrópoli 2002-2020 “Hacia una ecorregión metropolitana educadora, gobernable, sostenible, competitiva, confiable e integrada social y globalmente”, el cual se complementó posteriormente con las propuestas del “Plan Estratégico Ambiental Metropolitano-PEAM” (PEAM, 2003) y con otros instrumentos de apoyo para el ordenamiento del territorio, como las “Orientaciones sobre el ordenamiento territorial” (1997), modificadas y actualizadas en el año 2008 con las “Directrices de ordenamiento territorial”. Sin embargo, este es el momento en que AMVA no logra consolidar su función planificadora de modo

que incida de forma clara en los procesos de ordenamiento territorial y de desarrollo en todos los municipios de la región del valle de Aburrá.

2.4 La cuenca hidrográfica

El concepto de cuenca hidrográfica es uno más de los criterios de sectorización espacial que se han adoptado históricamente para llevar a cabo actividades de análisis, planificación y, muy especialmente, de gestión ambiental de un territorio (Basterrechea *et al.*, 1996). La cuenca tiene tres características fundamentales que permiten definirla como espacio geográfico particular:

Primero: las líneas divisorias de aguas como límites naturales o parciales.

Segundo: una porción de territorio drenada por un sistema de tributarios que contribuyen a alimentar un curso de agua principal. Este último conduce las aguas superficiales hasta su nivel de base, donde la cuenca entrega sus aguas a otros sistemas – generalmente otra cuenca, un lago o el mar.

Tercero: una dinámica ambiental definida por las interacciones sistémicas entre agua, suelo, geofomas y vegetación, y el impacto que sobre estas interacciones tienen las decisiones en materia de uso de los recursos naturales tomadas por distintos agentes económicos.

La cuenca es una unidad espacial relevante para analizar los procesos ambientales relacionados con el uso y manejo de los recursos agua, suelo y vegetación. En efecto, las posibilidades de diferenciación espacial y de integración conceptual de procesos ambientales que esta unidad brinda, hacen de ella un marco geográfico propicio para los estudios ecológicos y para entender los impactos ambientales de las actividades humanas (Basterrechea *et al.*, 1996; OEA, 1978; Margalef, 2002). Sin embargo, la pertinencia de la cuenca como unidad espacial para la gestión ambiental ha sido objeto de polémica y está igualmente condicionada por factores como su tamaño y complejidad, los niveles de decisión involucrados y las fuentes de financiamiento. El principal problema en este sentido consiste en que las fuerzas que materializan el desarrollo generalmente actúan siguiendo criterios espaciales de carácter político - territorial o sectorial.

A pesar del reconocimiento generalizado de que las cuencas son unidades territoriales más adecuadas para la gestión integrada del agua, y sobre todo que facilita verificar los progresos en control de contaminación, vía sus efectos sobre la calidad del agua, es procedente reconocer que las mismas no son los espacios para la gestión sostenible de los recursos na-

turales o del ambiente en general (Caire, 2004). Sin embargo, existen aspectos hidrológicos, o aún de carácter político e institucional, que pueden generar dificultades para desarrollar procesos de ordenamiento de la cuenca los cuales pueden extenderse a la interacción entre territorios de cuencas: unas cuencas “exportan”, por ejemplo, agua y energía, hacia otras, y por lo tanto la sustentabilidad de las mismas se vuelve dependiente entre ellas (CEPAL, 1994; Dourojeanny *et al.*, 2002). Pese a lo anterior, el concepto de manejo de cuencas ofrece una estructura práctica para organizar el manejo de la cuenca como un proceso, como un sistema y, finalmente, como un conjunto secuencial de actividades (Basterrechea *et al.*, 1996).

Por otra parte, y en una relación más estrecha con la planificación del territorio, la **gestión integrada de cuencas** (o Manejo Integrado de Cuencas – MIC), ha sido una opción entre muchas de gestión territorial y ambiental con fines productivos, de conservación y de protección de sus habitantes, que pretende establecer una relación entre el desarrollo sustentable y el territorio tomando en consideración más variables que las usualmente acostumbradas en la gestión del agua. Sin embargo, existen dificultades asociadas a las demandas que exige cada cultura o estilo de vida, a la globalización de los procesos económicos, sociales y ambientales, y a la capacidad negociadora entre regiones o países (Dourojeanny *et al.*, 2002).

Sin embargo, las posibilidades de gestionar y manejar integralmente una cuenca son inversamente proporcionales a su complejidad y a su tamaño, esto significa que a medida que se descende en la escala de complejidad y tamaño de la cuenca aumentarse la integralidad de nuestra intervención y a la inversa, entre más grande y compleja es una cuenca las intervenciones integrales se acercan a la utopía. En esta perspectiva puede afirmarse que no todas las cuencas requieren de una gestión integral y completamente articulada en todos sus componentes y procesos, primero, porque simplemente no es posible manejar todos los procesos dentro de una cuenca, y segundo, porque no existe la gestión integral como proceso único. Lo que existe son múltiples procesos naturales, sociales, culturales y económicos que dependen de factores muchas veces ajenos a la cuenca, por ejemplo, la disponibilidad de recursos públicos, el precio del petróleo o numerosas actividades y asentamientos humanos (Chavez, 2004).

Para lograr nuevos avances en la gestión integrada del agua y de las cuencas, es necesario alejarse del concepto tradicional del *gobierno* centralizado y autoritario que lo sabe todo y lo puede todo, para acercarse al de *governabilidad*, en el que, las autoridades se relacionan cotidiana, sistemática y orgánicamente con los ciudadanos, para definir los planes y sus contenidos, para darles seguimiento y evaluar periódicamente sus resultados. En relación con el agua, por ejemplo, las tensiones sociales que introducirá su creciente escasez serán tan grandes y complejas, que los esquemas convencionales de gestión de los recursos hídricos basados en normas y disposiciones, castigos y sanciones por incumplimiento, controles y procedimientos administrativos de distinto tipo, serán rebasados por la realidad, poniendo en duda la capacidad del Estado para regular los usos y aprovechamientos (Chavez, 2004).

Por ello es que los nuevos sistemas de gestión y administración del agua que deberán desarrollarse de ahora en adelante, tendrán que reconocer entre otros aspectos:

1. la negociación de conflictos, como una opción alternativa para encauzar las diferencias entre usuarios que compiten por una misma fuente de agua, o que ven afectados real o potencialmente sus derechos de explotación;
2. la descentralización de las decisiones de manejo del agua hacia los usuarios directos y las autoridades locales a través de sistemas de administración por cuenca y acuífero, y la elaboración de planes, programas y reglamentos ampliamente debatidos y consensuados como condición de viabilidad para su puesta en práctica, con mecanismos de intervención supletoria del gobierno central cuando localmente no es posible llegar a acuerdos o no se respetan las reglas previamente consensuadas;
3. la corresponsabilidad y cooperación entre usuarios, gobiernos y grupos organizados de la sociedad;
4. el reconocimiento del valor económico del agua;
5. la instrumentación de esquemas de arbitraje especializados en controversias del agua.

2.5 La cuenca hidrográfica urbanizada

Desde la antigüedad, las orillas de los ríos fueron sitios estratégicos para localizar los asentamientos humanos, gracias a que ofrecían facilidades para la comunicación y el transporte (navegación) así como de provisión de agua para consumo, riego y evacuación de residuos,

lo cual indujo un proceso de deterioro de la mayoría de corrientes superficiales urbanas convirtiéndolas en alcantarillas a cielo abierto, que reciben tanto los desagües de las lluvias como las aguas negras diluidas de sus alrededores (Agudelo, 2007). Así mismo, las cargas de contaminantes que arrastran reducen la calidad del agua y extienden los impactos de la urbanización hasta territorios distantes aguas abajo de las zonas urbanizadas. En algunos casos la calidad bacteriológica o química de las corrientes urbanas puede convertirse en una verdadera amenaza para la salud pública. Como resultado muchas corrientes urbanas han perdido su valor estético y paisajístico y apenas pueden desempeñar funciones ecológicas muy limitadas que solo permiten el establecimiento de algunos organismos con adaptaciones muy específicas a condiciones de contaminación (URBEM, 2008).

Este mismo panorama es común a otros ríos de América y del mundo, especialmente del Tercer Mundo, donde ocurren procesos intensos de urbanización y de migración rural—urbana que generan a diario extensas zonas urbanas marginales en la periferia de las ciudades más grandes sin ninguna planificación de infraestructura y servicios. Muchos de los pobres urbanos, especialmente los pobres que llegan de las áreas rurales o ciudades más pequeñas, se establecen en asentamientos irregulares —también conocidos como tomas o invasiones— en las periferias, la mayoría de los cuales se crean de manera ilegal y fuera del plano regulador del casco urbano (Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

Adicionalmente, debido a la demanda de suelo urbanizable y a los problemas ocasionados por las inundaciones periódicas, especialmente en las cuencas bajas, los cursos de los ríos urbanos han sido confinados a corredores estrechos y canalizados con distintas obras de concreto que transformaron el lecho y los bancos del río.

La situación descrita es común a prácticamente todos los ríos que alojan concentraciones urbanas de cualquier tamaño, y su gravedad depende de factores como el tamaño y calidad del vertimiento así como del tamaño de la fuente y su capacidad de asimilación.

En el caso colombiano, los ríos principales (Magdalena, Cauca, Bogotá, Aburrá) asociados a los asentamientos de la zona andina (Bogotá, Cali, Eje Cafetero, Valle de Aburrá) reciben vertimientos de aguas residuales provenientes del sector agropecuario, doméstico e industrial. De acuerdo con estimativos del CONPES (2002), los vertimientos de aguas residuales de los centros urbanos se estiman en $67 \text{ m}^3/\text{s}$, donde Bogotá representa el 15%, Antioquia

13%, Valle del Cauca 10% y los demás departamentos están por debajo del 5%. Sin embargo, en la actualidad no existe un diagnóstico confiable sobre contaminación doméstica a escala nacional, ni información suficiente sobre el estado del recurso hídrico que considere elementos como la capacidad de asimilación del cuerpo receptor y el efecto nocivo real de los vertimientos (CONPES, 2002).

En general, estos vertimientos ponen en riesgo la salud de los habitantes, dificultan la recuperación de las fuentes, disminuyen la productividad, aumentan los costos de tratamiento del recurso hídrico y, cuando los desechos industriales se vierten a un sistema de alcantarillado municipal, aumentan los costos de operación y mantenimiento de las redes, de los sistemas de tratamiento y disminuyen su vida útil. Estimativos realizados para el caso de Bogotá indican que cerca de 6.000 casos relacionados con la contaminación del recurso hídrico (infección intestinal, enfermedades de la piel y otras) implican gastos en salud equivalentes a \$3.050 millones/año de pesos colombianos de 2002. Por otra parte, los sobrecostos en el tratamiento de agua en la Planta de Tibitoc se han valorado en \$5.470 millones/año de pesos colombianos de 2002 (CONPES, 2004). No se dispone de cálculos similares para el caso de Cali, que potabiliza agua del río Cauca en su planta de Puerto Mallarino para bastecer una amplia zona del Distrito de Agua Blanca.

Aunque el río Aburrá presenta todos los problemas de contaminación citados tiene la “ventaja” comparativa de que, aguas abajo, no existe una demanda adicional de agua que obligue a efectuar su tratamiento, y por el contrario, recibe el aporte de aguas de buena calidad procedentes de la Central de Generación de Tasajera.

Con el ánimo de resolver estas problemáticas urbanas, asociadas al deterioro de las corrientes de agua, los gobiernos locales y las autoridades ambientales han acometido distintas iniciativas de ordenamiento y manejo, mediante la formulación de planes y la creación de entidades responsables de los mismos. Es el caso de México, donde la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT, creó la Coordinación de la Cuenca de México que tiene como objetivo establecer el enfoque de manejo integrado de cuencas para revertir el deterioro ambiental y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la Cuenca de México como proveedora de bienes y servicios demandados por la sociedad (Cruz, sin fecha). O de iniciativas como URBEM (*Urban River Basin Enhancement Methods*) de la

Unión Europea que se está desarrollando en varios ríos de la región con los siguientes objetivos:

- Mejorar la calidad del agua urbana, para reducir el riesgo a la salud pública,
- Implementar tecnologías para el planeamiento y manejo de la rehabilitación de corrientes urbanas,
- Desarrollar diseños seguros para el asentamiento de pobladores en proximidades de corrientes,
- Incrementar la biodiversidad en los ambientes urbanos,
- Mejorar las condiciones de los valores estéticos y paisajísticos de dichas corrientes,
- Generar lazos entre las comunidades y las corrientes urbanas para mejorar la calidad de vida de los pobladores urbanos, y
- Diseñar instrumentos que permitan la rehabilitación integral de las corrientes urbanas.

Entre los métodos que se están probando para lograrlo se mencionan algunas prácticas innovativas que implican “más espacio y menos tecnología” (URBEM, 2002; Wolsink, 2006) como:

- Uso de infiltración y drenajes urbanos sostenibles para renaturalizar el régimen de flujos,
- Uso de técnicas y materiales nuevos para proteger los bancos del río y mejorar el aspecto visual y ecológico (sustratos similares al natural), y
- Métodos para incorporar humedales o tierras inundables para maximizar la oportunidad de mejorar la calidad del agua (oxidación, sedimentación),
- Incorporar parámetros de seguridad en las técnicas de rehabilitación (señalización, operación).

Entre tanto, a escala local, la decisión de recuperar la cuenca del río Aburrá permanece en un limbo total debido a la multiplicidad de agentes involucrados en el deterioro de la cuenca (diez municipios, más de tres millones de habitantes, varias empresas de servicios públi-

cos domiciliarios, distintos gremios económicos) y de entidades administradoras del territorio y los recursos naturales (diez alcaldías, varias secretarías de medioambiente, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CORANTIOQUIA (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia) y varias empresas de servicios públicos domiciliarios). Aunque se han formulado varios planes de ordenamiento de cuencas (véase numeral 5.1.1), incluido el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Aburrá (POMCA), los planteamientos sobre su manejo siguen siendo fragmentarios y todavía no se traducen en acciones concretas de ordenamiento y recuperación.

2.6 *El ecodesarrollo*

En respuesta a la crisis ecológica reconocida desde mediados de la década del 50, surgió el **ecodesarrollo**⁵ como un término de compromiso que buscaba conciliar el aumento de la producción, con el respeto a los ecosistemas necesarios para mantener las condiciones de habitabilidad de la Tierra. En dicha propuesta los objetivos ambientales no son en absoluto percibidos como contradictorios, y, por el contrario, plantea la interdependencia que existe entre el bienestar humano y el estado del medio físico.

Esta interdependencia queda manifiesta en el hecho de que la satisfacción de las necesidades básicas depende de la tasa de crecimiento económico y de la distribución de sus frutos. A su vez, el crecimiento depende en una gran medida de la escala e intensidad con que se usan los recursos naturales. La posibilidad de mantener condiciones biológicas normales en el medio ambiente y el funcionamiento permanente de los ecosistemas depende, a su vez, de la forma en que la sociedad utilice la naturaleza. Por lo tanto, el uso racional y científico de los recursos naturales constituye un requisito para satisfacer, en forma permanente, las necesidades básicas de la población. (García & García, 1981:441).

En cada ecorregión el esfuerzo se dirige al aprovechamiento de sus recursos específicos para satisfacer las necesidades básicas de la población en materia de alimentación, alojamiento, salud, educación, estando definidas estas de una manera realista y autónoma, para evitar los efectos nefastos de las manifestaciones del estilo de consumo de los países “ricos”. (Jiménez, citado por Agudelo, 2007)

A su vez, la posibilidad de mantener las condiciones ecológicas de funcionamiento de los ecosistemas depende de la forma en que la sociedad utilice la naturaleza, correspondiendo a

⁵ La autoría de este término es atribuida a M. F. Strong, Director Ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), quien la habría utilizado originalmente en su ponencia ante la primera reunión del Consejo Administrativo del PNUMA, Ginebra, junio de 1973 (Salinas, 1998). Sin embargo, la mayoría de autores, al igual que Naredo (1997), la atribuye a Ignacy Sachs (consultor de Naciones Unidas), quien la propuso en un seminario previo a la declaración de Cocoyoc, celebrada en 1974, en la ciudad de Cuernavaca, Méjico.

una mayor utilización de aquellos una mayor tasa de crecimiento económico. Sin embargo, esta tasa de utilización de recursos se encuentra entre dos límites iniciales: un límite inferior (requerido para satisfacer las necesidades básicas de las personas) y un límite máximo (más allá del cual el ecosistema no puede conservar sus condiciones de funcionamiento) (García & García, 1981). Este término medio es descrito así por algunos autores:

“A mitad de camino entre desarrollismo o crecimiento económico a ultranza, y el conservacionismo o ecologismo o defensa de la naturaleza por la naturaleza misma, entre uno y otro extremo surge la noción de ecodesarrollo, desarrollo con ecología, desarrollo con conciencia ambiental, planificación del crecimiento y del cambio de la economía y de la sociedad que incorpora como componente esencial la dimensión ambiental. El ecodesarrollo es, pues, el pensamiento del decenio en el sentido de que constituye la gran herramienta teórica para articular desarrollo y conservación, progreso y calidad de vida” (Marino, 1983).

Las características centrales del Ecodesarrollo son pues, esencialmente, las siguientes:

- Organizar la sociedad para usar los recursos que cubran sus necesidades básicas,
- Planificar el uso de recursos respetando los derechos de generaciones futuras,
- Maximizar el reciclaje de desechos y complementar el uso de infraestructuras entre unidades productivas,
- Maximizar el uso de energías alternativas y minimizar el uso de recursos no renovables (especialmente combustibles),
- Realizar simulación de procesos naturales y sociales.

Pero la planeación bajo el esquema del ecodesarrollo requiere adicionalmente:

- plantearse metas que trasciendan los intereses de grupos o de clases (participación),
- educación de la población (conciencia ecológica),
- descentralizar los procesos de planificación y toma de decisiones,
- esfuerzo multidisciplinario (ciencias físicas, biológicas y sociales)

Esta propuesta, que entró en la escena ambiental en la década de los 70's, encerraba un contenido profundamente político por cuanto partía de la evaluación y reconocimiento de las posibilidades del territorio y supeditaba a éstas el establecimiento de los modelos y metas de uso de dichos recursos. En este sentido era una propuesta que proclamaba la autodeterminación de los países y les permitía ejercer una racionalidad propia en el uso de sus rique-

zas naturales, tanto renovables como no renovables, una idea que generó el rechazo frontal de los Estados Unidos⁶.

Aunque el término “ecodesarrollo” se ha diluido en las brumas lejanas del tiempo, su esencia reivindicadora de lo local y de la identificación de las necesidades básicas, parece estar inspirando esa nueva mirada sobre las posibilidades de intentar alternativas de “desarrollo local-regional, que se puedan oponer a las tendencias de la mundialización incontestable de esta nueva fase del colonialismo económico” (Agudelo, 2007).

2.7 *Desarrollo sostenible (o sustentable)*⁷

La noción de *desarrollo sostenible*, al parecer, fue acuñada para reemplazar la de *ecodesarrollo* (incluida en la declaración de Cocoyoc), sin embargo, Salinas (1998) asegura que el concepto de *desarrollo sustentable* fue discutido antes, en las reuniones preparatorias de la Conferencia sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, y posteriormente descrito por algunos autores, como R. Dasmann, J. Milton y P. Freeman en su libro "*Ecological Principles for Economic Development*".

Arias *et al.* (2001) señalan que, en 1987, el Informe Brundtland a la *World Commission on Environment and Development*, definió el desarrollo sostenible como “*el desarrollo que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades*”; y que la *World Conservation Union* estableció en 1991 que “*El desarrollo sostenible implica la mejora de la calidad de vida dentro de los límites de los ecosistemas*”. Como complemento de estas visiones, y con el punto de vista de los Entes Locales, el *International Council for Local Environmental Initiatives* (ICLEI), argumentó en 1994, que “*El desarrollo sostenible es aquél que ofrece servicios ambientales, sociales y económicos básicos a todos los miembros de una comunidad sin poner en peligro la viabilidad de los sistemas naturales, construidos y sociales de los que depende la oferta de esos servicios*”.

⁶ Se dice que fue el propio Henry Kissinger quien manifestó su desacuerdo con el término y sugirió que se cambiara por otro.

⁷ En este texto se utilizarán indistintamente los términos “sostenible” y “sustentable” para hacer referencia a un proceso que logra mantenerse en el tiempo. Por otra parte, se asume que el término sostenibilidad, sustentabilidad o durabilidad, corresponde a la traducción del término inglés *sustainability*.

Después de la presentación del “*Informe Brundtland*” (1987), y especialmente después de la Cumbre de Río de 1992, el concepto se ha difundido ampliamente alcanzando repercusiones políticas y promoviéndose a niveles altos de decisión. Sin embargo, aún no se ha logrado un consenso acerca de su significado definitivo y podrían identificarse al menos cuatro grupos de interpretaciones que varían según sea la disciplina, el paradigma o la ideología que sirva de base para definirlo (Salinas, 1998):

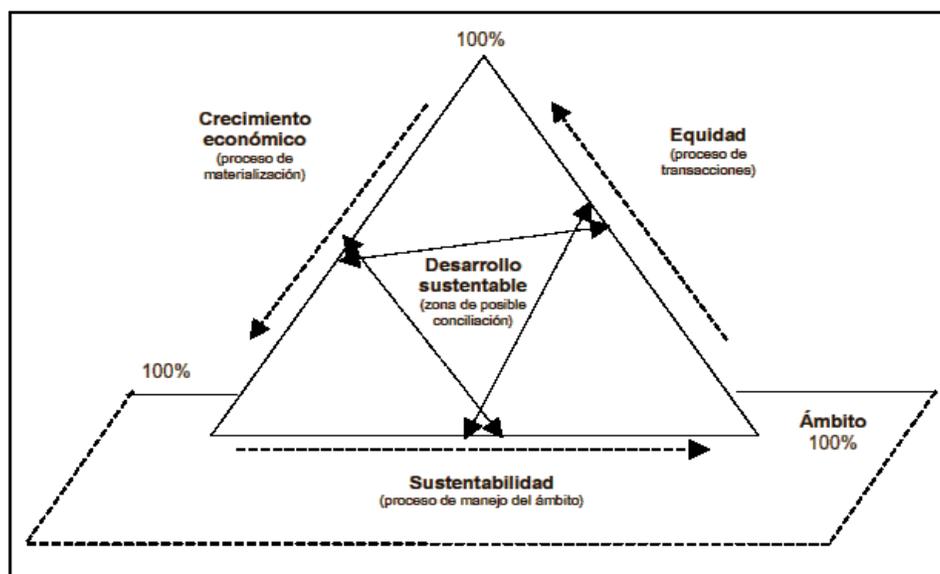
- Un grupo de autores, principalmente economistas, lo consideran equivalente a crecimiento sostenible,
- Un segundo grupo de instituciones y expertos destacan, al definir la noción, la necesidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras, e introducen el compromiso intergeneracional muy debatido y algo difuso. Aquí se incluyen las definiciones de desarrollo sostenible del Informe Brundtland (1987), la UICN⁸ y la FAO⁹, entre otras. Plantean además, que este desarrollo debe ser adecuado desde el punto de vista tecnológico, viable desde el punto de vista económico, y socialmente aceptable,
- Otro grupo plantea que el desarrollo sustentable necesita cambios fundamentales en el paradigma del desarrollo dominante y señala la importancia del aspecto distributivo, es decir, la equidad. Además, aceptan que lo que se debe buscar es fomentar el desarrollo del hombre en su espacio y no sólo del espacio. En este se citan autores como Axel Dourojeanni y el *World Resources Institute*,
- Y por último, otros autores plantean que no se puede hablar de desarrollo de una sociedad si esta no controla los equilibrios físicos y biológicos de su propio ambiente (Casabianca F.; Sachs; Naredo, entre otros).

El desarrollo sostenible, siendo función de tres objetivos que no tienen indicadores comunes ni un sistema de conversión para darles un común denominador (crecimiento económico, equidad y sostenibilidad), hace imposible su cuantificación, sin embargo se postula que la equidad se alcanzará en la medida en que los sistemas de gestión sean participativos y democráticos (CEPAL, 1994). Esta afirmación se puede ilustrar utilizando un triángulo en

⁸ UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

⁹ FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

el cual cada uno de los lados representa un objetivo (véase la Figura 2-1), donde las flechas ubicadas en los lados del triángulo representan los sentidos que tiene el alcance de cada uno de los objetivos y el área central del triángulo representa la zona factible de conciliación entre los mismos. Dicha zona factible equivaldría a la zona de equilibrio para el desarrollo sostenible (Dourojeanni, 2000).



Fuente: Modificado a partir de Peter Nijkamp, "Regional Sustainable Development and Natural Resources Use", *World Bank Annual Conference on Development Economics*, Washington D.C., 26 y 27 de abril de 1990.

Figura 2-1 Relación entre crecimiento económico y sustentabilidad ambiental. (Tomado de Dourojeanni, 2000).

Precisar el contenido del concepto de desarrollo sostenible, significa entonces entrar en términos políticos: no es un asunto sólo de tecnologías, sino que afecta a los modos de vida y a conflictos de intereses en el sistema económico (Arias *et al.*, 2001). Así pues, de la simple preocupación con respecto al impacto negativo de la actividad económica sobre el ecosistema, se pasó a una consideración explícita de los costos de los recursos biofísicos o capital natural (*resources management*), para generar un nuevo paradigma de desarrollo que supere las concepciones antropocéntricas de un crecimiento ilimitado basado en una disponibilidad infinita de recursos naturales y tome debidamente en cuenta las complejas interrelaciones entre la actividad humana y su entorno ambiental (Moncayo, 2003).

Si bien, en el siglo XVIII los fisiócratas habían introducido la idea de producir riquezas sin menoscabar la base de recursos subyacente, en los siglos sucesivos todo el pensamiento económico perdió de vista la relación existente entre el mundo físico y las posibilidades de

producción y crecimiento económico (Naredo, 2006). Sin embargo, y a raíz de los problemas de contaminación y deterioro ecológico causados por la actividad económica (industria, agricultura, transporte), la propuesta del *desarrollo sostenible* ha pretendido armonizar, de manera bastante precaria e inconsistente, las ideas de sostenibilidad y desarrollo económico, con el ánimo de que los economistas del desarrollo la aceptarán más fácilmente. Dicha hibridación de conceptos introdujo una enorme confusión en su significado por cuanto se lo ha equiparado con la idea de “desarrollo autosostenido” (*self sustained growth*), la cual está indisolublemente ligada a la idea de crecimiento económico (Naredo, 1997).

Esta estrategia retórica, que carece de unos límites territoriales o sectoriales que permitan su evaluación periódica, ha mantenido en los países industrializados la fe en el crecimiento permitiéndoles burlar el tratamiento de la problemática ecológica y los aspectos éticos del crecimiento ya que “el objetivo de la sostenibilidad es incompatible con el desarrollo de un sistema económico cuya globalización origina a la vez la homogenización cultural y la destrucción ambiental” (Norgaard, citado por Naredo, 1997).

Como resultado de esta discusión se observa que la idea de *desarrollo sostenible* viene perdiendo significado porque se empeña en:

“...conciliar el crecimiento o desarrollo económico con la idea de sostenibilidad, cuando cada uno de estos conceptos se refieren a niveles de abstracción y sistemas de razonamientos diferentes: las nociones de crecimiento (y de desarrollo) económico encuentran su definición en los agregados monetarios homogéneos de “producción” y sus derivados que segregan la idea usual de sistema económico, mientras que la preocupación por la sostenibilidad recae sobre procesos físicos singulares y heterogéneos. En efecto, la idea de crecimiento (o desarrollo) con la que trabajan hoy los economistas, se encuentra desvinculada del mundo físico y no tiene ya otro significado concreto susceptible de medirse que el referido al aumento de los agregados de Renta o Producto Nacional” (Naredo, 1997).

2.8 Sostenibilidad

Ante las reservas que plantea la idea abstracta de desarrollo sostenible, se ha propuesto la utilización de la noción de **sostenibilidad** que permite su aplicación a un aspecto sectorial o a un territorio particular, y, en torno a la cual se encuentran dos tipos de interpretaciones que responden a paradigmas diferentes (Norton, citado por Naredo, 1997):

- una llamada *sostenibilidad débil*, formulada desde la racionalidad de la economía estándar, y muy asociada con la noción del desarrollo sostenible. Según esta interpretación, la

sostenibilidad urbana es un aspecto del Desarrollo Sostenible que requiere considerar las cuatro dimensiones básicas: social, económica, ecológica e institucional, e incluye buena parte de las acciones de Desarrollo Sostenible urbano, también conocidas como Buenas Prácticas Ambientales ¹⁰ (Agudelo, 2004).

- la *sostenibilidad fuerte*, formulada desde la racionalidad de la termodinámica y la ecología, preocupada por la salud de los ecosistemas, procura establecer el consumo de naturaleza y los efectos que este consumo tiene sobre los ecosistemas locales, regionales y globales, partiendo de considerar que los sistemas urbanos no son autosuficientes en materiales y energía, como tampoco en reabsorción de desechos. Ejerce una fuerte crítica al modelo de consumo típico de las ciudades, y reconoce la distribución desigual de los beneficios de la vida ciudadana, entre distintos sectores de población.

En adelante, durante el desarrollo de este trabajo, y al hablar de la sostenibilidad urbana, se adoptará el enfoque de la sostenibilidad fuerte, propuesto por Naredo, puesto que la noción de sostenibilidad, al admitir una referencia espacio-temporal, permite una delimitación más precisa y admite una evaluación de escala local o sectorial (Naredo 1997). Puede hablarse entonces de sostenibilidad global cuando nos referimos al conjunto de la biosfera, o de sostenibilidad local cuando abordamos sistemas o procesos más limitados en el espacio o el tiempo, y se hablara de sostenibilidad parcial cuando se trate de un aspecto, subsistema o elemento determinado (agua, energía) (Naredo, 1997).

2.9 El Capital Natural Crítico

Se revisará ahora un concepto que está en el trasfondo de toda aquella discusión entre la sostenibilidad débil y la sostenibilidad fuerte: el del Capital Natural. Como se mencionó en la introducción y en el numeral anterior, estas dos tendencias obedecen a lógicas distintas de interpretación económica, donde la sostenibilidad débil admite una perfecta equivalencia entre Capital Natural y Capital Manufacturado (véase una exposición más detallada en los numerales 4.2 y siguientes), cuyo extremo sería el de aceptar que la sociedad puede prescindir de los recursos naturales para funcionar. En la otra esquina, de la sostenibilidad fuer-

¹⁰ Débil en tanto no cuestiona las causas últimas de los problemas ambientales que se encuentran en la generalización del modo de producción capitalista. Local en tanto considera un espacio geográfico cuya sostenibilidad ecológica aporta al propósito global de la sostenibilidad; y parcial en vista de que se propone hacer sostenible uno de los subsistemas de la economía humana: el subsistema urbano, sin considerar de entrada otros subsistemas: agrarios, industriales, etc.

te, se encuentran los que sostienen que dicha equivalencia no es posible y pregonan un manejo acorde para los dos tipos de capital, llegando incluso a proponer que existen ciertos niveles de capital que deben mantenerse y protegerse porque desempeñan funciones “críticas” para la sociedad a distintas escalas (local, regional o global): el llamado Capital Natural Crítico-CNC (Correa, citado por Agudelo, 2007; Lopera, 2003)¹¹. En todos los casos, los recursos constituyentes del CNC son de muy difícil o nula sustituibilidad.

Para efectos del presente estudio se acoge la propuesta de Agudelo (2007) de analizar el agua como parte de ese Capital Natural Crítico Urbano, dado que puede determinar las posibilidades competitivas de una zona industrial (como el valle de Aburrá) altamente dependiente de cuencas externas para su abastecimiento.

2.10 Sostenibilidad urbana

La evolución en el patrón urbano de ocupación del planeta se caracteriza por una auténtica revolución en los patrones de producción y de consumo, la cual nos ha vuelto menos sintonizados con nuestras necesidades biológicas, más alienados de nosotros mismos y respecto de nuestros socios en la naturaleza, y más urgidos en el uso de cantidades crecientes de recursos de poder para garantizar la incorporación (y destrucción) de ambientes extranacionales que permitan garantizar la satisfacción de los patrones actuales (insostenibles) de consumo (Guimaraes, 2001).

En este sentido puede hablarse entonces de sostenibilidad urbana cuando se hace referencia a la perdurabilidad del modo de vida urbano y los procesos de urbanización, donde el modo de vida urbano corresponde con un valor social y cultural signado por el consumo y la producción de desechos, en tanto los procesos de urbanización explican la forma en que la ciudad crece (densificación, urbanización de suburbios y periférica,...) (Agudelo, 2005).

En cuanto al sentido ecológico de la sostenibilidad, si se acepta que lo que se quiere hacer sostenible es lo urbano tal como se ha definido, hay que señalar que ello es posible si y solo si, un conjunto de bienes y servicios de la naturaleza de baja o nula sustituibilidad local, existen en el territorio, de modo que se pueda acceder a ellos en cantidades y a costos que no hagan prohibitivo su disfrute para alguno de los sectores de la sociedad. Sin embargo,

¹¹ Agudelo (2007) presenta los argumentos de varios autores en torno al análisis de la sustituibilidad entre Capital Natural y Capital Manufacturado, y sus posibles interpretaciones cuando se incluyen variables como el espacio y el tiempo.

la sostenibilidad urbana exige un aprovechamiento y una revalorización de los recursos naturales locales y una amplia conciencia pública acerca de los costos ambientales (económicos y sociales) que puede implicar en el futuro un estilo de vida y unas formas de producción (Agudelo, 2005).

Debido al gran desarrollo de los sistemas de transporte y comunicaciones, las ciudades importan bienes de todo el planeta, y los ciudadanos se abastecen de recursos y productos, que ven como un conjunto de mercancías que obtienen lejos de las fuentes productoras y sin considerar la situación social y ambiental de las mismas. Lo mismo ocurre con el consumo del espacio para ocio y con la producción de residuos, cada vez más alejados de los lugares de residencia. De esta forma las ciudades, y los mejores barrios dentro de ellas, aumentan su calidad de vida, su habitabilidad, a costa de los efectos ambientales y sociales que se producen en lugares alejados. Ya no se vive como necesaria la sostenibilidad local, porque los efectos no deseados se pueden “trasladar” a otros lugares distantes. Los efectos más cercanos son la contaminación del aire y el agua de la ciudad, y aun así no suelen afectar a los barrios de calidad que tienen más capacidad para elegir el mejor emplazamiento (Arias *et al.*, 2001).

Pero la habitabilidad local generalmente se logra con cargo a la insostenibilidad global en otros lugares o en los sistemas naturales planetarios (atmósfera, mares, desertización, biodiversidad, etc.). Cuanto mayor es la segregación funcional y la dispersión de actividades urbanas (bajas densidades, disgregación o fragmentación espacial, etc.), más se acelera el aumento del gasto de energía para que se produzcan los contactos e intercambios entre actividades diversas y distantes, que permitan a la ciudad funcionar con la complejidad que necesita. De esta manera se extienden las dimensiones del territorio proveedor de los bienes y servicios, y si el transporte es fácil y barato, la huella ecológica crece. Por lo tanto, la contabilización de la huella ambiental de una ciudad es un instrumento que puede convertir las preocupaciones sobre la sostenibilidad en cuestiones de actuación pública (Arias *et al.*, 2001).

Pero no debe olvidarse que las ciudades no sólo están pensando en ser acogedoras para sus habitantes en términos de comodidad y servicios, sino también en cuanto a la oferta de oportunidades de empleo y de posibilidades de disfrutar de los desarrollos tecnológicos y

culturales del resto del mundo. Así pues, la preocupación por insertarse de manera competitiva en el contexto del mundo desarrollado se está convirtiendo en una especie de mandato peligroso para cada gobernante local y nacional.

2.11 Biorregionalismo

En la búsqueda de la competitividad en el mercado global se han venido configurando regiones de distinta magnitud: desde bloques supranacionales, hasta instancias político administrativas de menor escala -regiones, provincias ciudades- que pueden llegar incluso a generar pequeños cuasi-Estados dentro del Estado en la medida que logren posicionar sus productos en el mercado global, y que son llamadas “Regiones ganadoras” (Boissier, 2000). Sin embargo, se debe conservar cierta prudencia frente a estos estímulos desmedidos de la globalización y la competitividad porque los objetivos de desarrollo de una región no pueden limitarse solamente al incremento en las cifras comerciales y de intercambio económico (crecimiento) sino que deben lograrse mejores indicadores de desarrollo en términos de:

- Velocidad para tomar decisiones
- Flexibilidad de respuestas ante variaciones del entorno (Demanda),
- Complejidad (en el sentido del emergente paradigma de la complejidad) suficiente para equiparar la complejidad del escenario global;
- Identidad cultural e identificación con su territorio,
- Resiliencia del tejido productivo y del tejido social para autoreconstruirse frente al daño provocado por agentes externos (desde plagas agrícolas hasta mensajes de TV “enlatados”).

Así pues, se propone la definición de biorregiones que combinen todos estos atributos y comporten características de desarrollo local-regional de manera que optimicen el aprovechamiento de sus recursos y brinden las mejores posibilidades de desarrollo integral para su población. Boissier (2000) acoge la definición de biorregión propuesta por McGinnis:

“las biorregiones incluyen varias áreas culturales, terruños, biodiversidad, desfíladeros espirituales e ideológicos, revelan también prácticas económicas, territoriales, mentales, historias únicas de lugares y partes discretas de la tierra.

El biorregionalismo es una doctrina de participación popular de un activismo social y comunitario que ha evolucionado por completo fuera de la corriente dominante en las instituciones de gobierno, de la industria y de la academia. El biorregionalismo es definido como un cuerpo de conocimiento que se ha extendido como respaldo de un proceso de cambio social transformador en dos planos-como una estrategia conservacionista y sustentable, y como un movimiento político que apela

*a la devolución de poder a las biorregiones ecológica y culturalmente definidas”
(M. V. McGinnis, citado por Boissier, 2000)*

Por otro lado, las mayores debilidades que presentan las biorregiones están asociadas a la ausencia de sólidas estructuras institucionales ligadas específicamente a su desarrollo y al escaso grado de organización social que suelen mostrar. Es difícil dar una idea exacta de la complejidad de este problema, pero se puede suponer que una **biorregión** *es una región en cuya estructura sistémica hay un elemento de carácter ecológico que sobredetermina o que condiciona la naturaleza y el funcionamiento regional*, por ejemplo, determina la flora, la fauna, el modo de producción, las relaciones sociales, los bienes y servicios producidos y la forma de inserción externa de la región, incluso su cultura. En definitiva lo que acá se propone, tentativamente cierto, es acomodar las biorregiones a los límites de las regiones políticas de desarrollo de manera de reducir la exigencia de coordinación interregional y de forma de aprovechar las estructuras institucionales y la matriz social de las regiones a favor del “componente” biorregional de ellas (Guimaraes, 2001).

Podría finalmente decirse que esta vertiente conservacionista del biorregionalismo se ve reforzada por la propuesta de Naredo (1997) de reequilibrar las disparidades territoriales de ingresos, mediante la revalorización del “patrimonio natural”

Pues como advertía Solow en una de las publicaciones a las que nos referimos en el primer capítulo de este trabajo, para traducir con éxito la idea de sostenibilidad al universo de la economía estándar hace falta "valorar el stock de capital (incluido el "capital natural") con unos precios-sombra adecuados", que deben ser asumidos por la colectividad. Para lo cual habría que establecer el marco institucional y la conciencia social necesarios para invertir la situación actual, a fin de primar el reciclaje y la producción renovable frente a la extracción y el transporte horizontal a larga distancia y de favorecer procesos de gestión que cierren mejor los ciclos de materiales.(Naredo, 1997, pag 20).

3 ÁREA DE ESTUDIO: La metrópoli del Valle de Aburrá

Al conjunto de los diez municipios del Valle de Aburrá (Caldas, La Estrella, Sabaneta, Envigado, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa), se los denominaba hasta hace poco “Región Metropolitana”. Sin embargo, en épocas recientes el Departamento Administrativo de Planeación, de la mano con el Plan Estratégico de Antioquia -PLANEA- ha subdividido el departamento de Antioquia en nueve “subregiones” (Oriente, Norte, Suroeste, Urabá, Nordeste, Magdalena Medio, Occidente, Bajo Cauca y Valle de Aburrá) considerando cada una como una unidad administrativa y de planificación del nivel supramunicipal que, como agrupación de municipios, configuran un subsistema o espacio funcional para la organización y el manejo del territorio departamental (véase la Figura 3-1).



Figura 3-1 Subregiones del Departamento de Antioquia (DAP, 2008).

El Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Antioquia, considera que la Subregión Valle de Aburrá no responde plenamente a homogeneidades territoriales, si bien ella constituye un espacio adecuado para adelantar procesos de planificación internos, aun considerando sus dinámicas de transformación y ajuste permanente en el marco del sistema territorial en que se encuentra inmersa.

Otro uso relativamente común, pero bastante equívoco, es el de asimilar “región metropolitana” con la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá-AMVA, aunque en este caso la situación es más desafortunada porque, como se mencionó en el apartado sobre conurbación y el fenómeno metropolitano, las áreas metropolitanas en general presentan conflictos sensibles en el desarrollo de sus funciones (planificación del territorio, autoridad ambiental, autoridad de transporte) por cuanto son entidades que deben actuar sobre territorios de varios municipios, los cuales tienen autonomía y, en muchos casos, intereses disímiles.

Para simplificar, en lo que sigue del texto se procurará utilizar la denominación de “metrópoli del Valle de Aburrá” o simplemente “metrópoli” para aludir al conjunto de los diez municipios del valle del río Aburrá, y que conforman la “Subregión Valle de Aburrá” o “región metropolitana”. Aunque para efectos prácticos se los empleará indistintamente y se considerarán equivalentes, es importante aclarar que no existe una coincidencia perfecta entre el valle geográfico del río Aburrá y el territorio político de la región metropolitana porque algunos municipios trascienden los límites de la cuenca y tienen parte de su jurisdicción sobre cuencas vecinas (Caldas, Envigado, Medellín), y además porque se encuentran fracciones de municipios de la subregión Oriente dentro de la cuenca hidrográfica del río Aburrá (Guarne y San Vicente) (véase la Figura 3-2).

3.1 Generalidades

Los diez municipios del Valle de Aburrá albergan en su conjunto 3.306.490 habitantes (Censo DANE, 2005), que equivalen al 59% de la población total del departamento de Antioquia (5.601.507 habitantes), observándose a su vez, que un 67% de la población del valle se concentra en el municipio de Medellín (véase la Tabla 3.1).

Mirada en su conjunto la región metropolitana alberga un 94,5% de población urbana y apenas un 5,5% de población rural aunque a escala municipal se observan variaciones muy

amplias, donde los menores valores de población urbana corresponden a Barbosa (43,8%), Girardota (58,8%) y La Estrella (54,8%), en tanto que valores intermedios se encuentran en Caldas (77,5%) y Sabaneta (79,2%). El resto de municipios, hoy conurbados físicamente, presentan porcentajes de población urbana por encima del 86%, que en Medellín alcanza el 98,2%.

Tabla 3.1 Población de los municipios de la región Metropolitana.

Municipio	Total	Cabecera	Resto
Caldas	67.999	52.696	15.303
La Estrella	52.563	28.812	23.751
Sabaneta	44.480	35.242	9.238
Envigado	174.108	165.420	8.688
Itagüí	235.016	213.237	21.779
Medellín	2.214.494	2.175.681	38.813
Bello	371.591	358.139	13.452
Copacabana	61.234	52.829	8.405
Girardota	42.566	25.011	17.555
Barbosa	42.439	18.608	23.831
Valle de Aburrá	3.306.490	3.125.675	180.815

Fuente: Censo 2005 (DANE, 2008 en www.dane.gov.co)

Este conjunto de municipios presenta condiciones climáticas y topográficas similares porque hacen parte de la misma unidad geográfica (el valle del río Aburrá). También por esta razón comparten numerosas condiciones de infraestructura física y de comunicaciones que les permite conformar una unidad productiva y urbanística donde se aprecia claramente un proceso activo de conurbación física de por lo menos siete de los diez municipios, con excepción de Caldas (al Sur) y Girardota y Barbosa (al Norte) (véase la Figura 3-2).

A continuación se describen algunas características generales de los municipios considerados dentro de la Metrópoli del Valle de Aburrá:

- **Caldas:** su cabecera está ubicada a 1.750 msnm y a 22 km del centro de Medellín, presenta una temperatura media de 19 °C. Tiene una extensión total de 134,8 km², 75% de la cual pertenece a la cuenca hidrográfica del río Aburrá, y se caracteriza por una topografía montañosa al sur del valle. Su población es de 67.999 habitantes y las principales actividades económicas son: la industria (facilitada por la cercanía y excelentes co-

municaciones con Medellín); la agricultura (con productos como plátano, café, yuca, maíz, caña de azúcar y frijol), la producción maderera (plantaciones) y la ganadería.

- **La Estrella:** su cabecera municipal está localizada 16 km al sur de Medellín y a 1.763 msnm, con una temperatura media de 19 °C. Tiene una extensión municipal de 35 km² parte de la cual es montañosa, destacándose al occidente los altos de La Culebra, El Frutero, El Silencio y El Romeral. Su población es de 52.563 habitantes. Las principales fuentes de su economía son: industria (desarrollada ampliamente en los últimos años), lechería, avicultura y pequeñas explotaciones agrícolas.

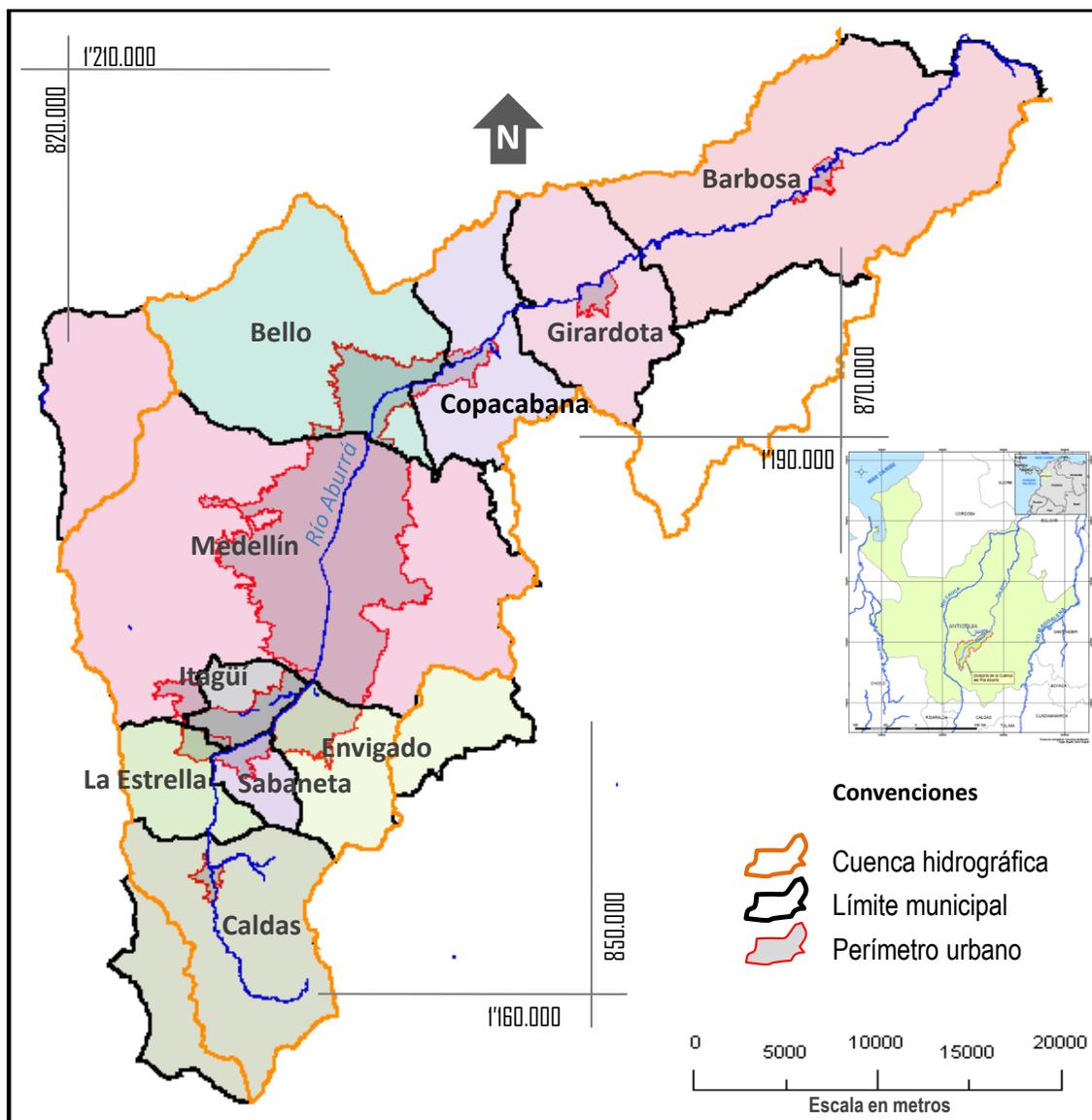


Figura 3-2 Distribución de los municipios de la Subregión Valle de Aburrá a lo largo de la cuenca del río Aburrá (Adaptado de POMCA, 2007).

- **Sabaneta:** La cabecera urbana está ubicada a 1.600 msnm y a 15 km al sur de Medellín, tiene una temperatura media de 19 °C y una superficie de apenas 16,4 km² que lo distingue como el municipio de menor extensión de Colombia. Su territorio es bastante quebrado, destacándose la cuchilla de El Morrón. Tiene una población de 44.480 habitantes. Deriva su economía de las industrias establecidas en su jurisdicción y de la explotación intensiva de granjas avícolas y de parcelas cafeteras.
- **Envigado:** Está localizado a 1.550 msnm, tiene una temperatura media de 20° C y dista de Medellín 10 km. El municipio tiene un área de 77,9 km², 59% de los cuales pertenecen al Valle del Aburrá. Presenta al oriente terrenos muy quebrados con alturas de hasta 2800 m sobre el nivel del mar. Tiene una población de 174.108 habitantes. Su economía es eminentemente industrial basada en fábricas de textiles, calzado, perfumes, jabones, sombreros, etc. Así mismo, son típicas del municipio las empresas de cristalería, instaladas allí desde principio de siglo donde se elaboran lámparas, vasos y otros artículos de vidrio. En la zona rural se cultiva café, papa y maíz.
- **Itagüí:** ubicado a sólo 10 km de Medellín, su altura media sobre el nivel del mar es de 1.569 m y su temperatura media es de 20° C. El área municipal es de 20,8 km² y presenta una topografía ligeramente quebrada, en la que destaca la cuchilla de Manzanillo y los altos de Piedragorda y Monumento. Tiene una población de 235.016 habitantes. Basa su economía principalmente en la industria, lo cual le ha merecido el apelativo de Capital Industrial de Colombia, por la elevada cantidad de fábricas especialmente del sector textil.
- **Medellín:** tiene una extensión de 375,5 km² (85% dentro de la cuenca) y según el censo de 2005, cuenta con una población de 2.214.494 habitantes. Su economía se basa principalmente en la industria, sobre todo la manufacturera. En este aspecto es el segundo centro del país, después de Bogotá D. C. La principal industria es la textil, que ha alcanzado alta competitividad incluso en el extranjero. Sus telas abastecen mercados de diversos países americanos e incluso algunos europeos. Abundan también las fábricas de productos alimenticios, bebidas, tabaco, prendas de vestir, maquinaria agrícola, productos químicos, productos de caucho y metálicos. Dada su ubicación, constituye un importante centro comercial, pues a ella llegan productos del Chocó, Caldas, Quindío, Risaralda y de los principales centros poblacionales de las costas del Caribe. En las

zonas rurales tiene importancia la agricultura, con productos como café, cacao, yuca, plátano y maíz.

- **Bello:** con un total de 371.591 habitantes es el segundo municipio más poblado del Valle de Aburrá (después de Medellín). La cabecera municipal está ubicada en el Valle de Aburrá, a una altura de 1.495 msnm, a 8 km de distancia de Medellín y goza de una temperatura media de 20 °C. Su área municipal es de 141,4 km², gran proporción de la cual presenta un relieve montañoso. Su actividad económica se centra principalmente en la industria, y en menor escala en la agricultura (café, caña de azúcar, yuca y maíz) y en la ganadería. En su jurisdicción se hallan instaladas numerosas fábricas, especialmente textiles.
- **Copacabana:** Su núcleo poblacional está localizado a orillas del río Aburrá, a una altura de 1.407 msnm. Tiene una temperatura media de 20 °C y a 16 km de Medellín. Sus 69,6 km² de superficie presentan un relieve montañoso y albergan una población total de 61.234 habitantes. Su cercanía a Medellín ha contribuido positivamente a su desarrollo industrial y urbanístico. Sus tierras son aptas para el cultivo de caña de azúcar, café, maíz, plátano y verduras, como también para la ganadería.
- **Girardota:** A una altura de 1.425 msnm, tiene una temperatura media de 22 °C y está a una distancia 26 km de Medellín. Sus 81,6 km² de superficie presentan un relieve montañoso y tiene una población de 42.566 habitantes. Su territorio, al igual que el municipio de Copacabana, presenta buena aptitud para el cultivo de caña de azúcar, café, maíz, plátano y legumbres, como también para la ganadería.
- **Barbosa:** Su cabecera municipal está ubicada a 39 km al norte de Medellín, a 1.301 msnm, su temperatura media es de 21° C. El territorio municipal ocupa un área de 206,3 km², y está habitado por 42.439 personas. Su topografía es predominantemente montañosa donde se desarrollan actividades económicas centradas en la agricultura (caña de azúcar, café, yuca, plátano, maíz y piñas) y la ganadería. También es importante la elaboración de panela y la explotación de minas de oro.
- **Otros municipios en la cuenca:** se incluyen aquí fracciones de los municipios de Guarne (36 km²) y de San Vicente (67 km²) que hacen parte de la cuenca alta de la quebrada Ovejas así como una estrecha franja de Guarne que pertenece a la cuenca de la quebrada Piedras Blancas.

3.2 La cuenca del río Aburrá

Para efectos del presente estudio se denominará “cuenca hidrográfica del río Aburrá” al tramo de la misma que corresponde con el valle del Aburrá, en inmediaciones de los municipios citados anteriormente donde se presenta una coincidencia bastante alta entre los límites municipales y la divisoria de aguas que delimita la cuenca desde el nacimiento del río, en el Alto de San Miguel (municipio de Caldas), hasta los límites del municipio de Barbosa, aproximadamente 10 km antes de la confluencia del río Grande en el río Aburrá.

La cuenca del río Aburrá no incluye por tanto la extensión total de los municipios de la región metropolitana, sin embargo sí define un valle geográfico que contiene la mayor parte del territorio de aquellos y alguna porción menor de varios municipios vecinos. Por ejemplo, por el occidente, San Sebastián de Palmitas, del municipio de Medellín, drena hacia el río Aurrá y la quebrada La Sucia, en tanto que una parte de Caldas lo hace hacia la quebrada La Maní, todos afluentes del río Cauca. Por el oriente, casi la mitad del territorio de Envigado pertenece a la cuenca del río Negro. Así mismo, existen algunas áreas que, aunque son jurisdicción de municipios externos a la región metropolitana, hacen parte de la cuenca. Estos territorios son eminentemente rurales, con baja densidad de población, y por lo tanto ejercen una baja demanda de recursos sobre la cuenca. Es el caso de la cuenca alta de la quebrada Ovejas, perteneciente a los municipios de Guarne y San Vicente (67,2 km²) y un fragmento de la quebrada Piedras Blancas, del municipio de Guarne (36,3 km²).

Con frecuencia, en estudios realizados sobre el río Aburrá (Instituto MI RIO, 1994 y 1997; REDRIO, 2005; POMCA, 2007), se han incluido otras subcuencas tributarias que suman unos 110 km² y pertenecen a los municipios de Yolombó, Don Matías y Santo Domingo (localizadas aguas abajo de Barbosa, en el sector de Porce), las cuales no se tendrán en cuenta dentro del área de estudio (véase la Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Áreas aportantes de cada municipio a la cuenca del río Aburrá y otras cuencas.

Municipios	Área (km ²)				Área total (km ²)
	en la cuenca	%	en otras cuencas	%	
<i>Metropolitanos</i>					
Caldas	101,8	75,5	34	25,2	134,8
La Estrella	35	100,0	0	0,0	35
Sabaneta	16,4	100,0	0	0,0	16,4
Envigado	46,1	59,2	31,8	40,8	77,9

Municipios	Área (km ²)				Área total (km ²)
	en la cuenca	%	en otras cuencas	%	
Itagiú	20,8	100,0	0	0,0	20,8
Medellín	317,4	84,5	58,1	15,5	375,5
Bello	141,4	100,0	0	0,0	141,4
Copacabana	69,6	100,0	0	0,0	69,6
Girardota	81,6	100,0	0	0,0	81,6
Barbosa	206,3	100,0	0	0,0	206,3
<i>No metropolitanos incluidos</i>					
San Vicente	67,2	29,4	161,3	70,6	228,49
Guarne	36,3	23,6	117,6	76,4	153,9
Subtotal	1.139,80		401,8		
<i>No metropolitanos (no incluidos en área de estudio)</i>					
Santo Domingo	70,9		194,8		265,67
Don Matías	34,7		163,9		198,55
Yolombó	5,7		980,6		986,34
Total	1.251,10		1.741,10		

Fuente: modificado de POMCA (2007)

3.2.1 Orografía

El valle del río Aburrá se encuentra enclavado en medio de una bifurcación de la cordillera Central, al noroccidente, formando una depresión profunda que sigue el curso del río Aburrá en sentido sur-norte. El valle desciende desde una elevación de 1.795 msnm (en el municipio de Caldas) hasta los 1.048 msnm (en el municipio de Barbosa). Tiene un fondo predominantemente plano, con un ancho máximo de 10 km, que se cierra en su curso inferior hasta adquirir forma de “V” profunda.

El valle está flanqueado por cadenas montañosas con alturas que alcanzan los 2.500 a 3.000 msnm, siendo los hitos más sobresalientes los altos de San Miguel, Boquerón y el Padre Amaya (véase la Figura 3-3).

3.2.2 Geología

En la cuenca hidrográfica del río Aburrá se distinguen algunas formaciones geológicas de distinta naturaleza que incluyen: rocas ígneas, metamórficas y sedimentos no consolidados.

- *El material ígneo*: lo constituyen el Batolito Antioqueño, además de las serpentinitas y el Batolito de Altavista.

- *El material metamórfico*: está constituido por anfibolitas (presentes en grandes cantidades) y metasedimentos formando lo que se conoce como Grupo Ayurá- Montebello.
- *El material no consolidado (sedimentario)*: está constituido por terrazas y depósitos coluviales.

Otra unidad geológica reciente corresponde a los depósitos de flujos de lodo localizados hacia las laderas, y derivados de la descomposición de las rocas preexistentes.

3.2.3 Geomorfología

De acuerdo la síntesis efectuada por el POMCA (2007), a partir de estudios realizados por CORANTIOQUIA y el Área Metropolitana, se proponen las siguientes unidades cartográficas geomorfológicas mayores:

- *Escarpe principal (EP)*: Ubicada en el límite entre las superficies de erosión o altiplanos y el valle, es una superficie de fuerte inclinación, igual o mayor a 45°. Este escarpe define un sistema de filos y colinas desarrollado a partir de materiales saprolíticos, o como resultado de la disección de depósitos de vertiente y aluviales.
- *Filos y colinas (Fa, Fm, Fb, Ca, Cm, Cb,)*: localizados en el fondo del valle (cerros Nutibara y El Volador, en Medellín), en las vertientes medias (cerro Pan de Azúcar) y en la parte superior del escarpe (morro Gil, en el municipio de Caldas). Desarrollados a partir de materiales saprolíticos o como resultado de la disección de depósitos de vertiente y aluviales. Los Filos de esta unidad pueden variar bastante, predominando los filos estrechos, de tope agudo a ligeramente convexos y alargados sobre todo en dirección perpendicular al río Aburrá.
- *Vertientes Suaves en Depósitos (Vsd)*: ubicadas entre las unidades geomorfológicas de escarpe, filos y los depósitos aluviales. Consiste en superficies de inclinación suave moldeadas por depósitos de vertiente, pendientes rectilíneas a ligeramente cóncavas y grado de disección leve a moderado.
- *Superficies aluviales (Al)*: localizadas a lo largo de todo el Valle de Aburrá. Son superficies formadas por depósitos aluviales del río Aburrá y sus afluentes principales.
- *Terrazas aluviales (T)*: ubicadas principalmente en los alrededores del municipio de Girardota. Son formaciones elevadas comprendidas entre 10 y 15 m por encima de la superficie aluvial, se encuentran localizadas.

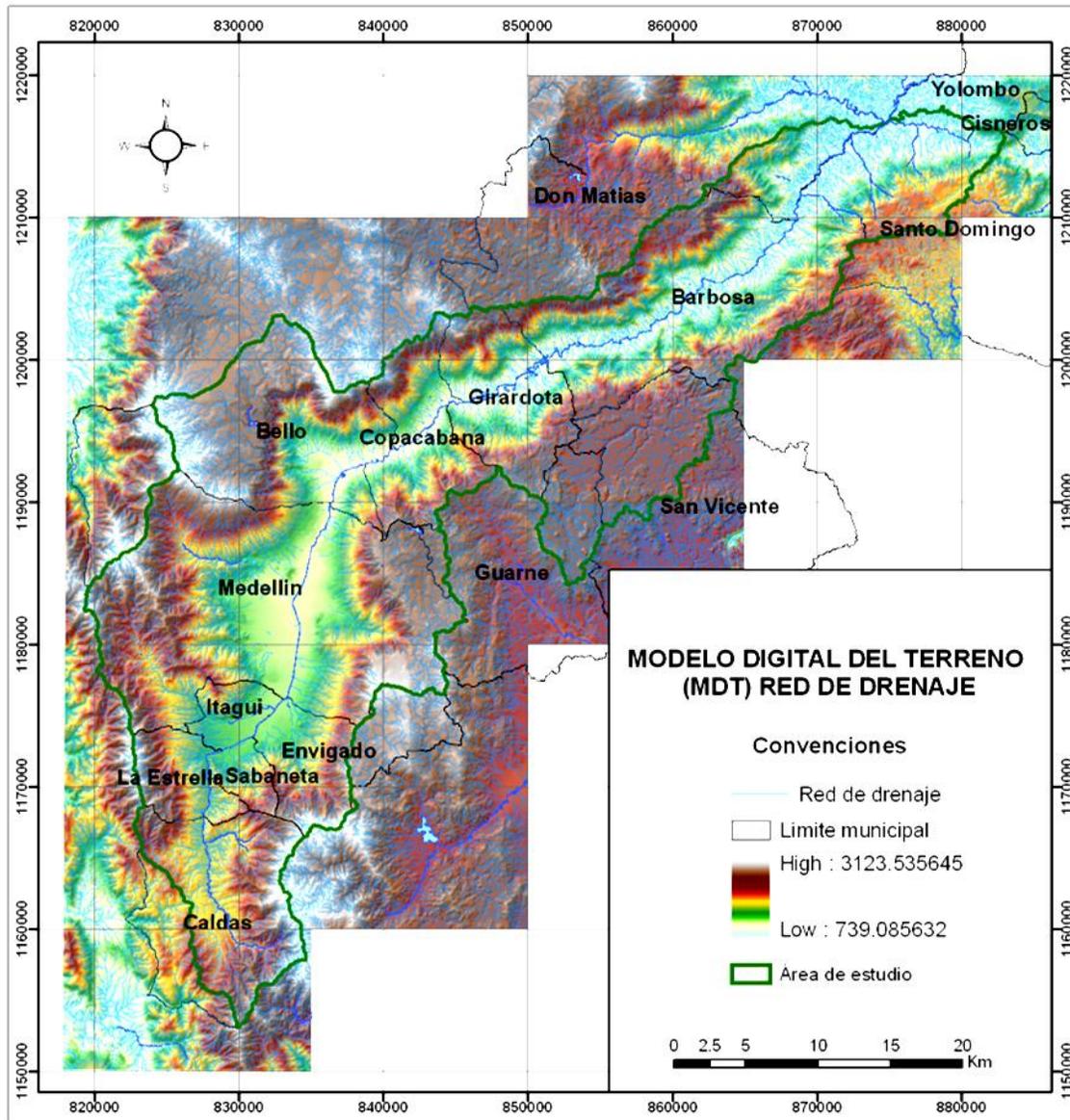


Figura 3-3 Mapa hipsométrico general de la zona de estudio (Tomado de POMCA, 2007)

3.2.4 Edafología

En resumen, los suelos que se presentan en la cuenca hidrográfica del río Aburrá, se caracterizan por ser: secos, estériles por falta de nutrientes y humedad, con texturas y colores heterogéneos, de muy variada naturaleza; de drenaje y permeabilidad variables. Son suelos erosionados y erosionables debido a causas naturales y humanas.

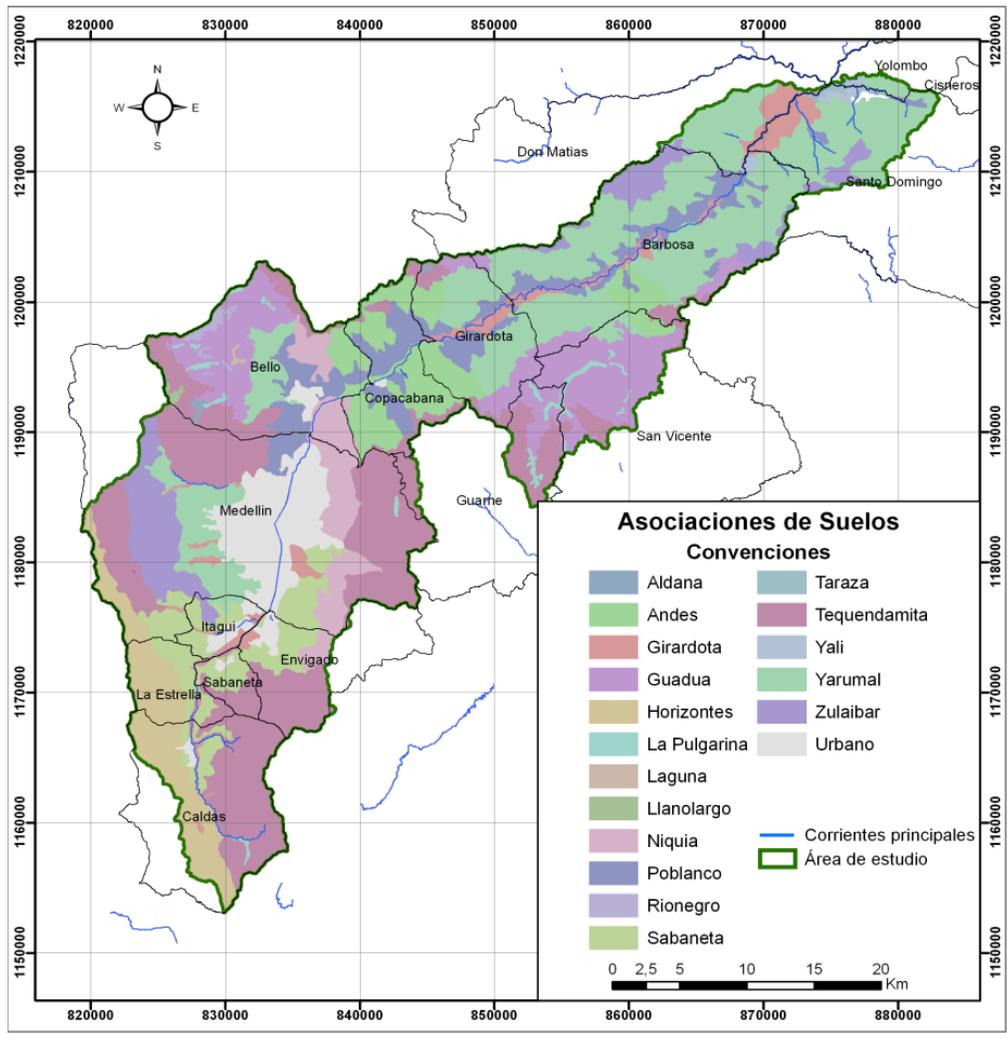


Figura 3-4 Asociaciones de suelos pertenecientes a la cuenca del río Aburrá. (Tomado de: POMCA, 2007. Con base en datos de IGAC, 1979).

Los suelos derivados del Batolito, son profundos, bastante sueltos, arcillosos, de poco a medianamente permeables. La fertilidad es baja, la erosión de ligera a moderada y el relieve fuertemente inclinado. Están localizados a lo largo del cañón del río, desde Girardota hasta el río Grande y en un sector alto al occidente de Medellín. Se caracterizan por un drenaje natural de bueno a moderado y escorrentía muy rápida. Son poco evolucionados, arcillosos, con texturas de medianas a finas, tonos amarillentos y rojizos, con buen drenaje natural y escorrentía rápida. La fertilidad es baja, la erosión severa y el relieve aparece quebrado y escarpado. Por su parte, los suelos de origen coluvial y/o aluvial se presentan a lo largo del río Aburrá desde Caldas hasta Barbosa, sobre las laderas del valle amplio, presentando

buenas condiciones de drenaje y buena permeabilidad, con profundidad variable, de texturas moderadamente gruesas y de tonos pardos.

De acuerdo con la clasificación de suelos de Antioquia (IGAC, 1979), las asociaciones presentes en la cuenca son: Aldana (AL), Andes (AG), Calderas (CL), Girardota (GS), Guadua (GD), Horizontes (HB), Llanolargo (LL), La Pulgarina (LP), Niquía (NQ), Poblano (PO), Rionegro (RN), Sabaneta (SA), Taraza (TR), Tequendamita (TE), Yalí (JD), Yarumal (YA) y Zulaibar (ZL). La distribución de estas asociaciones se muestra en la Figura 3-4.

3.2.5 Vegetación

En la Tabla 3.3 se presenta una síntesis de las coberturas vegetales existentes en la cuenca las cuales corresponden predominantemente a Pastos (38.205 ha) y Rastrojos (22.058 ha) y en menor proporción a Cultivos (14.420 ha), Bosque natural intervenido (10.958 ha) y plantaciones (10.142 ha) (POMCA, 2007). La distribución general de cada una de las coberturas, descritas a continuación, se puede apreciar en la Figura 3-5.

- *Bosque natural intervenido*: Bosques naturales a los que se les ha extraído, por entresaca selectiva, todas o parte de las especies comerciales más importantes. Presenta un dosel conformado a partir de los doce metros de altura.
- *Bosque plantado*: Cultivos de especies introducidas, en estas áreas se efectúan prácticas semi-mecanizadas y manejos culturales para su establecimiento, manejo y aprovechamiento y semillas seleccionadas con mejoramiento genético.
- *Rastrojo alto*: Vegetación secundaria arbustiva entre ocho y doce metros de altura. Este tipo de cobertura es el paso siguiente en la sucesión vegetal después de la etapa de rastrojo bajo; se caracteriza por la presencia de especies arbustivas y arbóreas pioneras y la desaparición de los pastos.
- *Rastrojo bajo*: Vegetación secundaria formada por numerosas especies pioneras (arbustos, malezas y pastos altos) que constituyen el primer paso para la recuperación de la cubierta vegetal una vez se abandonan áreas ganaderas o agrícolas.
- *Cultivos transitorios*: Vegetación cultivada para producción agrícola bajo la propuesta de revolución verde, con un alto uso de plaguicidas. Su periodo vegetativo es inferior a doce meses (fríjol, zanahoria, maíz, col, cebolla, cebolla junca, ajo, lechuga, apio, tomate, fresa, pimentón, pepino, entre otros).

Tabla 3.3 Coberturas vegetales en la cuenca del río Aburrá

Cobertura	Subtotal subclase	Subtotal por clase	Barbosa	Bello	Caldas	Copacabana	Envigado	Girardota	Guarne	Itagüí	La Estrella	Medellín	Sabaneta	San Vicente	En blanco	Total general		
Bosque natural intervenido	21.100,5	21.100,5	648,9	3.101,4	1.762,2	1.291,3	570,7	54,6	737,1	195,9	689,5	32,3	537,9	1.336,3	0,5	10.958,5		
Bosque plantado			165,6	488,6	3.173,9	313,8	551,5	69,2	608,8	35,5	431,0	4.137,0	61,1	106,0			10.142,0	
Rastrojo alto	14.548,7	22.058,9	1.617,1	1.267,0	1.254,3	393,6	804,7	1.101,8	136,0	216,9	425,3	6.313,3	18,1	493,7	13,5	14.055,3		
Rastrojo alto y cultivo			0,0					200,6	113,4					48,7			362,7	
Rastrojo alto y pasto natural							70,4								60,3			130,7
Rastrojo bajo			1.219,3	453,2	498,8	549,4	336,6	773,4	533,8	115,8	486,2	1.545,4	16,5	70,4				6.598,9
Rastrojo bajo y cultivo	7.510,2		4,3					48,9	70,1					368,5		491,8		
Rastrojo bajo y pasto natural				164,3		237,3		17,9									419,5	
Cultivo permanente	8.979,5	14.420,2	7.228,3	102,8		97,8	0,9	1.360,5	55,0	21,3			109,6	3,2		8.979,5		
Cultivo transitorio	5.440,7		664,6	176,6	317,0		183,1	363,2	231,0	0,7	145,0	1.000,3	1,0	968,0			4.050,6	
Cultivo transitorio y pasto			2,0					113,5							1.258,9		1.374,4	
Cultivo transitorio y rastrojo									2,8									2,8
Cultivo y pasto natural							13,0											13,0
Pasto manejado	8.809,2		39,4	1.679,0	701,5	129,1	569,8	1.550,7	48,2	46,9	430,8	3.231,1	43,5	11,9	6,5	8.488,4		
Pasto manejado y cultivo						0,4		14,3									14,7	
Pasto manejado y pasto natural				201,1														201,1
Pasto manejado y rastrojo alto				87,6		17,3												104,9
Pasto natural	29.396,7	38.205,8	8.322,6	3.060,3	1.153,9	2.288,8	354,3	1.944,5	369,9	386,0	554,2	3.928,7	247,3	1.023,9		23.634,5		
Pasto natural y cultivo				345,6	201,7	528,1		46,1									1.121,5	
Pasto natural y cultivo perm			451,3		169,5			3,1									623,9	
Pasto natural y cultivo transi			9,9							661,0					915,2		1.586,2	
Pasto natural y pasto maneja				269,2	664,7		11,1					6,0						951,0
Pasto natural y rastrojo alto				306,4		300,9		9,1	2,8									619,3
Pasto natural y rastrojo bajo				487,1		358,2		15,0										860,3
Construcciones	17.585,7	17.585,7	235,6	1.873,5	278,3	368,7	1.230,5	352,4	0,6	1.049,9	331,7	11.261,6	600,0		3,1	17.585,7		

Cobertura	Subtotal subclase	Subtotal por clase	Barbosa	Bello	Caldas	Copacabana	Envigado	Girardota	Guarne	Itagüí	La Estrella	Medellín	Sabaneta	San Vicente	En blanco	Total general
Cuerpos de agua	101,4	101,4	0,0	26,4		0,3		52,5	3,1			16,2		2,9		101,4
Infraestructura vial	101,3	101,3						2,0	47,8			0,0		51,4		101,3
Suelo desnudo	432,5	432,5	20,8	50,4		5,7		62,0	6,8	11,3		272,7		2,8		432,5
Total general	114.006,4	114.006,4	20.697,7	14.110,6	10.175,7	6.964,0	4.613,2	8.158,1	3.625,6	2.080,2	3.499,6	31.738,7	1.635,0	6.722,4	23,6	114.006,4

(Fuente: Adaptado de POMCA, 2007. Basado en: CORANTIOQUIA, 2002 “Homologación del mapa de coberturas y usos del suelo en la jurisdicción de CORANTIOQUIA”; y CORNARE & FAL, 1993. “Coberturas y usos del suelo”; POT revisados de Medellín, La Estrella, Sabaneta y Girardota. Información complementada con interpretación de imagen SPOT de 2005).

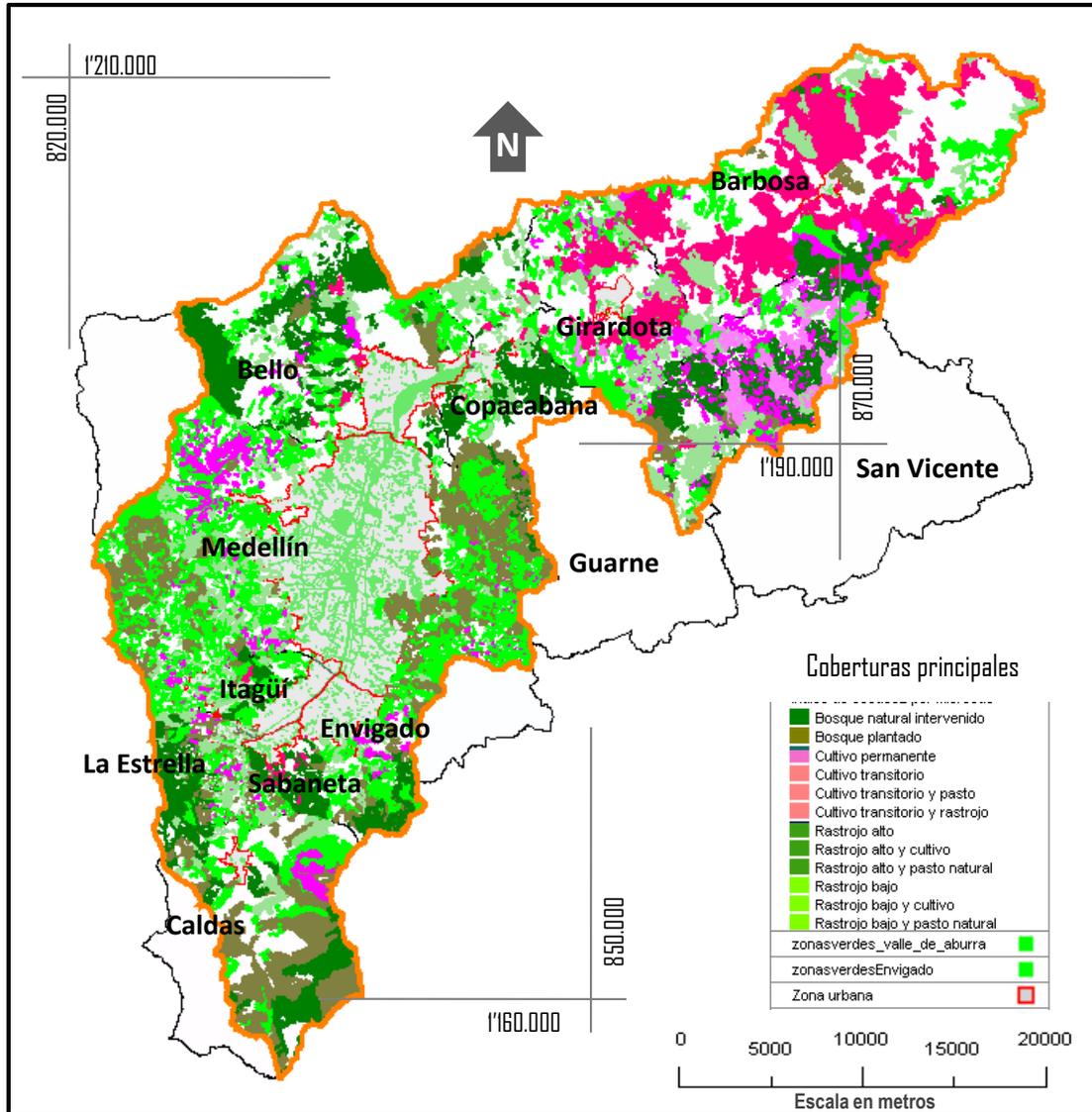


Figura 3-5 Coberturas vegetales principales en la cuenca del río Aburrá (Adaptado de POMCA, 2007. Basado en: CORANTIOQUIA, 2002. “Homologación del mapa de coberturas usos del suelo en la jurisdicción de CORANTIOQUIA; CORNARE & FAL, 1993. “Coberturas y usos del suelo”; POT revisados de Medellín, La Estrella, Sabaneta y Girardota. Información complementada con interpretación de imagen SPOT de 2005)

- *Cultivos permanentes*: Son aquellos cuyo periodo vegetativo es mayor a doce meses. Los cultivos permanentes presentes en la cuenca son: plátano, café, frutales.
- *Pastos manejados (grama)*: Son aquellas áreas que se destinan a uso recreativo y de esparcimiento, como son las fincas de recreo.
- *Pastos naturales*: Son producto de la transformación del paisaje por medio de la tumba y quema de vegetación arbórea natural. En este tipo de cobertura no se hace

un manejo de fertilización y laboreo a la cobertura de pasto establecida y está asociado con prácticas ganaderas inadecuadas.

3.2.6 Zonas de vida

Para efectos de comparación teórica entre la situación actual de las coberturas vegetales y lo que podría haberse encontrado en la región antes de que el Valle de Aburrá fuera ocupado por parte de grupos humanos, se presenta a continuación la distribución de las zonas de vida (basadas en la propuesta de Holdridge), la cual permite suponer la existencia de coberturas boscosas continuas, con algunas variaciones localizadas generadas por condiciones de humedad y temperatura debidas a la topografía y a la circulación de los vientos. (Véanse la Tabla 3.4 y la Figura 3-6).

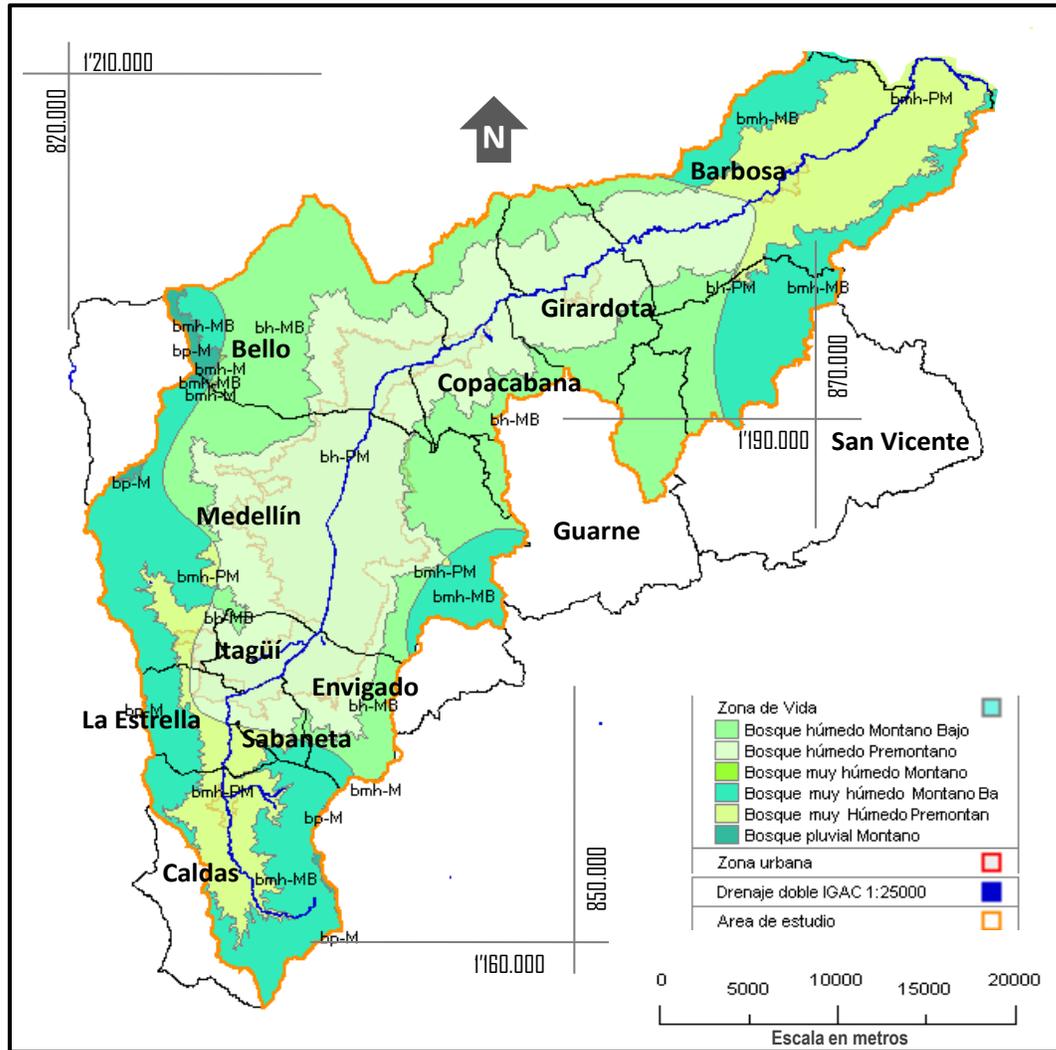


Figura 3-6 Zonas de vida en la cuenca del río Aburrá (Adaptado de POMCA, 2007).

Tabla 3.4 Características principales de las zonas de vida presentes en la cuenca.

Zona de vida	Temperatura media (°C)	Precipitación promedio (mm)	Franja altitudinal (msnm)
Bosque húmedo Montano bajo (bh-MB)	12 a 18	1.000 a 2.000	2.000 a 3.000
Bosque muy húmedo Montano bajo (bmh-MB)	12 a 18	2.000 a 4.000	2.000 a 3.000
Bosque húmedo Premontano (bh-PM)	18 a 24	1.000 a 2.000	850 a 2.000
Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM)	18 a 24	2.000 a 4.000	1.000 a 2.000
Bosque muy húmedo Montano (bmh-M)	6 a 12	1.000 a 2.000	3.000 a 4.000
Bosque pluvial Montano (bp-M)	6 a 12	superior a 2.000	4.000 a 4.500

3.2.7 Hidrografía y caudales

El río Aburrá, en el tramo de estudio, recibe los aportes de más de 200 afluentes directos de distinta extensión, importancia y calidad los cuales concentran a su vez la escorrentía de numerosas corrientes menores y nacimientos, así como los vertimientos de todas las actividades que se realizan al interior de la cuenca. En la Tabla 3.5 se relacionan las cuencas más importantes agrupadas de acuerdo con su extensión.

Tabla 3.5 Características de las principales quebradas afluentes del río Aburrá

Tamaño	Municipio	Nombre de la corriente	Área (Km ²)	Long. (Km)	Número afluentes
CUENCA SUPERIOR. Área > 20 Km ²	Medellín	Santa Elena (1)	45,36	14,30	40
	Medellín	La Iguaná	46,25	15,00	91
	Itagüí	Doña María	68,42	21,40	464
	Copacabana	Piedras Blancas	41,87	15,00	48
	Envigado	La Ayurá	38,5	11,62	18
	Bello	La García	51,03	18,4	19
CUENCA MAYOR. Área 5–20 Km ²	Medellín	El Molino	6,63	5,05	9
	Medellín	La Presidenta	5,56	6,70	9
	Medellín	La Hueso	16,37	8,30	23
	Medellín	La Picacha	11,07	10,75	22
	Medellín	La Altavista	17,19	10,00	30
	Barbosa	Ovejas	18,20	5,62	-----
	Bello	El Hato	16,9	12,2	5
CUENCA MEDIANA. Área 1–5 Km ²	Sabaneta	La Doctora	15,77	-----	-----
	Bello	La Madera	3,26	6,70	4
	Medellín	Tinajas	1,26	2,75	2
	Medellín	Minitas	1,3	3,5	1
	Medellín	La Cantera	1,55	3,45	2
	Medellín	La Quintana	1,99	3,85	2
	Medellín	La Malpaso	4,88	6,8	4
	Medellín	La Aguacatala	4,89	6,5	7
	Itagüí	La Jabalcona	4,80	4,00	4
	Medellín	La Seca	3,69	4,25	5
Medellín	La Rosa	3,13	3,60	3	

Tamaño	Municipio	Nombre de la corriente	Área (Km ²)	Long. (Km)	Número afluentes
	Medellín	La Bermejala	3,71	3,80	3
	Medellín	El Ahorcado	1,53	3,65	3
	Girardota	El Salado	1,70	-----	-----
	Medellín	La Volcana	1,92	5,00	5
CUENCA PEQUEÑA Área <1,0 Km ²	Medellín	La Francia	0,15	0,8	0
	Medellín	La Herrera	0,65	1,90	3
	Medellín	Juan Bobo	0,25	0,78	0
	Medellín	Villa del Socorro	0,31	1,13	0
	Medellín	Santa Cruz	0,11	0,40	0
	Medellín	El Aguacate	0,24	0,72	0
	Medellín	La Herradura	0,33	1,00	0
	Medellín	Negra	0,49	1,20	2
	Medellín	La Culebra	0,43	1,40	1
	Medellín	Toscana	0,93	2,30	0
	Medellín	La Moreno	0,76	2,00	0
	Medellín	La Velásquez	0,55	2,00	0
	Medellín	La Olleta	0,88	1,80	1
	Caldas	La Salada, La Miel, La Valeria	sd.(2)	sd.	sd.
	Envigado	La Mina o La Sucia	sd.	sd.	sd.
	La Estrella	La Grande, La Estrella	sd.	sd.	sd.
	Copacabana	La Chuscala	sd.	sd.	sd.
	Barbosa	La Santiago, Piedra Gorda, Dos quebradas, La López, Aguas Calientes	sd.	sd.	sd.

(1): Las corrientes en **negrilla** tienen altos grados de contaminación. (2): sin dato. Fuente: REDRIO (2005)

Para tener una idea de los volúmenes de agua que fluyen a lo largo del valle se presenta, en la Tabla 3.6, un estimativo de los caudales medios del río Aburrá en diez puntos del cauce principal, obtenidos mediante aforos realizados durante el año 2004 (REDRIO, 2005), donde se incluyen además los caudales estimados de aguas residuales.

Tabla 3.6 Caudales medios (m³/s) a lo largo del río Aburrá en diez puntos del cauce principal.

Estación	Municipio	Abscisa (km)	Y (m)	X (m)	Q. residual acumulado (m ³ /s)	Q. medio (m ³ /s) (1)
SALADA_LA_RMS_11	Caldas	10,9	1.161.560	828.490	0	1,6
CALDAS_RM_16	Caldas	17,8	1.166.996	827.383	0	5,6
ANCÓN_SUR_RMS_17	La Estrella	23,7	1.171.678	827.139	0,37	4,9
AGUACATA-LA_LA_RMS1	Medellín	32,7	1.176.850	833.460	1,93	12,4
MACHADO_RMS.12	Bello	52,4	1.192.620	838.460	6,47	24,6
ACON_NORTE_RMS_20	Copacabana	60,4	1.196.400	843.840	6,47	28,7
GIRARDOTA	Girardota	65,9	1.197.518	848.513	6,47	31,2
HATILLO_EL_RMS.13	Barbosa	77,2	1.200.980	854.350	6,47	30,6
YARUMITO_RMS_14	Barbosa	95,5	1.207.240	866.150	8,06	40,0
GABINO_RMS.15	Santa Rosa de Osos	113,2	1.217.340	875.250	8,06	92,3

Fuentes: POMCA (2007); REDRIO, 2005). (1) a partir de datos históricos y diez aforos realizados durante el año 2004).

Los cálculos efectuados para caudales mínimos indican que pueden ocurrir disminuciones de caudal de hasta un 60% para un período de retorno de 2,33 años, en tanto que para un período de retorno de 100 años la reducción puede llegar a ser hasta del 80% (POMCA, 2007). En este aspecto es importante tener en cuenta la descarga que entrega la Central Hidroeléctrica La Tasajera, arriba de la estación Hatillo (en operación desde octubre/93), la cual tiene un efecto positivo sobre las condiciones de calidad del agua porque aporta un caudal de dilución considerable (aproximadamente $10 \text{ m}^3/\text{s}$), tal como se ve reflejado en los análisis de calidad.

3.2.8 Calidad del Agua del río Aburrá

A pesar de que en la actualidad se ha avanzado en el saneamiento de la cuenca, gracias a la construcción del sistema de colectores e interceptores y a la entrada en operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San Fernando desde diciembre de 1999, persisten problemas de contaminación en muchas de las subcuencas aportantes que inciden en la calidad del agua en algunos tramos del río (véase la Tabla 3.5, subcuencas en negrilla).

Algunas de las razones para que el río siga sin recuperarse sustancialmente radican, entre otros, en los siguientes aspectos:

- Falta construir el Interceptor entre Caldas - Ancón Sur, necesario para llevar las aguas residuales del municipio de Caldas y parte del municipio de La Estrella a la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando.
- Existe una cantidad de asentamientos informales en zonas de alto riesgo que están por fuera del alcance del sistema de colectores y requieren soluciones especiales (no convencionales) para conectarlos al sistema. Todos estos barrios, siguen vertiendo directamente a las quebradas y, por lo tanto, contaminando las aguas en la zona urbana.

Si acogemos los datos más recientes de que en el Valle de Aburrá hay alrededor de 30 mil familias asentadas en zonas de alto riesgo no mitigable, y suponemos que son estas las que están por fuera del sistema de colectores, se estaría hablando de aproximadamente 150 mil personas cuyos vertimientos se quedan sin tratamiento

incrementando la DBO del sistema (el número de personas puede llegar a ser mayor. Véase el numeral 6.1).

- En la actualidad (2009), y hasta tanto entre en operación la planta de tratamiento de Bello (esta se encuentra en diseños y debe construirse entre 2009-2012), el colector principal que recoge todas las aguas servidas de la zona urbana, comprendida entre la Planta San Fernando y el Barrio Caribe, vierte las aguas sin tratar directamente al río. Es decir, que la mejora en la calidad del agua del río Aburrá, en el tramo urbano hasta inmediaciones del sector de Moravia, es una situación apenas aparente, por cuanto la carga contaminante no se está tratando sino que se descarga, de manera concentrada, en un punto aguas abajo de la zona urbana central de Medellín.
- Falta por construir el tramo del interceptor entre Moravia y la PTAR de Bello, que transportará todas las aguas residuales entre el sector de Moravia y el sitio de la futura planta, así como varios ramales interceptores que conectarán las descargas existentes al interceptor central.

Adicionalmente, el río fue canalizado en aproximadamente 5 km de su recorrido por la zona urbana del valle, especialmente en el tramo correspondiente al municipio de Medellín, desde los límites con Itagüí hasta la altura del sector de Moravia.

Más adelante, en el capítulo cinco, se hará una descripción de esta situación en términos de caudales y afectaciones por la carga orgánica. Mientras tanto, en la Tabla 3.7 se muestran los resultados obtenidos en muestreos físicoquímicos y biológicos efectuados en 16 estaciones a lo largo del río Aburrá en estudios previos (Empresas Públicas de Medellín-EPM, Instituto MI RÍO, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - CORANTIOQUIA, Corporación Autónoma Regional de los ríos Negro y Nare - CORNARE, Área Metropolitana del Valle de Aburrá-AMVA, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Universidad de Antioquia, Universidad de Medellín y Universidad Pontificia Bolivariana). Durante los años 1972, 1997, 2001, 2003 y 2006 se analizaron algunas variables físicoquímicas y biológicas para cuya interpretación se aplicaron los índices ICA (Índice de Calidad Ambiental) y BMWP' (*Biological Monitoring Working Par-*

ty)¹². Los resultados de la aplicación del índice ICA para los diferentes tramos se presentan en la Figura 3-8 así como su distribución espacial en la Figura 3-8 y del índice BMWP en la Figura 3-9.

Tabla 3.7 Calidad del agua a lo largo del cauce principal del río Aburrá con base en índices

Estación #	Nombre de la estación	BMWP_2003	ICA
E1	San Miguel	Excelente	Excelente
E2	Primavera	Excelente	Excelente
E3	Ancón Sur	Media	Excelente
E4	Envigado	s.d. (1)	s.d.
E5	Antes San Fernando	Mala	Excelente
E6	Después San Fernando	Media	Buena
E7	Puente Guayaquil	Mala	Buena
E8	Aula Ambiental	Mala	Buena
E9	Puente Acevedo	Mala	Buena
E11	Puente Machado	Muy Mala	Buena
E12	Metromezclas	Mala	Buena
E13	Puente Girardota	Mala	Buena
E14	Hatillo (Parque LasAguas)	Mala	Excelente
E15	Hatillo	Mala	Excelente
E16	Papelsa	Mala	Excelente
E17	Popalito	Buena	Excelente
E18	Pradera	s.d.	s.d.
E19	EADE	s.d.	s.d.

(1): s.d. sin datos.

Fuente: REDRIO (2005)

Estación	Nacimiento	Alto San Miguel	La Primavera	Ancón Sur	Doña María	Antes San Fernando	Después San Fernando	Puente Guayaquil	Aula Ambiental	Puente Acevedo	Puente Machado	Metromezclas	Parque Las Aguas
Tramo (#)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Longitud (km)	9,7	21,6	13,6	2,1	8,9	7,5	11,2	7,9	15,4	9,8	22,6	37,8	
ICA	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Excelente

Convenciones. Escala de valores índices

Excelente	8 a 10	Buena	6 a 8	Media	4 a 6	Mala	2 a 4	Muy mala	0 a 2
-----------	--------	-------	-------	-------	-------	------	-------	----------	-------

Figura 3-7 Valores del ICA para distintos tramos del río Aburrá (Datos 2006) (Adaptado de POMCA, 2007)

¹² El ICA incluye parámetros ambientales como: pH, temperatura, OD, conductividad, DBO₅, DQO, sólidos totales, fósforo, sulfuros, turbiedad, nitrógeno y sulfatos, en tanto que el BMWP se basa en la capacidad de bioindicación de las familias de macroinvertebrados (asigna un puntaje de “10” a las familias más sensibles a la contaminación orgánica, y de “1” a las más tolerantes; la suma de los puntajes de todas las familias en un sitio dado corresponde al valor del índice)

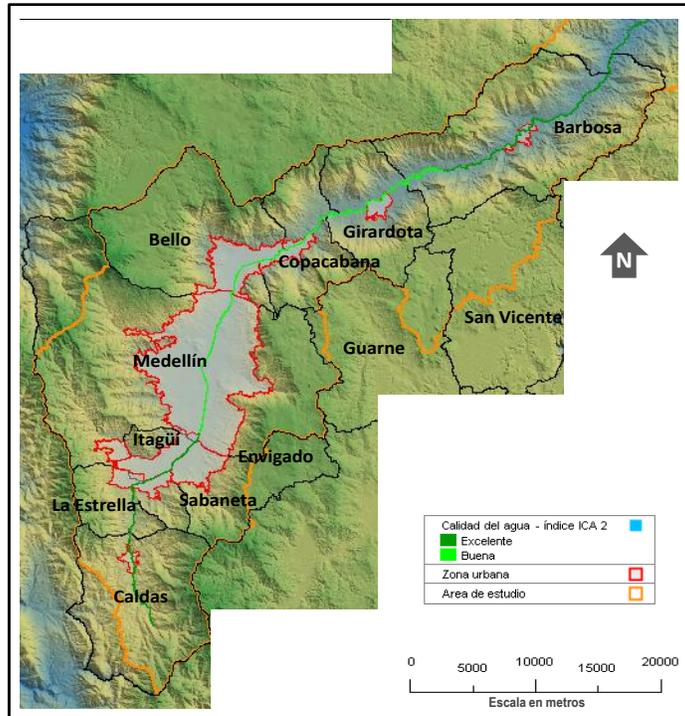


Figura 3-8 Calidad del agua del río Aburrá con base en el índice ICA (Datos 2006) (Adaptado de POMCA, 2007)

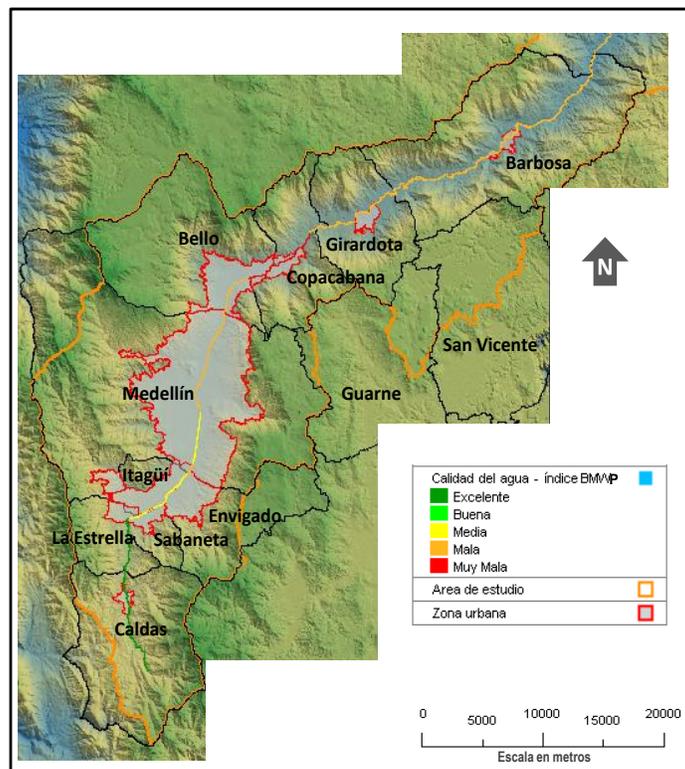


Figura 3-9 Calidad del agua del río Aburrá con base en el índice BMWP (Datos 2003) (Adaptado de POMCA, 2007)

En síntesis, puede decirse entonces que el área del estudio corresponde al valle geográfico del río Aburrá, en su cuenca alta, donde presenta un alto grado de coincidencia con el territorio político de los diez municipios que conforman la denominada Subregión Valle de Aburrá habitada por más de tres millones de personas.

Este sector de la cuenca hidrográfica del río Aburrá consta de un valle aluvial estrecho y alargado, flanqueado por dos cordones montañosos cuyas vertientes internas drenan de sur a norte, a lo largo del cauce principal del río. Sobre su parte central, y siguiendo el curso del río, se presenta un proceso de conurbación de al menos ocho de las cabeceras urbanas municipales con características claramente metropolitanas debido a las relaciones de dependencia en términos de intercambios económicos y de servicios, así como de fuertes lazos sociales y culturales entre sus pobladores.

La dinámica poblacional y urbanística de la región, especialmente desde la mitad del siglo pasado, ha determinado un profundo deterioro de la base natural de la cuenca debido al uso intensivo de los recursos naturales (agua, suelos, vegetación) lo cual se ha traducido en la pérdida de las coberturas vegetales, y en la degradación de los suelos por erosión, así como en procesos de contaminación del aire y de las numerosas corrientes superficiales de agua cuyos niveles de calidad limitan su aprovechamiento tanto para la población del valle mismo, como para otras localizadas por fuera del área de estudio. Como se verá más adelante, el Valle de Aburrá, a pesar de riqueza hídrica importa una elevada cantidad de agua para consumo y contamina el río Aburrá con vertimientos orgánicos en un trayecto de más de 100 km hacia aguas abajo.

4 Metodología

El estudio parte de los hallazgos de Agudelo (2004), en su evaluación de la sostenibilidad ecológica del valle de Aburrá, donde utilizó indicadores de consumo de recursos naturales y de producción de desechos, emparentados con la Huella Ecológica y el Planetoide Personal, así como indicadores de Modelo-Flujo-Calidad (M-F-C), los cuales resultaron útiles y aplicables en la región.

Mediante el análisis de Huella Ecológica el autor estableció la dependencia ecológica, y elaboró el listado de los servicios ecosistémicos y de ecosistemas que los proveen, identificando temas críticos y avances en la acción gubernamental y de la sociedad, a favor de la protección y recuperación del entorno urbano y de una mejor salud de los ecosistemas locales y regionales. Lo anterior condicionado a que un mejoramiento local no implique trasladar el deterioro a otras regiones (Agudelo, 2004).

Con base en este antecedente, y en otros estudios del mismo autor (Agudelo, 2000, 2005, 2006 y 2007) se planteó como hipótesis inicial que: *“la cuenca hidrográfica es una unidad de planificación ecológica funcional para las regiones metropolitanas”*, cuyo análisis y desarrollo se enmarcó dentro de los siguientes principios metodológicos.

4.1 Principios metodológicos

La importancia de las premisas que se relacionan a continuación tiene que ver principalmente con el interés del estudio por enfatizar en el papel que cumplen los recursos naturales que aún subsisten al interior de la cuenca, no sólo como fuente actual de algunos de los bienes y servicios ambientales que consume la metrópoli, sino como una parte integral del Capital Natural Crítico, tal como se pondrá en evidencia más adelante, cuya protección y conservación debe asumirse con mayor devoción por parte de los municipios y las autoridades ambientales responsables de su manejo.

Así pues, desde la formulación de estos principios es evidente que el objetivo del estudio no es identificar nuevos bienes y servicios ambientales, sino más bien propiciar la revaluación de su importancia en el contexto metropolitano como parte del Capital Natural remanente imprescindible para la sostenibilidad ambiental (ecológica) de la metrópoli.

Los siguientes son los cinco principios metodológicos que orientan el trabajo:

1. La región metropolitana (metrópoli del valle de Aburrá) está contenida en una cuenca hidrográfica (río Aburrá) que coincide aproximadamente con la división política de los municipios.
2. La cuenca recibe trasvases de agua que incorporan caudales importantes al río y agregan áreas considerables de otras cuencas hidrográficas a la cuenca del río Aburrá.
3. Adicionalmente, la metrópoli funciona gracias a otros grandes flujos de materiales provenientes de territorios vecinos (bienes y servicios ambientales).
4. La cuenca del río Aburrá posee una base natural propia que aporta una proporción de bienes y servicios ambientales cuya magnitud e importancia son desconocidas.
5. La metrópoli debe proteger la base natural de la cuenca y contribuir al ordenamiento de la región que proporciona su sostenibilidad.

4.2 El Capital Natural

El término “*capital*” proviene del campo de la economía neoclásica donde se lo define como “la cantidad de bienes reales, que pueden producir otros bienes o utilidades en el futuro”. Una posibilidad que, a su vez, permite producir bienes y servicios que nos proveen bienestar y comodidad, en el sentido estricto de valores materialistas y cuantitativos (varios autores citados por van der Perk *et al.*, 2000).

Sin embargo, el uso de esta noción de *capital*, estrictamente económica, en el campo de la ecología tiene el riesgo de que se considere a la naturaleza únicamente como un almacén o una fuente capaz de conducir o soportar flujos de dinero y de servicios físicos a través del tiempo. Para evitar esto, es preferible entender el término como la capacidad de un sistema dado para proveer al ser humano mediante flujos de bienes y servicios, que pueden tener o no significado desde el punto de vista económico. En este sentido, la aplicación de la etiqueta “*capital*” a sistemas como la economía, la naturaleza o la sociedad no se reducirá exclusivamente al campo económico (van der Perk *et al.*, 2000).

No existe unanimidad entre los autores en cuanto a la clasificación del *capital*, pero generalmente se lo diferencia en al menos tres clases: *capital natural*, *capital humano* y *capital manufacturado*, los cuales corresponden aproximadamente con los factores tradicionales de

producción económica: tierra, trabajo y capital (Costanza & Daly, citado por van der Perk *et al.*, 2000).

De manera resumida puede decirse que el *capital natural* incluye tierra, aire, agua y ecosistemas, que el *capital manufacturado* comprende todos los bienes materiales generados mediante la actividad económica y el cambio tecnológico y que el *capital humano* se relaciona con todo el sistema social, político y cultural de una sociedad, tales como las instituciones, los valores y necesidades, las preferencias sociales, la ética ambiental y el conocimiento ecológico tradicional (Cherni, 2004). Otros autores consideran éstos como sub-capitales del capital cultural o como formas adicionales de capital, tales como capital socio-organizacional y capital institucional (Ekins citado por Lopera, 2003).

Para completar esta diversidad de propuestas, se encuentra aún otra distinción adicional en la literatura entre Capital *ambiental*, *natural* y *ecológico*, en los siguientes términos:

- **Capital ambiental:** incluye el capital natural y algo del capital cultural como los monumentos históricos, el capital cultivado como los paisajes culturales, y en algunos casos también aspectos globales como la capa de ozono y el cambio climático.
- **Capital natural** relacionado con las funciones (bienes y servicios) provistos por ecosistemas autosostenibles (de mínima intervención), que conforman la base de recursos naturales renovables y no renovables (bióticos y abióticos), y
- **Capital ecológico** interpretado como aquellos servicios del Capital natural que se derivan exclusivamente de la parte biótica de los ecosistemas.

En la Figura 4-1 se ilustran las distintas clases de capital y su relación con los factores económicos tradicionales.

4.3 Capital Natural Crítico (CNC)

Faucheux & O'Connor (citados por van der Perk *et al.*, 2000) describen el CNC como un conjunto de recursos medioambientales los cuales (a una escala geográfica dada) desempeñan funciones ambientales importantes y para los cuales no existe sustituto en términos de capital manufacturado, humano o cualquiera otro capital existente. Donde aquella base de capital desempeña funciones ambientales críticas (se consideran funciones críticas todas aquellas funciones importantes) que no pueden ser desempeñadas por otros componentes

del Capital Natural se dice que existe un *Capital Natural Crítico* (van der Perk *et al.*, 2000). Se admite que este concepto es dinámico, y que, dependiendo de la aparición de sustitutos o de la mejora en el conocimiento sobre la importancia de ciertas funciones ambientales, el Capital Natural puede pasar de considerarse crítico a no-crítico o viceversa (Bravi *et al.*, 2000).

En este sentido, el CNC se relaciona con los principios metodológicos 3 y 4 (véase pag 64), que reconocen la presencia de bienes y servicios ambientales determinantes en el funcionamiento de la metrópoli, los cuales pueden provenir de la base natural de la propia cuenca o de territorios aledaños.

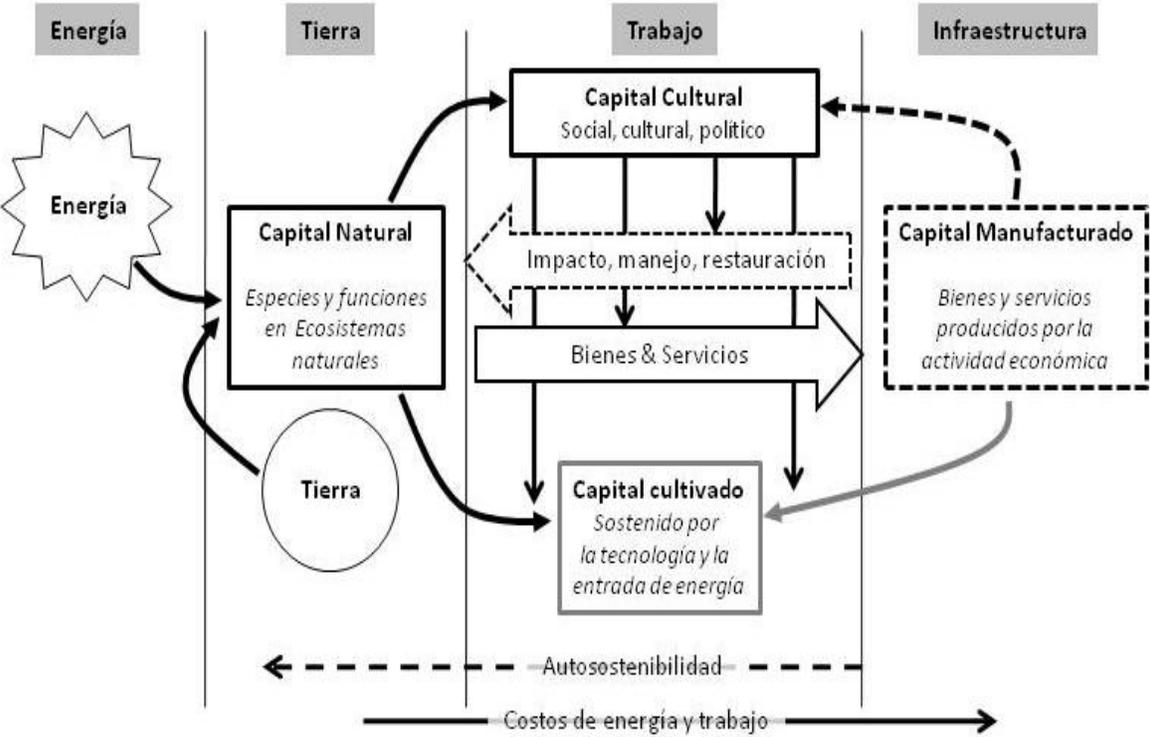


Figura 4-1 Relación entre los factores de producción y las clases de capital (Fuente: Adaptado de Aronson & Milton, 2007).

Para entender un poco mejor la afirmación de que una parte del Capital Natural es crítico, consideremos el caso de la capa de ozono: su función de protección contra los rayos ultravioleta podría ser reemplazada teóricamente por bienes manufacturados como gafas, sombreros y vestidos, cremas protectoras, lo cual podría permitir la sobrevivencia de los seres humanos. Sin embargo, esto está lejos de ser suficiente para prevenir los daños sobre las

demás criaturas vivientes y sobre el funcionamiento de los ecosistemas. Por esta razón la capa de ozono debe considerarse un recurso “crítico” (van der Perk *et al.*, 2000).

A pesar de la utilidad que tiene considerar el CNC como una parte del capital natural base (*natural capital stock*) que desempeña aquellas funciones ambientales necesarias para la sostenibilidad ambiental, no siempre es posible identificar cuáles componentes del capital natural tienen la categoría de críticos, salvo algunos casos de especies raras o ecosistemas importantes para la biodiversidad y que son irremplazables (este aspecto de la criticidad y su evaluación se abordará en detalle en el numeral 4.5).

Generalmente, el CNC solo puede identificarse con respecto a características particulares del capital natural base que posibilitan, en conjunto con otras características del mismo, o de otros componentes del capital natural base, desempeñar las funciones ambientales que nos interesan. Por eso cualquier clasificación del capital natural base debe partir de un inventario de las características de dicho capital (Ekins & Simon, 2000).

Así pues se habla de cuatro categorías básicas de capital natural: aire, agua (dulce y marina), tierra (incluyendo características de suelos, territorio y paisaje) y hábitats (incluyendo ecosistemas, flora y fauna) (Ekins & Simon, 2000). Sin embargo, dependiendo del tipo de capital natural (por ejemplo, ecosistemas), y de las funciones asociadas (bienes y servicios) se pueden usar algunos criterios para determinar la criticidad, tanto de las funciones individuales como del ecosistema en su conjunto (capital) que provee dichas funciones (bienes y servicios) (van der Perk *et al.*, 2000).

Es pertinente pues recordar que esta investigación se pregunta acerca de qué parte del capital natural de la cuenca tiene el carácter de criticidad para desempeñar funciones vitales para una metrópoli de más de tres millones de habitantes en el contexto específico de una cuenca hidrográfica localizada en un valle interandino altamente intervenido.

4.4 Los criterios de sostenibilidad débil y fuerte

Para diferenciar los enfoques de *sostenibilidad débil* y *sostenibilidad fuerte* primero debe examinarse la clasificación mencionada antes sobre Capital manufacturado (o capital hecho por el hombre), Capital humano (también llamado capital cultural) y Capital natural (comuesto por renovable y no renovable) (Prugh, citado por Lopera 2003).

Si se acepta, con los postulados de la economía neoclásica, que estos capitales son sustituibles, entonces el capital total (K) se puede representar mediante la Regla del Capital Constante, así:

$$K = K_m + K_h + K_n$$

Donde:

K_m : *Capital manufacturado*,

K_h : *Capital humano*,

K_n : *Capital natural*.

Existen pues dos maneras de conservar esta igualdad:

1. Que la suma del capital humano, natural y manufacturado se mantenga constante de manera agregada, es decir, que haya una sustitución perfecta entre los capitales natural y manufacturado, y
2. Que cada componente pueda mantenerse por separado, es decir, que no haya agregación a todo nivel.

En el primer caso se aceptaría entonces que el capital natural puede ser sustituido por capital manufacturado y, en una forma extrema, que el mundo puede desenvolverse sin recursos naturales (Solow citado por Lopera, 2003). En el caso dos se plantea que el capital manufacturado es complementario con el capital natural. La igualdad se puede mantener entonces si se da una proporcionalidad entre los complementos, porque la productividad de uno (K_m), depende de la productividad del otro (K_n). La primera interpretación es la llamada *sostenibilidad débil*, en tanto que la segunda es la llamada *sostenibilidad fuerte*.

Conceptualmente, el criterio de la *sostenibilidad débil* se basa en la asunción de que el bienestar no depende de una forma específica de capital y que existe una sustituibilidad casi perfecta entre K_m y K_n . Así pues, se permitirá mezclar capital natural con capital manufacturado y preocuparse solamente por mantener intacto el capital (K) sumando solo dos formas de capital. Si tal sustitución es posible, entonces se reconoce que la economía es sostenible aún si ella deprime su nivel de capital natural, creando supuestamente tanto K_m como sea necesario para compensar la pérdida de K_n (Faucheux & O'Connor citados por van der Perk *et al.*, 2000).

Mientras que el criterio de la sostenibilidad débil clama por mantener la suma del capital total (K), el criterio de la *sostenibilidad fuerte* (ó dura) requiere que cada capital se mantenga intacto por separado. Según la sostenibilidad dura no es suficiente con mantener “K” porque existe al menos una parte del K_n que no es sustituible, y por lo tanto el capital natural debe mantenerse por encima de dicho nivel (umbral) (O’Connor citado por van der Perk et al., 2000). Esa porción de K_n que no es sustituible por ninguna otra forma de capital es el llamado *Capital Natural Crítico* y su preservación debe ser de la más alta prioridad para una sociedad (van der Perk et al., 2000).

- **El Criterio de Sostenibilidad Fuerte y el Capital Natural Crítico (CNC)**

Los capitales natural y manufacturado son fundamentalmente complementarios más que sustituibles. Además, el criterio de sostenibilidad fuerte invita a mantener el llamado Capital Natural Crítico (CNC) argumentando que cierto capital natural desempeña funciones ambientales importantísimas para las cuales no existen sustitutos en términos de capital humano, manufacturado u otro capital natural conocido (van der Perk et al., 2000).

La imposibilidad de sustituir el CNC con otra clase de capital, impuesta por la aplicación del “criterio de sostenibilidad fuerte”, implica el la continuidad y permanencia de las funciones ambientales (Bravi et al., 2000).

A continuación se presenta un análisis más detallado del llamado Capital Natural Crítico y la metodología para su evaluación.

4.5 El método CRITINC y la sostenibilidad fuerte

El Método CRITINC, patrocinado por la Unión Europea, se desarrolló dentro del proyecto de investigación “*Making Sustainability Operational: Critical Natural Capital And The Implications Of A Strong Sustainability Criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment and climate RTD Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change*” (Haciendo operativa la sostenibilidad: el capital natural crítico y las implicaciones de un criterio de sostenibilidad fuerte).

El objetivo de este proyecto fue el de generar mayor conocimiento y comprensión de los aspectos más importantes que deberían tenerse en cuenta en las políticas ambientales para la aplicación del criterio de sostenibilidad fuerte en el uso del medio ambiente y sus recursos (Bravi et al., 2000).

La aplicación del criterio de sostenibilidad fuerte involucra la identificación de los distintos usos de las funciones ambientales los cuales inevitablemente entran en competencia a medida que aumenta la intervención humana, especialmente la urbanización, que conduce a su vez, a la insostenibilidad ambiental.

La metodología CRITINC se desarrolló por parte de varios institutos de seis naciones de la Unión Europea, incluyendo cuatro de los países más grandes interesados en aplicar esquemas de sostenibilidad ambiental, los cuales patrocinaron grupos de investigación en componentes particulares del Capital Natural Crítico, como se describe a continuación (Ekins, 2003):

- Italia (*Calidad del aire*) *Air quality in Milan: A case study for protecting Critical Natural Capital in Italy* (Doria et al., 2000).
- Gran Betaña (*Conservación de ecosistemas fluviales*) *Rethinking conservation: the use of multi criteria appraisal methodology in river conservation* (Simon, 2000).
- Alemania (*Bosques*) *Applying the CRITINC framework to the forest sector in Germany* (Beuermann, 2000).
- Suecia (*Funciones ecosistémicas en áreas urbanas*) *Human Dependence on Functioning Natural Capital: The Case of Stockholm County* (Jansson & Nohrstedt, 2000).
- Francia (*Recursos hídricos y tierras agrícolas*) *Sustainable Agriculture and Water Quality Control. A structural approach to the evaluation of public environmental policies applied to the Brittany region in France* (Douguet & Schembri, 2000).
- Holanda (*Zonas bajas costeras*) *Case study critical natural capital coastal wetlands: the Dutch Wadden Sea* (van der Perk & de Groot, 2000).

Cada participante analizó la manera como su componente se usó en el pasado, así como algunos de los beneficios sociales y económicos originados por este uso, y exploró, en detalle, la situación actual, en particular los beneficios que la explotación está produciendo o puede producir, la naturaleza de los daños que se están causando al capital natural y la forma como se están afectando las funciones ambientales que le confieren su condición al CNC. Cada instituto examinó también las implicaciones económicas y sociales de imponer el criterio de sostenibilidad fuerte sobre dicho elemento del CNC, orientado a su preservación. Tales implicaciones incluyeron áreas como el crecimiento económico, el empleo, la

competitividad y la mezcla apropiada de instrumentos de política pública para implementar el criterio de sostenibilidad fuerte.

Tal como se describió anteriormente, CRITINC adoptó por definición que la sostenibilidad ambiental implica el mantenimiento de las funciones ambientales importantes, y que el Capital Natural Crítico (CNC) es el capital natural que hace posible el desempeño y la prestación de dichas funciones, con la condición adicional de que, para un CNC particular y sus funciones ambientales asociadas no hay posibilidad de sustitución por parte de otra clase de capital natural o humano que pueda desempeñar esa función de la misma manera, es decir, que el CNC no es sustituible en relación con dicha función. Por lo tanto, el principio de sostenibilidad fuerte afirma que el CNC debe ser absolutamente protegido (Ekins, 2003)

Para hacer que la metodología CRITINC fuera funcional se requirió analizar, esencialmente, las siguientes dos áreas:

- La posibilidad de existencia de sustitutos para alguna función del CNC, y
- Cuándo se puede caracterizar como crítica una función ambiental.

Dicho análisis se fundamentó en principios como:

- Investigación científica para identificar la significancia de los diferentes sistemas del capital natural que soportan no sólo los ecosistemas sino también la actividad económica,
- Atención a la definición de las dimensiones espacial y temporal para las cuales un sistema del capital natural puede convertirse en crítico,
- Invocación del Principio de prevención para tratar aquellas funciones medioambientales caracterizadas por la incertidumbre, procurando encontrar estándares mínimos de seguridad para aquellas funciones cuya pérdida puede ser irreversible o encarnar costos onerosos.

Así pues, el proyecto CRITINC arrojó al menos dos grandes conclusiones esclarecedoras en relación con el estudio del CNC:

1. *Que no es posible identificar el CNC como elementos particulares del capital natural:*

Es claro que hay una relación estrecha entre la capacidad del capital natural para desempeñar ciertas funciones ambientales y los componentes particulares del medio natural, pero dicha relación es compleja y nunca ocurre uno a uno. Es decir, una función ambiental determinada no es desempeñada únicamente por un elemento del capital natural,

y por lo general un componente ambiental se ve involucrado en varias funciones ambientales, casi siempre muy diferentes. Por otra parte, una función ambiental puede desprenderse más bien de un proceso natural (por ejemplo, el ciclo del agua o del carbono) que de algún componente particular del capital natural *per se*, y en dicho proceso pueden participar componentes naturales muy diferentes (Ekins & Simon, 2000; Ekins, 2003).

2. *Que el capital natural desempeña, por lo menos, cuatro tipos básicos de funciones: de fuente (source “So”), de sumidero (sink “Si”), de soporte de la vida (life support “LS”) y de Salud y bienestar humano (Human Health and Welfare “HW”).*

- Las funciones de *Fuente (So)* se refieren a la provisión de bienes para el uso y beneficio humanos, muy a menudo a través de las actividades económicas,
- Las funciones de *Sumidero (Si)* se refieren a las capacidades del capital natural para disponer los desechos generados por las actividades humanas,
- En contraste las funciones de *Soporte de la vida (LS)*, se relacionan con los procesos naturales que mantienen tanto los ecosistemas mismos como la biosfera en su conjunto. Claramente estas funciones son de la mayor importancia para la humanidad porque son ellas, en suma, las hacen que la Tierra sea capaz de soportar la vida, incluyendo la vida humana. (Ekins & Simon, 2000).
- Las funciones de *Salud y bienestar humano (HW)* se refieren a otros servicios proporcionados por el capital natural a la humanidad y que a menudo son de carácter no económico, pero contribuyen a mantener la salud y el bienestar humano en distintas formas.

CRITINC hace énfasis en que estas funciones se pueden agrupar a su vez en dos bloques cuya diferenciación es muy importante: las “funciones para” y las “funciones de”.

- Las “**funciones para**” son aquellas funciones ambientales que proporcionan beneficios al ser humano (de fuente-So, de sumidero-Si y de bienestar-HW) las cuales son generalmente percibidas y apreciadas por las personas, y hacia cuyo mantenimiento se dirigen casi todas las políticas ambientales.
- Las “**funciones de**”, que mantienen la integridad básica de los sistemas naturales y de los ecosistemas en particular, son, en cambio, difícilmente percibidas por la gente, con

el agravante de que subsiste una gran incertidumbre y desconocimiento científico en relación con ellas (Ekins, 2003). A pesar de ello el funcionamiento permanente de las “funciones de” del ambiente son un prerequisite para seguir obteniendo la mayoría de las “funciones para” los humanos. Un peligro adicional a los ya mencionados es que, dada la complejidad de los sistemas naturales, se menosprecie la importancia de alguna función vista de manera aislada, y se la sacrifique por obtener un beneficio económico o social inmediato, sin dimensionar las consecuencias.

Según la definición de sostenibilidad ambiental dada anteriormente, es claro que lo más necesario para hacer operativa la calificación del CNC, es la clasificación de una función ambiental como “importante”. El enfoque económico convencional para resolver el asunto es el de asignar un valor monetario al beneficio que se puede obtener de la función, siempre y cuando no resulte otro valor mayor que pueda “justificar” su destrucción.

Sin embargo, ese procedimiento (de calificar la importancia del capital natural asignándole un valor económico), presenta todavía bastantes inconsistencias motivo por el cual CRITINC decidió definir la importancia de las funciones ambientales basándose en estos otros criterios (Ekins, 2003):

- *Mantenimiento de la salud humana*: funciones que podrían mantenerse en un nivel para evitar efectos negativos para la salud humana. Estos efectos pueden ser físicos, o psicológicos, resultantes de la pérdida de calidad ambiental o de amenidad.
- *Prevención de la amenaza*: funciones que podrían mantenerse si hay alguna posibilidad de que su pérdida pueda ocasionar costos impredecibles. Este criterio se fortalece más si existe algún riesgo de la pérdida de la función sea irreversible. Su aplicación es más obvia en el caso de la biodiversidad de los ecosistemas.
- *Sostenibilidad económica*: funciones que proveen recursos o servicios para actividades económicas que podrían usarse de manera sostenible.

Obedeciendo a estos criterios, los estudios adelantados en el proyecto CRITINC ensayaron varios métodos diferentes para evaluar el capital natural crítico, a saber: Enfoque de la base de capital natural, Método de las áreas protegidas y Enfoque del capital físico ambiental (van der Perk & de Groot, 2000 a), el último de los cuales integró criterios de *importancia* y *amenaza* en un Índice de Capital Natural (ICN) que se adapta mejor a escalas de trabajo local o regional (los otros son más funcionales a nivel de país).

Antes de profundizar en el método es importante precisar que se proponen dos clases de criticidad: una basada en la *perspectiva ecocéntrica* en la cual los ecosistemas son lo más importante para mantener la integridad y salud medioambiental (se centra en el mantenimiento de las funciones de Regulación y de Hábitat, véase la Tabla 4-1). Y otro basado en la *perspectiva antropocéntrica* en la cual los servicios de los ecosistemas son lo más importante para el bienestar y sobrevivencia de la humanidad (se centra en las funciones de producción e información de los ecosistemas naturales).

Por lo tanto, la determinación de la criticidad dependerá de factores ecológicos, tanto como de criterios económicos, políticos y sociales (McDonald *et al* citado por De Groot *et al.*, 2003) y los niveles críticos dependerán no solamente de aspectos ecológicos, sino de los gustos y costumbres de un grupo o región particular.

Tabla 4-1 Funciones, bienes y servicios del Capital natural

<p>1. Funciones* de Regulación: capacidad de los ecosistemas naturales y semi-naturales para regular los procesos ecológicos esenciales y los sistemas de soporte de la vida</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ciclos biogeoquímicos (calidad del aire) - Regulación del clima (atenuación de extremos) - Regulación hídrica (protección contra inundaciones) - Suministro de agua (purificación y almacenamiento) - Retención del suelo (control de erosión) - Formación de suelo y mantenimiento de la fertilidad - Fijación de bioenergía - Ciclado de nutrientes (N, P y S) - Tratamiento de residuos y vertimientos - Control biológico (control de plagas) 	<p>3. Funciones de Producción: recursos procesados por ecosistemas naturales y semi-naturales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alimento (plantas y animales comestibles) - Materias primas (para vestido, industria,..) - Combustible y energía (energía renovable) - Forrajes y fertilizantes (kril, hojarasca) - Recursos medicinales (medicamentos) - Recursos genéticos (para resistencia de cultivos) - Recursos ornamentales (para moda, artesanías)
<p>2. Funciones de Hábitat: proveyendo refugio a plantas y animales silvestres (y población nativa) para mantener la diversidad biológica y genética.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Función de refugio (para especies migratorias y residentes) - Función de criadero (hábitat de reproducción para especies aprovechables) 	<p>4. Funciones de Información: proveen oportunidades para la meditación, enriquecimiento espiritual y desarrollo cognitivo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Información estética (escenarios) - Recreación (ecoturismo) - Inspiración cultural y artística (naturaleza como motivo de inspiración para el arte) - Información espiritual e histórica (consideraciones éticas y valores históricos) - Información educacional científica (campo de experimentación)

Fuente: Tomado de De Groot *et al* (2003)

*: Se denominan *Funciones del ecosistema* a la capacidad de los procesos y componentes naturales para proveer bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas (directa o indirectamente)

Este trabajo se centrará en considerar las funciones de regulación que desempeña el recurso hídrico en términos de provisión de agua para el consumo, así como en el tratamiento de

residuos y vertimientos como bienes y servicios ambientales imprescindibles para la permanencia de la metrópoli del valle de Aburrá.

Hasta ahora los aspectos mencionados se enfocan en la **importancia** del capital natural para definir su criticidad (carácter de crucial, vital), sin embargo es necesario tener en cuenta que un capital natural puede también considerarse crítico porque se encuentre en un estado de **amenaza** o **vulnerabilidad**. Por lo tanto, un capital natural puede cumplir con los dos criterios o con uno de los dos para ser considerado crítico. En otras palabras, una parte del capital natural puede ser crítica sin estar amenazada (por ejemplo, el oxígeno atmosférico) o puede ser crítica porque está amenazada sin ser vital para el bienestar de la humanidad (por ejemplo, algunas plantas o animales raros) o presentar los dos criterios al tiempo: “importante y amenazado” (como el bosque tropical).

4.5.1 La importancia como criterio para el CNC

Junto con el “criterio de importancia” viene la pregunta: ¿Importante para quién? ¿Crítico para quién? Y la respuesta es: crítico para los seres humanos o para un conjunto de la población que está interesada en la situación.

En este, como en la mayoría de los casos relacionados con este tema se trata de los distintos valores que la naturaleza tiene para los humanos, más que el valor que ella puede tener en abstracto para las especies de fauna y flora. Tal como se ha indicado los ecosistemas proveen bienes y servicios para la humanidad algunos de los cuales son esenciales (críticos) para mantener el capital natural mismo (funciones de regulación y hábitat) y otras lo son para beneficio directo de la humanidad, por lo tanto la calificación de esa “importancia para” o “criticidad para” estará determinada por aspectos ecológicos, socioculturales y económicos.

4.5.2 Importancia ecológica del CNC

Cada función es la resultante de alguno de los procesos naturales que ocurren al interior del subsistema ecológico, y este, a su vez, es el resultado de un complejo de interacciones entre los componentes bióticos (organismos vivos) y abióticos (químicos y físicos) de los ecosistemas, mediadas por intercambios de materia y energía, razón por la cual, se configura una especie de red de efectos, muchos de ellos sinérgicos (véase la Figura 4-2).



Figura 4-2 Las dimensiones del Capital Natural “Crítico” (Tomado de van der Perk *et al.*, 2000).

Por lo tanto, no es suficiente con analizar la criticidad de cada aspecto por separado porque se corre el riesgo de que al ignorar las sinergias del conjunto se exceda el nivel crítico característico de un K_n .

En la Tabla 4-2 se presenta una síntesis de los criterios más importantes para determinar la importancia ecológica del capital natural que, aunque no reúne la totalidad de las características que deberían tenerse en cuenta, permite un manejo práctico de las mismas.

Tabla 4-2 Criterios ecológicos para medir la importancia del capital

Criterio	Descripción	Unidad de medida
Naturalidad / Integridad (representatividad)	Grado de presencia humana según perturbación química o biológica	- Calidad de agua, suelo y aire
Biodiversidad	Variedad de vida en todas sus formas, incluyendo ecosistemas, diversidad genética y de especies	- % de especies - Tamaño crítico mínimo del ecosistema - # de ecosistemas por unidad geográfica
Singularidad / Rareza	Rareza local, nacional o global de ecosistemas y especies	- Especies y subespecies endémicas - Géneros con muy pocas especies - % de área remanente
Fragilidad / Vulnerabilidad	Sensibilidad del ecosistema a perturbaciones humanas	- Resiliencia, presupuesto de energía - Resistencia, capacidad de carga
Valor de soporte para la vida	Importancia para mantener los procesos ecológicos esenciales los sistemas de soporte de la vida	- Funciones críticas que mantiene, p ej. Capa de ozono, regulación del clima, diversidad genética, etc
Renovabilidad / Recreabilidad (de ecosistemas)	Posibilidad para la renovabilidad (espontánea) o restauración humana de ecosistemas	- Complejidad y diversidad - Estado sucesional / tiempo / NPP - (Oportunidad) costos

Fuente: De Groot *et al* (2003)

4.5.3 Importancia socio-cultural del CNC

Además de los criterios meramente ecológicos sobre la importancia del capital natural, existen otros valores y percepciones sociales que juegan un papel importante en la determinación de la criticidad de aquel. Esa dimensión social del capital natural como un indicador de criticidad implica que se está haciendo énfasis en aquellas funciones que se manifiestan a través de parámetros sociales, tales como: salud mental, educación, diversidad cultural, empleo, libertad, etc. (véase la Tabla 4-3).

El concepto de “recursos naturales socialmente críticos” se ha introducido para designar áreas naturales que tienen un valor social muy alto para las comunidades locales, más que como valor ecológico o científico. Dichos hábitats son apreciados en virtud de su localización o porque ofrecen oportunidades de disfrute, recreación y educación a través del contacto con el entorno natural las cuales no pueden reemplazarse por otros bienes y servicios manufacturados. Así pues, existe una clara “demanda social” hacia la protección y mantenimiento de las funciones ambientales y los servicios sociales de los sistemas naturales la cual puede convertirse en un insumo importante para identificar y medir el Capital Natural Crítico.

Tabla 4-3 Criterios sociales para medir la criticidad del capital natural

Criterios sociales (valores)	Descripción	Unidad de medida y método de medida
Importancia para la salud física y mental	Provisión de medicinas, aire limpio, agua, suelo y espacio para recreación y deporte a cielo abierto y efectos terapéuticos de la naturaleza sobre la salud mental y física de la gente	- Posibilidad y capacidad de los sistemas naturales para proveer “servicios de salud” - Efectos restauradores y regenerativos sobre el desempeño de la gente - Beneficios socioeconómicos por menores costos de salud y condiciones
Valor de amenidad	Importancia de la naturaleza para el desarrollo cognitivo, relajación mental, inspiración artística, disfrute estético y recreativo	- Calidad estética de los paisajes - Uso recreacional - Uso artístico
Valor histórico	Importancia de la naturaleza como referente para la historia personal o colectiva y la identidad cultural	- Sitios y rasgos históricos - Papel en los paisajes históricos - Tradiciones culturales y conocimiento
Valor espiritual	Importancia de la naturaleza en símbolos y elementos con significación religiosa	- Presencia de sitios sagrados - Papel de la naturaleza en ceremonias religiosas y textos sagrados
Valor de existencia	Importancia que la gente atribuye a la naturaleza por razones éticas (valor intrínseco) y equidad inter-generacional (valor de legado)	- Preferencia expresada (mediante donaciones y trabajo voluntario) hacia la protección natural por razones éticas.

(Fuente: De Groot *et al.*, 2003)

4.5.4 Importancia económica del CNC

A pesar de las dificultades que aún subsisten en su aplicación y de los argumentos de sus detractores, existe además un criterio económico que también juega un papel importante a la hora de determinar la criticidad de un capital natural. Algunas técnicas permiten hacer un estimativo monetario del valor (activo o pasivo) que las personas le asignan a un capital natural, de modo que se puede calificar la importancia que la sociedad le asigna a dicho capital en términos de la disponibilidad a pagar por disfrutar de un bien o servicio ambiental.

En la Tabla 4-4 se relacionan algunos de los criterios económicos que pueden usarse para determinar el grado de criticidad, desde el punto de vista económico, de un capital natural.

Tabla 4-4 Criterios económicos para medir la criticidad del capital natural

Criterios económicos (y valores)	Descripción	Unidad de medida *
Valor de uso productivo	Contribución de los bienes y servicios naturales a la productividad económica (vía mercado)	Dependencia de un proceso de producción económico dado, o de la economía, de un bien o servicio natural mercadeable **
Valor de uso consuntivo	Contribución de los bienes y servicios naturales a actividades de no-mercado	Dependencia de un proceso de producción económico dado, o de la economía, de un bien o servicio natural no-mercadeable
Valor de conservación	Contribución de los ecosistemas naturales a mantener el ambiente sano	Estimación del daño evitado o de los costos (teóricos) de mitigación y sustitución
Valor de opción	Beneficios futuros potenciales	Estimación de los usos y beneficios futuros (potencial)

Fuente: De Groot *et al* (2003)

* Muchas de estas unidades están medidas en dinero (incluyendo valores mercadeables y no-mercadeables)

** La importancia económica de los valores de uso productivo y consuntivo pueden también derivar de la contribución al empleo (p ej. Número de personas empleadas en trabajos que dependen de la naturaleza)

4.5.5 Valor monetario como indicador para medir la importancia del CNC

Aunque la valoración monetaria del Capital Natural presenta graves inconsistencias y no es aceptada por los partidarios de la sostenibilidad dura, porque admite de entrada la sustituibilidad del Capital Natural (varios autores citados por De Groot *et al.*, 2003, Naredo, 1997),

se han realizado algunos ejercicios de valoración de recursos de uso directo y ecoturismo apoyados en técnicas de mercadeo y precios sombra¹³.

Algunos autores proponen que la incorporación de una valoración adecuada con precios sombra ajustados permitirá reevaluar el patrimonio natural y posiblemente ayudará a prevenir la destrucción del mismo. Otros (Solow, citado por Naredo, 1997) llegan incluso a sugerir que la escasez de Capital Natural y su revaloración podrían convertir en un negocio la inversión en su protección (ecosistemas que provean bienes y servicios ambientales).

Ya se encuentran evidencias de que cuando se consideran apropiadamente los beneficios monetarios de los bienes y servicios ambientales generados por un uso sostenible, estos exceden lo que se podría obtener por el uso destructivo. Así lo demuestra Peters *et al* (citado por De Groot *et al.*, 2003) en su estudio sobre el uso de productos no maderables de un bosque tropical cuyo producido en dos años superó los beneficios que se habrían obtenido de talar y comercializar la madera y del uso agrícola del suelo.

4.5.6 La medida de la *Amenaza* como índice de criticidad del capital natural

Después de discutir los distintos aspectos ecológicos, socioculturales y económicos relacionados con la importancia del Capital Natural se pasa a considerar las amenazas generadas por las actividades humanas, las cuales están ocasionando cambios en la estructura y en los procesos de los sistemas naturales que se traducen en la degradación de las funciones ecológicas, económicas y socioculturales así como los valores del sistema original.

Sin embargo, debido a la multiplicidad de los factores de presión sobre los sistemas naturales, la cuantificación de la amenaza se convierte en un objetivo sumamente complejo. En

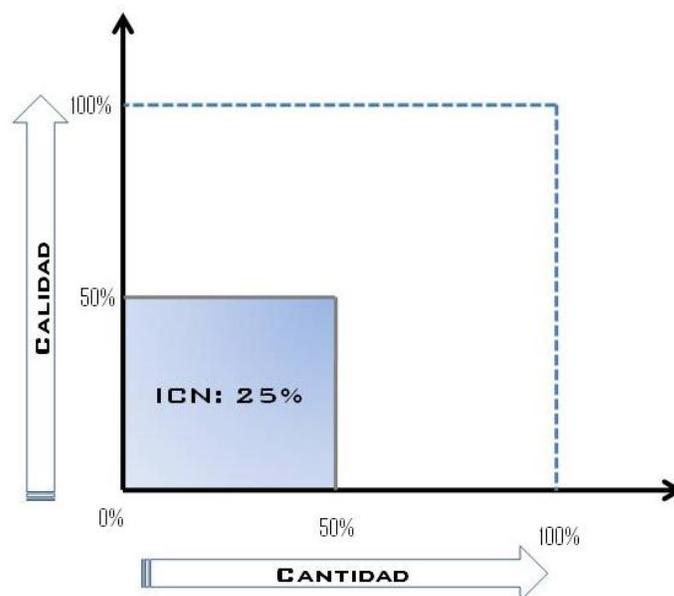
¹³ El precio social o precio sombra, llamado también precio de cuenta, es una medida monetaria del cambio en el bienestar de la comunidad debido a una variación muy pequeña en la disponibilidad de bienes finales o factores de producción. En otras palabras, el precio sombra es el valor de la contribución de un cambio marginal del bien o factor a los objetivos socio-económicos.

La valoración de los bienes realizada por los agentes individuales puede diferir del valor social de dichos bienes debido a la presencia de distorsiones, las que en definitiva generan diferencias entre los precios de mercado y los precios sociales. Estas distorsiones pueden existir aun en situaciones de competencia casi perfecta, como es el caso de las externalidades. De tal modo que el precio sombra corresponde al precio de mercado, pero corregido considerando dichas distorsiones con el fin de precisar el verdadero valor que asigna la comunidad a un determinado bien.

Este concepto se usa en el contexto de la economía y las finanzas públicas y es fundamental en evaluación social de proyectos, por cuanto ella se realiza sobre la base de precios sociales. (www.eco-finanzas.com/diccionario/P/PRECIO_SOCIAL_O_SOMBRA.htm)

el caso del proyecto CRITINC se adoptó un método desarrollado por Ten Brink¹⁴ que permite estimar la amenaza a partir de los cambios en la *calidad* y *cantidad* del Capital Natural remanente, a diferentes escalas espaciales y considerando presiones de varios orígenes.

Para integrar estos dos criterios se plantea el Índice de Capital Natural (ICN) como el producto del área remanente (cantidad del ecosistema en el área considerada) y su calidad (calidad del ecosistema definida como la razón entre el estado actual del ecosistema y un valor estimado o medido para el mismo en la línea base) expresados ambos como porcentaje. El ICN varía entre 0 y 100%. Si, por ejemplo, 50% del área se encuentra en estado natural y su calidad es del 50%, entonces el ICN es de 25% (véase la Figura 4-3).



Fuente: van der Perk & de Groot (2000 a).

Figura 4-3 Ejemplo de Índice de Capital Natural

La cantidad del ecosistema es fácil de determinar con base en datos de usos del suelo, en tanto que la calidad presenta algunas dificultades. Primero, se debe disponer de un punto de referencia para calificar el estado actual, que puede ser el grado de naturalidad. Segundo, se debe seleccionar un indicador (o indicadores) que representen el estado actual, que puede ser el tamaño de la población, como una expresión del conjunto de especies (este criterio es más sensible a los cambios del ecosistema que las tradicionales biodiversidad o el número de especies amenazadas). Para complementar el análisis se puede agregar el análisis de

¹⁴ Ten Brink, B.J.E., 2000. Biodiversity indicators for the OECD Environmental Outlook and Strategy. RIVM Rapport 402001014, Globo Report Series 25

gremios tróficos donde la calidad se expresa como el porcentaje de especies vs. la referencia. Como tercero y último paso, se deben agregar los indicadores en un índice único de calidad del ecosistema (van der Perk & de Groot, 2000 a).

4.6 Metodología aplicada en el estudio

A continuación se ilustra de forma esquemática (véase la Figura 4-4), y se describen de manera concisa, las distintas etapas del desarrollo del trabajo.



Figura 4-4 Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio.

4.6.1 Recolección de información teórica

Con base en los trabajos previos de Agudelo (2000, 2004 y 2005), y teniendo en cuenta las nociones de territorio y los principios del análisis territorial, se recopilamos estudios relacionados con el estado actual de los recursos biofísicos de la cuenca así como algunos de los planes de ordenamiento y manejo de varias subcuencas altamente urbanizadas.

Simultáneamente, se realizó una aproximación al concepto de Capital Natural, en particular, al aspecto de capital natural de carácter estratégico para la región, teniendo en cuenta su alto grado de urbanización y el estado actual de uso de los recursos.

Así mismo, se consultó una amplia gama de materiales publicados en internet sobre distintas nociones y conceptos complementarios a los temas desarrollados en los cursos de la maestría, y relacionados con la sostenibilidad, gestión de cuencas, ecodesarrollo, biorregionalismo, capital natural y capital natural crítico, entre otros.

4.6.2 Recopilación de información biofísica

Se recopiló información estadística, cartográfica y temática del valle de Aburrá en aspectos biofísicos para obtener un diagnóstico metropolitano (actualizado en algunos temas a 2005 y en otros a 2007) de la oferta de algunos bienes y servicios ambientales de la cuenca, así como de las demandas impuestas por la población metropolitana.

Es importante resaltar aquí que la mayor proporción de la información utilizada para los distintos aspectos de la caracterización y evaluación de bienes y recursos ambientales fue tomada de dos estudios: POMCA (2007) (Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca de río Aburrá) y REDRIO (2005) (Diseño y puesta en marcha de la Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Medellín, en jurisdicción del Área Metropolitana).

4.6.3 Construcción del marco conceptual y metodológico

Para la construcción del marco conceptual del estudio se retomaron los conceptos del análisis del territorio así como del fenómeno urbano en lo concerniente a las relaciones entre ciudad y formas de urbanización, así como a los efectos que tiene su funcionamiento sobre el entorno físico-natural.

La revisión de conceptos como ciudad, metropolitanización, cuenca hidrográfica y sus relaciones con los conceptos de desarrollo sostenible y sostenibilidad urbana constituyen el

cuerpo principal de ideas que se incorporan en el transcurso de la caracterización del área de estudio y que contribuyen de manera sustancial al análisis y evaluación de los bienes y servicios ambientales considerados en el estudio.

4.6.4 Delimitación del Área de estudio

Aunque desde el planteamiento inicial del estudio se adopta la noción de cuenca como referente orientador del análisis de la sostenibilidad, y aunque la cuenca hidrográfica es en sí una unidad claramente definida desde distintas disciplinas que la estudian (hidrología, geografía, ecología), se consideró necesario restringir el área de trabajo a la parte alta de la cuenca del río Aburrá, denominada valle de Aburrá. La razón de ser de este “recorte” artificial es que en este tramo se concentra una de las áreas urbanas de mayor importancia de Colombia, la cual presenta una estructura de carácter metropolitano, cuya relación con el territorio de la cuenca hidrográfica motivó la pregunta original del estudio.

Esta porción de cuenca ha sido objeto de algunos ejercicios de caracterización y ordenación por parte de distintas entidades académicas y ambientales, cuyos objetivos propuestos y resultados obtenidos pueden ofrecer materiales de gran valor y pertinencia para la discusión sobre la sostenibilidad urbana y sus posibilidades de planificación.

4.6.5 Diagnóstico de la base natural y selección de B&S

Con base en la información recopilada se elaboró un diagnóstico del estado de uso y demanda del recurso hídrico en aspectos como los presentados en la Tabla 4-5:

Tabla 4-5 Aspectos del CN identificados para los bienes y servicios analizados

Bien o servicio ambiental	Aspectos examinados en el diagnóstico
Agua para abastecimiento de la población metropolitana	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de subcuencas más importantes - Estado cualitativo de la calidad del agua de subcuencas - Caudales del río Aburrá a lo largo de la cuenca analizada - Capacidad de potabilización de las plantas de EPM - Caudales concesionados por autoridades ambientales para acueductos rurales al interior de la cuenca y número de beneficiarios - Potencial de provisión de agua a partir de los caudales internos de corrientes utilizadas
Caudal para dilución y transporte de los vertimientos (tratados o no)	<ul style="list-style-type: none"> - Volúmenes de vertimientos generados actualmente por la metrópoli - Comportamiento de la DBO del río debida a los vertimientos de aguas no tratadas y por efluentes de la Planta San Fernando - Estimativo de la capacidad depuradora de la carga orgánica recibida por el río Aburrá

4.6.6 Adaptación metodológica para el análisis

Con base en la propuesta conceptual del Proyecto CRITINC para los estudios de evaluación de varios bienes y servicios ambientales como Capital Natural Crítico en la Unión Europea, se hizo una adaptación del Índice de Capital Natural (ICN) en cuyo cálculo se requieren indicadores de amenaza del recurso. Sin embargo, ante la ausencia de estos indicadores (del sistema Presión - Estado - Respuesta) se adoptaron, en algunos casos, calificaciones cualitativas basadas en observaciones directas o en información de referencia (índice de calidad del agua, índice de escasez de agua del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, entre otros).

En la Tabla 4-6 se resumen unos posibles indicadores aplicables para hacer un estimativo del Índice de Capital Natural (ICN) de los bienes y servicios ambientales documentados en este trabajo, tal como se describe más adelante.

Tabla 4-6 Indicadores de cantidad y calidad propuestos para el Capital Natural de la cuenca

Bien o servicio ambiental	Capital Natural asociado	
	Indicador de Cantidad	Indicador de Calidad
1. Agua para abastecimiento	1.1.1 Subcuencas principales aprovechadas hoy (Nº/ Nºde cuencas >1 km ² y >2,8 km de longitud)	1.2.1 Calidad del agua (cualitativo)
	1.1.2 Caudal concesionado en acueductos rurales (m ³ /s)	1.2.2 Subcuencas con posible índice de escasez alto o medio (Nº/total cuencas acueductos)
	1.1.3 Q de agua propia utilizado (m ³ /s)	1.2.3 Calidad del agua propia utilizable (cualitativo)
Bien o servicio ambiental	Indicador de Cantidad	Indicador de Calidad
2. Caudal para dilución y transporte de los vertimientos (tratados o no)	2.1.1 Caudal aprox. del río Aburrá en km 100 (m ³ /s)	2.2.1 Calidad del agua del cauce principal (promedio de ICA en 12 tramos)
	2.1.2 Longitud de cauce del río Aburrá (km)	2.2.2 Calidad del agua del cauce principal (promedio de ICA en 12 tramos)
Bien o servicio ambiental	Indicador de Cantidad	Indicador de Calidad
3. Fijación de CO ₂	3.1 Extensión de coberturas de bosques (ha)	3.2 Capacidad de fijación de CO ₂ (Ton C/ha*año)

- **Indicadores de cantidad**

Pretenden mostrar la abundancia del recurso que está operando como proveedor de un bien o servicio ambiental, en términos de subcuencas, caudal, extensión del cauce del río o área de vegetación boscosa:

1.1.1 *Subcuencas principales aprovechadas hoy*: Considera el número de subcuencas (dentro de la cuenca) que se están utilizando actualmente para abastecer las plantas de potabili-

zación de agua de EPM y que cumplen, al menos, con dos criterios principales que son comunes a todas las subcuencas utilizadas: un área mayor de 1 km² y una longitud de más de 2,8 km. Se presume que las cuencas menores no presentan un rendimiento importante o que su caudal no es permanente, lo cual las inhabilitaría para utilizarlas en abastecimiento. Adicionalmente, es más probable que las cabeceras de las cuencas largas se encuentren protegidas, o al menos cubiertas, por algo de vegetación.

1.1.2 *Caudal concesionado en acueductos rurales* (m³/s): Totaliza el caudal que se está utilizando en los acueductos rurales, bien sea para abastecimiento humano o para proveer agua de riego y abrevaderos del ganado (especialmente en el sector de San Cristóbal).

2.1.1 *Caudal aproximado del río Aburrá en km 100* (m³/s): Caudal del río en inmediaciones de la Estación EADE, de acuerdo con los aforos realizados en el Proyecto REDRIO (2005). Este caudal incluye, además del caudal de hoya propia, el volumen que recibe como resultado de vertimientos de aguas residuales, y es utilizado en su totalidad para dilución de toda la carga orgánica producida por la población aburraense.

2.1.2 *Longitud de cauce del río Aburrá* (km): Se refiere a la longitud del tramo del río comprendida dentro del área de estudio, que actúa como “biodigestor natural” de la carga orgánica que le aporta la metrópoli.

3.1 *Extensión de coberturas de bosques* (ha): área de los remanentes de bosque intervenido en la cuenca.

- **Indicadores de calidad**

Con estos se busca dar una idea aproximada del estado del recurso tanto en términos de calidad (por ejemplo, índices documentados como el ICA) o de disponibilidad y perdurabilidad del mismo en la cuenca (índice de escasez)

1.2.1 *Calidad del agua* (cualitativo): Aunque no se dispone de mediciones de calidad del agua de estas corrientes se asume que cumplen unos requerimientos de potabilización, por lo menos, iguales a los de Riogrande, los cuales deben ser de calidad “excelente” para que no se requieran procedimientos especiales de tratamiento.

1.2.2 *Subcuencas con posible índice de escasez alto o medio* (Nº/total cuencas acueductos): se adoptó el índice de escasez estimado por el POMCA (2007) para las subcuencas del río

Aburrá (véase el Anexo 1). A partir de este índice se establece el porcentaje de subcuencas que presentan riesgos de reducción en el suministro de líquido para el futuro cercano.

1.2.3 *Calidad del agua propia utilizable* (cualitativo): aunque la gran mayoría de estas aguas no son potabilizadas se asume que deben estar en condiciones de calidad bastante buenas (si se utilizan para riego) y que admitirían tratamiento para consumo.

2.2.1 *Calidad del agua del cauce principal* (promedio de ICA en 12 tramos): Se utilizó una ponderación de las medianas del Índice de Calidad de Agua –ICA, obtenido para doce tramos del río Aburrá en el POMCA (2007).

2.2.2 *Calidad del agua del cauce principal* (promedio de ICA en 12 tramos): idem 2.2.1

3.2 *Capacidad de fijación de CO₂* (Ton C/ha.año): posibilidad de incorporación de CO₂ atmosférico por parte de la vegetación existente, preferiblemente arbórea. Sin embargo, los reportes bibliográficos hacen poco aplicable este parámetro, que bien podría ser un indicador del funcionamiento de las coberturas arbóreas en cuanto a la purificación del aire (véase numeral 5.3.4).

5 Bienes y servicios ambientales al interior de la cuenca

En este capítulo se presenta, a partir de distintos estudios y de información obtenida de EPM, la situación actual de algunos bienes y servicios ambientales, en términos de oferta y demanda, que son provistos por la base natural existente en la cuenca del río Aburrá.

Inicialmente, se analiza la disponibilidad del recurso agua, tanto en términos de caudal disponible que drena de la cuenca, como de agua tratada, así como en volumen del consumo actual y proyectado. Otro aspecto que se analizó es el uso del caudal del río Aburrá para la dilución de los vertimientos que se producen en la metrópoli teniendo en cuenta la mitigación lograda con la construcción y puesta en marcha de la “planta de tratamiento de aguas residuales de San Fernando” y la construcción de los colectores e interceptores para la recolección de las mismas.

Por último, se presentan algunos aspectos relacionados con la producción y fijación de CO₂ al interior de la cuenca (numeral 5.3), sin embargo, como se advertirá a lo largo de su desarrollo, la información de consumo de combustibles es incompleta o fragmentaria y los datos de referencia ofrecidos por la literatura, sobre fijación de carbono por parte de la vegetación son poco consistentes, observándose además, que en nuestro medio no existen estudios específicos al respecto. Por las razones enunciadas, la información recopilada en el numeral 5.3 (Fijación de CO₂) se presenta con algunos comentarios sobre sus limitaciones e inconsistencias por cuanto puede servir como referencia para futuros estudios, pero no se analizará en los capítulos sucesivos.

5.1 Agua para el consumo de la metrópoli

Entre la densa red de drenajes que caracteriza toda la cuenca se mencionan a continuación algunas de las quebradas más importantes de cada municipio que aportan sus aguas al río Aburrá, algunas de las cuales alimentan, como se verá más adelante, plantas de potabilización de aguas para el consumo de la población metropolitana (se indican en **negrilla** las quebradas que mantienen elevados índices de contaminación por vertimientos):

- **Caldas:** entre las numerosas quebradas del municipio que vierten sus aguas al río Aburrá pueden mencionarse: La Miel, que nace en La Romera; **La Salada, La Valeria**, que nace en El Alto del Romeral, y la Quebrada **La Clara**, que nace en el Alto de San Miguel dando origen al río Aburrá.

- **La Estrella:** este municipio presenta una rica hidrografía compuesta, entre otras por las quebradas: **Grande**, La Culebra, La Raya, La Ospina, La Saladita, **La Bermejala**, La Chocha, La Estrella, Sabaletas, La Sucia, La Ramírez, La Seca y La Tuerta.
- **Sabaneta:** las corrientes más importantes son la Quebrada **La Doctora** con sus afluentes Buenavista, La Escuela, El Gusano, El Canalón, La Honda, La Sabanetica y La Cien Pesos, que marca los límites con Envigado.
- **Envigado:** comprende las microcuencas de **La Ayurá** que recibe las aguas de La Sebastiana y El Salado, La Zuñiga, **La Mina** que recibe las aguas de La Sucia. La Quebrada Las Palmas que se une con la quebrada del Espíritu Santo y, ya en El Retiro, alimenta el embalse La Fe. Otras quebradas de importancia son: La Morgan, La Ahuyamera, La Miel y La Marta, entre otras.
- **Itagiú:** El afluente más importante del río Aburrá en esta jurisdicción es la Quebrada **Doña María**, que recorre el municipio de occidente a oriente. En esta corriente desembocan otras menores como **La Tablaza**, La María, Olivares, La Muñoz y La Limona
- **Medellín:** En el tramo correspondiente a Medellín el valle está regado por 57 quebradas, de las cuales 54 son afluentes directos del río, entre las que se encuentran principalmente **La Iguaná**, La Quintana, La Malpaso, **La Madera**, La Hueso, **La Picacha**, Alta Vista, Aguacatala, Volcana, **Santa Elena** y La Hueso.
- **Bello:** entre las principales quebradas del municipio pueden mencionarse **La Loca**, **El Hato**, **La García**, **La Seca**, Guacimal, **Rodas** y La Gabriela.
- **Copacabana:** los principales afluentes del río Aburrá en este municipio son las Quebradas El Convento, **Piedras Blancas**, **La Chuscala**, Los Escobares, La Tolda, Los Aguacatales y El Limonal.
- **Girardota:** Se destacan aquí las quebradas **El Salado**, **Juan Cojo**, El Tigre, **La Correa**, Caimito, La Silva y Los Ortigas, entre otras.
- **Barbosa:** las principales corrientes menores son las Quebradas **Ovejas**, **Aguas Calientes**, Dos Quebradas y **La López**.

Como se mencionó en el capítulo 3 (Área de Estudio) la calidad del agua del río Aburrá se ve afectada por el vertimiento de aguas servidas de muchos afluentes contaminados porque existe un porcentaje apreciable de viviendas que no están conectadas a los colectores e interceptores del sistema de saneamiento. A su vez, estas aguas servidas, por provenir en gran

proporción de cuencas vecinas, significan un incremento en el caudal del río (para más detalles véanse los numerales 3.2.7 y 3.2.8, y el 5.2 de este capítulo).

5.1.1 Disponibilidad actual de agua para la metrópoli

Hasta el momento no se dispone de un estimativo confiable del volumen bruto de agua que podría estar generándose al interior de las distintas subcuencas del río Aburrá, y que sea utilizable por encima de la cota de las captaciones de las plantas de tratamiento de EPM o aún por encima de la cota de servicios públicos vigente.

Apenas se encuentran algunos estudios actualizados sobre la calidad del agua y la reglamentación de algunas quebradas (Doña María, Las Palmas, La Aguacatala y La Doctora) aunque ninguna está oficialmente reglamentada. Adicionalmente, existen los Planes de ordenamiento de las quebradas La Valeria (Caldas), La Grande (La Estrella), La Doctora (Sabaneta), Doña María (Itagüí), La Volcana, La Picacha y Santa Elena (Medellín), La García y El Hato (Bello), Piedras Blancas (Copacabana), El Salado (Girardota) y La López (Barbosa), efectuados en los años 2007 y 2008. Algunos planes de ordenamiento un poco más antiguos son los de las microcuencas de la Quebrada La Tablaza, en Itagüí (1997), Los Aguacates, en Copacabana (1997), La Sabanetica, en Sabaneta (1997), La Hueso, en Medellín (1997), La Ayurá, en Envigado (1996), La Honda, en Sabaneta (2001), La Clara y La Sucia en Medellín (2003) y La Bermejala, en La Estrella (2004).

Es decir, aunque la mayor parte del agua potable que se consume en el valle de Aburrá (83% según POMCA, 2007) proviene de cuencas externas, se desconoce en este momento el verdadero potencial que tienen las partes altas de la cuenca del río Aburrá para proveer agua. En cuanto al recurso utilizado en la zona rural de los municipios, solamente se tiene registro de la existencia de 203 acueductos comunitarios que proveen un total de 534 l/s de agua, gran parte de la cual no es tratada (véase el numeral 6.1.3).

Ante la falta de esta información (caudales y calidad de subcuencas utilizables para abastecimiento), y únicamente para efectos de comparación con la situación planteada acerca de la importación de agua desde otras cuencas, se presentan a continuación algunos estimativos sobre la población que podría atenderse con el volumen de agua ofrecido por el río Aburrá a lo largo del valle, si se lo considerara como un recurso y existieran las condiciones de calidad y energía necesarias para utilizarlo en su totalidad (véase la Tabla 5-1).

Tabla 5-1 Caudales medios (m³/s) a lo largo del río Aburrá y potencialidad para abastecimiento.

Nombre	Abscisa (km)	Acumulado agua residual (m ³ /s) (a)	Calidad Índice BMWP sg	Calidad Índice ICA sg	Q. medio (m ³ /s) (b)	Q. sin agua residual (b) – (a)	Potencial abastecimiento (c) (Nº personas)
La Salada	0	0	Excelente	Excelente	1,63	1,63	908.593,5
Caldas		0	Excelente	Excelente	5,59	5,59	3.115.974,2
Ancón Sur	13,5	0,37	Media	Excelente	4,92	4,55	2.536.258,1
La Aguacatala		1,93	s.d. (d)	s.d.	12,38	10,45	5.825.032,3
Machado	38,6	6,47	Muy Mala	Buena	24,64	18,17	10.128.309,7
Ancón Norte		6,47	Mala	Buena	28,70	22,23	12.391.432,3
Girardota		6,47	Mala	Buena	31,15	24,68	13.757.109,7
Hatillo	63,2	6,47	Mala	Excelente	30,64	24,17	13.472.825,8
Yarumito		8,06	Mala	Excelente	40,04	31,98	17.826.271,0
Gabino	97,3	8,06	Buena	Excelente	92,26	84,20	46.934.709,7

(a): vertimientos de aguas residuales estimados en POMCA (2007) como un porcentaje del consumo de acueducto. Se utilizan las cifras citadas aunque los cálculos realizados en este trabajo a partir de EPM (2005) dan un total estimado menor (6,97 m³/s totalizando los vertimientos de Caldas, San Fernando, Bello, Copacabana-Girardota y Barbosa). Asumiendo que todo este caudal proviene de cuencas externas, se resta todo de (b) para obtener el caudal propio neto del río Aburrá.

(b): caudales medios medidos en aforos de la campaña 2004 (REDRIO, 2005).

(c): estimado a partir del volumen facturado en 2007 (193'861.181 m³), un consumo diario de 155,0 l/persona (EPM, 2008).

(d): sin datos.

Podría pensarse entonces que la cuenca del río Aburrá presenta unas cantidades suficientes de recurso hídrico que le permitirían abastecer todas las demandas de la población actual, y aún la de años venideros, sin necesidad de importar agua de otras cuencas, sin embargo, es el uso que se le ha dado al río como receptor y evacuador de aguas servidas lo que ha degradado la calidad del recurso inhabilitándolo para otros usos prioritarios.

Aunque la importancia y utilidad del uso para dilución de vertimientos no admite discusión, si pueden plantearse muchos interrogantes relacionados con las causas de la degradación del recurso en términos de la falta de políticas de planeación urbana y de la demora injustificada en la construcción y puesta en marcha de los sistemas de saneamiento. Como un dato de referencia vale la pena recordar que el “Plan para el saneamiento del río Medellín y sus quebradas afluentes” data del año 1967 y más de cuarenta años después apenas se están tratando 1,24 m³/s de los casi 8,0 m³/s de vertimientos producidos (POMCA, 2007). Este caudal equivale aproximadamente al 15% del total aunque si se consideran los datos de consumo de 2007 (6,23 m³/s) el porcentaje sube al 20%.

5.1.2 Plantas de potabilización del agua

Obsérvese ahora, un poco más en detalle, la manera como está dispuesta la provisión del servicio de agua potable en la metrópoli del valle de Aburrá por parte de EPM que cuenta con diez plantas de potabilización, y una capacidad instalada total de 17,51 m³/s, distribuidas a lo largo del valle (véase la Figura 5-1).

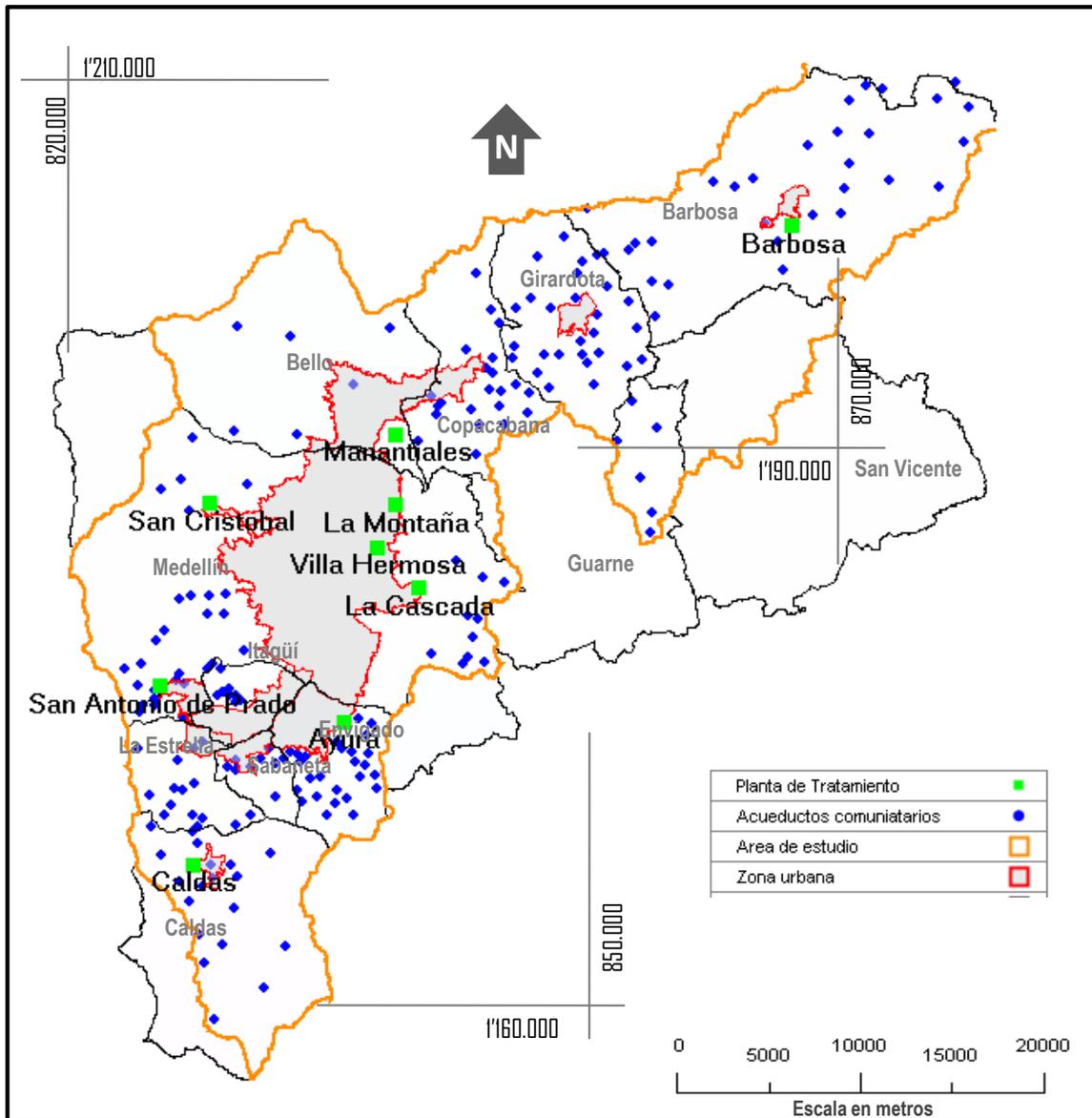


Figura 5-1 Localización de las plantas de potabilización de EPM y de los acueductos comunitarios (basado en POMCA, 2007).

En la Tabla 5-2 se indican las características más importantes de cada planta en cuanto al caudal que pueden proporcionar y a la localización de las cuencas que proveen el recurso.

Es evidente que un 86,7% del total instalado, está asociado a cuencas externas (plantas de La Ayurá y Manantiales), y que apenas 2,31 m³/s se surten con agua disponible en las subcuencas internas del valle. Ello no significa necesariamente que todo ese caudal se esté importando en la actualidad, sino más bien que es la infraestructura instalada con que cuenta el sistema para atender la demanda con base en escenarios determinados por proyecciones del crecimiento de la población y hábitos de consumo.

Tabla 5-2 Características de las plantas de potabilización de aguas de EPM

planta de tratamiento	Embalse (Volumen)/ Corrientes asociadas	Municipio	Caudal (m ³ /s)
<i>Abastecidas con agua de cuencas externas</i>			
La Ayurá	Embalse La Fé (12,1 Mm ³)/ R. Buey, R. Piedras, R. Pantanillo, Q Las Palmas, Q. Potrero.	El Retiro, Envigado	9,20
Manantiales	Riogrande II (150,9 Mm ³)/ R. Grande, R. Chico	Copacabana, Bello, Girardota, Barbosa, Sta Rosa de Osos, Medellín	6,00
<i>Abastecidas con agua de la propia cuenca</i>			
Envigado	Q. La Ayurá	Envigado	0,28
Villahermosa y La Montaña	Piedras Blancas (1,2 Mm ³)/ Q. La Honda, Q. Piedras Blancas, Q. Chorrillos	Medellín, Guarne	1,33
La Cascada	Q. Sta Elena	Medellín	0,10
Aguas Frías	Q. La Picacha	Medellín	0,03
San Cristóbal	Q. La Iguaná, Q. La Tenche, Q. La Puerta	Medellín	0,23
San Antonio de Prado	Q. Doña María, Q. La Manguala, Q. Despensas	Itagüí	0,10
Barbosa	Q. La López, Q. El Viento	Barbosa	0,06
Caldas	Q. La Valeria, Q. La Reventona	Caldas	0,18
	Total EPM		17,51

Fuente: CEHAP (2005; POMCA (2007; Rojas (2007)

5.1.3 Acueductos comunitarios

En la zona rural se ha identificado la existencia de por lo menos 203 acueductos comunitarios que suministran un total de 536,83 l/s la mayoría de ella sin tratar (véase la Tabla 5-3). Sin embargo, independientemente de que el volumen pueda parecer marginal frente al total provisto por EPM (7,9% del volumen) se observa que el número de suscriptores es un porcentaje aún menor (0,9% de la población atendida por EPM). Esta diferencia se explica porque en la zona rural se usa el recurso para actividades como riego y abrevado del ganado, observándose que el consumo diario es de aproximadamente 1442 l/persona. Es decir, que las actividades desarrolladas en la zona rural para producir alimentos que abastecen al

mercado de la metrópoli del valle de Aburrá multiplican por un factor de aproximadamente diez el consumo de agua, comparado con un habitante urbano promedio (POMCA, 2007).

Tabla 5-3 Características de los acueductos comunitarios en la zona de estudio y población abastecida

Municipio	N° Acueductos	Caudal (l/s)	N° Suscriptores
Caldas	11	36,92	2.638
La Estrella	6	25,26	2.298
Sabaneta	8	17,05	2.712
Envigado	33	71,05	5.466
Itagüí	47	97,86	414
Medellín	28	167,90	8.760
Bello	7	25,96	180
Copacabana	14	19,86	2.973
Girardota	16	20,18	3.533
Barbosa	33	54,80	3.268
<i>Subtotal</i>	<i>203</i>	<i>536,83</i>	<i>32.422</i>
Datos incompletos	42	56,12	3.865
Santo Domingo	4	5,47	261
<i>Total</i>	<i>249</i>	<i>598,42</i>	<i>36.368</i>

Fuente: adaptado de POMCA (2007)

Esta aparente inconsistencia tiene sin embargo una explicación bastante sencilla: en la zona rural se está utilizando el agua concesionada para usos agrícolas y ganaderos, como en el caso del corregimiento de San Cristóbal donde se riegan los cultivos de hortalizas y flores con aguas de estos acueductos.

5.1.4 Evolución del patrón de consumo de agua

Al hacer el cálculo de los caudales de agua potable que se consumen actualmente en el valle de Aburrá se encontró que éstos son del orden de 6,23 m³/s (véase la Tabla 5-4) (Área de comercialización de Aguas EPM, 2008), equivalente a un consumo diario *per capita* de 174,3 l/persona*día. Sin embargo se observan marcadas inconsistencias en esta cifra porque aunque EPM dice que en 2005 el consumo fue de 155 l/persona*día, el cálculo efectuado con base en datos del año 2006 indica que son más de 174 l/persona*día. Adicionalmente, estudios anteriores que estimaron valores promedio de consumo *per capita* con base en información de EPM (véase POMCA, 2007) indican que los valores alcanzan un promedio histórico de 211 l/persona*día en el año 2006 (véase la Figura 5-2). Ante la imposibilidad de obtener mayor consistencia en este valor, cuando se haga algún cálculo que involucre dicho dato se indicará el valor utilizado.

Tabla 5-4 Consumo de agua en 2007 y suscriptores de acueducto y alcantarillado

Item	1982 (1)	2005 (1)	2006 (2)	2007 (1)
Agua facturada (m ³ que se cobran)			151.742.666	193.861.181
Población atendida (personas)				3.089.000
Consumo calculado (l/persona*día)				174,3
Consumo según EPM (l/persona*día)	231*	155*		

(1): Información proporcionada por el área de Comercialización de aguas (EPM, 2008)

(2): Información tomada del Anuario Estadístico de Antioquia (DAP, 2008).

Aunque Agudelo (2004) señala que las personas de estratos altos consumen mayor cantidad de recursos que las de estratos bajos (mayor planetoide personal), no se obtuvieron datos discretizados de consumo de agua por estrato, sin embargo, se muestran a continuación, los consumos observados en 2006 para los distintos sectores donde se evidencia que prácticamente el 80% del agua potable se destina al consumo residencial. Los consumos de agua potable en los sectores industrial, comercial y otros, son sensiblemente menores aunque se sospecha que gran parte de la industria y el comercio pueden estar abasteciéndose a partir de aguas subterráneas, un aspecto cuya magnitud sigue siendo desconocida por parte de las autoridades encargadas del recurso (véase la Tabla 5-5).

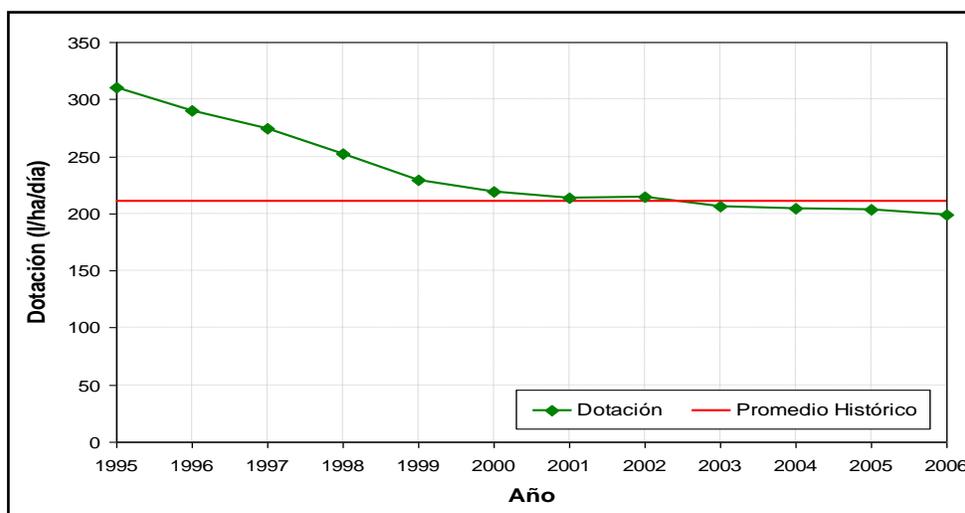


Figura 5-2 Dotaciones históricas estimadas con base en consumos totales sistema del acueducto. (Fuente: Tomado de POMCA, 2007).

Tabla 5-5 Consumo de agua por sectores en la subregión del valle de Aburrá.

Subregión / Municipios	Consumo de agua por sector en 2006 (m ³ /año)				
	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Total
Valle de Aburrá	119.605.124	12.635.765	9.625.001	9.876.776	151.742.666
Caldas	2.217.997	206.646	225.063	107.716	2.757.422
La Estrella	1.289.929	138.982	615.094	120.234	2.164.239
Sabaneta	1.844.763	365.140	988.738	97.200	3.295.841
Envigado	9.533.237	851.332	559.684	541.495	11.485.748
Itagií	10.694.401	1.305.161	2.144.295	906.989	15.050.846
Medellín	100.750.684	11.738.530	8.445.410	7.770.177	128.704.801
Bello	14.408.581	594.256	647.506	1.648.858	17.299.201
Copacabana	2.439.080	128.028	178.203	223.888	2.969.199
Girardota	1.186.727	82.549	334.889	164.418	1.768.583
Barbosa	820.052	92.402	18.993	69.435	1.000.882

Fuente: Anuario Estadístico de Antioquia DAP (2008).

5.1.5 Proyecciones de la demanda de agua potable

Para calcular el posible consumo de agua en un horizonte de tiempo hasta el año 2016 se tomaron como punto de partida las proyecciones de población efectuadas en POMCA (2007). Aunque los datos de población para año 1995 utilizados en dicho estudio son levemente mayores a los que muestra el DANE para el censo 2005 conciliado a 2008 (en total 9.868 personas más, equivalente al 0,3%), se considera que las proyecciones siguen siendo válidas para el análisis por cuanto sus implicaciones son apenas marginales. Adicionalmente, se asume que las pérdidas totales en el sistema serán del 35% (actualmente son del 35,47%, y se espera que en el año 2020 sean del 34,47 %) (Área Normalización y Soporte Aguas, EPM, 2007. Citado por POMCA, 2007) (véase la Tabla 5-6).

Según las proyecciones del POMCA (que adopta como consumo el promedio histórico de 211 l/persona*día) la capacidad de producción de las plantas actuales de EPM alcanzarán a proveer agua potable al valle de Aburrá hasta el año 2025 cuando se tendrá un total de 5.385.504 habitantes, siempre que se mantenga el escenario tendencial. Si el consumo *per capita* disminuye, como resultado de programas de uso racional del recurso, o en su defecto porque las políticas tarifarias castiguen el bolsillo del consumidor, el horizonte de abastecimiento sería aún más positivo.

En el escenario citado, para el año 2025 se demandarán en el valle de Aburrá un total de 550.093.754 m³/año, que corresponden aproximadamente con el agua que está en capacidad

de tratar el sistema de plantas si operara al 100% de su capacidad nominal (estimado en 544.631.040 m³/año).

Tabla 5-6 Proyección de consumo para el valle de Aburrá con base en proyecciones de crecimiento de la población.

Municipios	2005	2012		2016		2025	
	Población base (1)	Población proyectada	Consumo (m ³) (2)	Población proyectada	Consumo (m ³)	Población proyectada	Consumo (m ³)
Caldas	68.157	79.577	8.128.266	86.368	8.821.922	103.842	10.606.776
La Estrella	52.763	62.706	6.405.005	68.357	6.982.217	83.004	8.478.312
Sabaneta	44.874	56.179	5.738.315	63.480	6.484.064	83.564	8.535.512
Envigado	175.337	21.389	2.184.745	239.286	24.441.488	308.002	31.460.375
Itagüí	231.768	266.912	27.263.302	287.202	29.335.792	338.676	34.593.522
Medellín	2.223.660	2.715.990	277.420.486	2.965.873	302.944.388	3.615.406	369.289.905
Bello	373.013	451.214	46.088.538	496.797	50.744.541	616.911	63.013.394
Copacabana	61.421	72.096	7.364.131	78.209	7.988.534	93.923	9.593.616
Girardota	42.818	52.213	5.333.214	58.072	5.931.672	73.773	7.535.426
Barbosa	42.547	52.227	5.334.644	56.748	5.796.434	68.403	6.986.916
<i>Total</i>	3.316.358	3.830.503	391.260.646	4.400.392	449.471.053	5.385.504	550.093.754

(1): datos de población base y proyectada se tomaron de POMCA (2007).

(2). Para proyectar el consumo se tomó como base el promedio histórico utilizado en POMCA(2007) de 211 l/persona*día, equivalentes a 75,96 m³/persona*año, considerando un estimado de pérdidas del 34,47% en el sistema.

Fuente: Elaboración propia con base en POMCA (2007) y EPM (2008)

5.1.6 Potencialidad del recurso interno para provisión del consumo

Dejando de lado la situación anterior, es pertinente analizar las posibilidades de abastecimiento únicamente a partir del recurso que puede obtenerse de las plantas de tratamiento que no reciben agua de cuencas externas (ocho en total) sumándole los caudales concesionados hoy a los acueductos comunitarios (véase la Tabla 5-7). Adicionalmente, teniendo en cuenta que las plantas actuales y los acueductos comunitarios sólo captan una parte del agua, es previsible que los caudales aprovechables podrían incrementarse aun respetando los remanentes de caudal que prevengan el agotamiento de las corrientes, sin embargo, ese ejercicio presenta otras complicaciones que no son del caso abordar en este trabajo (estudios hidrológicos detallados, por ejemplo).

Si se considera un consumo diario de 174,3 litros/persona (con base en cálculos de 2007), se encuentra que con el caudal producido al interior de la cuenca se podría abastecer un total de 1.177.285 personas, que equivalen al 38,1% de la población actual. Una proporción que resulta nada despreciable, y que contrasta en importancia con el porcentaje que se planeó al analizar la cantidad de agua que están en capacidad de importar las plantas de potabi-

lización de EPM (15,2 m³/s del total de 17,51 m³/s, es decir el 86,7% de la capacidad instalada total).

Tabla 5-7 Estimativos de caudal total propio de la cuenca aprovechable para consumo

Planta de potabilización	Quebrada	Capacidad instalada (m³/s)	Altitud (msnm)
Envigado	Q. La Ayurá	0,28	s.d
Villahermosa y La Montaña	Q. La Honda, Q. Piedras Blancas, Q. Chorrillos	1,33	s.d
La Cascada	Q. Sta Elena	0,10	1950
Aguas Frías	Q. La Picacha	0,03	
San Cristóbal	Q. La Iguaná, Q. La Tenche, Q. La Puerta	0,23	1.900
San Antonio de Prado	Q. Doña María, Q. La Manguala, Q. Despensas	0,10	2.050
Barbosa	Q. La López, Q. El Viento	0,06	1.500
Caldas	Q. La Valeria, Q. La Reventona	0,18	1.850
	Total plantas EPM	2,31	
Acueductos comun-tarios	Todas las quebradas (203 acueductos en la cuenca)	0,54	
Caudal total propio de la cuenca		2,85	

s.d.: sin dato

En resumen, el recurso hídrico mencionado es injusta e inexplicablemente despreciado por todas las instancias de la metrópoli, perdiendo de vista que su protección en términos de conservación de las cabeceras de las quebradas podría significar, en un momento dado, una alternativa importante para garantizar el abastecimiento de agua barata a una proporción importante de la ciudad sin necesidad de recurrir a cuencas externas que requieren la construcción de infraestructuras complejas y costosas.

5.2 Dilución de vertimientos por el ecosistema del río Aburrá

Este servicio ambiental es obtenido a costa de la contaminación del caudal principal del río Aburrá cuyas aguas se tornan inutilizables a lo largo de un tramo bastante extenso, aguas abajo. Con el fin de determinar la posible extensión que requiere el río para recuperar unas condiciones ecológicas de calidad compatibles con el sostenimiento de la vida acuática se tomarán los datos de vertimientos y carga orgánica (caudal y DBO₅) así como los escenarios que se configuran a partir de la entrada en operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de EPM (actuales y futuras).

Aunque el cauce del río presenta, en la actualidad, unas condiciones paisajísticas mejores que en el año 2000 (fecha de entrada en operación de la planta San Fernando), la situación dista mucho de ser óptima tal como se demostrará en el transcurso del análisis. Lo anterior significa que, a pesar de los enormes recursos que han sido aportados por la población de la metrópoli durante más de treinta años, todavía falta la construcción de infraestructura determinante para lograr un saneamiento aceptable (por ejemplo el interceptor Moravia-Bello, colectores en Caldas-La Estrella, colectores entre Moravia-Bello y planta de Bello).

La llamada deuda ecológica por la contaminación del río Aburrá (Londoño & Grajales, 2000), se traduce entonces en un servicio de importancia trascendental para la metrópoli por cuanto le permite deshacerse de todos los desechos líquidos y, desafortunadamente, también de gran cantidad de residuos sólidos.

5.2.1 Producción de aguas residuales en la cuenca

El río Aburrá recibe numerosos vertimientos dispersos, en su mayoría no tratados, provenientes de los distintos suscriptores que a su vez hacen uso del servicio de acueducto (véase la Tabla 5-8), sin embargo, se observa que, al menos el 4% de los usuarios de acueducto no se encuentra conectado al servicio de alcantarillado, la mayoría de los cuales corresponden con asentamientos informales en zonas de alto riesgo que están por fuera del alcance del sistema de colectores y requieren soluciones especiales (no convencionales) para integrarlos al sistema (véase numeral 3.2.8).

Tabla 5-8 Población urbana estimada para el 2005 que descargaba al río Aburrá

Punto de descarga	Tipo de descarga	Población urbana total (hab)	Población conectada a la red de colectores (hab)
Ancón Sur	Directa al río	120,920	108,828
planta San Fernando	planta tratamiento	511,098	459,988
Terminal de Transporte	Colectores al río	795,181	789,945
Acevedo	Colectores al río	692,332	691,242
Barbosa	Directa al río	519,799	467,819
TOTAL		2,639,330	2,517,822

Fuente: POMCA (2007)

Los datos sobre vertimientos generados en el sector urbano de la cuenca corresponden al Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Aburrá (POMCA, 2007). Este estudio determinó los caudales medios para la población urbana total aferente a la zona del río

Aburrá (independientemente de si descarga o no al sistema de colectores) y para la población que está conectada a la red de colectores en cada punto estratégico de descarga (en total se habla de 2.639.330 personas). Sin embargo, es importante anotar que, cotejando los datos de población con los del censo DANE 2005, se nota un desfase importante porque se subestima el número de habitantes en aproximadamente un 15% (según el censo la población urbana en 2005 era de 3.125.675 habitantes).

A pesar de lo anterior, los datos se consideran un referente válido de la situación relacionada con el manejo de vertimientos al río Aburrá, y permiten hacer una comparación aproximada con los datos de EPM del 2008, porque ya desde ese entonces se notaba un número apreciable de personas que vertían directamente al río. Para 2005, 121.508 personas efectuaban vertimientos por fuera de las redes de colectores, mientras que en 2008 podría hablarse de una población equivalente a unas 190 mil personas (38.775 domicilios no conectados, lo que es igual al 4,3% de los suscriptores) (véase la Tabla 5-9).

Tabla 5-9 Suscriptores de acueducto y alcantarillado en 2007.

Suscriptores	Acueducto	Alcantarillado
Total residencial	809,127	771,592
<i>Residencial estrato 1</i>	<i>64,629</i>	<i>53,896</i>
<i>Residencial estrato 2</i>	<i>283,644</i>	<i>264,427</i>
<i>Residencial estrato 3</i>	<i>291,09</i>	<i>284,706</i>
<i>Residencial estrato 4</i>	<i>82,802</i>	<i>82,158</i>
<i>Residencial estrato 5</i>	<i>59,707</i>	<i>59,325</i>
<i>Residencial estrato 6</i>	<i>27,255</i>	<i>27,080</i>
Comercial	55,465	54,508
Industrial	6,707	6,508
Especial	1,58	1,536
Oficial	1,775	1,749
Autoconsumos	156	142
EMTELCO autoconsumo	61	61
Total	874,871	836,096
No conectados al alcantarillado	38.775	

Fuente: EPM- Comercialización aguas (2008)

Para poder calcular los vertimientos de la población urbana total así como de la población que está conectada a la red de colectores fue necesario hacer un estimado de los consumos de agua potable para cada uno de los grupos de la cuenca (total y conectados a la red de colectores). El valor obtenido para la población total fue de aproximadamente 9,48 m³/s, usando la dotación bruta tal y como lo indica el RAS (2000) (POMCA, 2007), razón por la

cual este valor resulta mayor que la demanda de agua potable actual en la cuenca (6,23 m³/s según cálculos basados en consumos de 2007).

Para estimar el caudal de vertimientos se adoptó un coeficiente de retorno (definido como la fracción de agua de uso doméstico servida, o dotación neta, que se entrega como agua residual), que en éste caso fue de 0,85, debido a que es el valor más alto que se puede considerar según el RAS (2000); así, se entiende que un 15% del caudal aportado queda almacenado en el suelo o se pierde en evapotranspiración y no retorna al río (POMCA, 2007). En la Tabla 5-10 se resumen los caudales medios diarios estimados para las aguas residuales de la población urbana en la cuenca.

Tabla 5-10 Caudales medios diarios de aguas residuales domésticas para la población urbana

Punto de descarga	Caudal medio diario de aguas residuales (m ³ /s)		
	Descarga población urbana total	Descarga población conectada a colectores	Caudal acumulado
Ancón Sur	0,37	0,33	0,37
planta San Fernando	1,56	1,40	1,93
Terminal de Transporte	2,43	2,41	4,36
Acevedo	2,11	2,11	6,47
Barbosa	1,59	1,43	8,06
Total	8,06	7,7	

Fuente: POMCA (2007)

Adicionalmente, se dispone de un estimativo sobre aguas residuales industriales, realizado a partir de la agregación espacial de los vertimientos industriales identificados en las áreas urbanas que confluyen en los mismos puntos definidos para las aguas del sector residencial. En la Tabla 5-11 se presentan, de manera agregada, los valores obtenidos para cada una de las categorías señaladas.

Tabla 5-11 Caudal total de aguas residuales

Punto de descarga	Caudales domésticos (l/s)	Caudales Industriales (l/s)	Total (l/s)
Ancón sur	370	13,26	383,26
planta San Fernando	1.560	1.477,75	3.037,75
Terminal de Transportes	2.430	327,07	2.757,07
Acevedo	2.110	209,19	2.319,19
Barbosa	1.590	251,14	1.841,14
Total	8.060	2.278,41	10.338,41

Fuente: POMCA (2007)

5.2.2 Cargas de DBO₅

Para el análisis de las cargas orgánicas se tendrán en cuenta los resultados obtenidos por el proyecto REDRIO- *Diseño y puesta en marcha de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana* (2005), enfatizando el análisis en la DBO₅ ya que es un parámetro que se afecta inicialmente por la presencia de vertimientos pero que también reacciona positivamente a las condiciones de recuperación naturales del río o, en su defecto, a las acciones antrópicas del tratamiento (en este caso secundario) que se están llevando a cabo con las plantas de tratamiento de aguas residuales – PTAR, actualmente en la planta de San Fernando y, en un futuro, en la planta de Bello (EPM, 2005).

Se observa, de forma general, una tendencia al incremento de la carga de DBO₅ entre las estaciones San Miguel y Puente Acevedo teniendo en cuenta los aportes significativos de algunas quebradas, entre las que se destacan La Valeria, La Mina, La Ayurá y Doña María (véase la Tabla 5-12). En el tramo comprendido entre las estaciones San Miguel y antes de San Fernando las empresas que generan cargas de DBO₅ en cantidad representativa son Cervunió, Curtimbres Itagüí, Coltejer, Fritolay Ltda. y Frugal, las cuales vierten sus aguas al sistema de alcantarillado, colectores y/o interceptores de la zona sur del valle de Aburrá, por lo cual su efecto se ve reflejado en el efluente proveniente de la operación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando.

A partir de la estación Puente Guayaquil (E7), el incremento en las cargas de DBO₅ es mucho más acentuado, debido a los aportes de quebradas como La Hueso, Santa Elena, La Iguaná, El Molino, La Bermejala, La María, La Rosa y La Herrera, que contribuyen en total con 46.633 kg DBO₅/día.

Los altos valores obtenidos en la estación Puente Acevedo (E9) son influenciados por los vertimientos de las empresas Colcafé, Familia Sancela, Fatelares, Proleche, Everfit Indulana, Zenú, Colanta, Matadero de Medellín, Base de Operaciones de Empresas Varias de Medellín (todas ubicadas en el tramo entre la planta San Fernando y Puente Acevedo) cuyas aguas residuales se reúnen en el interceptor que descarga en el sector de Moravia.

Tabla 5-12 Resultados de Cargas en el Río Medellín el 8 de Septiembre de 2004.

Estación N°	Nombre de la estación	DQO (kg/día)	DBO (kg/día)
E1	San Miguel	252,88	--
E2	Primavera	---	---
E3	Ancón Sur	11.745,98	1.814,95
E5	Antes San Fernando	17.845,14	5.196,93
E6	Después San Fernando	44.416,77	17.523,92
E7	Puente Guayaquil	28.694,39	9.642,11
E8	Aula Ambiental	131.056,36	35.402,78
E9	Puente Acevedo	375.692,34	66.348,19
E11	Puente Machado	419.130,29	70.533,12
E12	Metromezclas	337.478,40	32.111,07
E13	Puente Girardota	262.496,76	41.978,01
E14	Hatillo (Parque de Las Aguas)	256.140,75	40.813,42
E15	Hatillo	983.695,97	--
E16	Papelsa	315.439,49	--
E17	Popalito	194.884,70	50.453,02
E18	Pradera	271.431,65	60.878,82
E19	EADE	666.853,34	37.322,99
E20	Puente Gabino	881.798,40	93.911,53

Fuente: Tomado de REDRIO (2005). Muestreo de 8 de septiembre de 2004.

Entre las estaciones Puente Acevedo (E9) y Puente Machado (E11) se sigue incrementando la carga de DBO₅, al recibir las descargas de quebradas muy contaminadas como La Madera, El Hato y La García, además de los vertimientos del sector residencial del municipio de Bello y algunas industrias como Postobón, Fabricato-Tejicondor y Fabricato-Pantex.

En el trayecto comprendido entre las estaciones Machado (E11) y Metromezclas (E12), se observa una disminución considerable de la DBO₅, a pesar de vertimientos industriales con alta DBO (Colcueros S.A. y Curtimbres Ancón), y de las aguas domésticas provenientes del municipio de Copacabana.

Entre Metromezclas (E12) y Puente Girardota (E13) se aprecia un incremento de la DBO₅ a pesar de que en este tramo no se presenta ningún vertimiento de tipo industrial y los aportes de las quebradas no son significativos. Sin embargo, vale la pena señalar que a partir de esta zona el río recupera su cauce natural, normalizándose así las condiciones hidráulicas de menor velocidad de la corriente y, por lo tanto, los procesos normales de sedimentación y acumulación de materiales, incluidos los orgánicos, incrementando así los procesos de oxidación de la materia orgánica y por lo tanto la DBO.

A partir de la estación Parque de las Aguas (E14) el comportamiento de la carga de DBO₅ es irregular, aunque se mantiene en niveles altos. Entre los factores invocados para explicar este comportamiento se menciona una posible resuspensión de materia orgánica contenida en los sedimentos y adherida al sustrato así como los efectos del aporte de caudales provenientes del río Grande. Los vertimientos industriales en este tramo que pueden considerarse significativos corresponden a las plantas de Fabricato – Tejicondor (entre las estaciones Hatillo y Papelsa), Papelsa y Colombiana Kimberly Colpapel (ambas entre las estaciones Papelsa y Popalito), además del aporte de aguas residuales domésticas de Girardota y Barbosa.

5.2.3 Saneamiento del río Aburrá

Para el saneamiento del río Aburrá se han construido, hasta la fecha, y se encuentran en funcionamiento, la planta de San Fernando y el sistema de colectores e interceptores correspondiente a la cuenca aguas arriba de Moravia (Medellín), excepto el área de Caldas y parte de La Estrella. Se espera que en el año 2009 se inicie la construcción de la planta de Bello, siempre y cuando se puedan resolver las solicitudes del municipio para el emplazamiento de la planta en el sector de Niquía.

Una breve descripción de las plantas de tratamiento del sistema se presenta a continuación:

- **San Fernando:** (planta de tratamiento secundario) Localizada en Itagüí, atenderá también a Envigado, Sabaneta, La Estrella, y Caldas, con una capacidad de 1,8 m³/s. En operación desde el primer trimestre del año 2000.
- **Bello:** (planta de tratamiento secundario) Localizada en Bello, atenderá a los Municipios de Medellín y Bello. Su capacidad será de 8,21 m³/s.
- **Girardota:** (planta de tratamiento primario) Ubicada en el Municipio del mismo nombre, atenderá a éste y a Copacabana, con una capacidad de 0,2 m³/s.
- **Barbosa:** (planta de tratamiento primario) Localizada en este Municipio, lo atenderá con una capacidad de 0,04 m³/s.

En la Figura 5-3 se ilustra la distribución de los componentes principales del sistema de tratamiento de aguas residuales del río Aburrá, así como algunas proyecciones de construcción y entrada en operación, tal como aparece indicado en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de EPM (2005).

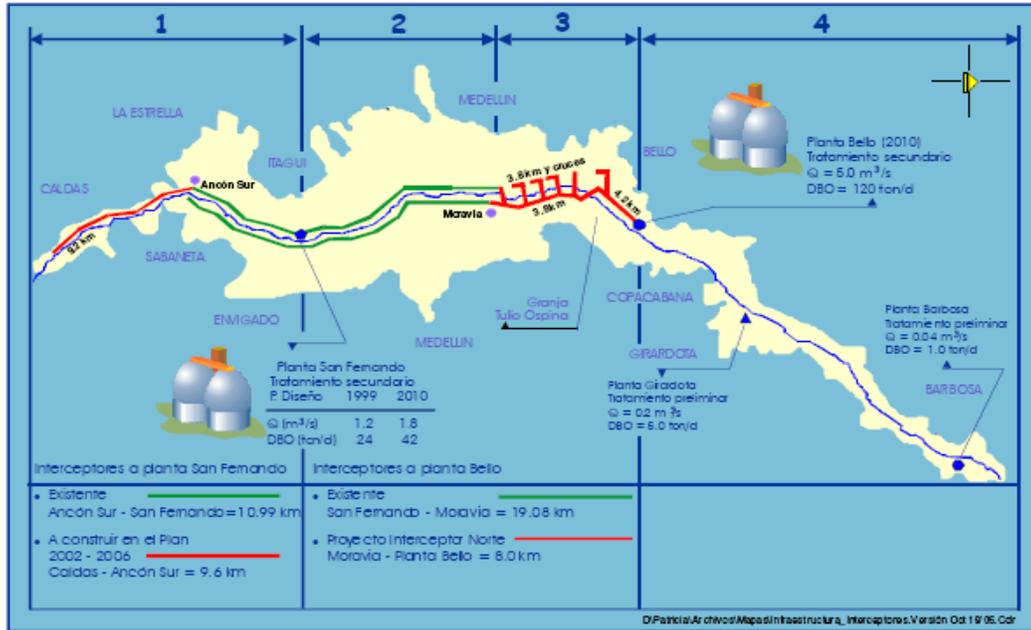


Figura 5-3 Localización de las plantas y de los interceptores principales del sistema de tratamiento de aguas residuales del río Aburrá (Fuente: EPM, 2005).



Figura 5-4 Comportamiento de la demanda bioquímica (DBO) de oxígeno para las condiciones del año 2010 en el río Medellín, considerando el tratamiento secundario en Bello (Tomado de EPM, 2005).

Por su parte, Empresas Públicas de Medellín (EPM, 2005) propone un escenario del posible comportamiento de la DBO_5 y el OD para el año 2010 (véanse la Figura 5-4 y Figura 5-5), que reflejaría los efectos positivos esperados de la operación de las PTAR de San Fernando

y de Bello, y donde, adicionalmente, se eliminarán los efectos de la descarga puntual del interceptor de Moravia permitiendo que el río recupere, en toda su extensión, unas condiciones de calidad equivalentes a las que presenta actualmente en inmediaciones de Caldas.

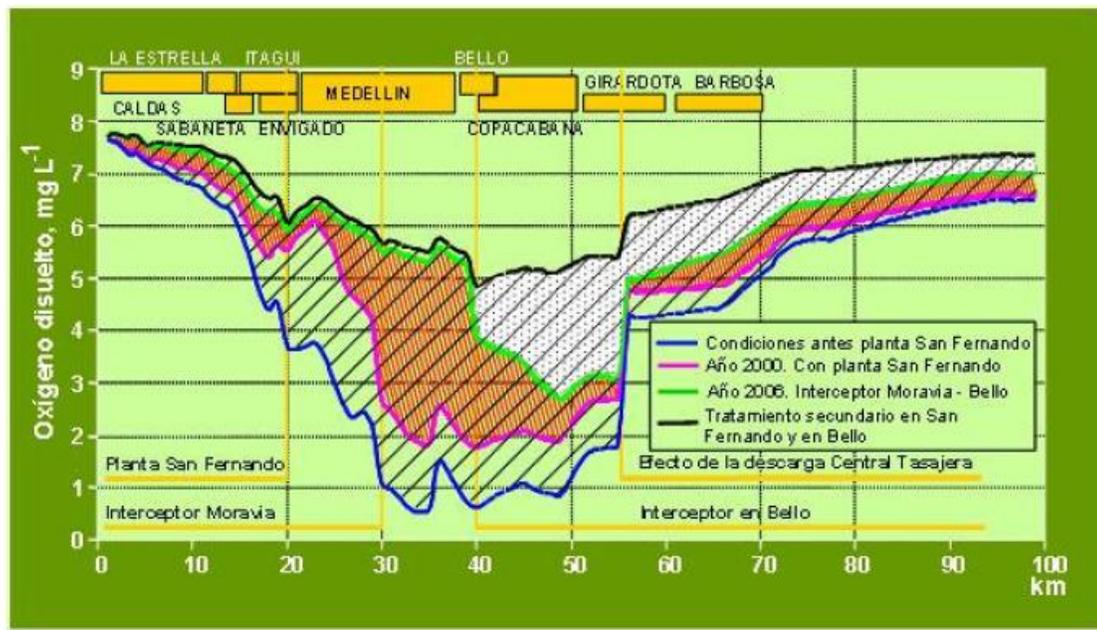


Figura 5-5 Comportamiento del oxígeno disuelto (OD) para las condiciones del año 2010 en el río Medellín, considerando el tratamiento secundario en Bello (Tomado de EPM, 2005).

5.2.4 Función depuradora del río

Para estimar el trayecto del río que se está viendo afectado por las cargas actuales de materia orgánica, y compararlo con lo que se esperaría encontrar una vez entre en operación el sistema completo de tratamiento de aguas residuales, se utilizará el algoritmo de Streeter & Phelps (Salazar, 1996) que tiene la siguiente expresión:

$$L(x) = L_o e^{-Kr X/U}$$

Donde:

L_x : concentración de DBO a una distancia X aguas abajo de la descarga (mg/l)

L_o : concentración de DBO en el $X=0$, inmediatamente después de la descarga (mg/l)

U : velocidad media de la corriente (m/s)

X : distancia, aguas abajo de la descarga de DBO (m)

Kr : tasa de remoción real de DBO del río (día⁻¹)

Según Salazar (citado por Londoño & Grajales, 2000) el Kr del río Aburrá, que mide la tasa de remoción de la materia orgánica (por oxidación, sedimentación, etc), presenta valores

entre 0,2 y 0,3 entre Primavera y Sabaneta, en tanto que entre Envigado y Barbosa, donde recibe las mayores cargas de aguas residuales, fluctúa entre 0,7 y 0,9. Estos autores utilizaron para el cálculo de la relación DBO vs. Distancia, la tasa máxima reportada por Salazar, y equivalente a 1,3 (día⁻¹).

Los datos de DBO₅ que se utilizaron para correr el modelo corresponden a los promedios de las mediciones efectuadas por el proyecto REDRIO durante nueve campañas en el año 2004 (11-marzo, 17-marzo, 14-abril, 28-abril, 14-julio, 27-julio, 18-agosto, 29-agosto y 08-septiembre) en las estaciones que se relacionan en la Tabla 5-13.

Tabla 5-13 Estaciones de medición de DBO₅ en la corriente principal del río (campañas 2004 REDRIO)

Estación N°	Nombre	Abscisa (km)	DBO ₅ (mg/l)
E1	Alto San Miguel	5.814	1,11
E2	La Primavera	10.563	6,53
E3	Ancón Sur	21.475	11,23
E5	Antes de San Fernando	27.937	51,99
E6	Después de San Fernando	29.016	59,24
E7	Puente Guayaquil	33.442	28,27
E8	Aula Ambiental	37.143	45,58
E9	Puente Acevedo	42.361	83,20
E11	Puente Machado	46.660	65,82
E12	Metromezclas	54.377	82,46
E13	Puente Girardota	59.223	58,44
E14	Parque de las aguas	65.010	69,23
E15	Hatillo	70.726	41,26*
E16	Papelsa	80.900	40,72
E17	Popalito	89.781	24,43
E18	Pradera	96.248	33,73
E19	EADE	104.114	38,65

*: nótese el efecto positivo de dilución por la descarga de aguas de la Central Tasajera

Para estimar la extensión del tramo que recorre el río antes de recuperar unas condiciones de DBO₅ equivalentes a las que presenta el río antes de la conurbación metropolitana (aproximadamente 12,6 mg/l) se tomó como punto de partida (“L₀” en el algoritmo) el valor DBO₅ de la Estación EADE (abscisa 104.114 del eje del río, localizada inmediatamente antes de la confluencia del río Grande), y, a partir de allí, se calculó la DBO₅ cada 10 km de recorrido (véase la Tabla 5-14).

Tabla 5-14 Valores de DBO₅ estimados para el río Aburrá con el modelo de Streeter & Phelps.

Estación	Abscisa (km)	DBO ₅ (mg/l)
EADE	104.114	38,65
a 10 km de EADE	114.114	34,42
a 20 km de EADE	124.114	30,66
a 30 km de EADE	134.114	27,31
a 40 km de EADE	144.114	24,33
a 50 km de EADE	154.114	21,67
a 60 km de EADE	164.114	19,30
a 70 km de EADE	174.114	17,19
a 80 km de EADE	184.114	15,31
a 90 km de EADE	194.114	13,64
a 100 km de EADE	204.114	12,15

Los resultados indican que el río requiere un tramo de aproximadamente 100 km, para recuperar los niveles señalados de DBO₅ (véase la Figura 5-6).

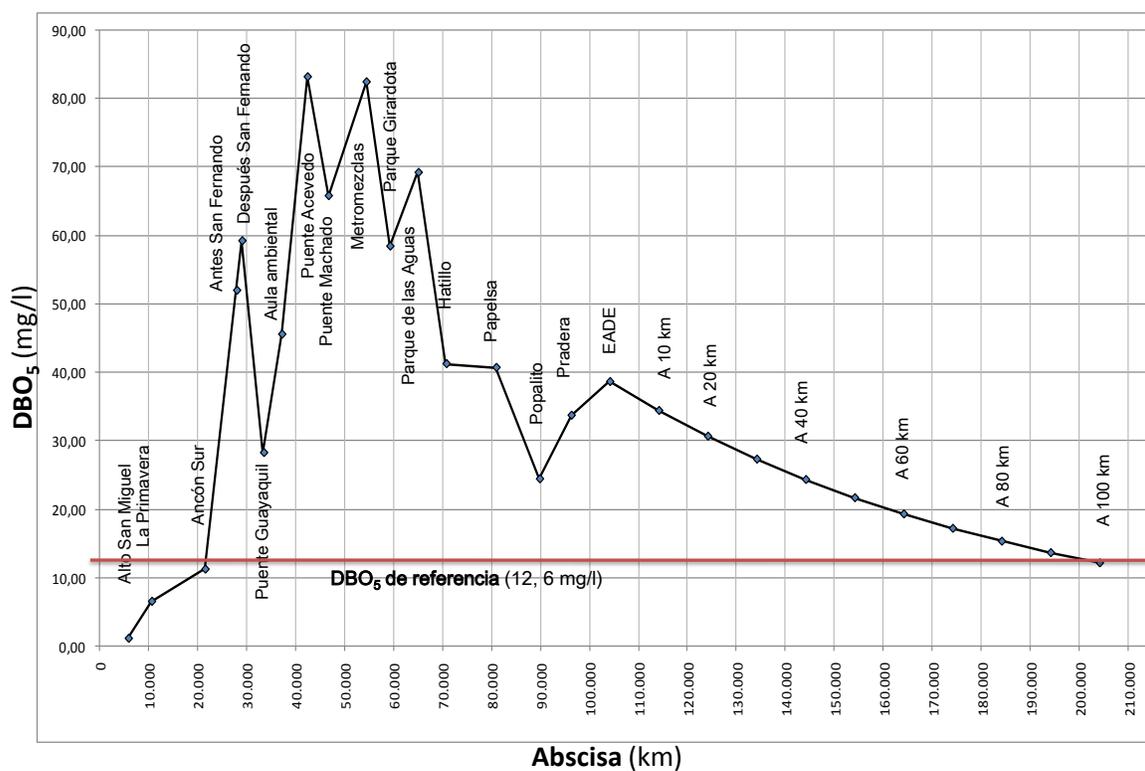


Figura 5-6 DBO₅ del río Aburrá medida aguas arriba de la estación EADE y estimada para el tramo aguas abajo.

6 Resultados y conclusiones

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al analizar la utilidad de la noción de cuenca hidrográfica como unidad de planificación ecológica de un área muy urbanizada.

Como se mencionó en la metodología, el estudio de la sostenibilidad de la cuenca se apoya en la evaluación de la importancia que tiene el recurso hídrico por sus funciones de regulación para la metrópoli. Este artificio adoptado para el análisis se justifica por la facilidad para entender la importancia del agua superficial (en términos de producción, calidad y distribución) y su relación con la noción ampliamente difundida de cuenca hidrográfica (véanse los numerales 2.4 y 4.6). Además, las aguas superficiales, a diferencia de las aguas subterráneas, son percibidas por la totalidad de las personas y son cuantificadas sistemáticamente por algunas entidades que las utilizan o administran lo cual brinda una mayor disponibilidad de información y conocimiento sobre el tema.

6.1 La importancia de la base natural disponible de la cuenca hidrográfica del río Aburrá

Aunque el agua es un recurso permanente, y relativamente abundante en el valle de Aburrá, su disponibilidad y utilidad para la comunidad dependerán del grado de calidad que a su vez le permite “desempeñar” las funciones correspondientes como bien (fuente: *Source*) o como servicio (sumidero: *Sink*).

De acuerdo con lo recomendado para la evaluación del capital natural se identificaron las funciones de importancia del recurso hídrico teniendo en cuenta los resultados de los estudios previos sobre huella ecológica de la región metropolitana (Agudelo, 2000, 2004) donde se halló que la concentración metropolitana tiene, en su conjunto, una dependencia ecológica mayor que el 99%, en términos de huella ecológica. En este trabajo se afirmaba que un 84% del caudal captado era proporcionado por fuentes externas al área geográfica del valle (Agudelo, 2004).

Según esos datos existe la posibilidad de que por un evento natural o accidental, se vea afectado el 84% del agua que se consume en el valle, lo cual equivale a decir que unos 2,5 millones de habitantes podrían quedar sin agua y la metrópoli entera verse abocada a un colapso repentino.

No deja entonces de ser llamativo que un conglomerado del tamaño de la metrópoli del valle de Aburrá, que presume de estar mejorando sus condiciones de desarrollo e inserción

en el mercado global, dependa de territorios externos a su jurisdicción política (en este caso de cuencas alejadas geográficamente) para obtener una proporción tan alta del líquido.

Otro aspecto de importancia mayúscula, pero aparentemente menos visible para el grueso de la población, es el servicio que presta el cuerpo principal del río para asimilar y descomponer los desechos orgánicos mediante procesos físicos (dilución) y químicos (oxidación) hasta compuestos no contaminantes, de estructura simple, que pueden ser reprocesados por los sistemas naturales¹⁵.

En la actualidad se carece de un estimativo cierto o de una valoración (aunque sea económica) del Capital Natural asociado con el transporte y degradación de los vertimientos domésticos de más del 80% de la población metropolitana, más de dos millones de personas (véanse los numerales 5.1.1 y 5.2.1), y apenas se encuentra un cálculo inicial sobre el valor de los servicios ecológicos por dilución del sistema hídrico Aburrá-Porce-Nechí (Londoño & Grajales, 2000).

Adicionalmente, hasta aquí solo se han considerado funciones de regulación bajo el enfoque antropocéntrico (“funciones para”), por lo tanto, parece todavía lejana cualquier valoración real de otras funciones igualmente importantes del recurso hídrico para el valle de Aburrá, como por ejemplo “funciones de” incluidas en el enfoque ecocéntrico. Sin embargo, como se verá más adelante, al evaluar el desempeño actual de las funciones ambientales por parte del recurso hídrico, se encontró que la base natural de la cuenca (capital natural) juega un papel nada despreciable en la “fisiología digestiva de la ciudad”.

6.2 Algunos bienes y servicios ambientales estratégicos para la sostenibilidad ecológica de la región metropolitana

Como se había anticipado en el numeral anterior, al examinar por lo menos tres de los aspectos que el recurso hídrico de la cuenca está ofreciendo a la metrópoli se concluye lo siguiente (véase la Tabla 6-1):

- 1- Que el agua producida y tratada al interior de la cuenca en este caso 2,85 m³/s, (asumiendo que los acueductos que están siendo operados actualmente por EPM funcionaran al 100% de su capacidad instalada), equivale al 45,7% del caudal que se está consumiendo actualmente en la metrópoli (6,23 m³/s). Esto no significa

¹⁵ Queda por determinar la afectación debida a compuestos químicos muy estables, altamente contaminantes, algunos de los cuales se acumulan en los sedimentos o en las cadenas tróficas y cuya presencia puede detectarse a distancias considerables de donde se originan

que el estimado de la huella ecológica pierda validez, sino que se difiere en el tiempo previéndose que, al aumentar la población, se requerirá cada vez un caudal mayor hasta que, aproximadamente en el año 2025, se copará la capacidad instalada de todo el sistema de abastecimiento, y se alcanzará el pronosticado 84% de importación de agua.

Tabla 6-1 Porcentaje de desempeño de las funciones ambientales por parte del KNC.

Aspecto	Total requerido	Abastecido / asimilado cuenca	% Desempeño	Observaciones
Agua para consumo (m ³ /s)	6,23 ⁽¹⁾	2,85 ⁽²⁾	45,7%	Aunque no se está consumiendo la totalidad de la capacidad instalada este valor indica la proporción que podría cubrirse en relación con el total consumido hoy
Población abastecida (# personas)	3.089.000 ⁽³⁾	1'177.285 ⁽⁴⁾	38,1%	Este porcentaje aumenta si se asigna a la población rural un consumo igual al de la zona urbana (174 l/día), aunque esto dejaría desatendidas las actividades de riego y ganadería.
Dilución de vertimientos (km cauce)	204 ⁽⁵⁾	104 ⁽⁶⁾	51,0%	La DBO de referencia es de 12,6 mg/l correspondiente al tramo rural antes de la cabecera urbana de Caldas.

⁽¹⁾: Caudal estimado con base en la facturación de 2007 y el número de usuarios atendidos (EPM, 2008)

⁽²⁾: Volumen abastecido se obtiene de sumar Capacidad instalada de acueductos EPM en la cuenca (2,31 m³/s) + volumen concesionado a Acueductos (0,536 m³/s). Véase la Tabla 5.7.

⁽³⁾: Número de usuarios atendidos declarado por EPM (EPM, 2008). Véanse los numerales 5.1.3 y 5.1.4.

⁽⁴⁾: Resulta de 1'144.863 que atiende EPM con 2,31 m³/s + 32.422 de acueductos comunitarios (incluye riego en zonas agrícolas de San Cristóbal). Véanse los numerales 5.1.3 y 5.1.4.

⁽⁵⁾: Longitud medida desde el nacimiento hasta el sitio donde se recupera el nivel de DBO₅ de referencia. Véase el numeral 5.2.4.

⁽⁶⁾: Longitud de cauce entre el Alto de San Miguel y la estación EADE.

2- Que aunque es poco probable que hoy se esté aprovechando todo el caudal generado en cuenca (2,85 m³/s), es evidente que deben existir otras subcuencas que pueden aprovecharse para potabilización (respetando las concesiones actuales y las necesidades de caudal ecológico), y que aún estas concesiones admiten una revisión y optimización en su uso para estimar el agua que se dedica a usos agrícolas y que podría servir para el consumo humano a menores costos.

3- Que la evaluación juiciosa de estas subcuencas podría servir para identificar un posible sistema de emergencia para suplir eventuales fallas del sistema actual o, lo que es más importante en el corto plazo: permitiría justificar el diseño y aplicación de un programa de protección y conservación de estas cabeceras para prevenir su deterioro.

4- Que aunque sería de esperar que el porcentaje de personas abastecido con el caudal producido en cuenca fuera igual o muy similar al 45,7% (proporción del caudal demandado), se observa que este es de apenas el 38,1%, lo cual se explica porque el caudal de los acueductos comunitarios se utiliza en la zona rural para fines de riego y abrevamiento.

5- Que bajo las condiciones actuales de disponibilidad del recurso (cuencas adyacentes con agua de alta calidad y aprovechables por gravedad) la idea de “utilizar agua del río Aburrá” para abastecimiento de la urbe suena poco menos que imposible, sin embargo es técnicamente factible, aunque a costos mayores (tanto de transporte como de tratamiento). Recuérdese que ciudades como Cali potabilizan agua del río Cauca (que ya viene contaminada de la cuenca alta) y la distribuyen mediante bombeo a toda la ciudad.

6- Que, finalmente, en cuanto a la longitud del cauce que permite la biodegradación de la materia orgánica (vertimientos) se encontró que, para las cantidades actuales de vertimientos, la cuenca ofrece 104 de los 204 km requeridos para que el río recupere los niveles de DBO₅ que caracterizan el tramo rural alto del río. Esto significa que el agua del río Aburrá queda afectada en su calidad por una DBO₅ elevada hasta un poco antes de la confluencia con el río Nechí.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por Londoño & Grajales (2000) se encontró que la distancia de recuperación del río es muy similar (aprox. 100 km) lo cual indica la consistencia de los cálculos pues la DBO₅ resultó también parecida (32,2 mg/l en el 2000 contra 38,6 en 2007), es decir, que los logros en el proceso de saneamiento del río Aburrá pueden considerarse todavía modestos.

7- Llama la atención que, a pesar de la entrada en funcionamiento de la PTAR de San Fernando en el primer trimestre del año 2000, la DBO₅ presenta un leve incremento en inmediaciones de la desembocadura del Río Grande (véase el numeral 5.2.4) lo cual podría estar relacionado con algún problema de contaminación orgánica en dicha cuenca, acentuado por la sustracción de caudales hacia el río Aburrá.

6.3 Medir, con base en indicadores existentes, y otros que pudieran construirse durante el estudio, la oferta natural de bienes y servicios ambientales producidos dentro de la cuenca hidrográfica del río Aburrá

Por último, se propone una calificación de la criticidad del Capital Natural con base en el Índice de Capital Natural (metodología CRITINC. Véase el numeral 4.5), aprovechando la información obtenida sobre el recurso hídrico. Para el efecto se identificaron los distintos aspectos del capital natural que guardan estrecha relación con las funciones de importancia seleccionadas (Abastecimiento de agua y Dilución de vertimientos), y se proponen algunos indicadores no convencionales para estimar la cantidad y calidad de los mismos (véase la Tabla 6-2).

Como puede observarse, ante la carencia de indicadores de estado que permitan establecer una línea base o punto de referencia, se acoge el Índice de Calidad del Agua (ICA) como indicativo de la condición actual del recurso en dos contextos diferentes: el de agua para consumo, que es o puede ser tratada en los acueductos de EPM, y el del agua para dilución de vertimientos.

Adicionalmente, los aspectos mencionados se utilizan para estimar el Índice de Capital Natural (ICN), a partir de los elementos considerados, así:

- En cuanto a las subcuencas con agua de calidad adecuada para potabilización, en la actualidad se observa que el ICN alcanza un 57% (véase la Tabla 6-3). Sin embargo, es posible que, en este caso, la falta de conocimiento sobre las otras subcuencas que tienen potencial (área >1 km² y longitud >2,8 km) haga poco confiable el indicador porque su valor podría incrementarse a medida que se avance en la adquisición de información sobre calidad y cantidad de agua en aquellas.

A mayor número de subcuencas estudiadas y protegidas, posiblemente corresponderá un ICN mayor (la gran mayoría de subcuencas carecen de planes de ordenamiento y manejo-POMCA). Sin embargo, la oferta de vivienda de estratos altos en sitios moderadamente conservados se ha vuelto un negocio bastante lucrativo que está arruinando las pocas cabeceras de quebradas que aún presentan corrientes de agua de buena calidad, ocasionando además tragedias en época invernal, debido a

que las altas pendientes y las características geológicas no ofrecen garantías de estabilidad.

Tabla 6-2 Indicadores de cantidad y calidad para los distintos aspectos del Kn considerados

Bien o servicio ambiental	Capital Natural asociado			
	Indicador de Cantidad	Valor	Indicador de Calidad	Valor
Agua para abastecimiento	- Subcuencas principales aprovechadas hoy (##/## de cuencas >1 km ² y >2,8 km de longitud) ⁽¹⁾	16/28=57,1%	- Calidad del agua (cualitativo) ⁽²⁾	100%
	- Caudal concesionado en acueductos rurales (m ³ /s) ⁽³⁾	0,536/2,85=18,8%	- Subcuencas con posible índice de escasez alto o medio ⁽⁴⁾ (##/total cuencas acueductos)	11/16=68,7%
	- Q de agua propia utilizado (m ³ /s) ⁽⁵⁾	2,85/17,5=16,9%	- Calidad del agua propia utilizable (cualitativo) ⁽⁶⁾	100%
Caudal para dilución y transporte de los vertimientos (tratados o no)	- Caudal aprox. del río Aburrá en km 100 (m ³ /s) ⁽⁷⁾	93/93=100%	- Calidad del agua del cauce principal (promedio de ICA en 12 tramos) ⁽⁶⁾	78%
	- Longitud de cauce del río Aburrá (km) ⁽⁸⁾	104/104=100%	- Calidad del agua del cauce principal (promedio de ICA en 12 tramos) ⁽⁶⁾	78%

⁽¹⁾: Las cuencas aprovechadas corresponden a las indicadas en la Tabla 5-2. Las subcuencas que cumplen con área > 1 km² y longitud < 2,8 km se encuentran en la Tabla 3-5.

⁽²⁾: Aunque no se dispone de mediciones de calidad del agua de estas corrientes se asume que cumplen con criterios para potabilización, por lo menos, iguales a los de Riogrande, los cuales debe ser de calidad “excelente” para que no se requieran procedimientos especiales de tratamiento.

⁽³⁾: Caudal concesionado a los acueductos comunitarios vs caudal utilizable total en cuenca. Véanse las Tablas 5-3 y 5-7.

⁽⁴⁾: Véanse la Tabla 3-5 y el Anexo 1.

⁽⁵⁾: Relación entre caudal utilizable vs capacidad instalada total. Véase la Tabla 5-2.

⁽⁶⁾: Se utilizó una ponderación de las medianas del Índice de Calidad de Agua ICA obtenido para doce tramos del río Aburrá en el POMCA (2007). Véanse la Tabla 3-7, Figuras 3-7 y 3-8. Esta asunción presenta algunas limitaciones por cuanto ignora todo el caudal de dilución que adquiere el río aguas abajo de Barbosa, el cual puede ser equivalente a otros 100 m³/s, hasta que desemboca en el río Nechí.

⁽⁷⁾: Véase la Tabla 3-6.

⁽⁸⁾: Véanse las Tablas 5-13 y 5-14 y la Figura 5-6.

- En cuanto al ICN para el caudal concesionado su valor en términos de estabilidad y confiabilidad es bajo (12,6%), es decir, que existe un alto riesgo de que las subcuencas presenten problemas de escasez de agua (Índice de Escasez alto o medio) en un horizonte de corto plazo. Bajo este escenario, la estabilidad del servicio ambiental se ve comprometida y, por lo tanto, la sostenibilidad de las comunidades dependientes del mismo, también.

Tabla 6-3 Índice de Capital Natural del recurso hídrico en la cuenca del río Aburrá (síntesis).

Bien o servicio ambiental	Capital Natural asociado				
	Indicador de Cantidad	Valor	Indicador de Calidad	Valor	ICN
Agua para abastecimiento	- Subcuencas principales aprovechadas hoy (#/cuenca >1 km ² y >2,8 km de longitud)	57,1%	- Calidad del agua (ICA "Excelente")	100%	57,1%
	- Caudal concesionado en acueductos rurales (m ³ /s)	18,8%	- Subcuencas con posible Índice de Escasez alto o medio (#/total cuencas acueductos)	68,7%	12,6%
	- Q de agua propia utilizable (m ³ /s)	16,9%	- Calidad del agua propia utilizable (ICA "Excelente")	100%	16,9%
Caudal para dilución y transporte de los vertimientos (tratados o no)	- Caudal aprox. del río Aburrá en km 100 (m ³ /s)	100%	- Calidad del agua del cauce principal (ICA promedio)	78%	78,0%
	- Longitud de cauce del río Aburrá (km)	100%	- Calidad del agua del cauce principal (ICA promedio)	78%	78,0%

- Al evaluar el caudal que se está utilizando frente a la capacidad instalada total del sistema de potabilización, se encuentra que el ICN es igualmente bajo (16,9%), aunque faltaría evaluar, a partir de métodos hidrológicos, qué caudal adicional de agua puede encontrarse disponible en las subcuencas por encima de la cota de captación actual o aún de la cota del perímetro urbano.

- Finalmente, el ICN calculado para los aspectos relacionados con la dilución de vertimientos (caudal del río y longitud del cauce) resulta ser apreciablemente alto (78%), porque involucra la disponibilidad total tanto del caudal para dilución como del tramo del río para degradación de la carga orgánica.

Aunque no fue posible construir otros indicadores, los aspectos evaluados, tanto del desempeño de las funciones ambientales por parte del CN, como su calificación mediante el ICN, permiten concluir que la base natural del recurso hídrico de la cuenca está aportando un porcentaje apreciable de beneficios a la metrópoli (bienes y servicios ambientales). Sin embargo, persiste un déficit en la satisfacción de las necesidades metropolitanas el cual tiende a incrementarse no sólo por el crecimiento de la demanda, sino también por el aumento en los costos de obtención del recurso el cual será cada vez más disperso y de menor calidad. Por tanto, el escenario tendencial indica que el recurso hídrico se está convirtiendo en un bien escaso a escala de la cuenca, haciéndose más crítico desde el punto de vista económico y social, entre otros, por los siguientes aspectos:

- **Consumo de agua en la región metropolitana:** a pesar de las campañas de uso racional del recurso, el crecimiento poblacional inducirá un aumento del consumo hasta copar la capacidad instalada, aproximadamente en el año 2025.
- **Aumento de la demanda de agua en el valle de San Nicolás:** el proceso de urbanización dispersa que se está consolidando desde el Alto de Las Palmas hacia El Retiro y desde allí hacia Llanogrande y Rionegro requerirá la provisión de agua para consumo. En este momento EPM está construyendo un acueducto en el sector de Las Palmas –Don Diego (con capacidad instalada de 150 l/s) utilizando agua del Embalse de la Fe. Sin embargo, es previsible que las entidades que administran los recursos en esa región, o aún los mismos entes territoriales, puedan proponer reformas legales en procura de gestionar los recursos de su región o en su defecto obtener beneficios adicionales por la producción del agua, y no solamente recibir la prestación de un servicio. En este sentido empiezan a escucharse voces de inconformidad, tanto de ciudadanos como de entes gubernamentales y ONG, que cuestionan, todavía tímidamente, las ventajas conferidas a EPM por la normatividad anterior y que le permite beneficiarse, a muy bajo costo, de la extracción y comercialización del agua de cuencas externas al valle de Aburrá.
- **Necesidad de utilizar fuentes más alejadas:** La presión sobre el agua de este embalse (localizado a una distancia de 11,5 km del valle de Aburrá) sustraerá caudales a la Planta Ayurá, obligando a efectuar un mayor aprovechamiento de los caudales de Riogrande (distancia: 27 km) o de cuencas más alejadas.
- **Efectos de la dilución de vertimientos:** aunque se espera que con la entrada en funcionamiento de la planta de Bello se logre reducir el aporte de carga orgánica al río este efecto se verá contrarrestado por el **aumento de los volúmenes tratados** (efluentes de PTAR debidos a mayor población metropolitana) y por el crecimiento en el **número de desconectados** (no es de esperar que el fenómeno de los asentamientos en zonas de alto riesgo desaparezca o se reduzca como por arte de magia y, por el contrario, se prevé un incremento lamentable de la población en situación de miseria) (véase Davis, 2004) ¹⁶. Por

¹⁶ Al respecto este autor, citando expertos de Naciones Unidas, afirma que la velocidad y magnitud de la urbanización serán cada vez mayores, especialmente en las ciudades del Tercer Mundo, rebasando la capacidad de planificación de los gobiernos para proveer suficientes servicios públicos a toda la población. Aunque menciona que los índices de crecimiento de algunas ciudades (caso ciudad de México) han descendido bruscamente gracias a las fricciones creadas por el tamaño y aglomeración de los asentamientos, en otras palabras, por la mala calidad ambiental de la ciudad.

efecto de los mayores vertimientos de las PTAR, el río Aburrá incrementará su caudal casi en un 100% con el agua proveniente de Riogrande pero su calidad no mejorará sustancialmente.

Otro aspecto relacionado exclusivamente con el curso central del río Aburrá, es el de su aprovechamiento deseable como espacio lúdico y recreativo de fácil acceso para toda la comunidad, cuyas posibilidades de disfrute son diversas. Sin embargo, este uso está supeditado a unos logros concretos en el mejoramiento de la calidad del agua del río a todo lo largo del valle, a una recuperación urbanística de sus márgenes y a que se supere, mediante campañas educativas amplias ese “desprecio” por el río. Esta “revaloración social” del sistema hídrico en general es una tarea que deberían acometer las autoridades ambientales y territoriales como parte de esa agenda que pretende vender a Medellín y sus alrededores como un destino turístico de talla internacional pero que sigue teniendo un lunar en el río Aburrá y sus quebradas afluentes. No es difícil anticipar lo que opinará un visitante de París o Londres cuando intente recorrer el mal llamado “paseo del río” esperando encontrar lo que existe hace muchos años en el Sena o el Támesis.

Finalmente, puede concluirse que el análisis del recurso agua dentro del contexto de la cuenca hidrográfica, permite dimensionar su condición de Capital Natural Crítico por cuanto admite una cuantificación de las funciones que desempeña en beneficio de la metrópoli (por ejemplo, porcentaje de las necesidades que hoy satisface), contribuyendo a reconocer la importancia que aún tiene para suplir necesidades fundamentales de la metrópoli.

Esta perspectiva, de analizar la base natural que ofrece finalmente un soporte a todos los procesos de ocupación y uso de un territorio, debería incorporarse en los ejercicios de planificación que se están desarrollando a escala metropolitana, y aún de cuenca hidrográfica, los cuales son renuentes a evaluar la capacidad de carga del ecosistema local, y a medir la importancia del capital natural en función de su baja sustituibilidad y del crecimiento de la demanda.

Por lo demás, la persistencia en ignorar o aplazar la valoración realista de nuestros recursos (en este caso el agua), incluyendo los costos crecientes de obtención del recurso y los precios sombra, sólo contribuirá a agudizar la crisis social que padecen nuestras ciudades (metropolitanas o no) y a profundizar los procesos de segregación y exclusión en la provisión de servicios públicos básicos, deteriorando la condiciones de vida de los sectores más po-

bres, tanto urbanos como rurales. Esta obstinación en mantener esquemas de planificación carentes de criterios de sostenibilidad ecológica hace que se desarrollen incontables ejercicios sectoriales desarticulados de la realidad física natural, perdiendo de vista la necesidad de armonizar los procesos de crecimiento y desarrollo con las posibilidades de provisión de bienes y servicios ambientales que pueden ser determinantes en el logro de metas tan inmediatas como el saneamiento del recurso hídrico y el suministro de agua potable.

Bibliografía

- Agudelo P, Luis Carlos. (2000). *Identificación, caracterización y Valoración económica de los servicios ambientales prestados por ecosistemas localizados en el área de influencia del Valle de Aburrá*. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-CORANTIOQUIA. Medellín. 117 pp.
- Agudelo P, Luis Carlos. (2004). *Evaluación de la sostenibilidad ecológica del Área Metropolitana de Medellín - Colombia*. Tesis (Doctorado en Urbanismo). Universidad Politécnica de Valencia. 322 pp.
- Agudelo P, Luis Carlos. (2005). *La ecorregión urbana del Valle de Aburrá. A reducir la huella ecológica. Apuntes para la Construcción de una Visión Regional del PGIRS*. Documento de trabajo #1.
- Agudelo P, Luis Carlos. (2006). El territorio de las regiones metropolitanas. En: Escenarios de reflexión: Las ciencias sociales y humanas a debate (pp 47-65). Oscar Almario G. & Miguel Angel Ruiz G (comp.). Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Medellín.
- Agudelo P, Luis Carlos. (2007). “Sostenibilidad ecológica urbana. Lo global y lo local-regional”. (ponencia), Seminario internacional: La Globalización neoliberal y la planeación urbano-regional. Perspectivas para América Latina. Agosto 23 y 24. Universidad Nacional de Colombia—Sede Medellín.
- Alguacil Gómez, Julio. (2000). Calidad de vida y modelo de ciudad. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n15/ajalg.html>. Ciudades para un futuro más sostenible. Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid. España. (Consultado en Noviembre 2008).
- AMVA -Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). *Actualización inventario de emisiones atmosféricas 2007*. Convenio de Cooperación Especial # 289 de 2006- Informe Final. Grupo de investigaciones ambientales del Centro Integrado para el Desarrollo de la Investigación-CIDI. Universidad Pontificia Bolivariana- Universidad de Medellín – Politécnico Jaime Isaza Cadavid – Universidad Nacional de Colombia – Medellín. 48 pp.
- AMVA- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007a). Plan Maestro de espacios públicos verdes urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Contrato 151 de 2005. Consorcio CONCOL-AIM. Vol. I a VII. + 15 Anexos.
- AMVA –UPB. Área Metropolitana del Valle de Aburrá- Universidad Pontificia Bolivariana. (2006). Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georreferenciación de éstas. Inventario de emisiones de fuentes fijas –IEFFI. Manual del usuario. Convenio 323 de 2005. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. 100 pp.
- AMVA –UPB. Área Metropolitana del Valle de Aburrá- Universidad Pontificia Bolivariana. (2006 a). Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georeferenciación de éstas. Inventario de emisiones de fuentes móviles –ETROME– Manual del usuario. Convenio 323 de 2005. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. 210 pp.
- AMVA-EPM- UN. Área Metropolitana del Valle de Aburrá- Empresas Públicas de Medellín- Universidad Nacional de Colombia. (2005). *Evaluación integrada ambiente - energía - economía para la planificación sostenible de núcleos locales*,

- Caso de aplicación Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Informe final. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). 170 pp.
- Anuario estadístico de Antioquia. (2006). Estadísticas sobre consumo de gas. <http://planeacion.gobant.gov.co/anuario2006/servicios%20publi/indice-12.htm>
- Anuario estadístico de Antioquia. (2006a). Estadísticas sobre consumo de agua. <http://planeacion.gobant.gov.co/anuario2006/servicios%20publi/indice-12.htm>
- Arias Goytre, Félix, Lucelena Betancur Salazar & Jean Pierre Hannequart. (2001). Documento base. Red 6 URB-AL “Medio Ambiente Urbano”. Ayuntamiento de Málaga. Fundación CIEDES. Málaga. España. http://www.urbalmalaga.com/cargahtml.php?fichero=_documento.htm . (Consultado en Noviembre 2008).
- Aronson, James & Suzanne J. Milton. (2007). Chapter 1. Setting the Scene: Concepts, Definitions and Assumptions. En: S.J. Milton and J. Aronson (eds). *Restoring Natural Capital. Views from the South*. Island Press, Washington, DC. and Covelo, CA.
- Basterrechea, M, Axel Dourojeanni, L. E. García, J. Novara & R. Rodríguez. (1996). *Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas*. Inter-American Development Bank. Sustainable Development Department - Environment Division. Washington, D.C. 89 pp.
- Beuermann, Christiane. (2000). Applying the CRITINC framework to the forest sector in Germany. Wuppertal Institute.
- Boissier, Sergio. (2000). Biorregionalismo: la última versión del cuento del traje del emperador. *Revista Universum*, No. 15, 31-60. Universidad de Talca.
- BolPress. (2005). ¿Por qué aguas del Illimani quiere irse desesperadamente sin permitir que se le haga una auditoría integral y a fondo?. 28 de junio. La Paz. www.bolpress.com
- Borja, Jordi & Manuel Castells. (1997). *Local y global: La gestión de las ciudades en la era de la información*. Taurus. Madrid. 418 pp.
- Borja, Jordi. (2003). Ciudad y planificación. La urbanística para las ciudades de América Latina. p: 81-104. En: Balbo, Marcelo *et al* (Compil.). *La ciudad inclusiva*. Serie cuadernos de la CEPAL. 313 pp.
- Bravi, Carlo, Davide Migliavacca, Lea Nicita & Davide Pettenella. 2000. *An inventory of instruments and procedures for defining and protecting Critical Natural Capital in Italy in the context of the CRITINC project funded by DGXII*. Working paper No.3. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment And Climate Rtd Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. Fondazione ENI Enrico Mattei, Milano. http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm . (Consultado en Noviembre 2008).
- Caire, Georgina. (2004). Retos para la gestión ambiental de la cuenca Lerma Chapala: obstáculos institucionales para la introducción del Manejo Integral de Cuencas. En: Cotler, Helena. (Compil.). *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Secretaría de Medio Ambiente y

- Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Primera edición. México. 267 pp.
http://books.google.com.co/books?id=4Qs_tnSkDxEC&pg=PA13&lpg=PA13&dq=Cotler+Helena+El+manejo+integral+de+cuencas+en+M%C3%A9xico:+estudios+y+reflexiones+para+orientar+la+pol%C3%ADtica+ambiental&source=bl&ots=qPYqf6jG-z&sig=p_E3Hai7l6saXj48uXUVslaNjQw&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPA10,M1 . (Consultado en Noviembre 2008).
- CEHAP -Escuela del Hábitat. (2005). *Criterios ambientales para la vivienda y el hábitat en el Valle de Aburrá*. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 173 pp + Anexo.
- CEPAL -Comisión Económica para América Latina y el Caribe (1994). *Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas*. División de Recursos Naturales y Energía. LC/R.1399. Segundo Congreso Latinoamericano de Cuencas Hidrográficas, Mérida, Venezuela.
- Chávez Zárate, Guillermo. (2004). Del gobierno a la gobernabilidad de los recursos hídricos en México. En: Cotler, Helena. (Compil.). *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Primera edición. México. 267 pp.
http://books.google.com.co/books?id=4Qs_tnSkDxEC&pg=PA13&lpg=PA13&dq=Cotler+Helena+El+manejo+integral+de+cuencas+en+M%C3%A9xico:+estudios+y+reflexiones+para+orientar+la+pol%C3%ADtica+ambiental&source=bl&ots=qPYqf6jG-z&sig=p_E3Hai7l6saXj48uXUVslaNjQw&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPA10,M1 . (Consultado en Noviembre 2008).
- Cherni, Judith A. (2004). La Relación entre Capital y Capital Natural: Ganadores y Perdedores. (ponencia), *Seminario Internacional REDEM 2004, Barcelona: New centres and new peripheries in the world economy of the 21st century*. Red de estudios de la economía mundial. Imperial College. London.
- Cleveland, J. & Mathias Ruth. (1997). ¿Cuándo, dónde y por cuánto los límites biofísicos restringen El proceso económico?. En: Berrío C, Ramón A. (Trad.). *Economía ¿Ecológica?*. Versión en español de “The contribution of Nicolás Georgescu- Roegen” publicado en *Ecological Economics*, vol 22 (3).
- CONPES-Consejo Nacional de Política Económica y Social (2002). Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales. Documento CONPES 3177 de 2002. Departamento Nacional de Planeación. República de Colombia. 27 pp
- CONPES-Consejo Nacional de Política Económica y Social (2005). Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire. Documento CONPES 3334 de 2005. Departamento Nacional de Planeación. República de Colombia. 30 pp.
- Cruz Grajales, Christian. (Sin fecha). *Gestión de Cuencas Urbanas: Evaluación de los impactos del crecimiento de Santiago de Chile sobre las cuencas de piedemonte andino*. INE-SEMARNAT. México. email: criscruz@ine.gob.mx.

- Daly, Herman. (1997). Georgescu-Roegen vs Solw/ Stiglitz. En: Berrío C, Ramón A. (Trad.). *Economía ¿Ecológica?*. Versión en español de “The contribution of Nicolás Georgescu-Roegen” publicado en *Ecological Economics*, vol 22 (3).
- Davis, Mike. (2004). Planeta de ciudades-miseria. *New left review*, N° 26, 2004 (Ejemplar dedicado a: Urbanizar la miseria). pp. 5-34.
- De Groot, Rudolf, Johan van der Perk, Anna Chiesura & Arnold van Vliet. (2003). Importance and threat as determining factors for criticality of natural capital. *Ecological Economics*, 44: 187-204.
- Doria, Paola, Davide Migliavacca, Davide Pettenella and Roberto Roson. (2000). *Air quality in Milan: A case study for protecting Critical Natural Capital in Italy in the context of the CRITINC project funded by DGXII*. Working paper 8. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment And Climate Rtd Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. Fondazione ENI Enrico Mattei, Milano.
http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm. (Consultado en Noviembre 2008).
- Douguet, Jean-Marc & Patrick Schembri. (2000). *Sustainable Agriculture and Water Quality Control. A structural approach to the evaluation of public environmental policies applied to the Brittany region in France*. Working paper 13. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment And Climate **RTD** Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. C3ED, 47, Boulevard Vauban, 78047 Guyancourt cedex, France.
http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm. (Consultado en Noviembre 2008).
- Dourojeanni, Axel & Andrei Jouravlev (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/R.1948, 16 de diciembre de 1999, Santiago, Chile. 176 pp.
<http://www.cepal.org/> o <http://www.eclac.org>. (Consultado en Noviembre 2008).
- Dourojeanni, Axel, Andrei Jouravlev & Guillermo Chávez. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Serie Recursos Naturales e Infraestructura # 47. CEPAL. Santiago de Chile, agosto de 2002. 83 pp. <http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/5/11195/P11195.xml&xsl=/drni/tpl/p9f.xml&base=/tpl/top-bottom.xslt> . (Consultado en Noviembre 2008).
- Dourojeanni, Axel. (2000). *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Recursos Naturales e infraestructura. Serie Manuales 10. Santiago, Chile. 372 pp.
<http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/1/5541/P5541.xml&xsl=/tpl/p9f.xml&base=/tpl/top-bottom.xslt> . (Consultado en Noviembre 2008).

- ECOPETROL – Empresa Colombiana de Petróleos. (2008). Estadísticas sobre consumo de combustibles en el Valle de Aburrá.
<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=36&conID=35299>
- Ekins, Paul & Sandrine Simon. (2000). Using the CRITINC framework for making an inventory of Critical Natural Capital: the case of the UK in the context of the CRITINC Project funded by DGXII. Working paper 7. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment And Climate Rtd Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. School of Politics, International Relations and the Environment, SPIRE. Keele University, Staffs. ST5 5BG, UK.
http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm. (Consultado en Noviembre 2008).
- Ekins, Paul, Sandrine Simon, Lisa Deutsch, Carl Folke & Rudolf De Groot. (2003). A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics*, 44: 165- 185.
- Ekins, Paul. (2000). Sustainability and Critical Natural Capital: conclusions from the CRITINC project in the context of the CRITINC project funded by DGXII. Working paper 14. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment and Climate RTD Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. Environment Department, School of Politics, International Relations and the Environment, Keele University, Staffs. ST5 5BG, UK.
http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm. (Consultado en Noviembre 2008).
- Ekins, Paul. (2003). Identifying critical natural capital Conclusions about critical natural capital. *Ecological Economics*, 44: 277-292
- El Clarín. (2005). El gobierno podría hacerse cargo de Aguas Argentinas. 21 de septiembre. Buenos Aires. www.clarin.com.
- EPM- Empresas Públicas de Medellín. (2005). Plan de saneamiento y manejo de vertimientos. Empresas Públicas de Medellín - Gerencia aguas. Subgerencia de aguas residuales. 73 pp + 4 Anexos.
- EPM- Empresas Públicas de Medellín. (2008). Estadísticas de aguas en 2007. Empresas Públicas de Medellín - Comercialización aguas.
- EPM- Empresas Públicas de Medellín. (2008a). Estadísticas de gas en 2007. Empresas Públicas de Medellín - Comercialización gas.
- García Hurtado, Alvaro & Eduardo García D' Acuña. (1981). Las variables ambientales en la planificación del desarrollo. En: Sunkel, O. & N. Gligo (Comp.). *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*. Fondo de Cultura Económica. México. 1981. 661 pp.
- Georgescu-Roetgen, Nicolás. (1998). Bioeconomía básica. Boletín CF+S > 4 -- Especial sobre Vivienda y participación social. Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid. España. SN: 1578-097X.
<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n4/angeor.html>. (Consultado en Noviembre 2008).

- Girardet, Herbert. (1992). Ciudades: alternativas para una vida urbana sostenible. Atlas GAIA. Celeste Ediciones. Madrid. 191 pp.
- Guimarães, Roberto P. (2001). Fundamentos territoriales y biorregionales de la planificación. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) - División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Serie medio ambiente y desarrollo No 39 LC/L.1562-P, agosto de 2001, Santiago, Chile. <http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/7/7687/P7687.xml&xsl=/dmaah/tpl/p9f.xsl&base=/tpl/top-bottom.xslt> (Consultado en Noviembre 2008).
- Hinrichsen, D., Robey, B., & Upadhyay, U.D. (1998). Soluciones para un mundo con escasez de agua. Population Reports, Serie M, No. 14. Baltimore, Johns Hopkins School of Public Health, Population Information Program, septiembre de 1998. <http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm14/sm14ch1.shtml#top> . (Consultado en Noviembre 2008).
- Instituto MiRIO, 1994 y 1997.
- Janoschka, Michael. (2002). El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización. *Revista Eure* (XXVIII) 85: 11-29. Santiago de Chile.
- Jansson, Åsa & Peter Nohrstedt. (2000). *Human Dependence on Functioning Natural Capital: The Case of Stockholm County*. Working Paper 11. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment And Climate RTD Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. Department of Systems Ecology, Natural Resources Management, Stockholm University, S-106 91 Stockholm. http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm. (Consultado en Noviembre 2008).
- Londoño Londoño, Luis Fernando & Norma Nazareth Grajales López. (2000). La deuda ecológica por la contaminación del Río Aburrá – Porce –Nechí. Monografía de grado (Posgrado en Planeación Urbano Regional). Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). 60 pp.
- Lopera C., Sergio Hernando. (2003). El Capital Natural Crítico, un instrumento de política ambiental para los recursos naturales. *Gestión y Ambiente*, 6 (2): 39-50
- Madoery, Oscar (1999). “El territorio como factor estratégico de desarrollo. Hacia un espacio de gestión metropolitana en el Gran Rosario”. Seminario: Ciudad Futura. Nuevas Modalidades en Planificación y Gestión de Ciudades. Rosario, 3 al 7 de mayo de 1999. http://www.cedet.edu.ar/sitio/administracion/agenda/Madoery_factor.pdf. (Consultado en Noviembre 2008).
- Malhi, Y., D. D. Baldocchi & P. G. Jarvis. (1999). The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* 22, 715–740.
- Margalef, Ramón. (2002). Teoría de los sistemas ecológicos. Segunda Edición. Publicaciones Universitat de Barcelona. Barcelona. 290 pp.
- Marino de Botero, Margarita. (1983). Ecodesarrollo: el pensamiento del decenio. En: Marino de Botero, Margarita & Juan Tokatlián. (Compil). Ecodesarrollo, el pensamiento del decenio. Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente – INDERENA; Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA

- y Bicentenario de la Real Expedición Botánica. Bogotá. Segunda edición, 1985. 610 pp.
- Márquez Calle, Germán. (1996). Ecosistemas Estratégicos y otros estudios de Ecología Ambiental. Fondo FEN Colombia. Primera Edición. Santafé de Bogotá. 211 p.
- Minambiente- Ministerio del Medio Ambiente. (1999). Lineamientos preliminares para iniciar el proceso de consolidación de una política ambiental urbana (Documento para discusión). Viceministerio de Medio Ambiente. Dirección General Ambiental Sectorial. Grupo de Gestión Ambiental Urbana. Bogotá.
- Minambiente- Ministerio del Medio Ambiente. (2000). Lineamientos generales para la gestión urbano regional en Colombia. Viceministerio de Medio Ambiente. Dirección General Ambiental Sectorial. Grupo Gestión Urbana y Salud. Bogotá.
- Minambiente- Ministerio del Medio Ambiente. (2001). Guía metodológica para la formulación de Planes de acción ambiental en ecorregiones estratégicas- PAAEC. YARIPA- Asociación Cometeros de El Volador. Medellín, Diciembre 2001. 99 pp.
- Moncayo Jiménez, Edgar. (2003). Nuevas teorías y enfoques conceptuales sobre el desarrollo regional: ¿hacia un nuevo paradigma?. Revista de Economía Institucional, Vol. 5, N.º 8: 33-65. Primer Semestre.
- Mumford, Lewis. (1956). Historia natural de la urbanización. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n21/almum.html>. Ciudades para un Futuro más Sostenible. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. (Consultado en Noviembre 2008).
- Naredo, José Manuel. (1994). El funcionamiento de las ciudades y su incidencia en el territorio. Revista Ciudad y Territorio Estudios territoriales, II (100-101): 233-249. Madrid.
- Naredo, José Manuel. (1996). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. <http://habitat.aq.upm.es/select-sost/aa1.html>. (Consultado en Noviembre 2008).
- Naredo, José Manuel. (1997). Sobre la insostenibilidad de las actuales conurbaciones y el modo de paliarla. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a007.html>. (Consultado en Noviembre 2008).
- Naredo, José Manuel. (2006). Raíces económicas del deterioro ecológico y social: más allá de los dogmas. Siglo XXI Editores. Madrid. 271 pp.
- OEA. Organización de los Estados Americanos (1978). Calidad ambiental y desarrollo de cuencas hidrográficas: un modelo para planificación y análisis integrados. Gobierno de Argentina Programa de Desarrollo Regional de la OEA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Washington, D.C. 1978. www.oas.org/osde/publications/Unit/oea69s/oea69s.pdf. (Consultado en Noviembre 2008).
- Parra, Fernando. (1994). La ciudad como ecosistema. Revista Ciudad y Territorio Estudios territoriales, II (100-101): 411-419. Madrid.
- PEAM- Actualización del Plan Estratégico Ambiental Metropolitano 2003-2012. (2003). Documento base. Contrato 488 de 2002. Escuela de Planeación Urbano-Regional. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). Medellín. 153 pp + 8 anexos.

- Pearce, David & Giles Atkinson. (2000). Are national economies sustainable?. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE). University College London and University of East Anglia, Norwich, UK.
- PLAN DE DESARROLLO DE MEDELLÍN 2008-2011.
- POMCA. Plan de ordenación y manejo de la Cuenca de Río Aburrá. (2007). Área Metropolitana del Valle de Aburrá –Corporación Autónoma Regional del centro de Antioquia – Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare- Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). Convenio 652 de 2005. Primera edición. Medellín. 238 pp.
- Portafolio. (2008). Referendo por el agua irá a estudio en el Congreso el 14 de octubre, tras visto bueno de registraduría. Septiembre 13.
http://www.portafolio.com.co/economia/economiahoy/2008-10-13/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-4596555.html
- PROYECTO METRÓPOLI 2002-2020. (2002). Plan Integral de Desarrollo Metropolitano del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín. 266 pp.
- REDRIO (2005). Diseño y puesta en marcha de la Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del Río Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana. Informe final. Convenio 366 / 2003. Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad de Antioquia - Universidad Pontificia Bolivariana – Universidad de Medellín – Universidad Nacional.
- Roca Cladera, Josep. (2003). La delimitación de la ciudad: ¿una cuestión imposible?. Revista Ciudad y Territorio Estudios territoriales, XXXV (135): 17-36. Madrid.
- Rodríguez Becerra, Manuel. (2005). La posible creación de mercados de agua y la gobernabilidad de este recurso en Colombia. Comentarios sobre el proyecto de ley del agua. Revista de ingeniería (Universidad de los Andes), 22: 94-102.
- Rodríguez, Jorge & Lawrence Pratt. (1998). Potencial de Carbono y fijación de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de Guatemala. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible, CLACDS. 51 pp. <http://www.incae.ac.cr/ES/clacds/nuestras-investigaciones/articulos/cen722.php> (Consultado: noviembre 2008).
- Rojas Restrepo, José Julián. (2007). Caracterización geográfica del Río Aburrá. Trabajo de Grado (Ingeniería Forestal). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). 43 pp.
- Rossi, Antonio. (2007). “Crean una empresa estatal que se encargará del servicio de agua”. El Clarín, sin fecha. Buenos Aires. www.clarin.com.
- Rueda, Salvador. (1998). Metabolismo y complejidad del sistema urbano a la luz de la ecología. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a008.html> (consultado en abril 2006).
- Saavedra Duque, Marcelena & Mauricio Obregón Cardona. (2002). Elementos para un balance energético preliminar en el Valle de Aburrá. Monografía. Especialización en Gestión Ambiental. Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Sanitaria. Universidad de Antioquia. Medellín. 93 pp.
- Salazar, Álvaro. (1996). Contaminación de recursos hídricos. Modelos y control. Asociación de Ingenieros Sanitarios- AINSA. Segunda Edición. Medellín

- Salinas Chávez, Eduardo. (1998). El desarrollo sustentable desde la ecología del paisaje. <http://www.brocku.ca/epi/lebk/salinas.html> (consultado en noviembre 2008).
- Simon, Sandrine. (2000). Rethinking conservation: the use of multi criteria appraisal methodology in river conservation in the context of the CRITINC Project funded by DGXII. Working paper 9. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment And Climate Rtd Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. Keele University, School of Politics, International Relations and the Environment. ST5 5BG, Staffordshire, UK. http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm . Consultado en Noviembre 2008.
- Sims, Phillip L. & J. A. Bradford. (2001). Carbon dioxide fluxes in a southern plains prairie. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 109, Issue 2, 30 August 2001, pp 117-134.
- UN-HABITAT. 2002. The rural dimension of sustainable urban development. World Urban Forum. First session, Item 4 of the provisional agenda. HSP/WUF/1/DLG.II/Paper 3. Nairobi, 29 April–3 May 2002.
- URBEM - Urban River basin Enhancement Methods (2002). BUSCAR EN WEB SITIO Y DIRECCIÓN.
- van der Perk, Johan & Rudolf de Groot. (2000 a). Case study Critical Natural Capital coastal wetlands: the Dutch Wadden Sea in the context of the CRITINC project funded by DGXII. Working paper 12. Making sustainability operational: Critical Natural Capital and the implications of a strong sustainability criterion (CRITINC). Project Number PL9702076. EU Environment And Climate RTD Programme – Theme 4: Human dimensions of environmental change. Environmental System Analysis Group. Wageningen University & Research Center. http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm . (Consultado en Noviembre 2008).
- van der Perk, Johan & Rudolf de Groot. (2000). Towards a Method to estimate Critical Natural Capital: An inventory of methods to determine critical natural capital in the Netherlands. Working paper 5. Discussion paper for second meeting of the CRITINC-project; 30/11 – 1/12, 1998. Environmental Systems Analysis Group. Department of Environmental Sciences. Wageningen University & Research Center. Saint Quentin en Yvelines, Paris, France. http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm . (Consultado en Noviembre 2008).
- van der Perk, Johan, Anna Chiesura & Rudolf de Groot. (2000). Towards a Conceptual Framework to identify and operationalise Critical Natural Capital. Working Paper 1B. Discussion paper for second meeting of the CRITINC-project (Critical Natural Capital and the implications of a Strong Sustainability Criterion); 30/11 – 1/12 1998. Environmental Systems Analysis Group. Department of Environmental Sciences. Wageningen University & Research Center. Saint Quentin en Yvelines, Paris, France. http://www.keele.ac.uk/depts/spire/Working_Papers/CRITINC/CRITINC_Working_Papers.htm . (Consultado en Noviembre 2008).

- Vásquez S., Edison & John Jairo García R. (2003). Calidad ambiental y su relación con el crecimiento económico. *Ecós de Economía* No. 16. Medellín, pp. 27 – 48.
- Visión Social del Agua en los Andes: Agua, comercio y regulación. (2007). Foro electrónico. *Visión Social del Agua en los Andes: Agua, comercio y regulación. Agua sustentable.* (Sistematización: René Orellana & Roxana Castellón).
- Wilhelm, Jorge. (1981). *Metropolitanización y medio ambiente.* En: Sunkel, O. & N. Gligo (Compil.). *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina.* Fondo de Cultura Económica. México. 661 pp.
- Winjum, J. K., Sandra Brown & Bernard Schlamadinger. (1998). Forest harvests and wood products sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science*, 44 (2): 272-284.
- Wolsink, Maarten. (2006). River basin approach and integrated water management: Governance pitfalls for the Dutch Space-Water-Adjustment Management Principle. www.elsevier.com/locate/geoforum. (Consultado en Noviembre 2008).

Anexo 1

Estimación del índice de escasez en algunas subcuencas que se utilizan actualmente para abastecer plantas de potabilización

El POMCA (2007) hizo un estimado de los posibles índices de escasez para algunas de las cuencas del área de estudio aplicando la metodología sugerida por IDEAM.

Para efecto de los cálculos la demanda en la zona rural se determinó usando la misma metodología aplicada para determinar la disponibilidad hídrica en las zonas rurales de la cuenca. Dada la escala de trabajo del proyecto, no se localizó y cuantificó la demanda agro-industrial, pecuaria y de riego, por lo tanto este análisis de disponibilidad solo se realizó para la demanda doméstica. Esta demanda en el escenario actual se calculó utilizando un valor de dotación rural por habitante de 211 l/día.

Para la demanda, también se tuvieron en cuenta las captaciones del sistema de acueducto de EPM que están ubicadas dentro de la cuenca, por encima de la cota de servicio.

Índice de escasez estimado de subcuencas utilizadas actualmente (metodo IDEAM) (POMCA, 2007)

Nombre de la cuenca	Municipio	Área (km ²)	Demanda (m ³ /s)	Oferta distribuida (m ³ /s)	Índice escasez (%)	Valoración IDEAM
Q. La López	Barbosa	3.58	0.00132	0.1210	0.92	No significativo
Q. La Valeria	Caldas	11.99	0.00760	0.2984	5.31	Mínimo
Q. Piedras Blancas	Copacabana	13.39	0.00149	0.1412	1.04	Mínimo
Q. La Ayurá	Envigado	33.55	0.02288	0.8491	15.98	Medio
Q. Santa Elena	Medellín	32.81	0.07532	0.9229	52.60	Alto
Q. La Iguaná	Medellín	44.65	0.10251	12.077	71.58	Alto
Q. La Picacha	Medellín	6.93	0.01591	0.3837	11.11	Medio
Q. Doña María	Medellín	54.69	0.12557	18.205	87.68	Alto
Q. La Honda	Medellín	Cuenclas muy pequeñas (de menos de 1,8 km ²) con índice de escasez posiblemente Alto o Medio alto				
Q. Chorrillos	Medellín					
Q. La Tenche	Medellín					
Q. La Puerta	Medellín					
Q. La Manguala	Medellín					
Q. La Despensa	Medellín					
Q. El Viento	Barbosa	Cuenclas muy pequeñas (de menos de 1,8 km ²) con índice de escasez mínimo o no significativo				
Q. Reventona	Caldas					

Se observa que los mayores índices de escasez, los cuales se clasifican como “Alto” se encuentran en la zona central de la Cuenca, cerca al casco urbano del municipio de Medellín. Esto se evidencia en el hecho de que las cuencas en donde hay más presión sobre el recurso agua son: Doña María (Sector perteneciente a Medellín), La Iguaná y Santa Elena. Las

cuencas La Jabalcona, Doña María (Sector perteneciente a Itagüí), Piedras Blancas y Alta-vista, presentan un índice de escasez Medio Alto, dado que se encuentra ubicadas en zonas con densidades de población altas. Adicionalmente, las quebradas La García, La Ayurá, El Salado, Ovejas, La Hueso, La Picacha, La Presidenta y La Doctora presentan una situación de presión importante sobre el recurso, ya que el índice de escasez en estas cuencas es valorado como Medio.

En las zonas sur y norte de la Cuenca, los índices de escasez presentan principalmente valores Mínimos y No Significativos, lo cual refleja la poca densidad poblacional rural en estas áreas.