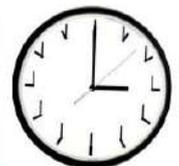


APROXIMACIÓN A LA HUELLA HÍDRICA DIRECTA EN EL TERRITORIO DE MEDELLÍN Y SU ÁREA METROPOLITANA A 2009. Perspectivas hacia un desarrollo urbano más sostenible en la cuenca del río Aburrá



TESINA DE MASTER

Arq. JOSE DANIEL CARDENAS SALAS

MASTER ARQUITECTURA, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE 2009-2010

TUTOR

Dr. JORDI MORATÓ

Director Càtedra UNESCO de Sostenibilitat UPC

Departamento de construccions arquitectòniques

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNA

Barcelona, Septiembre de 2010

Resumen

La presencia de **agua** en el **planeta** depende del **ciclo hidrológico**, mientras este permanezca **estable** se podría decir que es un **recurso renovable**, sin embargo esto no supone su **permanencia** en el **tiempo**, ya que el recurso está sufriendo una **presión** constante, ejercida por el aumento de la **población** y sus **actividades** relacionadas, comprometiendo su **calidad y cantidad**; el agua es un **recurso Finito**.

Pero no es solo el **agua** como elemento en sí mismo el que adquiere importancia, ya que para que este se dé, fluya y/o permanezca, necesita una base; un **territorio**, donde agua y **tierra** se unen conformando un todo integrado; un **paisaje del agua**, sobre el que **nos instalamos**, del cual **nos surtimos**, y sobre el cual **ejercemos** una **presión**, alterando sus **características naturales** de acuerdo con los **intereses y problemáticas socioculturales** dadas en una **región**. El recurso hídrico y en general el Paisaje del agua, como **patrimonio natural** de la humanidad, deben ser considerados como elementos fundamentales dentro del **desarrollo urbano** de nuestras **ciudades**, con estos hay que adquirir un **compromiso** profundo para garantizar su **preservación, recuperación y aprovechamiento sostenible** en torno al complejo escenario que nos presenta el **cambio climático**.

Para poder trabajar sobre un **territorio**, primero hay que **comprender** sus **dinámicas**. Es así como partiendo del concepto de **huella hídrica** en su **componente directo**, se pretende hacer una aproximación al **estado** del **recurso hídrico** dentro del territorio donde se asienta la ciudad de **Medellín** y su **área metropolitana**, Considerando que esta urbe tiene como preexistencia un **territorio hídricamente "rico"**, configurado por la **cuenca del río Aburrá**.

Preguntas como: de donde proviene y a dónde va el agua consumida en la cuenca del río Aburrá?, Cuanto es el recurso consumido por sus habitantes?, Cuanto es la cantidad del recurso contaminado y tratado?Cuál es la disponibilidad del recurso hídrico en el territorio? son importantes para aproximarse al estado actual de la cuenca.

Abstract

Water on the planet depends on the hydrological cycle, meanwhile it remains stable could say that it is a removable resource, however it doesn't spouse its permanence in time, because the resource is suffering a constant pressure, done by the population increase and its related activities, compromising its quality and quantity; water is a finite resource.

But not only water as an element itself acquires importance, because in order to take place, flow and/or stay on, it needs a base; a territory, where water and landscape join, forming an integrated whole; a water landscape, on which we set on, which supplies us, and on which we put a pressure, altering its natural features according to the interest and the current socioeconomically troubles. Actually, the hydric resource and in general the water's landscape must be considered as fundamental elements within the urban development of our cities, with which have to acquire a deep compromise to guarantee its preservation, recuperation and sustainable use around the complex scenario that present us the climate change.

To work over a territory, first it must understand its dynamics. Hence, starting from the concept of water footprint in its direct component, this work aims to make an approximation to the state of the hydric resource in the territory where the city of Medellin and its metropolitan area are settled, considering that this has as preexistence a territory with an important water resource, set by the Aburrá river basin.

Questions as: where it comes and goes the water consumed in the Aburrá river basin? How much is the resource consumed by its inhabitants? how much is the resource contaminated and treated? what is the availability of the hydric resource in the territory? are important for approaching to the current state of the basin.



Figura 1. Intervenido, fuente: Google

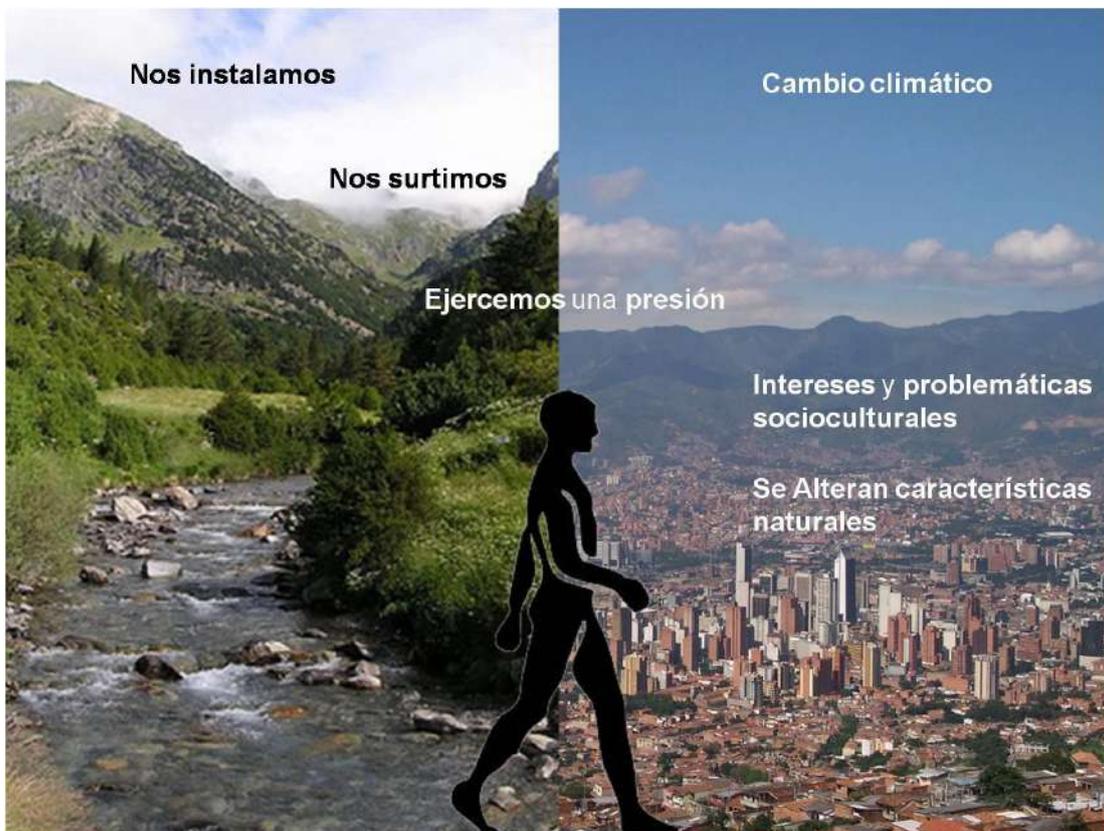


Figura 2. Elaboración propia

.CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVOS.	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.	2
1.3. METODOLOGÍA	2
2. EL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA Y SU ACOTACIÓN.	3
2.1. La huella hídrica	3
2.1.1. Huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada	4
2.2. Acotación y complementación	5
3. LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ.....	7
3.1. Localización y configuración de la cuenca del rio Aburrá.....	7
3.1.1. Hidrología.....	13
3.1.1.1. Precipitación media anual	13
3.1.1.2. Temperatura media	13
3.1.1.3. Caudales máximos y mínimos.....	13
3.2. Medellín y el área metropolitana	15
3.2.1. Reseña histórica.....	16
3.3. Crecimiento urbano y sus principales problemáticas.....	20
3.3.1. Modificación del río y la quebrada Santa Elena	21
3.3.2. Estado Hidráulico	26
3.3.2.1. Áreas y eventos de inundación.....	26
3.3.3. Crecimiento y población en la cuenca del rio Aburrá.....	28
3.3.3.1. Población actual.....	34

4. GESTIÓN GENERAL Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ	37
4.1. Antecedentes	37
4.2. Demanda y Fuentes del recurso hídrico en la actualidad	39
4.2.1. Consumo base a partir del sistema EEPPM	39
4.2.2. Los acueductos comunitarios y/o veredales.	43
4.2.3. Consumo de agua subterránea	43
4.2.4. Demanda total directa	45
4.2.5. Fuentes de extracción	45
4.2.5.1. Las fuentes externas superficiales	46
4.2.5.2. Las fuentes mixtas superficiales	47
4.2.5.3. Las fuentes internas superficiales	47
4.2.5.4. Agua subterránea	50
4.2.5.4.1. Explotación del agua subterránea	51
4.3. Proyecciones a futuro	54
4.4. Calidad del recurso hídrico.....	56
4.4.1. Gestión del agua residual	56
4.4.1.1. Agua residual no tratada	59
4.4.1.2. Agua residual tratada	60
4.4.2. Variables e indicadores de calidad del agua.....	64
4.4.2.1. Contaminación en las sub cuencas	64
4.4.2.2. Contaminación en el río Aburrá.....	67
4.4.2.3. Contaminación en aguas subterráneas	68

4.5. Oferta y disponibilidad hídrica	70
4.5.1. Precipitación.....	70
4.5.2. Escorrentía superficial.....	71
4.5.3. Oferta hídrica de Agua subterránea	71
4.5.4. Oferta hídrica superficial y total neta	72
4.6. Índice de escasez	76
4.6.1. Estudio del POMCA 2007	77
4.6.2. Aproximación global propia.....	79
4.7. Síntesis	80
5. CONCLUSIONES	82
6. PERSPECTIVAS HACIA UN DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE EN LA CUENCA DEL RIO ABURRÁ (intereses futuros de la investigación)	83
BIBLIOGRAFIA	85

ANEXOS.

ABREVIATURAS y/o fuentes de información principales.

POMCA – Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Aburrá, 2007.

Instrumento del estado para orientar el desarrollo sostenible del área definida por la cuenca del río Aburrá. Presenta información general de los diferentes recursos naturales y componentes socioculturales y económicos dentro de esta.

EEPPM – Empresas Públicas de Medellín.

Empresa municipal descentralizada encargada de la prestación de los servicios públicos en toda el área metropolitana y gran parte del departamento de Antioquia.

IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Entidad encargada del seguimiento, información, pronósticos y alertas sobre condiciones ambientales e hidrometeorológicas a nivel nacional.

DANE – Departamento Nacional de Estadística.

Maneja los datos de población a nivel nacional, mediante los censos y estadísticas generales.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

Entidad planificadora y autoridad ambiental, que agrupa a los municipios asentados en el valle de aburrá.

CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN

Entidad veedora y de control fiscal que anualmente presenta un informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente en el municipio de Medellín.

MI RIO

Institución que se encargó hasta el año 2003 del control monitoreo y estrategias de recuperación del río Aburrá.

1. INTRODUCCIÓN

Las **ciudades** como resultado físico de las transformaciones culturales generadas por los avances tecnológicos e industriales de la humanidad, se han convertido en **bombas de tiempo** en cuanto a su **relación ecológica con los entornos naturales donde se asientan** y que las rodean, dejando grandes huellas ecológicas, que de no ser implementadas medidas de desarrollo sostenible terminarían por absorber por completo nuestros entornos y recursos naturales, viéndose no solo afectados estos entornos (patrimonio natural), sino por ende las comunidades que conformamos los asentamientos urbanos contemporáneos.

Del **100%** del **recurso hídrico** que se tiene en el **planeta**, un **97.5%** corresponde a los océanos; es decir **agua salada**, mientras solo un **2.5%** corresponde con **agua dulce**; vital para el ser humano y su desarrollo social, de esta un **68.7%** corresponde con agua **congelada** presente en los glaciares, un **30.1%** a aguas **subterráneas**; en su mayoría de difícil acceso, un **0.8%** al **permafrost** (agua congelada en la corteza terrestre) y solo un **0.4%** corresponde con **agua dulce superficial**. De allí la importancia en la valoración y preservación de este recurso.

El **recurso hídrico**, y más allá el **paisaje del agua** como tal, se convierten en un **patrimonio** de gran importancia, que debe ser preservado, recuperado y aprovechado correctamente para beneficio de todos. Este recurso y paisaje deben ser asumidos como componentes fundamentales dentro del desarrollo urbano de la ciudad; como elementos estructurantes y articuladores de territorio.

El caso **Medellín y su área metropolitana** se presentan como un escenario bastante interesante y a su vez complejo por su misma conformación dentro de un **territorio** hidrográficamente contundente pero altamente **transformado** por **procesos socioculturales bastante complejos**. Un escenario donde el **recurso del agua** y su **paisaje** requieren una **atención especial** para garantizar su preservación y el **desarrollo sostenible** de esta urbe.

Entender el **paisaje del agua** como un **sistema integrado** es fundamental para poder **intervenir sosteniblemente** sobre el **territorio**. Por lo tanto, es importante tener una visión general del estado que presenta el recurso hídrico en el territorio, comprender sus dinámicas y la gestión que se le da a este.

El concepto de **huella hídrica** ha comenzado a tomar fuerza en los últimos años debido a la toma de conciencia que empieza a darse a nivel global en el **aprovechamiento y protección del recurso hídrico**, este concepto unido con el ya conocido concepto de huella ecológica son un punto de partida interesante para aproximarse y comprender la **gestión del agua** en un **territorio**.

Debido a la limitación del tiempo y a las posibilidades que se tienen respecto a la información, este trabajo se limita al análisis del **componente directo** en relación con los principales sectores (residencial, comercial e industrial) y de algunos alternos de menor impacto, sin desconocer obviamente la importancia que tienen los factores indirectos enfocados hacia los procesos productivos dentro de lo que es el amplio concepto de huella hídrica y su componente de agua virtual. A su vez no considera valores del sector agroindustrial ni de riego debido a la carencia de la información específica. Para esta aproximación se toma como base el año 2009.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Comprender las dinámicas de gestión y conocer el estado del recurso hídrico en relación con el sistema hidrográfico del territorio donde se asienta la ciudad de Medellín y su área Metropolitana.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comprender conceptos básicos relacionados con el manejo y aprovechamiento del recurso hídrico.
- Aproximarse a la huella hídrica directa en el territorio donde se asienta Medellín y su área metropolitana.
- Aproximarse a las problemáticas existentes entre el desarrollo urbano y el recurso hídrico presente en la cuenca del río Aburrá.
- Analizar y cuantificar datos generales de la demanda, la calidad y la oferta del recurso hídrico en la cuenca del río Aburrá, para conocer su estado a 2009.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo es importante para adquirir conocimientos generales, que me permitan tener una visión más clara para el análisis y aproximación a los proyectos urbanos en relación con los sistemas hidrográficos de la ciudad. Esperando enfocarme a futuro en la búsqueda de unos criterios de intervención urbana que sean coherentes con un desarrollo sostenible en las áreas y ejes relacionados con el paisaje del agua dentro del territorio de la ciudad.

Para esto es fundamental tener primero como base una visión general de la gestión y estado del recurso hídrico en el territorio.

2. EL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA Y SU ACOTACIÓN

En este capítulo se hace una aproximación al concepto de huella hídrica presentado por **the wáter footprint network**. Determinando las variables a tener en cuenta dentro de este análisis, su acotación y enfoque.

2.1. La huella hídrica

El concepto de huella hídrica fue acuñado en el año 2002 por **Arjen Y. Honestar**, como un indicador del uso del agua dulce, que contempla el uso directo; referido al recurso tangible, y el uso indirecto; referido al concepto de “agua virtual”; que define el volumen de agua necesaria para elaborar un producto o para facilitar un servicio. Todo esto a partir de los procesos productivos y de consumo que se dan en un ámbito determinado.

A su vez se plantea como un indicador multidimensional que muestra los volúmenes de consumo por el recurso y volúmenes contaminados, y por el tipo de contaminación. Todos los componentes de la huella hídrica total son especificados geográfica y temporalmente. Dentro del concepto de huella hídrica se tienen en cuenta a su vez los diferentes usos de agua, clasificados en: azul, verde y gris.

La huella hídrica azul: referida al consumo del recurso de agua azul (superficial y subterránea) a lo largo de la cadena de suministro de un producto.

La huella hídrica verde: referida al consumo del recurso de agua verde (agua de lluvias almacenada en el suelo)

La huella hídrica gris: referida al agua contaminada, definida como el volumen de agua limpia que es requerido para asimilar la carga de contaminación basada sobre los estándares de calidad ambiental existentes.

Lo amplio del concepto abarca a su vez diferentes ámbitos como son:

- huella hídrica de un paso productivo.
- huella hídrica de un producto.
- huella hídrica de un consumidor o grupo de consumidores.
- huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada (Provincia, nación, cuenca de río)
- huella hídrica del consumo nacional.
- huella hídrica de un negocio.

Estos ámbitos son el resultado de la agregación del volumen de cada uno de los diferentes usos y procesos de consumo dados en un tiempo o unidad determinados.

2.1.1. Huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada (Provincia, nación, cuenca de río)

Definición:

Está definida como el volumen total de agua dulce consumida y contaminada dado dentro de un área delimitada. El área puede ser un área de captación, una cuenca de río, una provincia, estado o nación, o alguna otra unidad hidrológica o administrativa espacial.

Calculo:

La huella hídrica o wáter footprint (WF) dentro de un área geográficamente delimitada (WF_{area}) es calculada como la suma del proceso de la huella hídrica de todos procesos de agua usados en el área determinada.

$$WF_{area} = \sum_q WF_{proc} [q]$$

Donde $WF_{proc} [q]$ se refiere a la huella hídrica de un proceso (q) dentro del área geográficamente delimitada. La ecuación suma sobre todo el consumo de agua o procesos contaminantes que se dan en el área.

La huella hídrica es expresada como volumen de agua por unidad de tiempo (m3/mes o año).

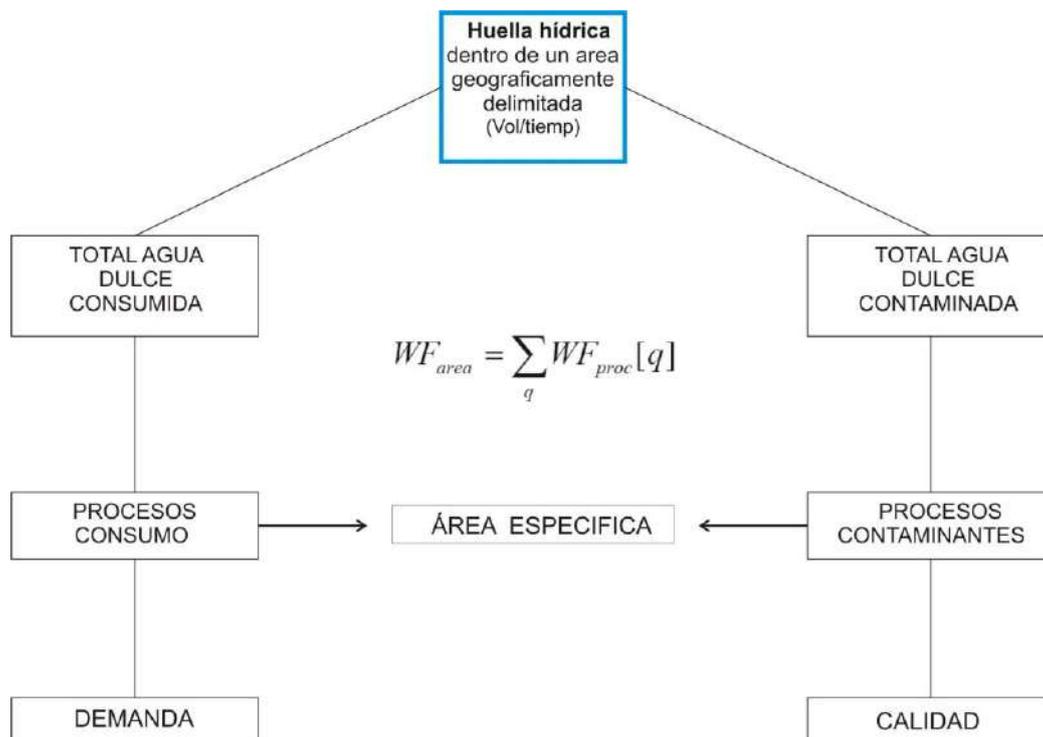


Figura 3. Síntesis huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada. Elaboración Propia

2.2. Acotación y complementación

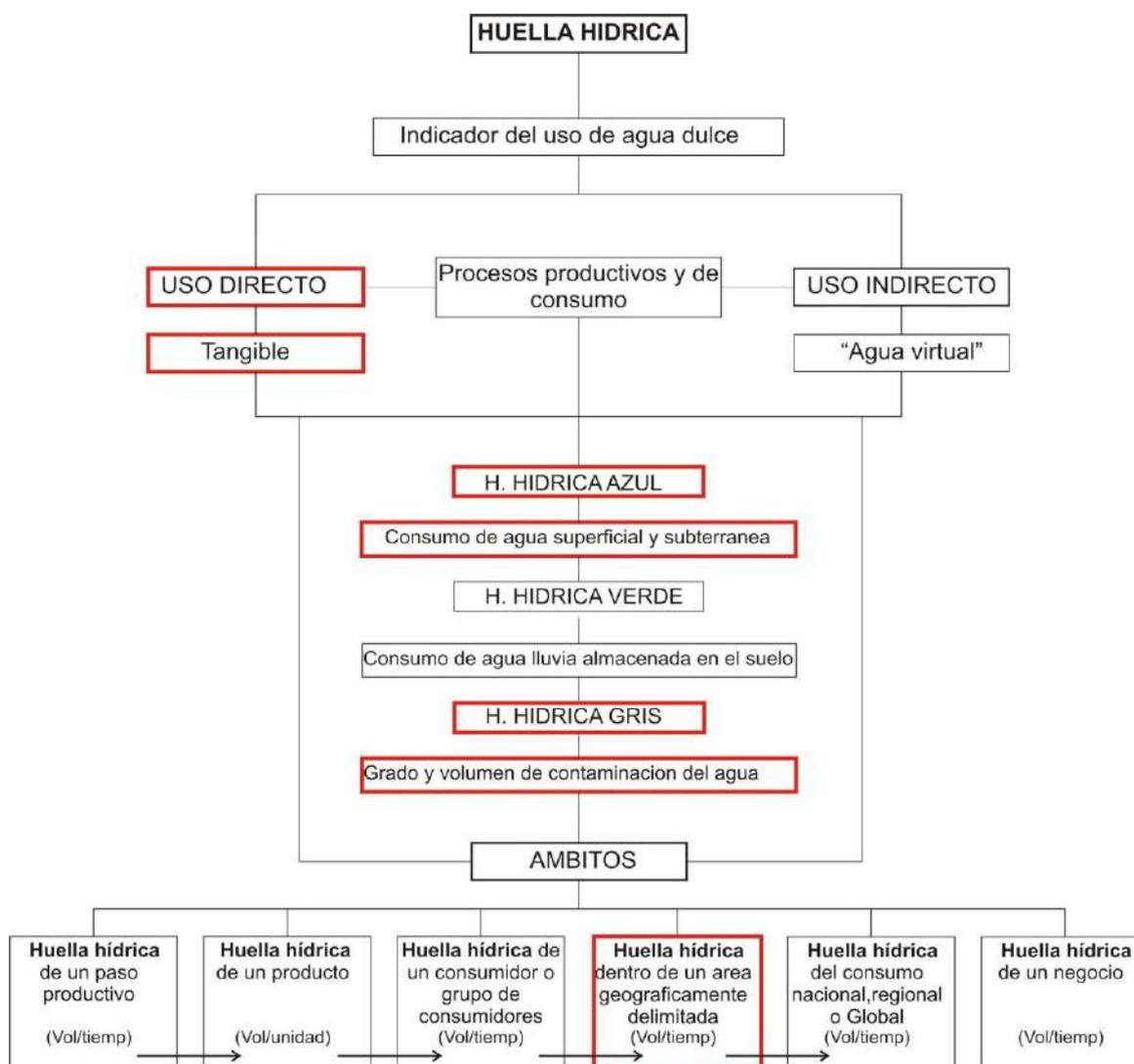


Figura 4. Síntesis concepto de huella hídrica y su acotación. Elaboración propia.

Partiendo del concepto de huella hídrica presentado por **Arjen Y. Honestar**, este trabajo se enfoca en el componente directo, en relación con la huella hídrica azul y la huella hídrica gris, y dentro del ámbito de huella hídrica de un área geográficamente delimitada.

Sin embargo al haber un interés por el tema territorial respecto al paisaje del agua, se decide complementar el concepto de huella hídrica con el componente de la oferta; referido a la cantidad del agua existente dentro del territorio y a la gestión que se le da a esta, en relación con la demanda y la calidad, Enfocando el concepto de **Huella hídrica** hacia el **estado general del recurso hídrico y del sistema hidrográfico dentro del territorio**.

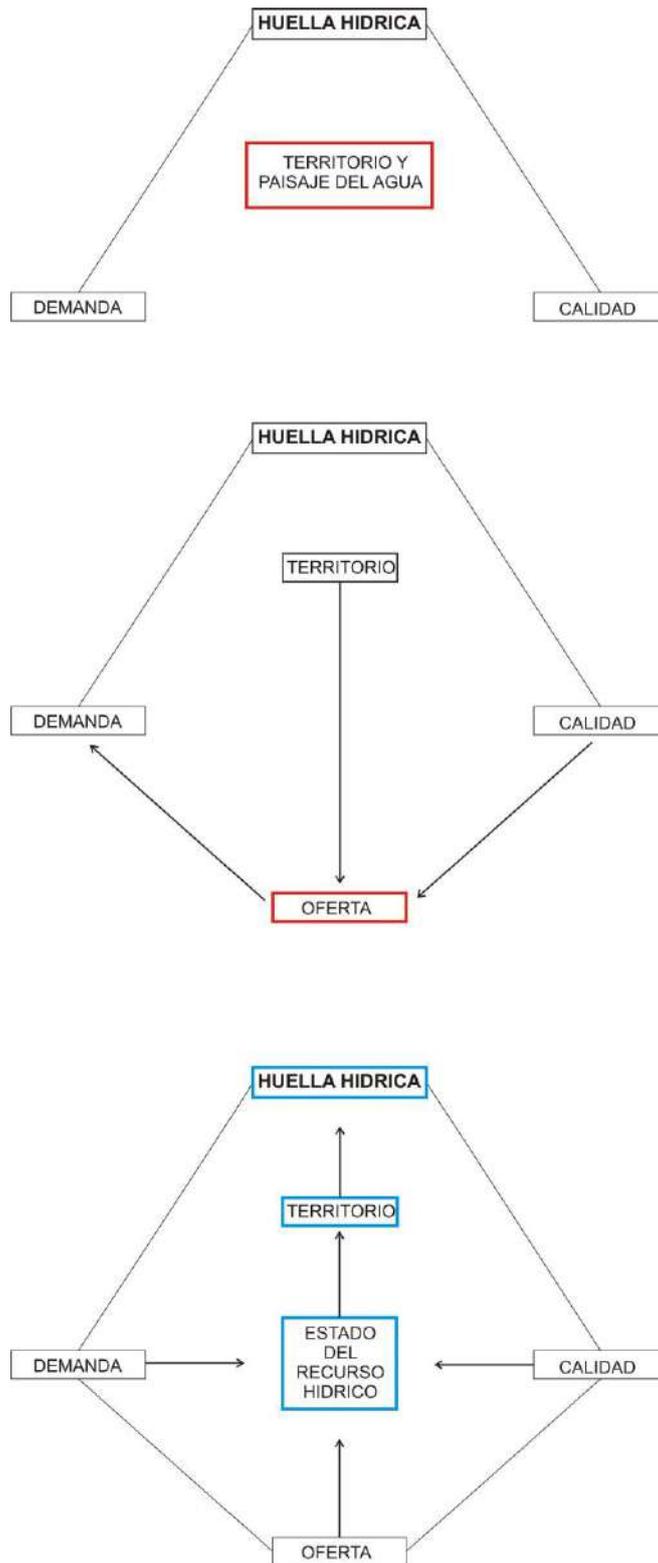


Figura 5. Esquemas de aproximación a la huella hídrica. Elaboración propia.

Se entiende entonces la ciudad metropolitana como un producto que sigue consumiendo y contaminando un porcentaje del recurso hídrico producido por el territorio en sí mismo, para su funcionamiento y crecimiento. A partir de esto se decide trabajar sobre un área concreta configurada por la cuenca del río Aburrá.

3. LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ

En este capítulo se hará una aproximación al territorio que conforma la cuenca del río Aburrá, y a los procesos poblacionales que se han dado en la ocupación de esta, partiendo de su configuración, organización y transformación a través de los años. A su vez se da una mirada general a las características del paisaje del agua y del recurso hídrico que la conforma actualmente.

Se tienen en cuenta datos históricos de la publicación Medellín 1850-1950, así como del archivo histórico de la ciudad de Medellín, y datos del plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA) 2007.

Que es una cuenca?

El termino cuenca se remite al conjunto de aguas (ríos, quebradas, aguas subterráneas y aguas lluvia) que en relación con un territorio determinado alimentan un río principal.

3.1. Localización y configuración de la cuenca del río Aburrá

La cuenca del río aburra está localizada sobre la cordillera central, en el centro del departamento de Antioquia, en la región occidental de Colombia, haciendo parte de un sistema hidrográfico bastante complejo.

La cuenca tiene una topografía irregular y pendiente, con altitudes que oscilan entre los 1300 y los 2800 m.s.n.m. y está definida por el río aburra, el cual nace en el alto de san miguel en el municipio de caldas, atraviesa 12 municipios; de los 15 que se asientan de forma total o parcial en la cuenca, y finalmente se une al río grande en el sitio Puente Gabino, donde cambia de nombre a río Porce.

El cauce principal (río Aburrá) tiene una longitud aproximada de 100 Km y el área de la cuenca es de 1251 Km².

En la cuenca del río aburra predomina el clima templado, y este presenta un régimen bi modal, con dos épocas lluviosas en el año alrededor de los meses de abril y octubre. Dadas las características geomorfológicas de la zona y su nivel de pluviosidad, en la cuenca del río Aburrá son comunes las fuentes de agua superficial.

Desde su nacimiento en el alto de San Miguel a unos 2.700 metros msn, hasta que cambia de nombre, recibe las aguas de cerca de 200 afluentes directos y por intermedio de ellos de más de 352 quebradas. De esta manera se configura la Cuenca del Río Aburrá, también conocido como río Medellín.

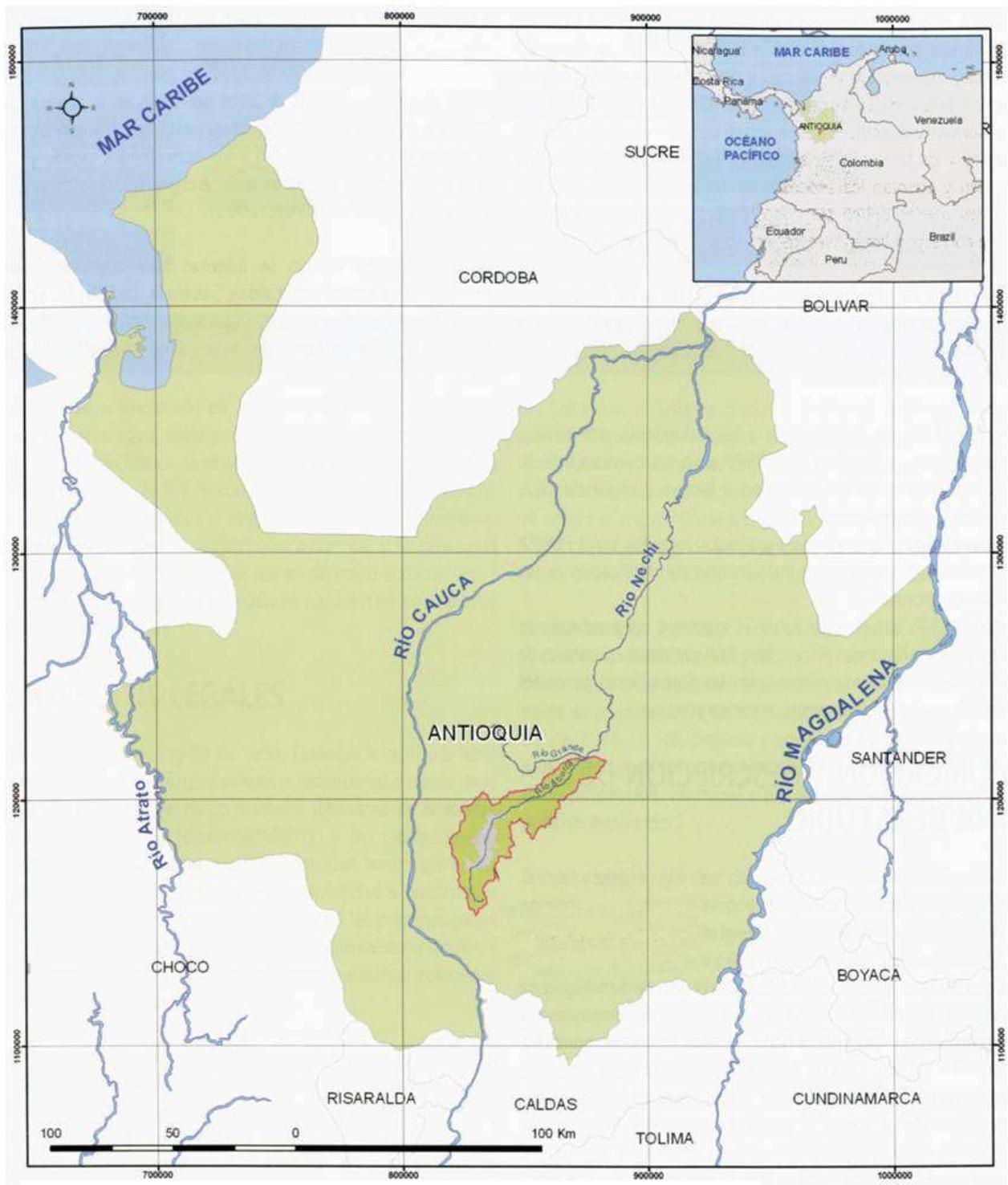


Figura 6. Localización de la región de la cuenca del río Aburrá. Fuente: POMCA 2007

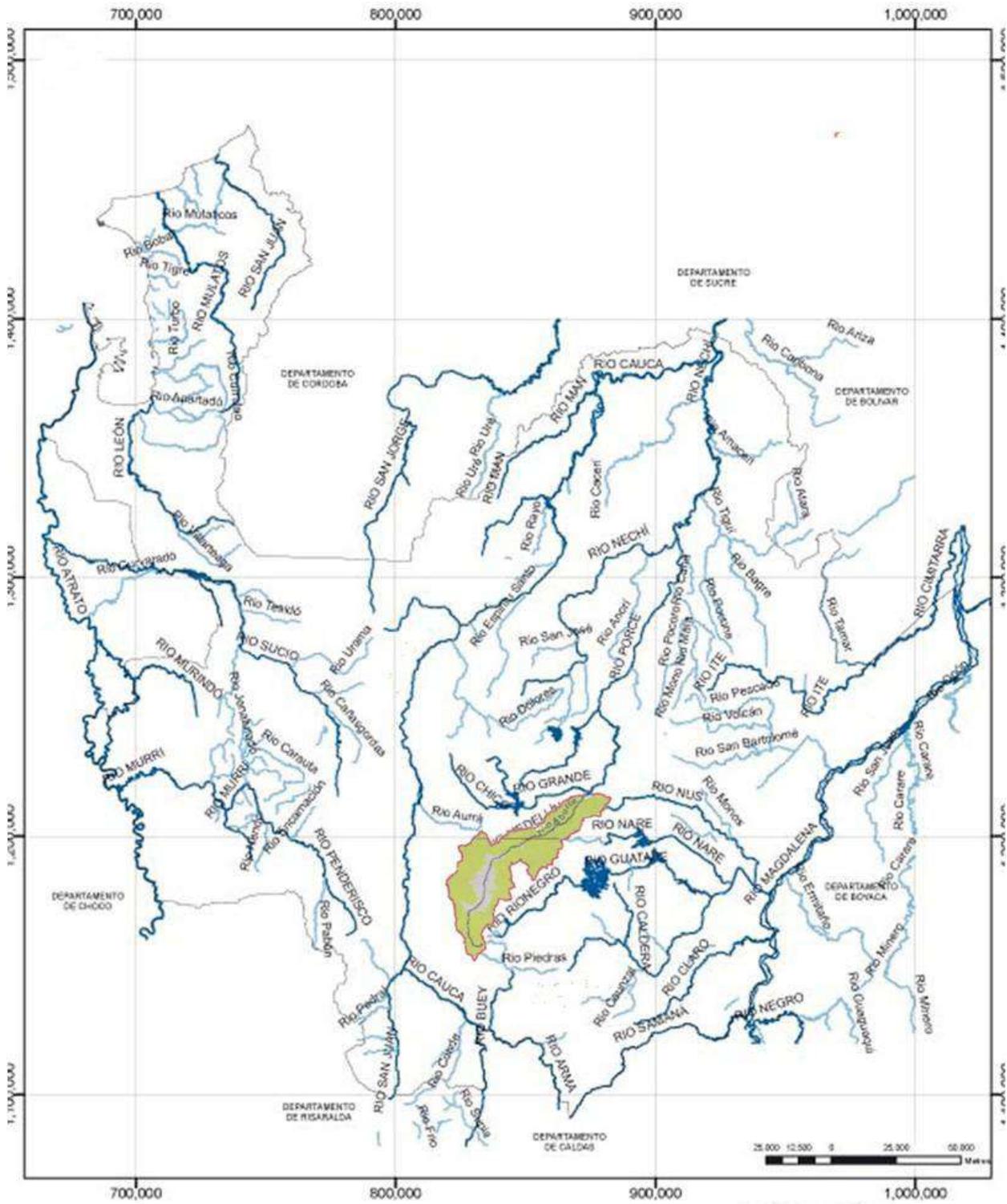


Figura 7. Localización del área a analizar sobre Mapa hidrográfico del departamento de Antioquia. Fuente: Gobernación

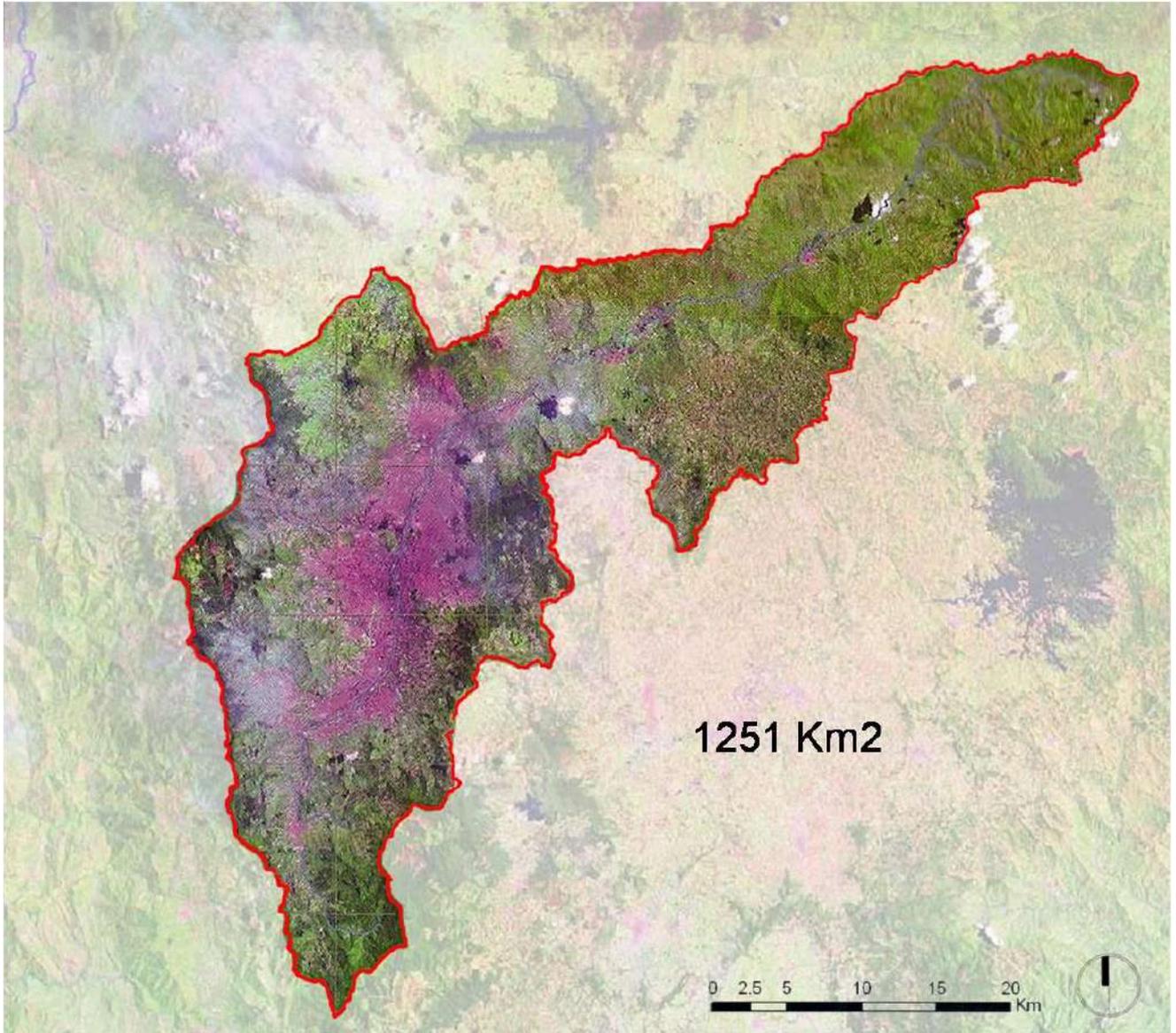


Figura 8. Delimitación área de estudio. Elaboración propia a partir del POMCA 2007.

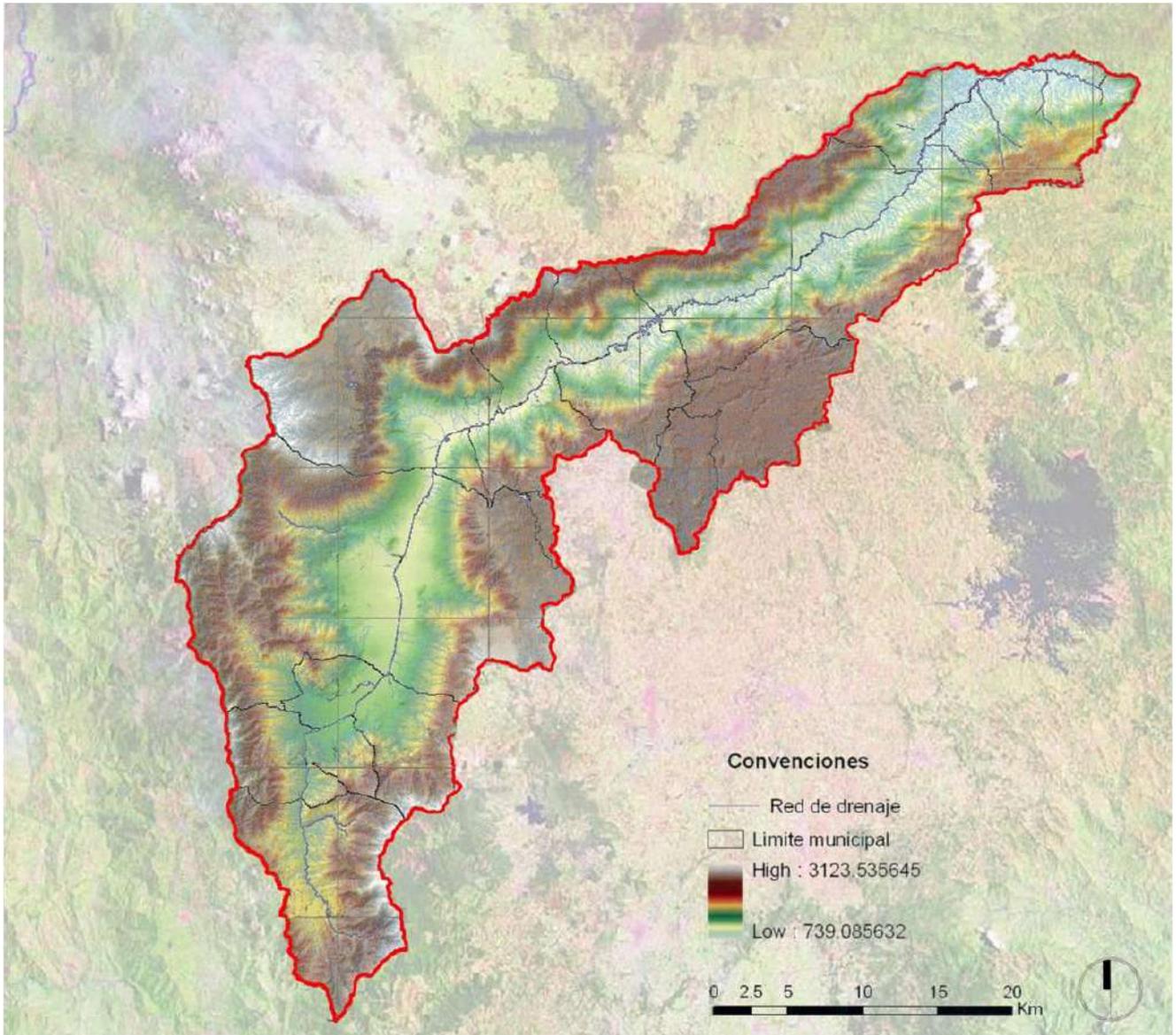


Figura 9. Topografía y Red de drenaje de la cuenca del río Aburrá. Elaboración propia a partir de modelo hecho por el POMCA 2007.

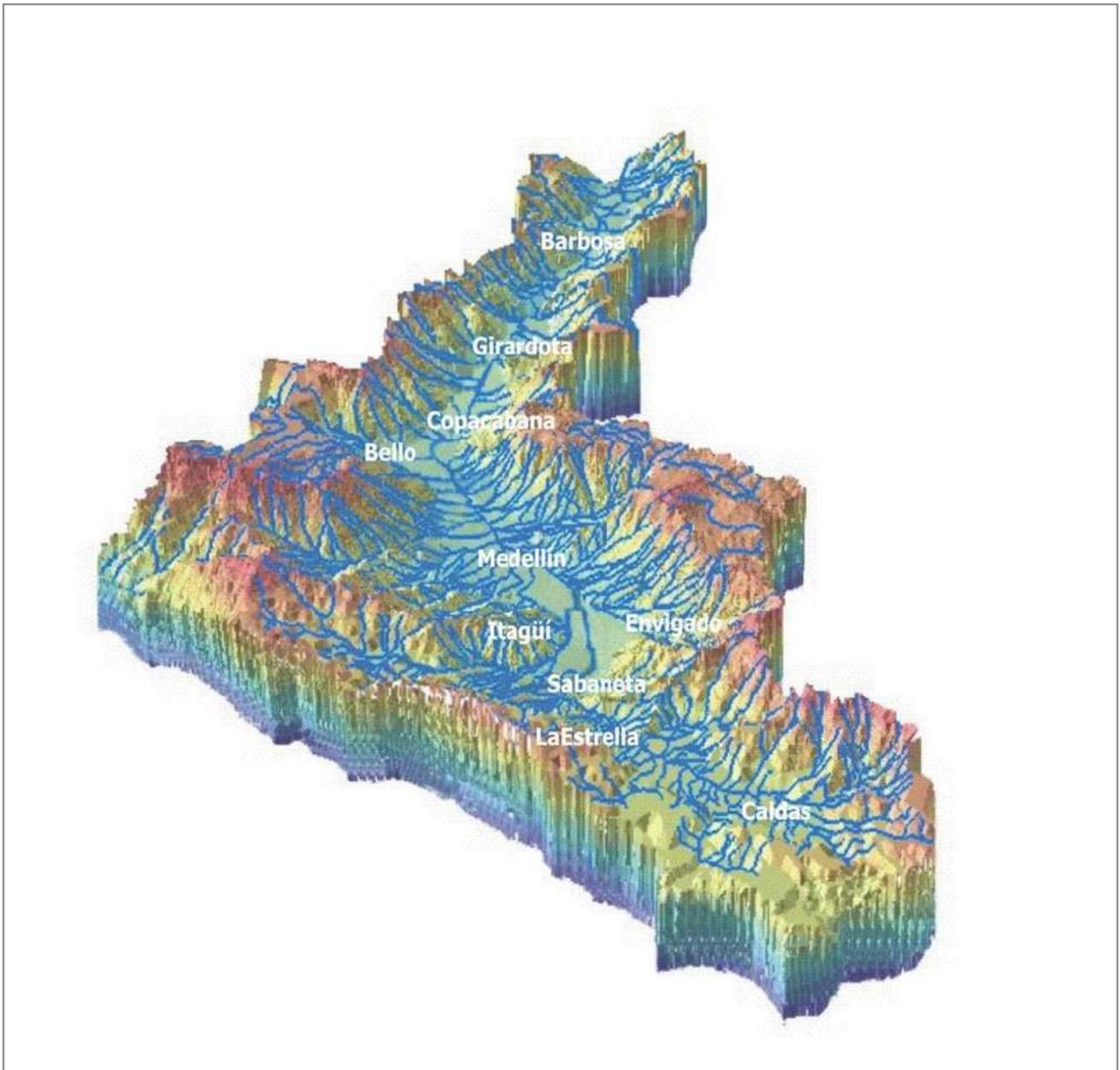


Figura 10. Topografía y Red de drenaje de la cuenca del río Aburrá. Fuente: Área Metropolitana del valle de Aburrá.2009

3.1.1. Hidrología

A partir de estudios realizados como el de la Red Rio fase I y red Rio Fase 2, y los datos de estaciones hidroclimatológicas ubicadas en la cuenca, tenidos en cuenta dentro del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA) 2007, se presentan los siguientes datos.

3.1.1.1. Precipitación media anual

Según estos estudios los **mayores** valores del campo de precipitación están entre **2800 y 3200 mm/año**, y se presentan en la parte **norte de la cuenca**. Las **menores** precipitaciones, con valores entre los **1400 y 1800 mm/año**, se dan en la **zona central de la cuenca** y se extienden hacia la zona occidental (municipios de Copacabana y Girardota, san Pedro y Sopetran). Se concluye que en la cuenca del río Aburrá la mayor precipitación se da en la zona norte, al sur donde nace el río y al suroccidente del valle.

3.1.1.2. Temperatura media

La temperatura promedio a lo largo del corredor fluvial se encuentra entre los **20°C y 24°C**, presentándose una disminución en las cercanías al nacimiento de la cuenca y en lo alto de las laderas donde se observan valores alrededor de los **17°C**.

3.1.1.3. Caudales máximos y mínimos

De acuerdo con los datos dados en el POMCA 2007 se presentan los caudales máximos y mínimos para diferentes tiempos de retorno en tres puntos a lo largo del río: al sur cerca a su nacimiento, en el centro de la cuenca, y al norte antes de unirse al río grande.

ZONA SUR - CALDAS		
Tr	Q.max	Q.min
2.33	15.58	0.52
5	23.17	0.44
10	29.35	0.39
25	37.17	0.35
50	42.96	0.33
100	48.71	0.31
Tr= tiempo de retorno (años)		
Q= Caudal (m3/seg)		

ZONA CENTRAL - BELLO		
Tr	Q.max	Q.min
2.33	216.64	7.67
5	267.9	6.5
10	309.65	5.85
25	362.41	5.24
50	401.54	4.88
100	440.39	4.59
Tr= tiempo de retorno (años)		
Q= Caudal (m3/seg)		

ZONA NORTE - P.GABINO		
Tr	Q.max	Q.min
2.33	479.85	17.32
5	571.13	14.67
10	645.48	13.2
25	739.42	11.83
50	809.11	11.03
100	878.28	10.36
Tr= tiempo de retorno (años)		
Q= Caudal (m3/seg)		

La información de los caudales se da a partir de 10 puntos de control en el corredor del río, donde hay estaciones de caudal (ver anexo).

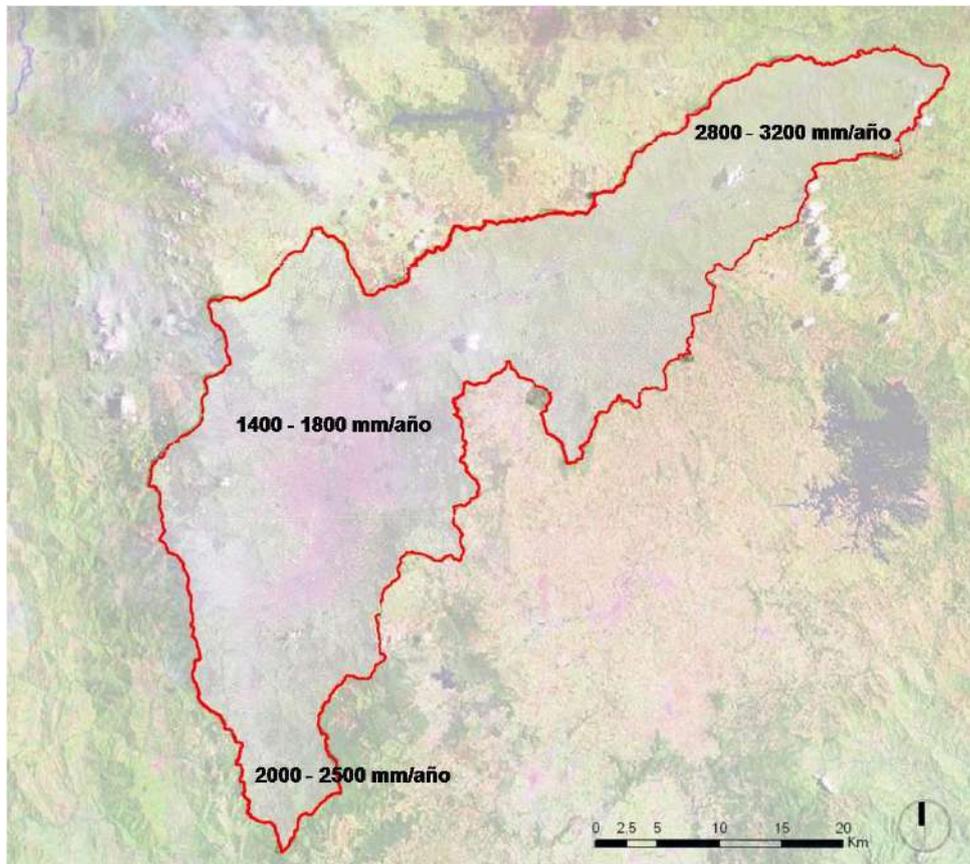


Figura 11. Precipitaciones medias en la cuenca del rio Aburrá. Elaboración propia

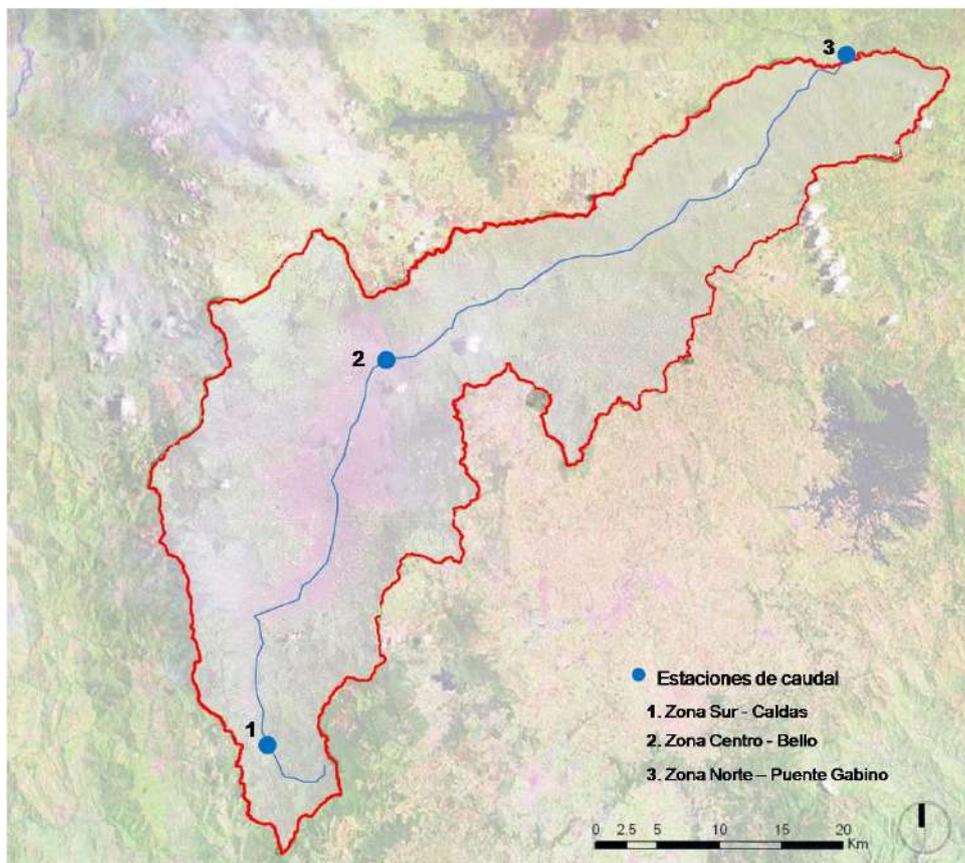


Figura 12. Ubicación de estaciones de caudal zona Sur, Centro y Norte, en el eje del rio Aburrá. Elaboración propia

3.2. Medellín y el área metropolitana

Medellín y su área metropolitana conforman en la actualidad el segundo asentamiento urbano más grande dentro del territorio colombiano. Compuesto por 10 municipios asentados dentro de la cuenca del río Aburrá.

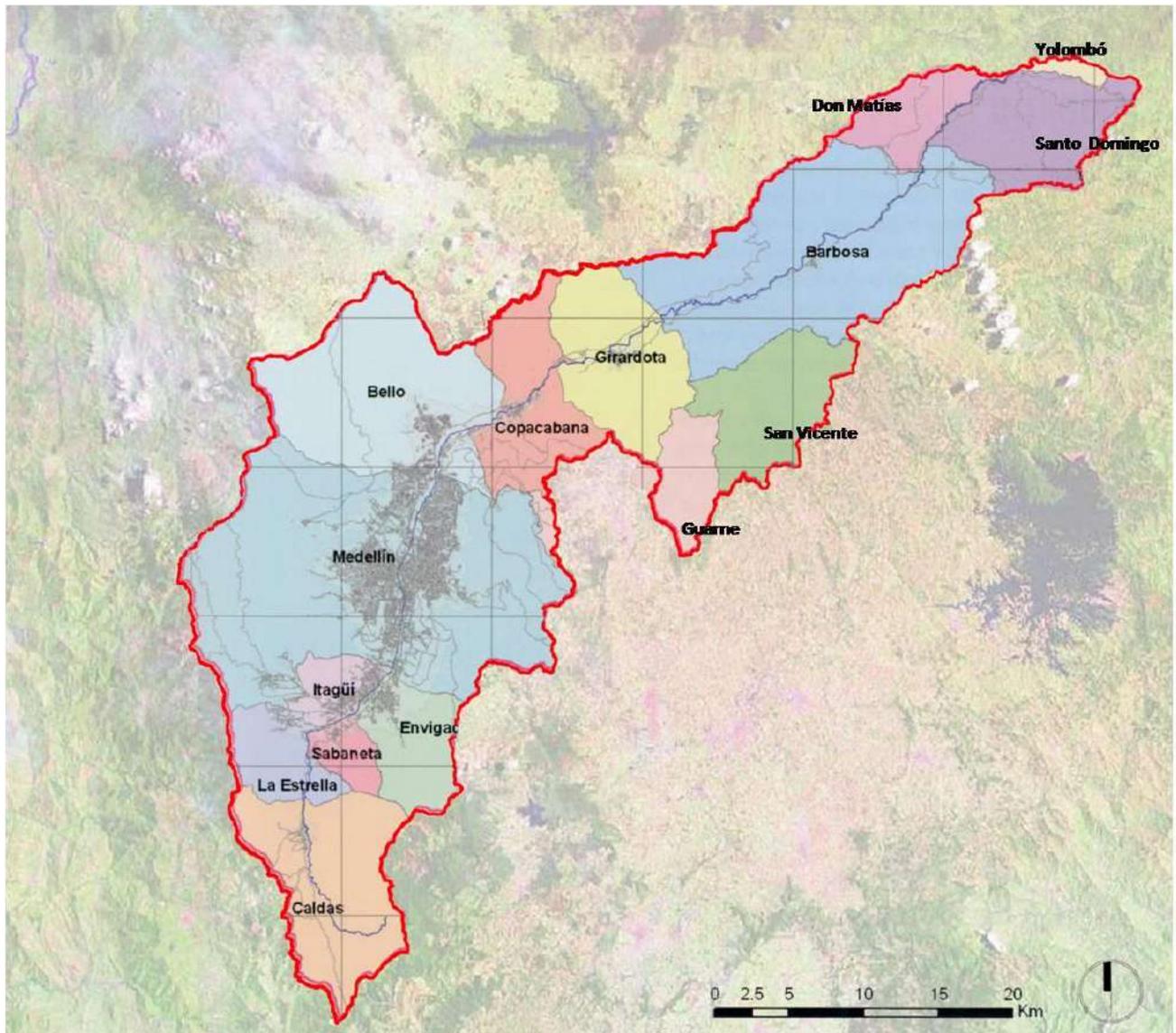


Figura 13. Municipios presentes en la cuenca del río Aburrá. Elaboración propia, a partir de mapa del POMCA 2007.

3.2.1. Reseña histórica

“El valle de Aburrá , que había permanecido al margen de las primeras fundaciones españolas en la provincia de Antioquia, atrajo la atención del gobernador de esta, don Gaspar de Rodas, a mediados del siglo XVI, cuando aquel: solicitó al concejo de la villa de santa fe de Antioquia una concesión de tres leguas (equivalente a trescientas cuerdas o fanegadas) cuadradas de tierra en el valle , al norte del antiguo pueblo de los aburraes, cuatro años después 1551, cuando la facción de Pedroso visito el valle , este se hallaba aun ocupado solamente por indios”.¹

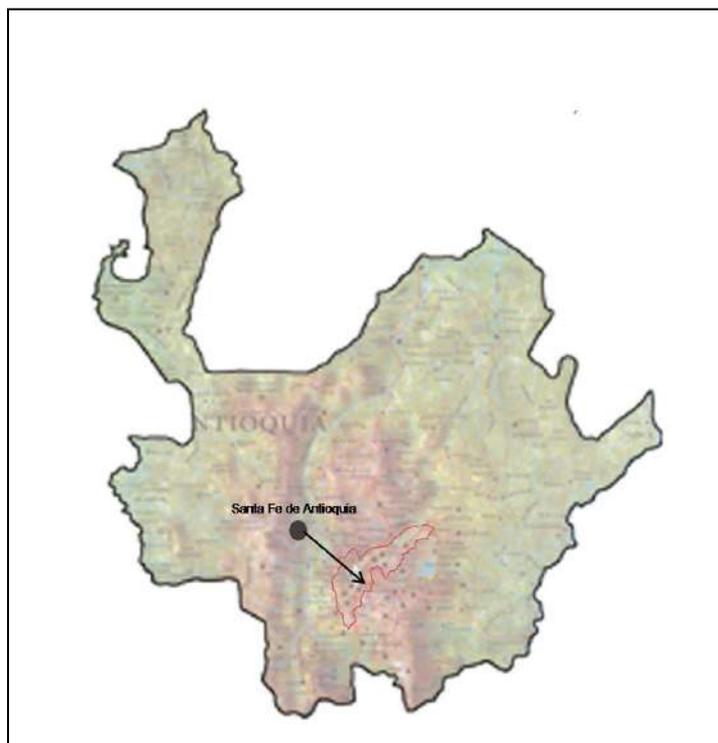


Figura 14. Desplazamiento a la cuenca del río Aburrá 1551. Elaboración

A partir de esto otros ricos propietarios y comerciantes de santa fe de Antioquia; la entonces capital de la provincia de Antioquia, siguieron el ejemplo, conformando haciendas de ganado para proveer de carne a las poblaciones mineras que comenzaban a trasladarse hacia el norte y el oriente de la provincia.

“El tamaño del valle de aburra y sus condiciones resultaban excepcionales en una región tan montañosa como Antioquia, y muy favorables para permitir un gran asentamiento de población (Fabio botero, lo que cuentan). En efecto la excelente provisión de agua , el clima y la altura permitían dos cosechas de maíz y de frijol al año, una mayor variedad de productos alimenticios y un buen aprovechamiento del pasto en la explotación agropecuaria que permitía ,adicionalmente, abastecer el norte minero por la ruta del río Porce. Además el clima templado, mas agradable para la vida en relación con el mas frio del oriente cercano y el torrido y malsano de las regiones del cauca, y la provisión al alcance de la mano de madera y materiales para la construcción, tales como piedra y arcilla, fueron creando junto con otras condiciones favorables, una importante concentración demográfica en el valle, a partir de la segunda mitad del siglo XVII”.²

¹ James Parsons, p.23. citado por BOTERO HERRERA, Fernando. **Medellín 1890-1950 Historia urbana y juego de intereses**. 1996. p.5

² BOTERO HERRERA, Fernando. **Medellín 1890-1950 Historia urbana y juego de intereses**. 1996. p.21-22

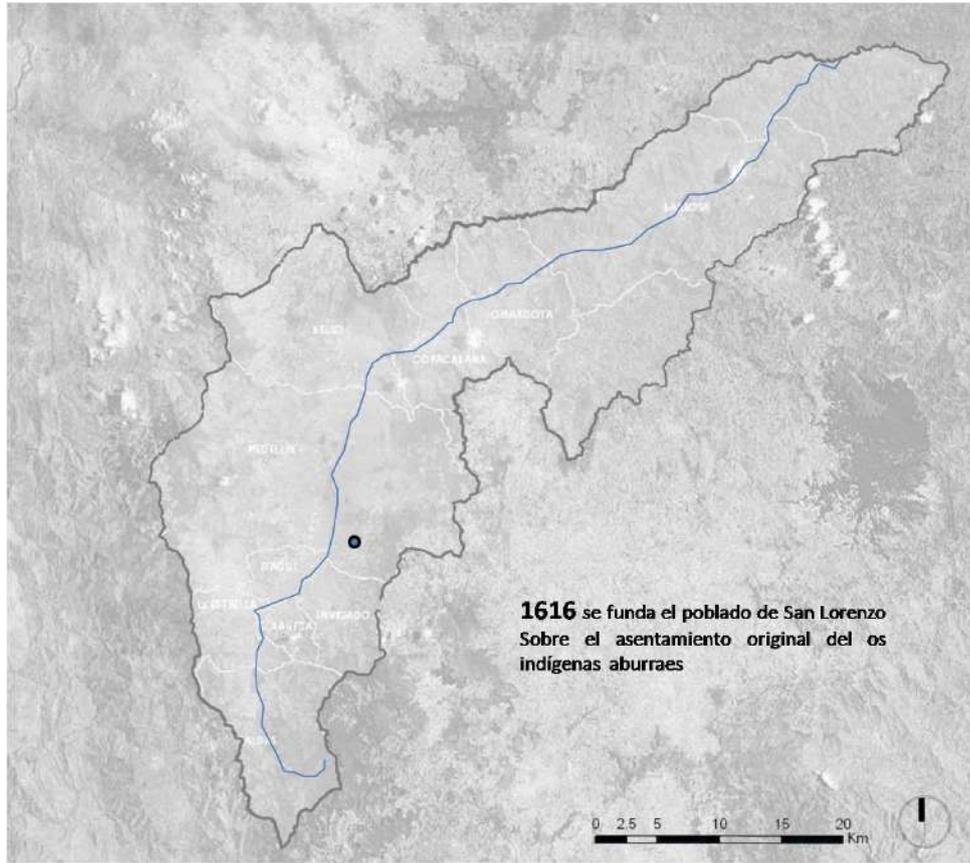
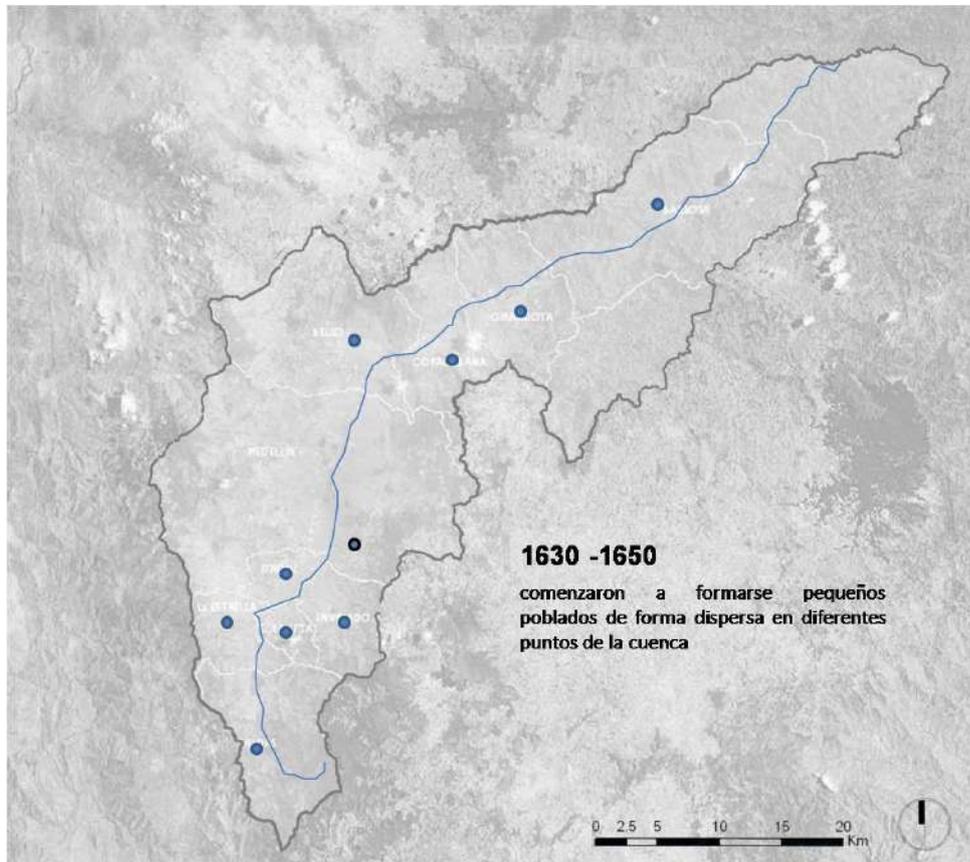


Figura 15 - 16. Ocupación de la cuenca del rio Aburrá 1616, 1630-1650. Elaboración propia.



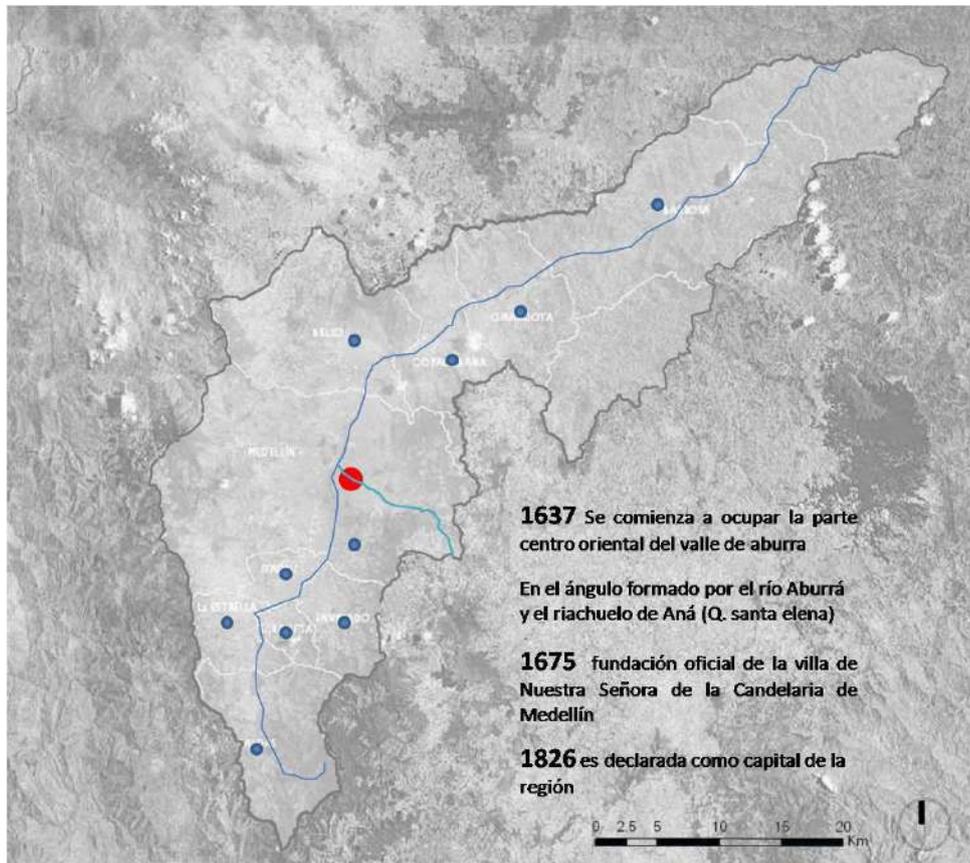


Figura 17. Ocupación de la cuenca del río Aburrá 1637-1826. Elaboración propia.

Desde sus inicios el recurso hídrico y la relación con el paisaje del agua fueron fundamentales en las relaciones socioculturales del territorio, como se evidencia en el folio 38 del archivo histórico de Medellín respecto al tema de acueducto en los años de 1677 (Transcripción textual):

“(F38r)En la villa de Ntra (Nuestra) Señora de la Candelaria de medellin ha tres de Octubre de Mil seiscientos setenta y siete años el Capp (Capitan) don Thoribiode Villa y Posada Theniente general de esta provincia de Antioquia=digo en esta dha (dicha) villa por lo mas inmediato de ella se a echado un edifissio de agua con consulta que el cavildo de dha (dicha) villa y no al señor don miguel de Aguinaga govr (gobernador) y cappn (capitán) gr (general) de esta provincia y por su mandato a costa de muchos pesos que los vecinos de dha (dicha) villa dieron para el dho (dicho) edifissio por lo necesario que es asi para que la dha (dicha) villa se aumente en su población por la parte que dha (dicha) agua corre que es lo mas provechoso que seria para planta de ella y por la falta de dha (dicha) agua no esta poblada y fundada la dha (dicha) parte y para el servicio ordinario de los dos (dichos) vessinos como asi mismo para el reparo de los incendios que se puedan ofresser por ser las casas de paja y lo conveniente las dhas (dichas) razones y muchas mas que ocurren para el abastecimiento d elo necesario que es la dha (dicha) agua en la dha (dicha) villa, ha llegado a mi notissia de que criptobal de Asebedo ha pretendido y pretende embargarla por rason de tener sus harados en el yntermedio donde corre dha (dicha) agua sin embargo de no tenerlos en tierras prossima en lo señalado por planta para dha (dicha) villa mando que ni criptobal de Asebedo ni otra persona alguna no ponga estorbo ni ynpedimento alguno sino que dejen correr libremente por el lugar que el alferez Alonso Lopez de Restrepo regidor de esta villa la tiene echada sin desaguarla por parte ninguna en toda parte pena de sinquenta pesos de oro de a veinte quilates aplicados por tersias partes para la cámara (F38v) de su mag (magestad) sustento del agua y gastos de justicia y que se prossedera contra los inobedientes conforme a la calidad del ssugeto el qual lo notifique juan de álzate theniente de alguacil mayor al dho (dicho) Criptobal de Asebedo y a las demás personas que le paresiere ser conveniente que para ello se le da facultad y comisión bastantes y asi lo proveo y mando ante mi con testigos por falta de escribano puco (publico) y Real= Thoribio de Villa. Juan de Alzate. Bartolome de Haguiar”. (ACUEDUCTO A.H.M., CONCEJO MUNICIPAL, TOMO 22, AÑO 1677, FOLIOS 38R-38V)

3.3. Crecimiento urbano y sus principales problemáticas

Junto con la fundación de la **villa** hacia **1675**, que básicamente ocupaba la parte centro oriental del valle de Aburrá siendo su núcleo o centro principal, se habían comenzado a formar ya otros pequeños poblados de forma dispersa en diferentes puntos de la cuenca.

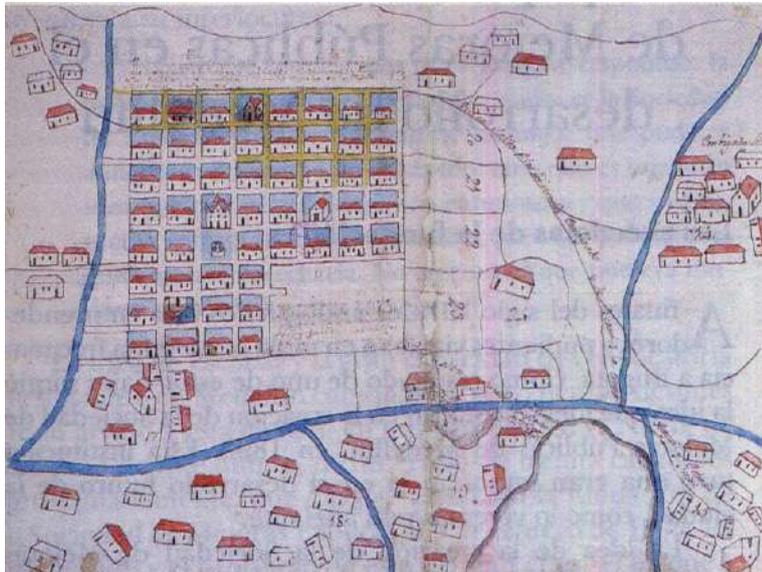


Figura 18. Mapa de la villa de Medellín. José María Giraldo (maestro pintor) 1790 .
Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

Hacia **1826**, después de la independencia española, la importancia de las dinámicas comerciales, las posibilidades del territorio, y el crecimiento poblacional hizo que esta fuera declarada como **capital de la región**.

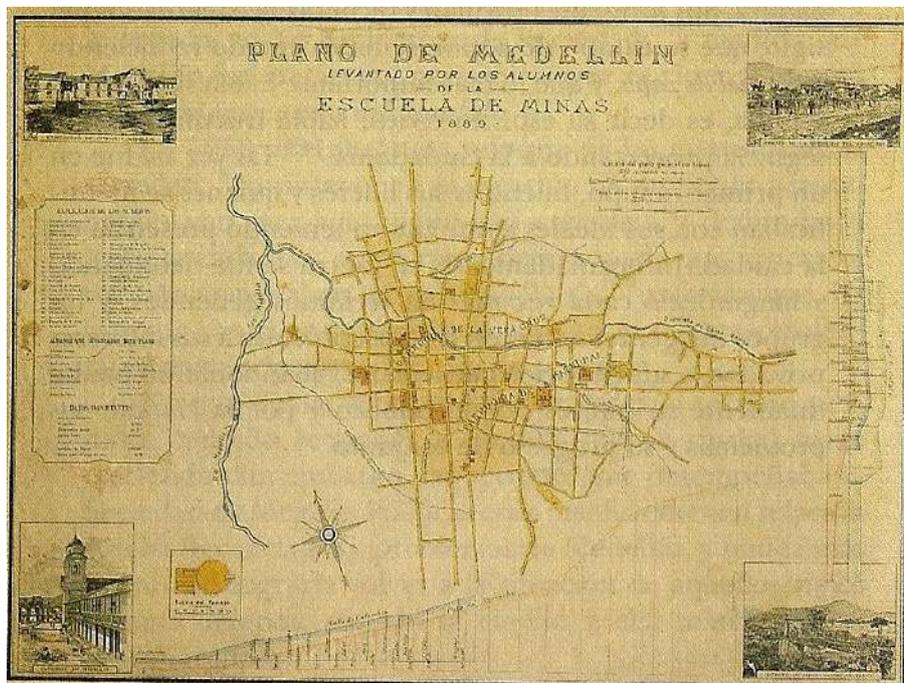


Figura 19. Plano de Medellín levantado por alumnos de la escuela de minas 1889.
Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

En tanto los procesos de la industrialización presentados desde finales del siglo XIX y durante la primera mitad del siglo XX, potencializaron la evolución y crecimiento de la ciudad, convirtiéndola en la principal área urbana industrial del país.

Sumado a esto, otros procesos socioculturales complejos; como han sido los desplazamientos por el problema de la violencia en el campo, que han configurado grandes áreas de asentamientos irregulares. y de forma muy contundente la alteración del sistema natural del río Aburrá (rio Medellín) han sido factores determinantes en la conformación de lo que hoy se conoce como el área metropolitana del valle de Aburrá.

3.3.1. Modificación del río y la quebrada Santa Elena

Sin duda dos de los ejemplos determinantes en estas alteraciones al sistema natural en relación con el recurso hídrico y el paisaje del agua del territorio dentro de la cuenca del río Aburrá en el proceso de crecimiento urbano, han sido la intervención sobre el eje del río Aburrá (rio Medellín) y la cobertura de la quebrada Santa Elena; una de las principales afluentes de la cuenca.

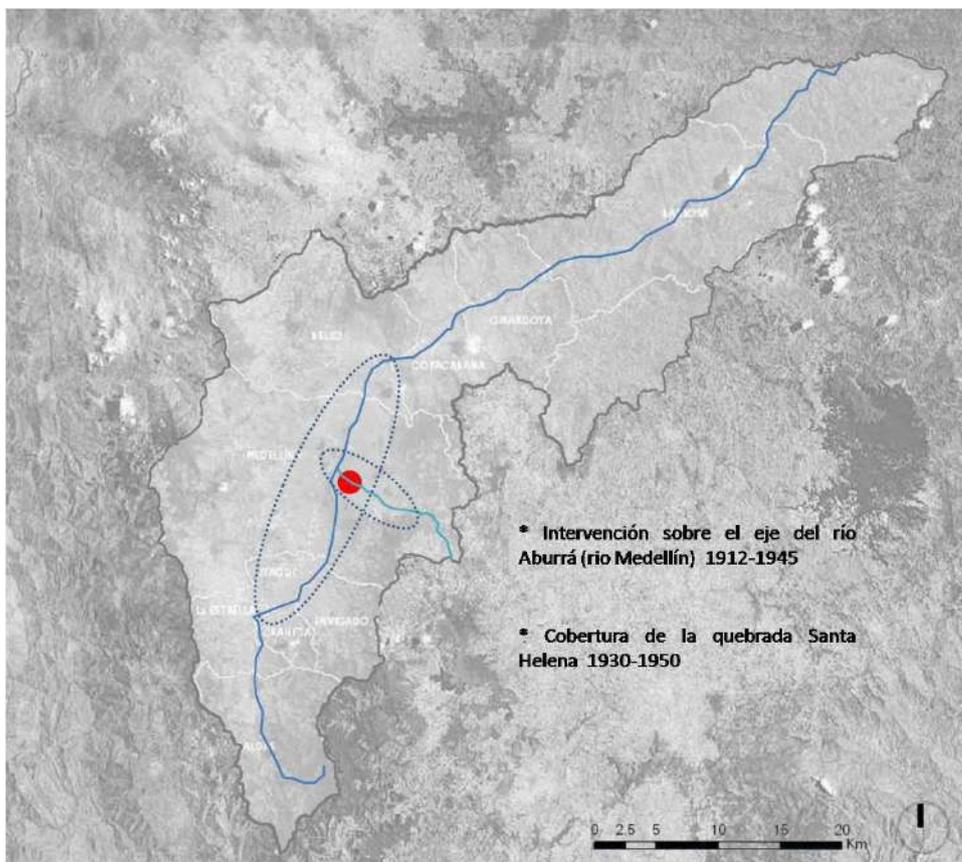


Figura 20. Ocupación de la cuenca del río Aburrá 1637-1826. Elaboración propia.

“El problema de las crecientes del río Medellín y las modificaciones a su cauce se presentaban desde la colonia, hacia 1912 el concejo de la ciudad se ocupó del asunto y combino trabajar en tres temas:

- 1. la defensa de la ciudad.*
- 2. la rectificación del río.*
- 3. la canalización del cauce modificado.*

“No hay lugar a dudas sobre la importancia y el impacto físico que trajo consigo la obra de rectificación y canalización del río Medellín. Esta permitió habilitar una gran área de tierra tradicionalmente insalubre y anegadiza, en momentos en que el crecimiento demográfico y el dinamismo urbano requerían espacio, y la ciudad se hallaba circunscrita a lo que hoy se denomina su cuadrante nororiental o viejo Medellín”.³

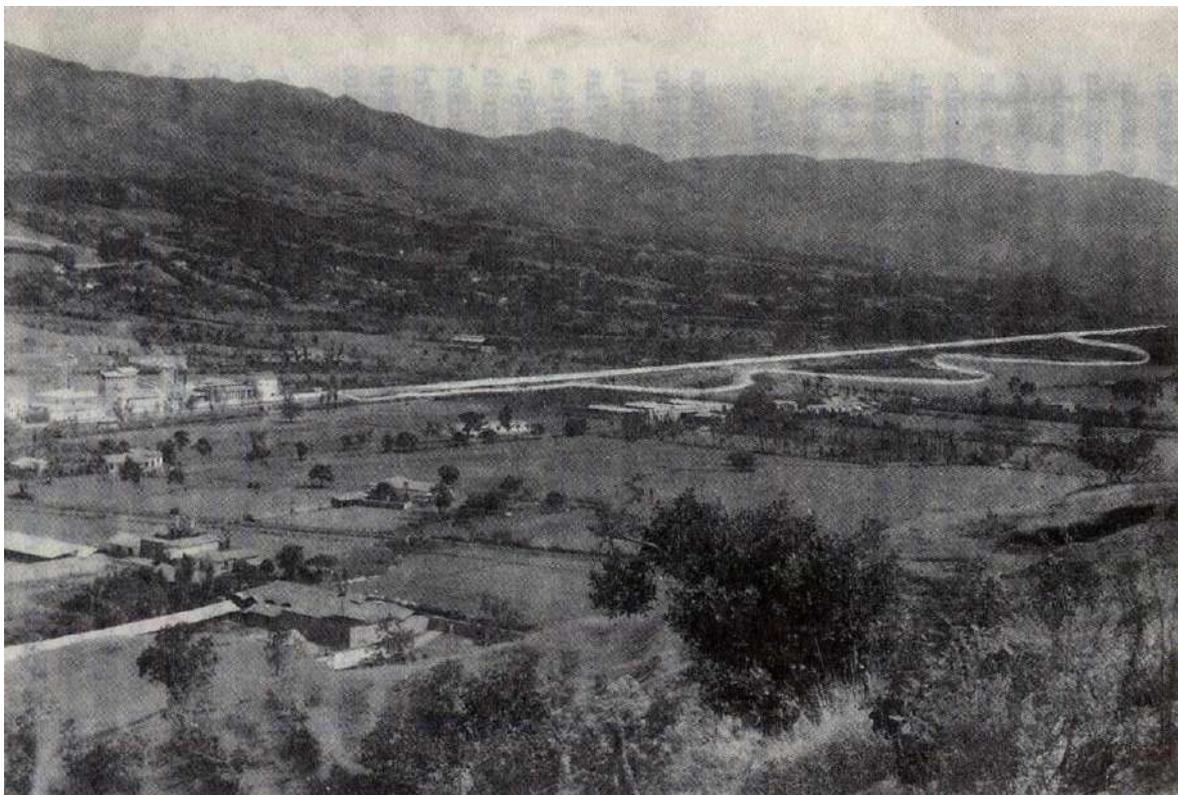


Figura 21. Rectificación del río Medellín (Aburrá) en el sector del poblado. El fotógrafo marco el antiguo recorrido del río. Foto, Francisco Mejía (1941-1945). Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

En cuanto a la quebrada Santa Helena, la cual corre en el costado centro-oriental de la ciudad y que en su momento fue uno de los ejes y límites determinantes en la conformación de la villa, constituyéndose como un eje natural estructurante hasta el año 1930, cuando al verse afectada por la creciente contaminación fue cubierta en su tramo más urbano:

³ *Ibíd.* p.149-151

“A pesar de que este sector bañado por la quebrada –el paseo de la ciudad- era, y sigue siendo en nuestros días, de los mas centrales y concurridos, y en donde desde finales del siglo XIX se constituyo el barrio más elegante de Medellín y se construyeron varias mansiones tipo casaquintas con antejardines y arquitectura imponente, con el tiempo la quebrada-como sucedió luego con el rio-se fue convirtiendo en una gran alcantarilla o cloaca urbana. a medida que este problema se fue agravando y que el trafico fue congestionando cada vez más las angostas calles d entonces, las presiones para canalizarla se hicieron más fuertes, aunque algunas voces influyentes como la de Olano, y otras autorizadas, como la del urbanista Brunner, no eran partidarias de esta solución”.⁴



Figura 22. Quebrada Santa Elena 1910. Foto, Escovar . Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

Figura 23. Cobertura Quebrada Santa Elena. Foto, Francisco Mejía, 1941. Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.



⁴ Ibíd. p.144



Figura 24. Fotografía de Medellín 2009. Propia

“La forma de ocupación territorial desarrollada en el valle de aburra históricamente ha respondido de manera inadecuada a sus condiciones geográficas, destacándose, por un lado, la creciente presión hacia la urbanización de las laderas, las cuales presentan limitaciones desde el punto de vista geotécnico y ambiental, y por otro, la generalizada canalización de corrientes de agua localizadas en suelo urbano, con la consecuente contaminación de la cuenca entera Aburrá-Porce-nechi”.⁵

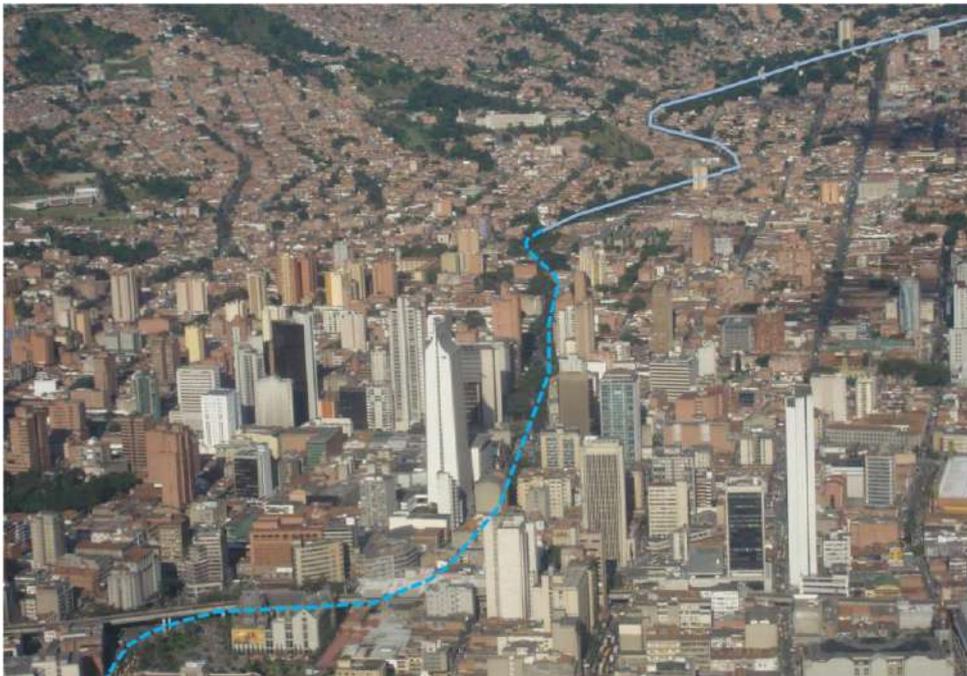


Figura 25. Foto del Centro de Medellín, intervención propia con recorrido de la quebrada Santa Elena fuente: Google

⁵ Universidad Nacional Colombia, 2005. En POMCA. 2007. p.154

Como se muestra en el siguiente plano de la red hídrica de la ciudad de Medellín, El resultado es un sistema hidrográfico altamente modificado y artificializado, donde el recurso hídrico y su paisaje cada vez esta mas en riesgo.

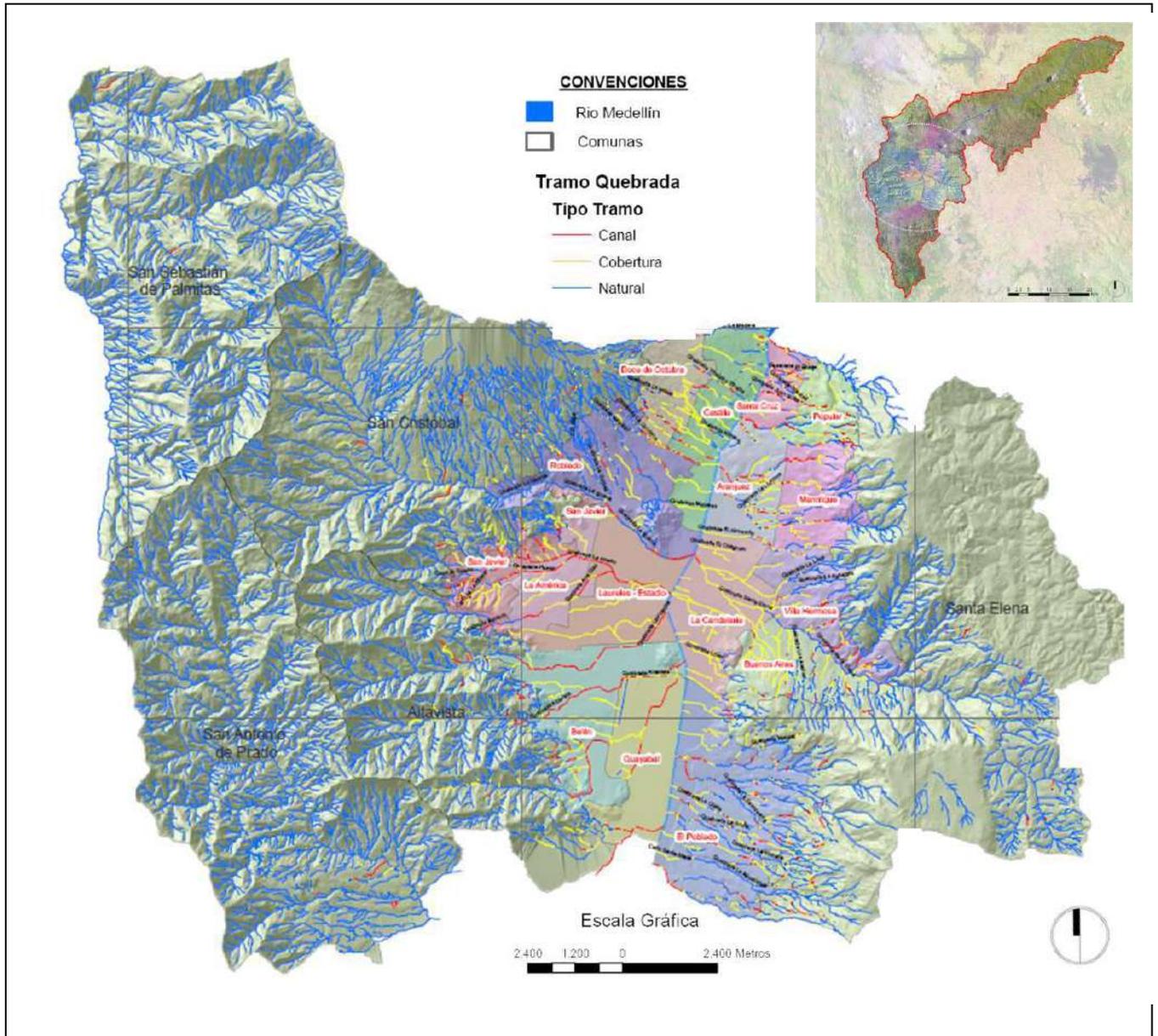


Figura 26. Plano de la Red hídrica Medellín 2009. Secretaria del medio ambiente Alcaldía de Medellín. Intervenido.

3.3.2. Estado Hidráulico

De acuerdo con los estudios hechos por el POMCA 2007; para determinar los aspectos relacionados con la vulnerabilidad y el riesgo de algunos sectores críticos del río Aburrá para establecer planes de contingencia, se evidencia que:

“En ningún sitio el nivel desborda el canal, incluso ni para el caudal de periodo de retorno de 100 años. Así mismo, las velocidades máximas encontradas son del orden de 5 m/s y se presentan en la primera zona Km21+400 a Km 24+000, donde las pendientes son más altas, y el estado del flujo es súper crítico (valores de froude mayores a 1). La lámina de agua máxima para el periodo de retorno de 100 años en dicha zona alcanza 1,65m” (POMCA 2007).

Sin embargo los sistemas hidráulicos implementados en gran parte de la zona urbana suelen presentar problemas de saturación; en especial los tramos que han sido cubiertos. Esto en parte por los problemas de erosión que se dan en las partes altas de algunas subcuencas; que generan con la escorrentía y las crecientes gran cantidad de sedimentación, que unida a otras situaciones antrópicas a lo largo del eje, ejercen una alta presión sobre las infraestructuras existentes, que en muchas ocasiones terminan por quedar obsoletas, produciendo frecuentemente eventos de inundación y catástrofes.

3.3.2.1. Áreas y eventos de inundación

En el estudio hecho por el POMCA se identificaron las corrientes con problemas de inundación que más afectan a la comunidad, pudiendo tener consecuencias letales. Estos estudios se basaron a su vez en algunos inventarios de los desastres naturales que se reportaron en el valle de Aburrá entre los años 1975 y 2002, teniendo como base la frecuencia con que han ocurrido estos eventos.

En los resultados se muestra que la mayoría de los eventos ocurrieron en las zonas urbanas de los diferentes municipios. En los municipios de caldas, Barbosa, Girardota e Itagüí, la afectación en menor grado implicó a su vez zonas rurales. Se identificó que las veinticinco corrientes en las que se encontró información sobre muertos y damnificados están en zonas de amenaza media a alta. A su vez en el tramo del río se identificaron siete lugares críticos donde se dan inundaciones con alta frecuencia, siendo la zona de la macarena donde se registran la mayor cantidad de eventos de inundación, al igual que las zonas aledañas a santa cruz y Moravia. En estos puntos se presentan por lo general aportes de afluentes directos al río Aburrá (santa cruz, Moravia, la rosa y san Isidro).

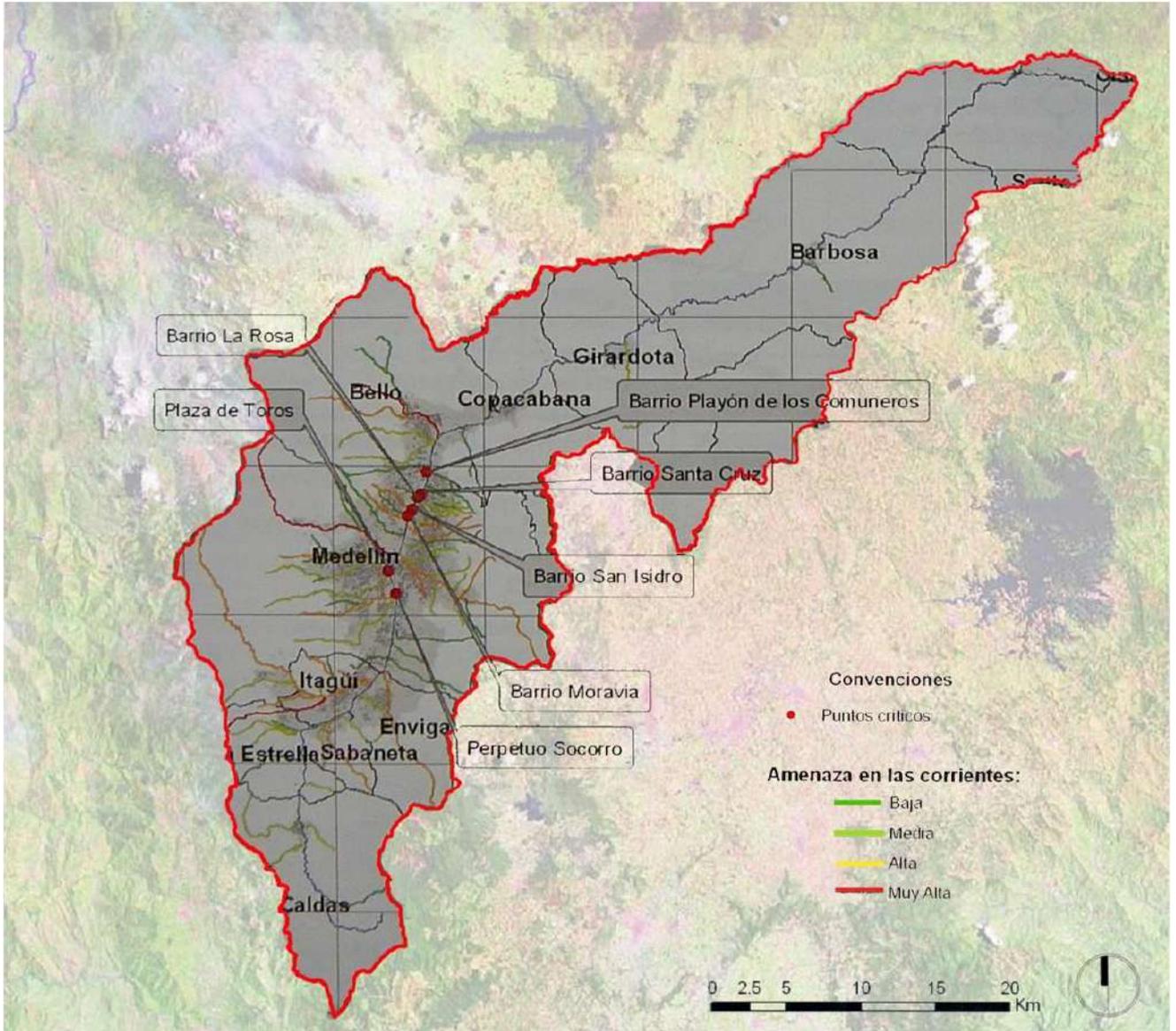


Figura 27. Plano de zonas críticas por eventos de inundación. Elaboración propia, a partir del plano del POMCA 2007.

3.3.3. Crecimiento y población en la cuenca del río Aburrá.

El crecimiento de la ciudad y su área metropolitana, dado en diferentes periodos desde su fundación, llevaron hacia 1970 a un primer nivel de conurbación entre Medellín y varios de los municipios del área. A partir de este periodo se han dado otros periodos de crecimiento siendo el comprendido entre 1985 y 1998 el de mayor crecimiento, caracterizado por la ocupación dispersa de los bordes de las laderas de alta pendiente, y las segundas residencias en algunas áreas suburbanas. Como se evidencia en el siguiente cuadro en los últimos 60 años ha habido un incremento aproximado del 653% de la población y un incremento en la ocupación del territorio de 774%, periodo en el cual el sistema hidrográfico de la cuenca ha quedado altamente comprometido.

Periodo	Población				* Área de Ocupación			
	Año	Habitantes	Incremento/hab	Tasa de crecimiento%	Año	Área/has	Incremento/ha	Tasa de área ocupada ** %
1951-1964	1951	499.756	584.904	6,1	Antes de 1948	2.222	3.143	18,3
	1964	1.084.660			1963	5.365		
1964 - 1973	1964	1.084.660	433.284	3,8	1963	5.365	3.468	20,1
	1973	1.517.944			1970	8.833		
1973 - 1980	1973	1.517.944	540.415	4,5	1970	8.833	1.770	10,3
	1980	2.058.359			1980	10.603		
1980 - 1985	1980	2.058.359	62.815	0,6	1980	10.603	764	4,4
	1985	2.121.174			1985	11.367		
1985 - 1998	1985	2.121.174	857.249	2,7	1985	11.367	4.724	27,4
	1993	2.978.423			1998	16.091		
1998 - 2005	1998	2.978.423	288.213	1,3	1998	16.091	1.123	6,5
	2005	3.266.636			2005	17.214		

* No se discrimina entre ocupación formal e informal del Área Metropolitana por la falta de disponibilidad de datos de los demás municipios.

** La tasa de área ocupada por periodos se calculó con relación al área total ocupada al año 2005.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2005a.

Tabla 1. Población vs. Ocupación

Sin embargo en parte, *“La evaluación del indicador de ruralidad muestra en cierta medida las potencialidades de la cuenca por la existencia de áreas rurales menos intervenidas, con alternativas de desarrollo sostenible”*. (POMCA 2007)

“Hoy en la cuenca la expansión urbana ha conllevado al asentamiento de todo tipo de usos donde se mezcla lo agrícola, recreativo, de conservación, entre otros, especialmente en zonas con cercanía a la ciudad”. (POMCA 2007)

Uno de los principales aspectos en el crecimiento de la población dentro de la cuenca ha sido en gran medida la migración, o fenómeno del desplazamiento, referido a familias que habitaban en la ruralidad y que por diferentes motivos, especialmente los referidos a la problemática de violencia en los campos, han decidido migrar hacia las capitales, en este caso a Medellín y su área metropolitana.

Este problema ha incrementado los cinturones de miseria social, potencializando la pobreza, el desempleo, la baja productividad y el hacinamiento en áreas bastante complejas como son los ejes de quebradas, comprometiendo la calidad de vida de estas personas, y un aumento en la demanda de los servicios básicos. Dentro del territorio de la cuenca los municipios de Medellín y bello los que mayor cantidad de desplazados han recibido en los últimos años.

En el municipio de Medellín, la constante inmigración ha conllevado un número significativo de asentamientos en zonas de alto riesgo o en zonas de amortiguamiento de áreas de reserva como en el caso del parque Arvi, en límites con la comuna 8. En otros casos, es tal su magnitud que ha dado lugar al poblamiento de nuevos barrios que inciden en la morfología de la ciudad. (POMCA 2007)

Según datos del POMCA respecto a los movimientos de población por municipios se registra un total de 21.517 hogares y 88.761 personas recibidas y 2.189 hogares y 11.676 personas expulsadas, mostrando un aumento alrededor de 79.000 personas en el periodo (2000-2006)

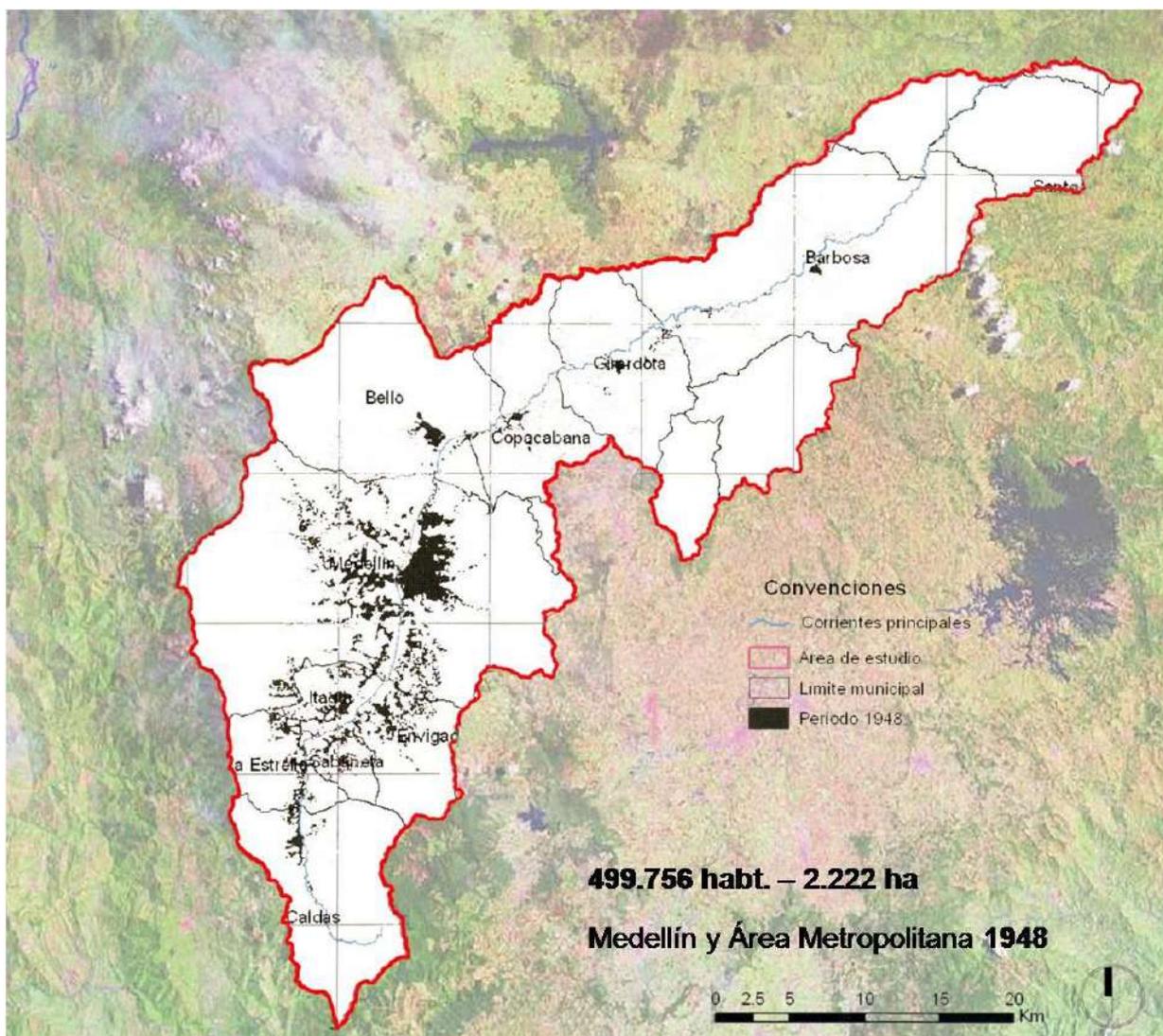


Figura 28. Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1948. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005

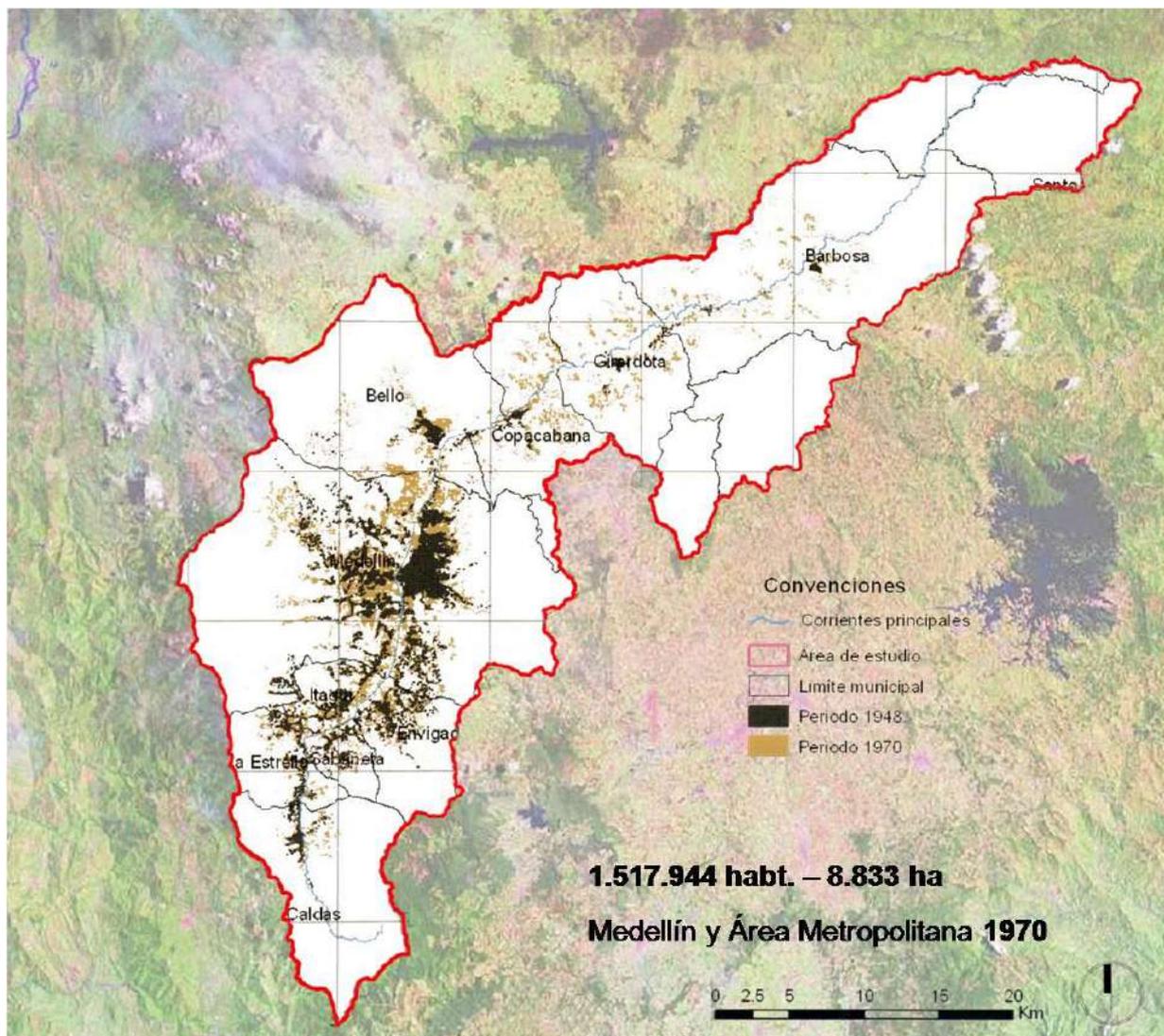


Figura 29. Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1970. Elaboración propia, a partir del plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005

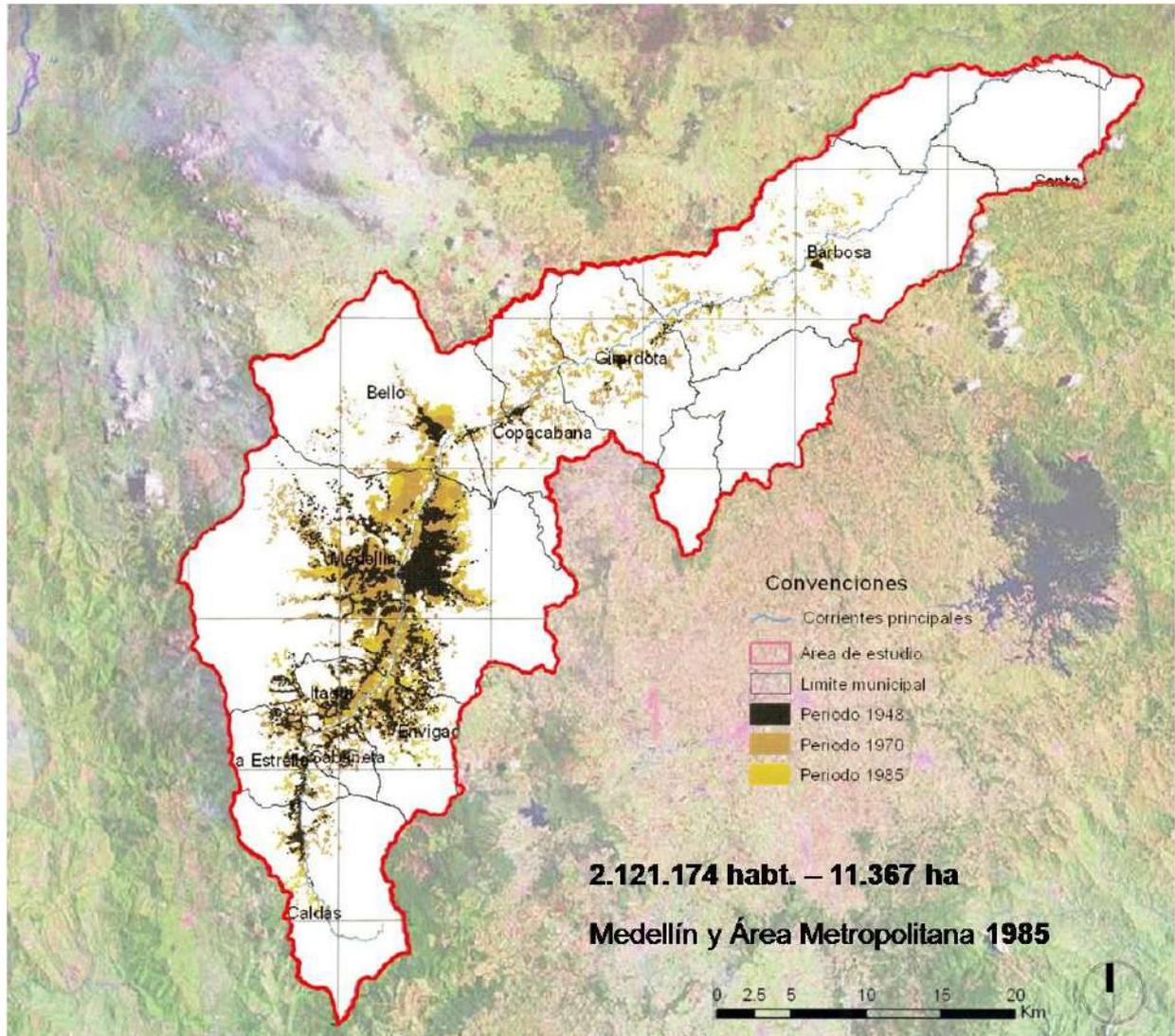


Figura 30. Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1985. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005

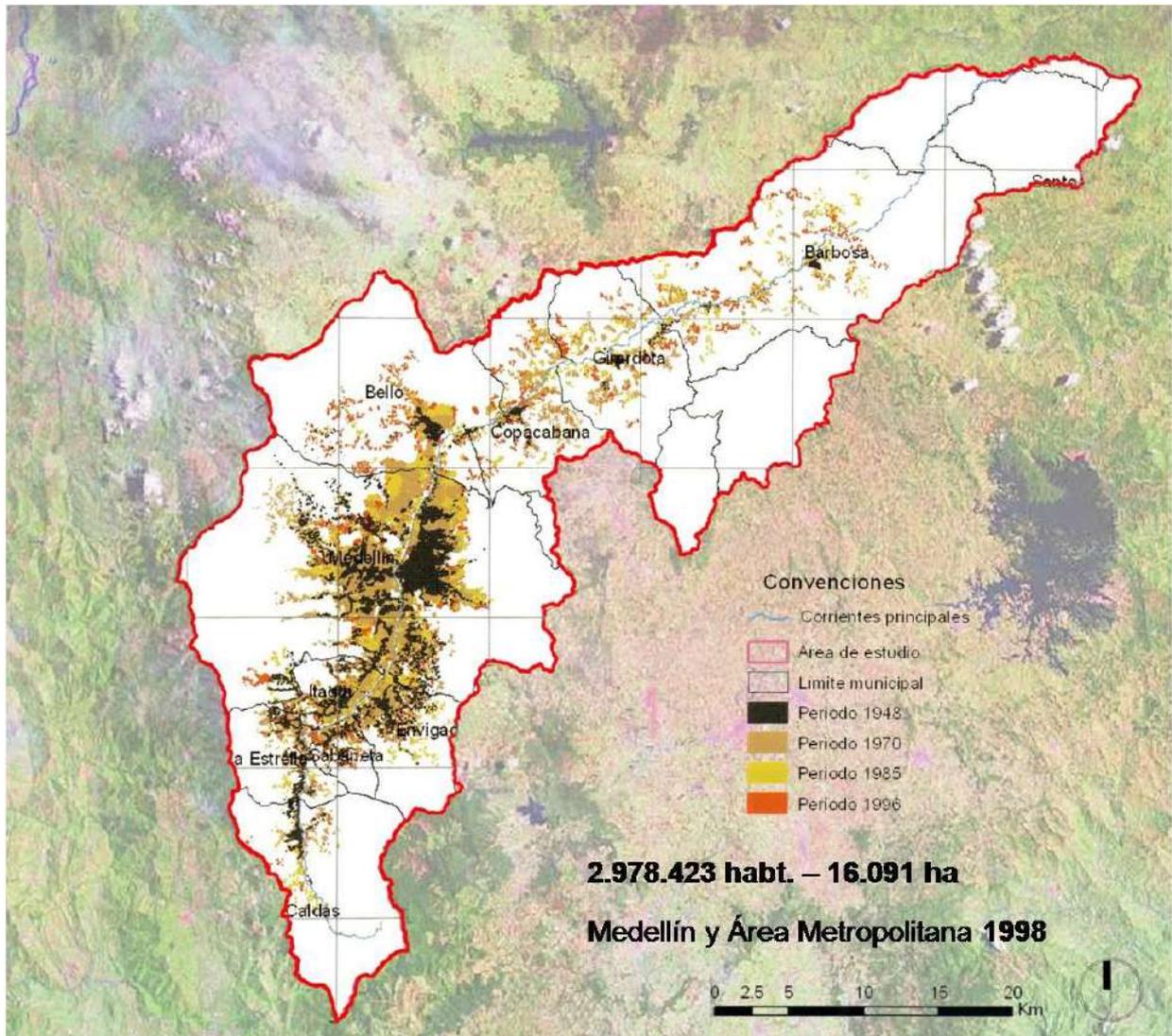


Figura 31. Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1998. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005

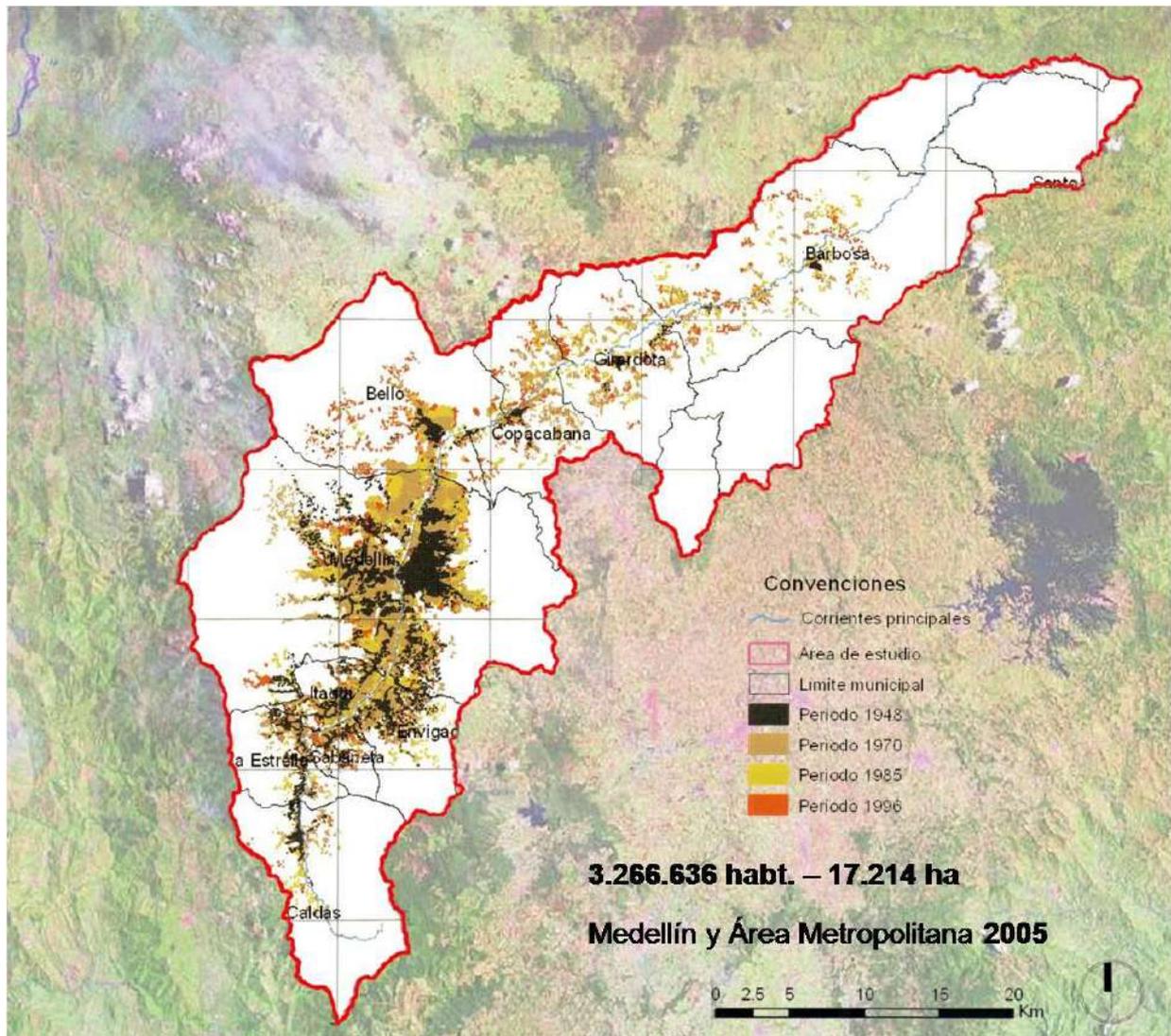


Figura 32. Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 2005. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005

3.3.3.1. Población actual

El siguiente cuadro corresponde con la cantidad total de habitantes de los municipios que conforman la cuenca del río Aburrá, de acuerdo con el último censo oficial del año 2005:

Tabla 2. Población de los municipios de la cuenca del río Aburrá

MUNICIPIO	POBLACIÓN	%
Barbosa	42.547	1,2%
Bello	373.013	10,9%
Caldas	68.157	2,0%
Copacabana	61.421	1,8%
Don Matías	17.759	0,5%
Envigado	175.337	5,1%
Girardota	42.818	1,3%
Guarne	39.753	1,2%
Itagüí	231.768	6,8%
La Estrella	52.763	1,5%
Medellín	2.223.660	64,9%
Sabaneta	44.874	1,3%
Santo Domingo	11.418	0,3%
San Vicente	19.273	0,6%
Yolombó	19.999	0,6%
Totales	3.424.560	100 %

Fuente: Censo DANE, 2005

Partiendo de los datos dados en **POMCA** presentado en 2007, donde se determinó un total de población para la cuenca de **3.329.560 habitantes** con datos del último censo oficial del DANE a 2005, y sumando solo la población de los municipios que conforman el área metropolitana, presentada en la tabla anterior, se obtiene un dato de **3.316.358 habitantes**, concluyendo que a 2005 la cantidad de población presente en la cuenca de los municipios que no conforman el área metropolitana y que son netamente población rural era alrededor de los **13.202 habitantes**.

La población localizada en la cuenca del río Aburrá, representa el 59,4% de la población departamental y el 8,8% de la población colombiana. (POMCA 2007)

Debido a no encontrarse a la fecha un dato exacto actualizado respecto a la cantidad de la población a 2009 dentro del total de la cuenca, pero sabiendo que la cantidad de la población que se encontraba por fuera de los municipios que conforman el área metropolitana era de **13202 habitantes a 2005**, entonces se le aplica a este valor una tasa de crecimiento promedio de 1.2 anual ; de acuerdo con datos poblacionales en zonas rurales 2008-2009, presentados por la contraloría general de Medellín en el informe del estado de los recursos 2009, a partir de datos del DANE , y este valor se le suma al total ,obteniendo así un valor aproximado para la población actual en toda la cuenca:

Tabla 3. Proyecciones de población por municipios del área metropolitana 2008-2009. Extracto de tabla original.

Municipio Región	POBLACION TOTAL					
	2008			2009		
	Cabecera	Resto	Total	Cabecera	Resto	Total
Medellín	2.254.345	36.486	2.290.831	2.281.085	35.768	2.316.853
Barbosa	19.943	24.704	44.647	20.393	25.021	45.414
Bello	385.504	11.123	396.627	394.433	10.411	404.844
Caldas	55.411	15.725	71.136	56.270	15.853	72.123
Copacabana	55.407	8.572	63.979	56.242	8.630	64.872
Envigado	179.589	8.332	187.921	184.408	8.238	192.646
Girardota	27.176	18.741	45.917	27.907	19.148	47.055
Itagui	223.555	22.143	245.698	226.713	22.237	248.950
La Estrella	30.420	25.077	55.497	30.950	25.514	56.464
Sabaneta	37.166	9.630	46.796	37.782	9.754	47.536
TOTALES	3.268.516	180.533	3.449.049	3.316.183	180.574	3.496.757

Fuente: cuadro de la Contraloría General de Medellín a partir de datos suministrados por el Departamento Administrativo de Planeación febrero de 2010 y datos publicados en la página web del DANE a partir de marzo de 2008.

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN EN CUENCA HASTA 2009				
AÑO	POBLACION TOTAL AREA METROPOLITANA	POBLACION RURAL MUNICIPIOS ALTERNOS	% TASA DE CRECIMIENTO	TOTAL CUENCA
2005	3.316.358	13.202		3.329.560
2006		13.360	1.2	
2007		13.521	1.2	
2008	3.449.049	13.683	1.2	3.462.732
2009	3.496.757	13.847	1.2	3.510.604

Tabla 4. Elaboración propia

Se obtiene entonces una población total aproximada de **3.510.604 habitantes** dentro del área de la cuenca para el año 2009.

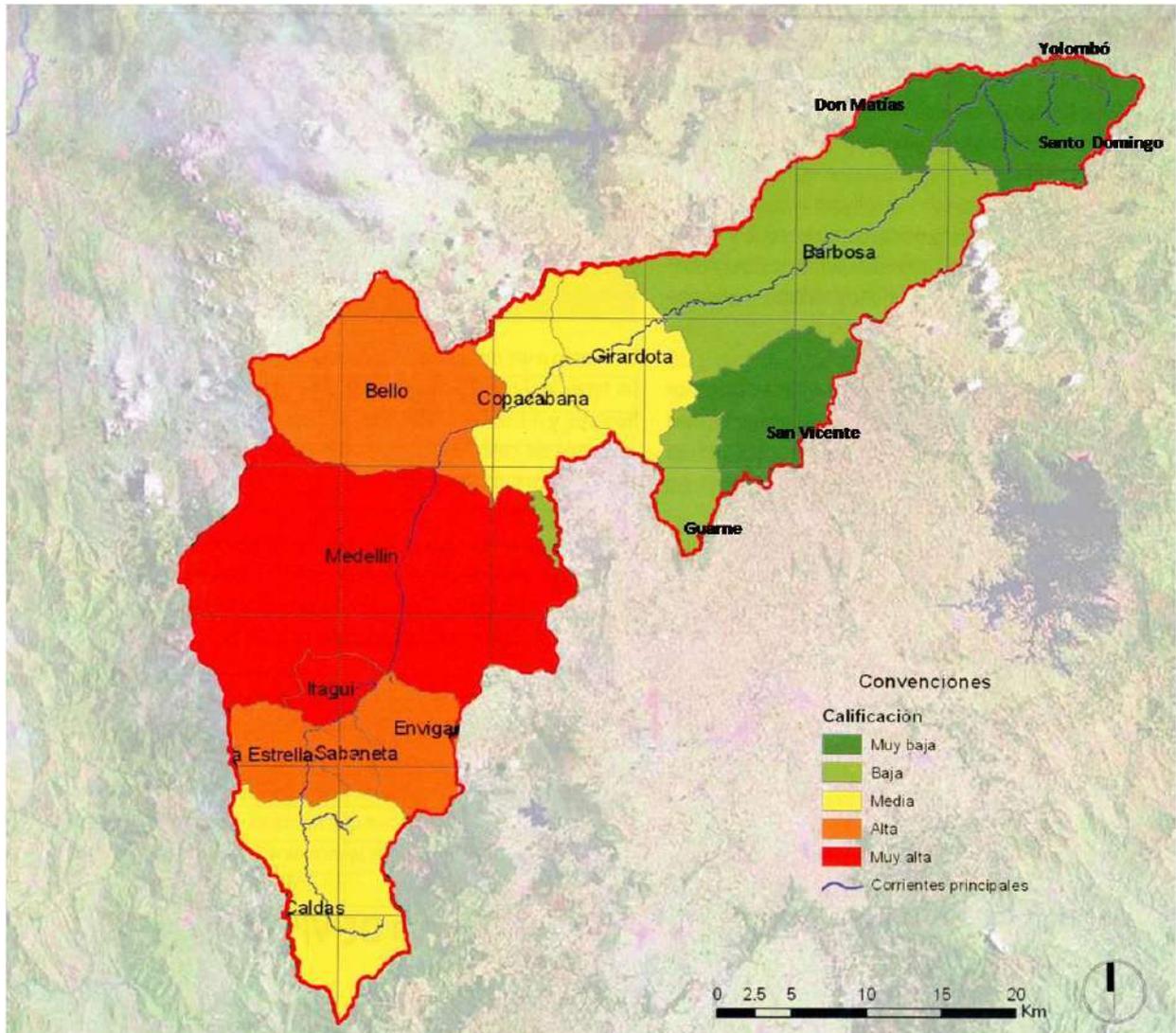


Figura 33. Densidad poblacional por municipios. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007.

4. GESTIÓN GENERAL Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ

Para este capítulo se tendrán en cuenta valores de consumo, aprovechamiento, vertimientos, y disponibilidad del recurso hídrico de acuerdo con datos obtenidos de las Empresas Publicas de Medellín EEPMP y el Área Metropolitana del valle de aburra, recopilados a su vez por la contraloría municipal en el informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente del municipio de Medellín 2008 y 2009, contrastados a su vez con las proyecciones y datos obtenidos por el POMCA 2007, complementando y verificando alguna información con el estudio nacional del agua 2008 hecho por el IDEAM.

4.1. Antecedentes

El uso del recurso hídrico en el territorio, y especialmente en el área más urbanizada, en un principio se suplió de fuentes presentes dentro de la propia cuenca. Sin embargo por el desconocimiento y la falta de un control efectivo, y la inexistencia o desconocimiento de sistemas alternativos, unido esto a un crecimiento urbano acelerado, estas fuentes fueron viéndose afectadas negativamente a medida que los procesos urbanizadores fueron alterándolas, contaminándolas y asumiéndolas de forma desmedida dentro de la trama urbana de la ciudad.

“Anteriormente La inmensa mayoría de los habitantes, suplían sus necesidades de agua medianamente fuentes públicas y arrojaba sus desechos a las quebradas, caños y solares, lo que con el tiempo se convirtió en un problema sanitario y en foco de constantes epidemias sobre todo de fiebre tifoidea por el consumo de aguas contaminadas.

Era corriente que las quebradas fueran utilizadas por los vecinos para el lavado de ropas⁹², la extracción de materiales para la construcción (piedras y arena), como botadero de desechos de todo tipo y hasta para sacar oro. Las constantes epidemias, la suciedad de las quebradas, los malos olores y un sin número de problemas relacionados con la salud de la ciudad, llevó a la Administración Municipal a crear una Junta de Aguas en el año de 1882.

*Un inventario de las fuentes públicas que estaban al servicio de la ciudad para el año de 1912, registraba unas 88, de las cuales 41 provenían de la quebrada “Piedras Blancas”, 34 de la “Santa Elena”, 6 de la “Espadera”, 3 del “Zancudo”, 2 de la “Choza”, y 2 provenientes de las aguas que llamaban de los “Berríos”⁹³”.*⁶

⁶ GÓMEZ ESPINOSA, Jaime Alberto. **Historia Institucional de la Alcaldía de Medellín 1860-1920**. Archivo Histórico de Medellín. Programa de Memoria y Patrimonio. Subsecretaría de Cultura. Medellín. 2006. P 44-45.

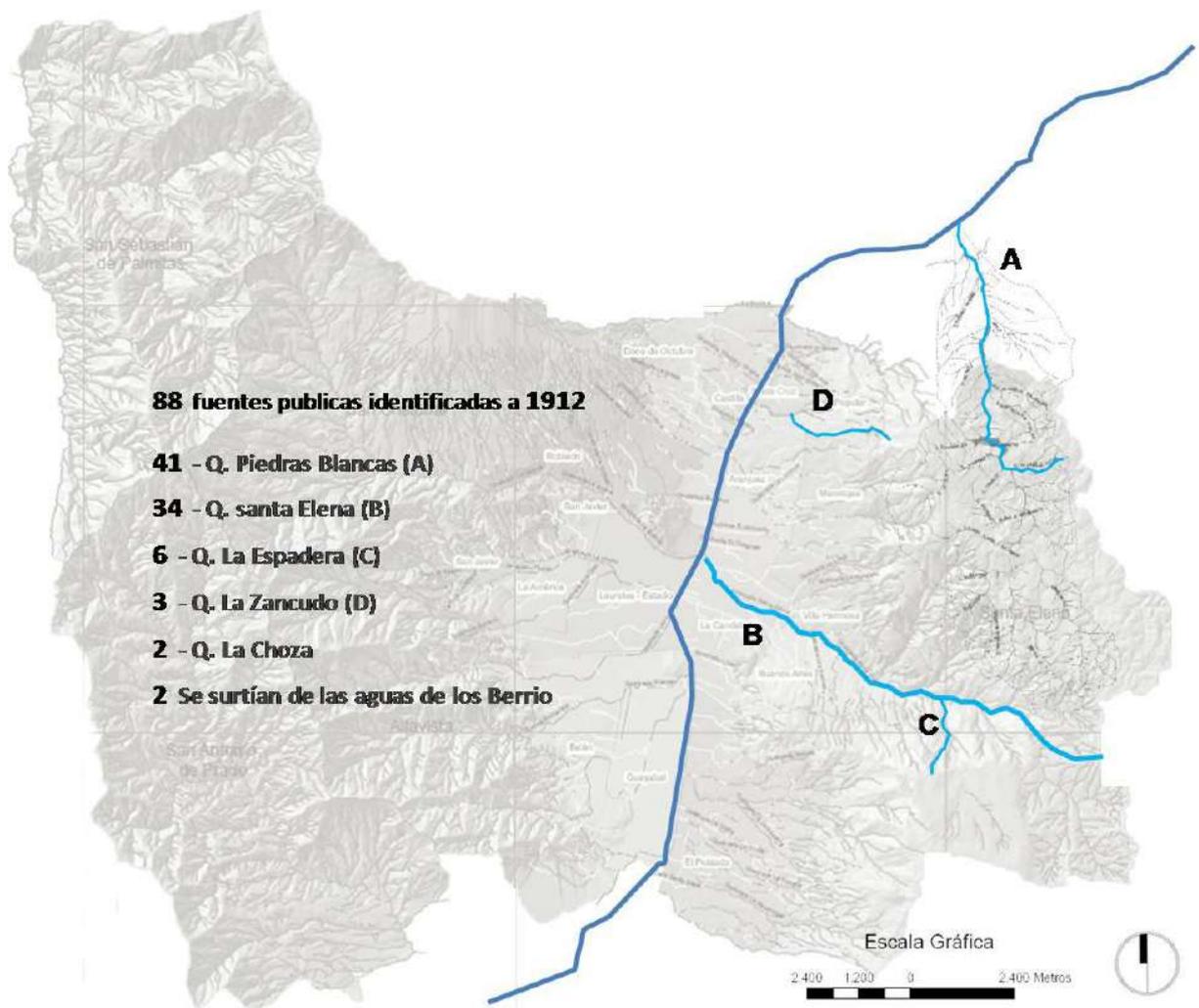


Figura 34. Fuentes de extracción del recurso hídrico a 1912. Elaboración propia con datos del archivo histórico Medellín.

4.2. Demanda y Fuentes del recurso hídrico en la actualidad

Se hace una aproximación a La cantidad de agua consumida (directa) que la población de la cuenca requiere para desarrollar las diferentes actividades humanas (Demanda), y al manejo, aprovechamiento y procedencia actual del recurso hídrico en el territorio.

Para la demanda se consideran tres componentes principales: un consumo base contemplado por la empresas prestadoras de servicios públicos EEPPM; a partir de datos de los tres sectores principales (residencial, industrial y comercial) y de algunos otros usos alternos, un consumo secundario de acuerdo con datos de los acueductos comunitarios, y un tercer componente dado por el consumo de agua subterránea .se aclara nuevamente que este análisis se limita al componente directo y que a su vez la demanda de sectores como el agroindustrial y de riego; presentes en la zona rural de la cuenca, debido a la imposibilidad en la obtención de estos datos, queda por fuera de este alcance.

La aproximación al manejo del recurso se da a partir de la determinación de las diferentes fuentes de extracción, su ubicación dentro del territorio y la cantidad de agua que aportan.

4.2.1. Consumo base a partir del sistema EEPPM

Respecto al consumo se tienen en cuenta tres componentes determinantes en su estimación:

-el porcentaje de consumo definido por las empresas prestadoras del servicio de acuerdo con los diferentes sectores principales (residencial, comercial, industrial).

-un porcentaje de consumo adicional contabilizado, dado por un consumo bruto de subsectores como: consumo de agua potable oficial, especial, autoconsumos, exenta.

-un porcentaje de pérdidas, por los diferentes procesos técnicos dentro del sistema de abastecimiento del agua potable y por las conexiones ilegales al sistema.

En este caso se han encontrado datos específicos de los tres primeros sectores principales (residencial, comercial, industrial) y datos brutos adicionales de los demás subsectores y consumo indefinido para el año 2009, y un porcentaje del 36.39% de perdidas determinado por la empresa prestadora del servicio de acueducto para el año 2009.

A continuación se presentan las tablas y gráficos de la contraloría municipal de Medellín, con consumos por sectores y total, tanto para la capital; Medellín, como para el área metropolitana en general de acuerdo con datos del área metropolitana y EEPPM a 2009:

Tabla 5. Consumo agua potable, tratada para consumo residencial, Medellín y área metropolitana

Año	Millones metros cúbicos /año		Total Región
	Resto del Área Metropolitana	Medellín	
2001	-	-	137,00
2005	43,87	100,23	144,10
2007	45,99	103,80	149,79
2008	46,28	103,26	149,53
2009	46,47	103,10	149,58

Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP – Dirección Aguas, abril de 2010.

Tabla 6. Consumo agua potable, tratada para consumo comercial e industrial, Medellín y área metropolitana

Año	Consumo agua potable Millones metros cúbicos /año						
	Comercial			Industrial			Total Región
	Resto del Área Metropolitana	Medellín	Total	Resto del Área Metropolitana	Medellín	Total	
2001	14,200		14,200	12,900		12,900	27,100
2005	3,756	11,532	15,288	5,430	8,412	13,843	29,131
2007	3,916	12,296	16,213	6,074	8,329	14,403	30,616
2008	3,980	12,060	16,040	5,820	8,010	13,830	29,870
2009	3,890	12,119	16,009	5,319	7,336	12,656	28,665

Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP – Dirección Aguas, abril de 2010.

Tabla 7. Consumo agua potable, tratada para consumo sector oficial y otros usos Medellín y área metropolitana

Año	Consumo agua potable Millones metros cúbicos /año						
	Oficial			Otros			Total Región
	Resto del Área Metropolitana	Medellín	Total	Resto del Área Metropolitana	Medellín	Total	
2005	6,359	1,711	8,070	3,629	0,242	3,872	11,942
2007	3,133	5,287	8,420	0,950	3,092	4,042	12,463
2008	3,156	5,122	8,278	1,015	3,161	4,176	12,454
2009	2,922	4,830	7,751	0,915	2,705	3,620	11,371

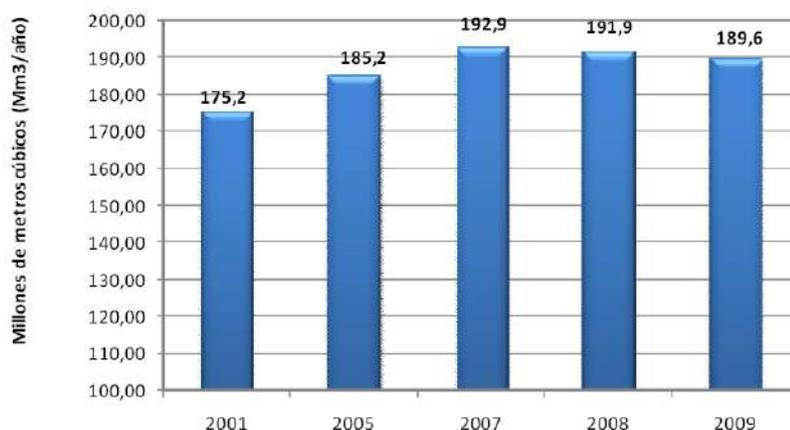
Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP – Dirección Aguas, abril de 2010.

Tabla 8. Consumo total agua potable municipios del área metropolitana y Medellín

Año	Millones de metros cúbicos/año		Total Región
	Resto del Área Metropolitana	Medellín	
2001	-	-	175,18
2005	57,17	128,00	185,18
2007	60,06	132,81	192,87
2008	60,25	131,61	191,86
2009	59,52	130,09	189,61

Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP – Dirección Aguas, abril de 2010.

Figura 35. Consumo total agua potable años 2001-2005-2007-2008-2009. Medellín y área metropolitana



Fuente: gráfico de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP – Dirección Aguas, abril de 2010

Como se observa en las tablas y gráficos anteriores, los mayores saltos en el incremento del consumo de los últimos diez años se han dado principalmente entre los periodos 2001 a 2005 y 2005 a 2007, donde llegó a su máximo.

Síntesis de consumo en periodos pico							
Millones de m ³ /año							
Año	Usos				Total	total otros usos (*)	% otros usos
	residencial	comercial	industrial	total parcial			
2001	137.00	14.20	12.90	164.10	175.18	11.08	6.3
2005	144.11	15.28	13.84	173.23	185.18	11.95	6.5
2007	149.79	16.22	14.40	180.41	192.87	12.46	6.5

(*) referente al consumo de agua potable oficial, autoconsumos, exenta y otros (indefinida)

Tabla 9. Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior, se puede concluir que el salto en el consumo del periodo 2003-2005 Y 2005-2007 se ha dado principalmente por el componente residencial. A su vez se observa que el porcentaje de consumo en otros usos (*) se ha mantenido alrededor del 6%.

Porcentajes de consumo por uso al año 2009		
Usos	consumo Mill.m ³ /año	%
residencial	149.58	78.9
comercial	16.00	8.4
industrial	12.65	6.7
otros usos	11.37	6.0
TOTAL	189.61	100%

Tabla 10. Elaboración propia.

En la tabla anterior, respecto a tipos de uso para el **2009** (residencial, comercial, industrial, otros usos), se observa que el componente **residencial** es el que **mayor porcentaje de consumo** compromete con un **78.9%**, mientras que el **industrial** presenta el **menor** con un **6.7%**, a su vez se observa que el porcentaje de consumo en **otros usos** se aproxima bastante al del uso industrial con un **6.0%**.

Queda claro entonces que el uso residencial es el que mayor cantidad de recurso consume, aunque se ha mantenido estable en los últimos 3 años desde su salto en 2007.

En la actualidad EEPPM estima a **2009** un consumo total de **189. 611.242 de m3/año** para los usos residencial, comercial, industrial y otros usos, reduciéndose un poco respecto al año 2008.

Sin embargo este no es el valor neto total del consumo dentro del territorio de la cuenca del río Aburrá, el valor anterior corresponde solo al **63.61%** del agua contabilizada por las plantas del acueducto, ya que como se expuso en líneas anteriores, se considera también un porcentaje del **36.39%**; según datos de EEPPM para 2009, correspondiente a las pérdidas; agua no contabilizada distribuida en la salida de las plantas de potabilización y conexiones ilegales al sistema de acueducto.

A partir de esto se llega a que el porcentaje restante (36.39%) estaría alrededor de los **108.472.773 m3/año**.

La cantidad de agua total demandada en la cuenca del río aburra; contemplada por EEPPM está determinada por: $DMTA = \%CTAPF + \% \text{ de pérdidas}$.

DMTA (Demanda Total de Agua)

CTAPF (Consumo Total Agua Potable Facturada)

Determinando entonces que **DMTA 2009 = 298.084.015 m3/año**

Los datos del CTAPF y del % de pérdidas se confirman con la fuente de información de las EEPPM con que se cuenta en la actualidad, la cual presenta los datos a 2009. Es importante aclarar que aunque la fuente de información de EEPPM presenta datos poblacionales, estos corresponden simplemente a un indicador general a partir de un promedio de habitante por vivienda de (3.7) ya que la empresa como tal maneja datos de clientes totales. Por tal razón no se toma en cuenta el dato poblacional de EEPPM

De esta forma y tomando el valor poblacional determinado en el subcapítulo de población de unos **3.510.604 habitantes** dentro de la cuenca a **2009**, se puede considerar ; a partir de los datos de consumo registrados por EEPPM , que la demanda es de aproximadamente **232 L habt /día** y de **9.45 m3/seg**

Sin embargo estos valores deben incrementarse, ya que existen otros componentes; poco regulados, de extracción y consumo del recurso hídrico en el territorio, donde EEPPM no interviene de forma directa y que por ende no contabiliza, y que aunque no representan un porcentaje muy alto en cuanto al consumo, es importante contemplarlos dentro de esta aproximación. Estos componentes son: los acueductos comunitarios y el consumo de aguas subterráneas.

4.2.2. Los acueductos comunitarios y/o veredales.

Están dados principalmente por la necesidad de acceder al recurso en zonas ubicadas por encima de la cota de servicio de EEPPM; que ronda los 2000 m.s.n.m. Estos funcionan como unidades independientes, que aunque en general son asesorados por EEPPM, no hacen parte del sistema de acueducto de esta entidad. Según investigaciones hechas por el POMCA, y a partir de un inventario hecho en el área de la cuenca; aclarando por parte del POMCA que este presenta datos subestimados, debido a que la información es dispersa e incompleta, se llegó a un estimado de **36.000 suscriptores** de acueductos locales, es decir unas **160.000 personas** consumiendo el agua suministrada a través de estos sistemas (POMCA 2007). El reporte obtenido en estos estudios estima un caudal total para el consumo domestico de **0.76 m³/s.** para esta aproximación este dato se mantiene, ya que no pudo encontrarse una información más actualizada.

4.2.3. Consumo de agua subterránea

Esta dado principalmente por captaciones de sectores como el industrial, servicios, institucional, domestico, pecuario, y lavado de vehículos. Sin embargo este componente por su misma complejidad y poco control en la extracción, presenta dificultades a la hora de definir unos valores determinados; como se muestra en la relación entre las dos siguientes tablas elaboradas por la contraloría con datos del área metropolitana del valle de aburrá para los años 2006 y 2008, publicadas en 2008 y 2009 respectivamente:

Tabla 11. Volúmenes de agua subterránea captada, por tipo de uso en 2006 y 2008, valle de Aburrá (publicación 2008)

Tipo uso	2006		2008	
	Volumen captado (m ³ /año)	Porcentaje participación	Volumen captado (m ³ /año)	Porcentaje participación
Industrial	894.438,2	85,61	1.671.487,0	87,71
Servicios	136.128,0	13,03	234.250,0	12,29
Institucional	14.266,3	1,37	-	-
Total	1.044.832,5	100,00	1.905.737,0	100,00

Fuente: Area Metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2009.

Tabla 12. Volúmenes de agua subterránea concesionada y/o captada, por tipo de uso en 2006 y 2008, valle de Aburrá (Publicación 2009)

Tipo uso	2006		2008	
	Volumen captado (m ³ /año)	Porcentaje Participación (%)	Volumen captado (m ³ /año)	Porcentaje Participación (%)
Servicios	136.128,0	13,0		
Institucional	14.266,3	1,4		
Industrial	894.438,2	85,6	774.809,9	82,2
Doméstico			8.709,1	0,9
Pecuario			1.348,0	0,1
Levado Vehículos			157.228,0	16,7
Total	1.044.832,5	100,0	942.095,0	100,0

Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2009 para datos 2006 y marzo de 2010 para datos 2008.

Analizando estas dos tablas y de acuerdo con las consultas hechas; dentro de las posibilidades, a los entes de control y autores de estas, y a las respuestas obtenidas, se concluye que:

-en la **tabla 11** se estaban manejando valores producto de un inventario de pozos y sus consumos realizado por la autoridad, mientras que en la tabla numero xx, los datos reportados son el resultado del procesamiento de los formularios de auto declaración de las Tasas de uso de aguas (volúmenes concesionados).

-en relación con la **tabla 11.** : *No se realizó inventario de captaciones domésticas, por lo tanto no se conoce a cuánto ascienden los consumos en este sector, teniendo en cuenta que el aprovechamiento de agua subterránea en predios del beneficiario o en predios que éste tenga en posesión o tenencia, para uso doméstico no requiere concesión (Art. 155/D1541-78.)*

-la relación entre los años 2006 y 2008 presentada en la **tabla 12**, no es comparable, ya que los datos para uno y otro año no parten de una base común.

- relacionando la información de las dos tablas se podría concluir que en realidad no hay una disminución en el consumo de agua subterránea como se plantea en la **tabla 12**. Sino que por el contrario se mantiene y aumenta un poco la diferencia entre 2006 y 2008 presentada en la **tabla 11**, evidenciando que ha habido un incremento acelerado en el consumo de este recurso, ya que este valor en el transcurso de dos años, casi se ha duplicado.

A su vez se supo que a **marzo de 2010** aún **no se tenía el reporte del 2009**, dado que estaban en proceso de solicitar al usuario, la auto declaración de consumos para realizar la liquidación de la TUA (Tasa de Consumos de Agua subterráneas) de enero 1 a diciembre 31 de 2009.

Por las razones anteriormente presentadas se opta por sacar los valores de las dos tablas anteriores, llegando a un valor único para 2008 con todos los sectores. Para esta aproximación se mantiene el dato del 2008, debido a la imposibilidad mencionada previamente para los datos de 2009. La siguiente tabla presenta el total aproximado del consumo de aguas subterráneas para el 2008:

SINTESIS CONSUMO AGUA SUBTERRANEA A 2008			
Tipo de uso	Volumen captado m3/año	Porcentaje participacion %	Tipo de dato
Industrial	1.671.487	80.6	captada/conseccionada
Servicios	234.250	11.3	captada
Institucional			
Domestico	8.709	0.42	conseccionada
Pecuario	1.348	0.07	conseccionada
Lavado de vehiculos	157.228	7.58	conseccionada
TOTAL	2.073.022	100%	captada + conseccionada

Tabla 13. Elaboración propia

De acuerdo con la anterior tabla se llega a un valor total de **2.073.022 m³/año**, donde el **sector industrial** presenta el **80%** del consumo total.

Se sabe que EEPPM tiene cierto control sobre las aguas de infiltración que son evacuadas de los lotes para los nuevos desarrollos, diciendo que estas deben conducirse hacia los cuerpos de agua cercanos, y que en caso de un aprovechamiento por parte del propietario del lote, debe de solicitarse un permiso a la entidad ambiental (área metropolitana). Este tipo de explotación se da en su gran mayoría en predios privados, lo que no permite un control integral del recurso, ni la utilización de este para el consumo dentro de la red de tratamiento y abastecimiento de EEPPM, quedando bastante descuidado y poco regulado el manejo de este recurso dentro de la cuenca.

4.2.4. Demanda total directa

A partir de estos datos se puede hacer una aproximación más precisa del consumo total directo del recurso hídrico en la cuenca. Sintetizándolo en la siguiente tabla:

DEMANDA TOTAL DIRECTA aprox. Año 2009				
Tipo de Consumo	caudal m ³ /seg	volumen Mill.m ³ /año	%	volumen L/hbt/día
Estimado EEPPM	9.45	298.084.015	92	232
Acueductos comunitarios	0.76	23.967.360	7	410 (*)
Agua subterránea	0.07	2.073.022	1	1.6
TOTALES	10.28	324.124.397	100	253
(*) dato dado a partir de la población aproximada servida por los acueductos comunitarios según POMCA 2007 (160.000 hbt)				

Tabla 14. Elaboración propia

se llega a un valor aproximado en el consumo directo (demanda) del recurso hídrico dentro de la cuenca del río Aburrá de **324.124.397 Mill m³/año**, dejando claro nuevamente que hay valores indeterminados por el componente agroindustrial y de riego en la zona rural de la cuenca, que no han podido ser contemplados en esta aproximación.

4.2.5. Fuentes de extracción

“Un alto porcentaje de agua consumida en la cuenca del río Aburrá es importada de cuencas vecinas, lo que genera una condición de dependencia ya que la cantidad de agua producida al interior de la cuenca para su consumo interno es realmente baja. En general el consumo de agua de fuentes internas se da en la zona rural de la cuenca”.⁷

Para una aproximación inicial a la gestión del recurso hídrico en el territorio, se diferencian las fuentes de extracción de este, clasificándolas en cuatro tipos:

⁷ En POMCA. 2007. p.25

-Fuentes externas superficiales

-Fuentes mixtas superficiales

-Fuentes internas superficiales

-Fuentes internas subterráneas

Partiendo de los dos primeros casos, EPPMM cuenta con diez plantas de tratamiento para abastecer la demanda y distribuir el agua potable en la población del valle de aburra. De estas seis toman el agua de la cuenca del río Aburrá, dos toman el agua de otras cuencas y las dos restantes toman agua de cuencas externas y agua del interior de la cuenca.

Según datos de EPM la **capacidad instalada** de estas plantas es de **17.25 m3/seg**

4.2.5.1. Las fuentes externas superficiales

Son las surtidoras del recurso por fuera de la cuenca del río Aburrá. El agua de estas fuentes es recolectada en embalses; el embalse de Río grande y el de La Fe. Son estas fuentes y puntos de recolección los mayores surtidores de agua para Medellín y el área metropolitana. De allí el agua es conducida hacia las plantas de potabilización.

En el siguiente cuadro se presentan tanto las fuentes, embalses de recolección y plantas de tratamiento:

FUENTES EXTERNAS A LA CUENCA - EMBALSES SURTIDORES Y PLANTAS DE POTABILIZACIÓN - MEDELLÍN Y AREA METROPOLITANA										
Fuente	Q. Hidrológico (m3/seg)	Embalse	Capacidad Total (Mill m3)	Año de apertura	Planta	Capacidad instalada (m3/seg)	Año de apertura	Q. Captado a 2006 (*)		Q. aprox 2009 (**)
								(m3/seg)	%	
Rio Buey	8.34	La Fé	13.54	1974	Ayurá (3)	9.2	1968	4.48	48.5	4.58
Rio Piedras	7.06									
Rio Pantanillo	3.5									
Las Palmas - espíritu santo	2.74									
Rio Grande	15.03	Rio Grande	236.35	1991	Manantiales (4)	6.00	1992	3.55	38.42	3.63
Rio Chico	4.73									

(*)dato según cuadro de EPPM en documento presentado en el segundo dialogo internacional sobre la crisis del agua ,sevilla 2006. el % se da sobre el total de fuentes externas e internas (9.24m3/seg). (Q.)caudal.

(**)por falta de informacion concreta a 2009, se hace una aproximación con el dato determinado en 9.45m3/seg, manteniendo los % dados en 2006.

Tabla 15. Elaboración propia. A partir de datos de EPPM

4.2.5.2. Las fuentes mixtas superficiales

Está conformada por el sistema formado por el embalse de Piedras blancas, el cual se abastece tanto de la quebrada que lleva su mismo nombre, como de la quebrada la honda, la cual hace parte de la cuenca de la quebrada la Mosca.

FUENTE MIXTA EMBALSE DE PIEDRAS BLANCAS - PLANTAS DE POTABILIZACIÓN -MEDELLÍN Y ÁREA METROPOLITANA										
Fuente	Q. Hidrológico (m3/seg)	Embalse	Capacidad Total (Mill m3)	Año de apertura	Planta	Capacidad instalada (m3/seg)	Año de apertura	Q. Captado a 2006 (*)		Q. aprox 2009 (**)
								(m3/seg)	%	(m3/seg)
La honda	0.72	Piedras Blancas	0.99	1952	Villa Hermosa (1)	0.95	1943	0.33	3.6	0.34
Piedras Blancas *	0.8				La Montaña (2)	0.38	1994	0.22	2.4	0.23

(*)dato según cuadro de EEPPM en documento presentado en el segundo diálogo internacional sobre la crisis del agua ,sevilla 2006. el % se da sobre el total de fuentes externas e internas (9.24m3/seg). (Q.)caudal.
(**)por falta de información concreta a 2009, se hace una aproximación con el dato determinado en 9.45m3/seg, manteniendo los % dados en 2006.

Tabla 16. Elaboración propia. A partir de datos de EEPPM

4.2.5.3. Las fuentes internas superficiales

Son las surtidoras del recurso al interior de la cuenca del río aburra. Esta agua se toma directamente de fuentes naturales y se conduce hacia las plantas de tratamiento.

FUENTES INTERNAS DE LA CUENCA Y PLANTAS DE POTABILIZACIÓN -MEDELLIN Y AREA METROPOLITANA							
Fuente	Q. Hidrológico (m3/seg)	Planta	Capacidad instalada (m3/seg)	Año de apertura	Q. Captado a 2006 (*)		Q. aprox 2009 (**)
					(m3/seg)	%	(m3/seg)
Santa Elena		La Cascada (5)	0.10		0.09	1.0	0.09
La Iguaná	0.08	San Cristóbal (6)	0.23	1964	0.11	1.2	0.11
La Puerta	0.03						
Tenche		San Antonio de Prado (7)	0.10	1987	0.15	1.6	0.15
La Manguala	0.02						
Las Despensas	0.01						
La Larga	0.08						
Doña maria	0.13						
La Chata	0.06						
La Picacha		Aguas Frías (8)	0.03	1994	0.02	0.2	0.02
La Lopez	0.04	Barbosa (9)	0.06	1997*	0.16	1.7	0.16
El Viento	0.04						
La Valeria	0.09	Caldas (10)	0.20	1997*	0.13	1.4	0.13
La Reventona	0.02						

* año de ingreso al sistema de EEPPM
(*)dato según cuadro de EEPPM en documento presentado en el segundo diálogo internacional sobre la crisis del agua ,sevilla 2006. el % se da sobre el total de fuentes externas e internas (9.24m3/seg).(Q.)caudal.
(**)por falta de información concreta a 2009, se hace una aproximación con el dato determinado en 9.45m3/seg, manteniendo los % dados en 2006

Tabla 17. Elaboración propia. A partir de datos de EEPPM

Retomando el dato total de la capacidad instalada de estas plantas de 17.25 m3/seg se puede concluir como se muestra en la siguiente tabla síntesis:

CAPACIDAD PLANTAS Y DEMANDA 2009 - FTS EXTERNAS VS FTS INTERNAS				
Plantas por tipo de fuente	Capacidad instalada		Demanda aprox 2009	
	Q. (m3/seg)	Porcentaje %	Q. (m3/seg)	Porcentaje %
● Plantas con Fuentes Externas	15.20	88.12	8.21	86.90
● Plantas con Fuentes Mixtas	1.33	7.71	0.56	5.95
● Plantas con Fuentes Internas	0.72	4.17	0.68	7.14
TOTAL	17.25	100%	9.45	100%

Tabla 18. Elaboración propia. A partir de datos de EEPPM

Que solo un 4% de la capacidad instalada de las plantas de potabilización que surten de agua a Medellín y el área metropolitana, se da a partir de fuentes internas de la cuenca del río Aburrá, mientras que un 88 % de esta capacidad se da por fuentes externas, y cerca de un 8% a partir del sistema mixto de Piedras Blancas.

De esta forma se concluye a su vez, que partiendo de una **demanda** total registrada por **EEPPM** en la cuenca, de aproximadamente de **9.45 m3/seg** para **2009**, las plantas que se surten de **fuentes del interior** de la cuenca solo han cubierto aproximadamente el **7 % de la demanda total sistematizada**, mientras que las que se surten de **fuentes del exterior** han cubierto cerca del **87%** de de esta, y alrededor de un **6%** se dio por el sistema de **abastecimiento mixto**.

Del 100% un **48.5%** proviene del embalse de **La Fe**, un **38.4%** proviene del embalse de **Río Grande**, un **6%** del embalse de **Piedras Blancas** y un **7.1%** de diversas fuentes ubicadas en diferentes zonas del interior de la cuenca.

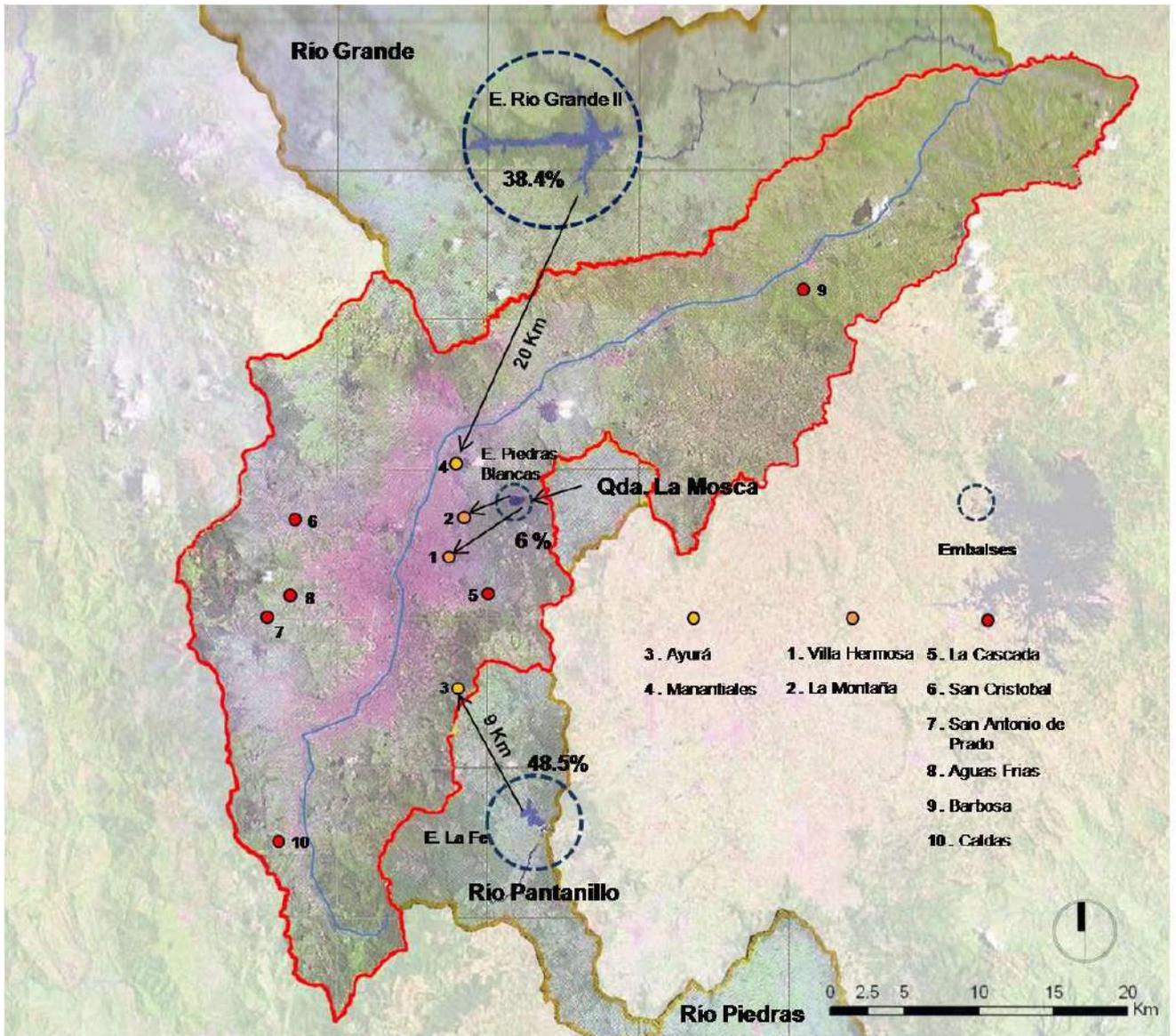


Figura 36. Fuentes de extracción del recurso hídrico superficial del sistema EPPM : internas, mixtas y externas. Elaboración propia

4.2.5.4. Agua subterránea

Como lo muestra el POMCA 2007, a partir del estudio hecho por el área metropolitana del valle de Aburrá en 2001; en relación al inventario de aguas subterráneas, y el estudio hecho por la Universidad de Antioquia en el mismo año; sobre zonas de recarga y acuíferos del valle de Aburrá, existen diferentes zonas o áreas donde se dispone del recurso hídrico subterráneo de acuerdo con las limitaciones o potencialidades geomorfológicas del territorio.

En el estudio de inventario de aguas subterráneas se clasificaron y definieron tres zonas o unidades hidrológicas:

Unidad hidrológica A: conformada por los depósitos aluviales del río Aburrá y sus principales quebradas afluentes, en la parte central del valle, y que presentan una permeabilidad moderada a alta, siendo favorable para recargar y almacenar agua subterránea.

Unidad hidrológica B: se ubica de forma discontinua en las laderas de la cuenca alrededor del valle, presentando una permeabilidad primaria baja y muy baja y una permeabilidad secundaria moderada y una disposición favorable para la recarga de aguas subterráneas.

Unidad hidrológica C: el mayor porcentaje se localiza en las zonas rurales de los municipios de Itagüí (zona occidental), Medellín (zona occidental, sandiego y barrio las estancias), Bello (zona occidental), Girardota (zona norte y sur oriental) y Barbosa (zona occidental, sur occidental, norte y oriental). Un pequeño porcentaje se ubica en zona urbana, en la parte centro occidental y centro oriental (san diego- seminario mayor).

Mientras que en el estudio de la Universidad de Antioquia se replantean estas zonas, definiéndose en dos tipos de acuíferos; libre y semiconfinado, y dividiéndose en zonas de recarga directa de alto, moderado y bajo potencial, y zonas de recarga indirecta.

“El acuífero libre es denominado A o A1, según la existencia de A2. la unidad A1 se extiende desde el municipio de caldas hasta Medellín, posee un espesor máximo de 99 metros a la altura del aeropuerto Enrique Olaya Herrera. En la parte norte del área de estudio, esta unidad se denomina A y se extiende desde Medellín hasta Barbosa. Por debajo de A1 se encuentra B, el cual se extiende desde Caldas hasta Medellín, su espesor máximo es de 57 metros. El acuífero semiconfinado A2, se observa desde Sabaneta hasta Medellín; su máximo espesor se presenta en inmediaciones del aeropuerto Enrique Olaya Herrera”⁸

Zona con potencial alto de recarga directa: localizadas en áreas planas en relación con el río Aburrá y sus afluentes

Zona con potencial moderado de recarga directa: localizadas en áreas bajas y medias de las vertientes, con pendientes leves y en colinas bajas con pendientes suaves.

Zona con potencial bajo de recarga directa: áreas planas ubicadas hacia las partes bajas de las vertientes con pendiente no superior al 15%.

⁸ POMCA 2007.p 46

A partir del análisis presentado por el POMCA se establecieron las zonas con potencial de recarga que presentan menos afectación por los procesos de crecimiento urbano que han impermeabilizado gran parte de las superficies, disminuyendo en gran medida las posibilidades de recarga del acuífero.

4.2.5.4.1. Explotación del agua subterránea

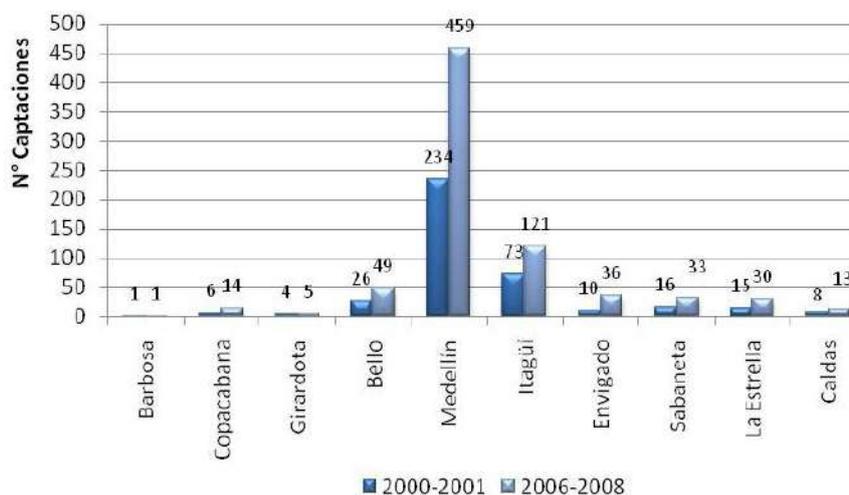
Desde el año 2000 el área metropolitana viene adelantando un inventario de las captaciones de aguas subterráneas que se dan en el territorio. Se presenta aquí el último cuadro con la actualización a 2008, ya que a 2009 no se realizó una actualización a este inventario:

Tabla 19. Número de captaciones de aguas subterráneas estudios 2000 – 2001 y 2006 – 2008 en el Valle de Aburrá

Municipio	Número de captaciones halladas en cada estudio		Incremento 2001 - 2008 (%)	% participación 2008
	2000-2001	2007-2008		
Barbosa	1	1	0,0	0,1
Copacabana	6	14	133,3	1,8
Girardota	4	5	25,0	0,7
Bello	26	49	88,5	6,4
Medellín	234	459	96,2	60,3
Itagüí	73	121	65,8	15,9
Envigado	10	36	260,0	4,7
Sabaneta	16	33	106,3	4,3
La Estrella	15	30	100,0	3,9
Caldas	8	13	62,5	1,7
Total	393	761	93,6	100,0

Fuente: cuadro de la Contraloría General de Medellín con datos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2009⁹.

Figura 37. Comparativo del número de pozos inventariados en el Municipio de Medellín



Fuente: gráfico de Contraloría General de Medellín con datos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, marzo de 2010.

Observando estos datos y relacionándolos con los datos de las tablas de consumo de agua subterránea presentadas en el capítulo 4.2.3. Respecto a los consumos, es evidente que la explotación de este recurso toma cada vez más fuerza dentro del territorio, evidenciando que

dentro de la cuenca del río Aburrá el recurso hídrico subterráneo presenta un alto potencial, el cual ha sido explotado durante años de forma informal principalmente por el sector industrial y por algunos otros usos y sectores diversos.

“Para el Área Metropolitana, las captaciones de aguas subterráneas del Valle de Aburrá presentan problemáticas tales como la ilegalidad, la sobreexplotación, la contaminación del recurso, la obsolescencia e ineficiencia de los dispositivos y estructuras de explotación, entre otros”.⁹

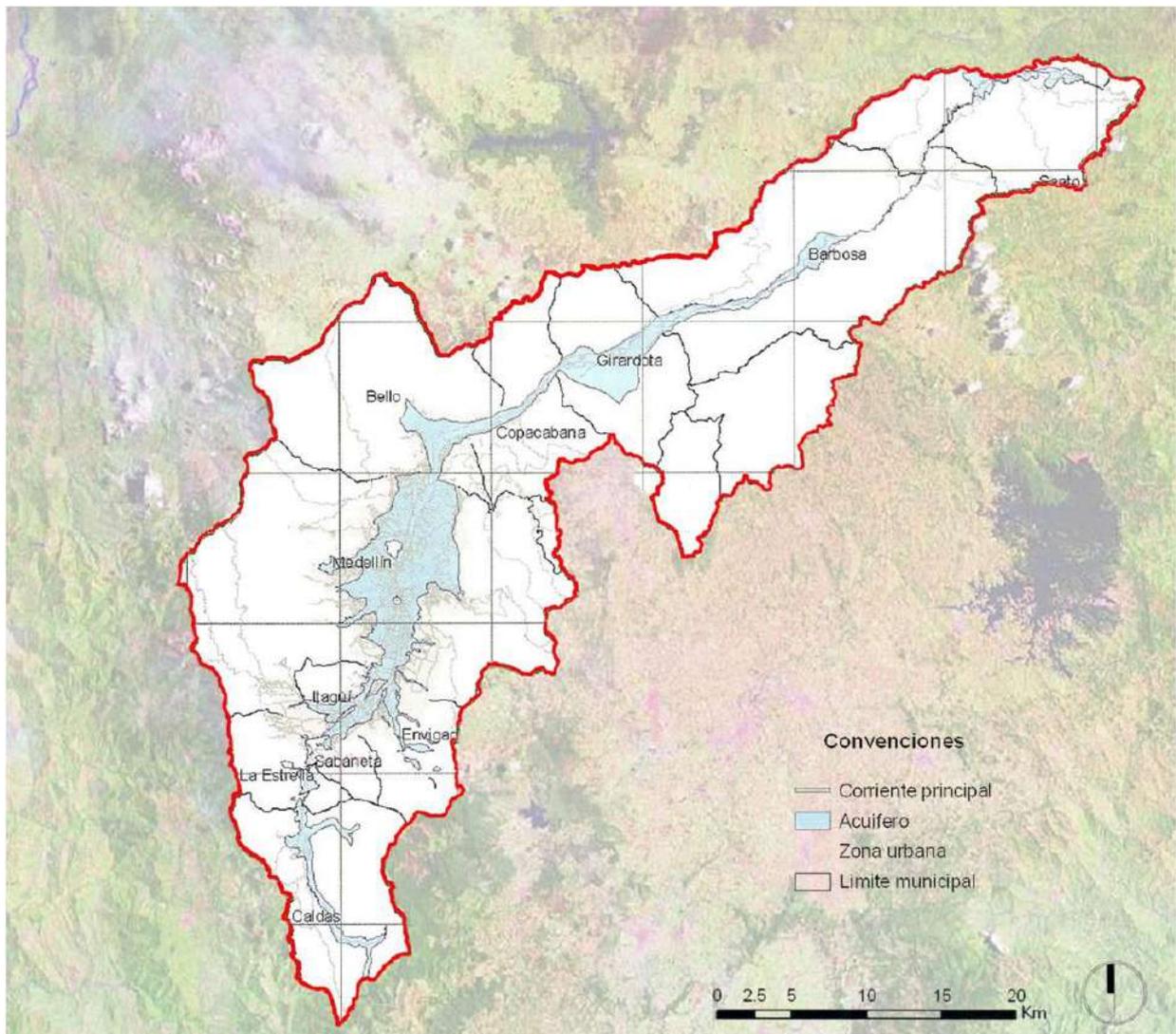


Figura 38. Unidad hidrogeológica A en área Metropolitana .elaboración propia a partir de plano del POMCA 2007
Fuente: “zonas de recarga y acuíferos en el valle de Aburra (U.de A. 2001)

⁹ CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN. Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2009. p 59.

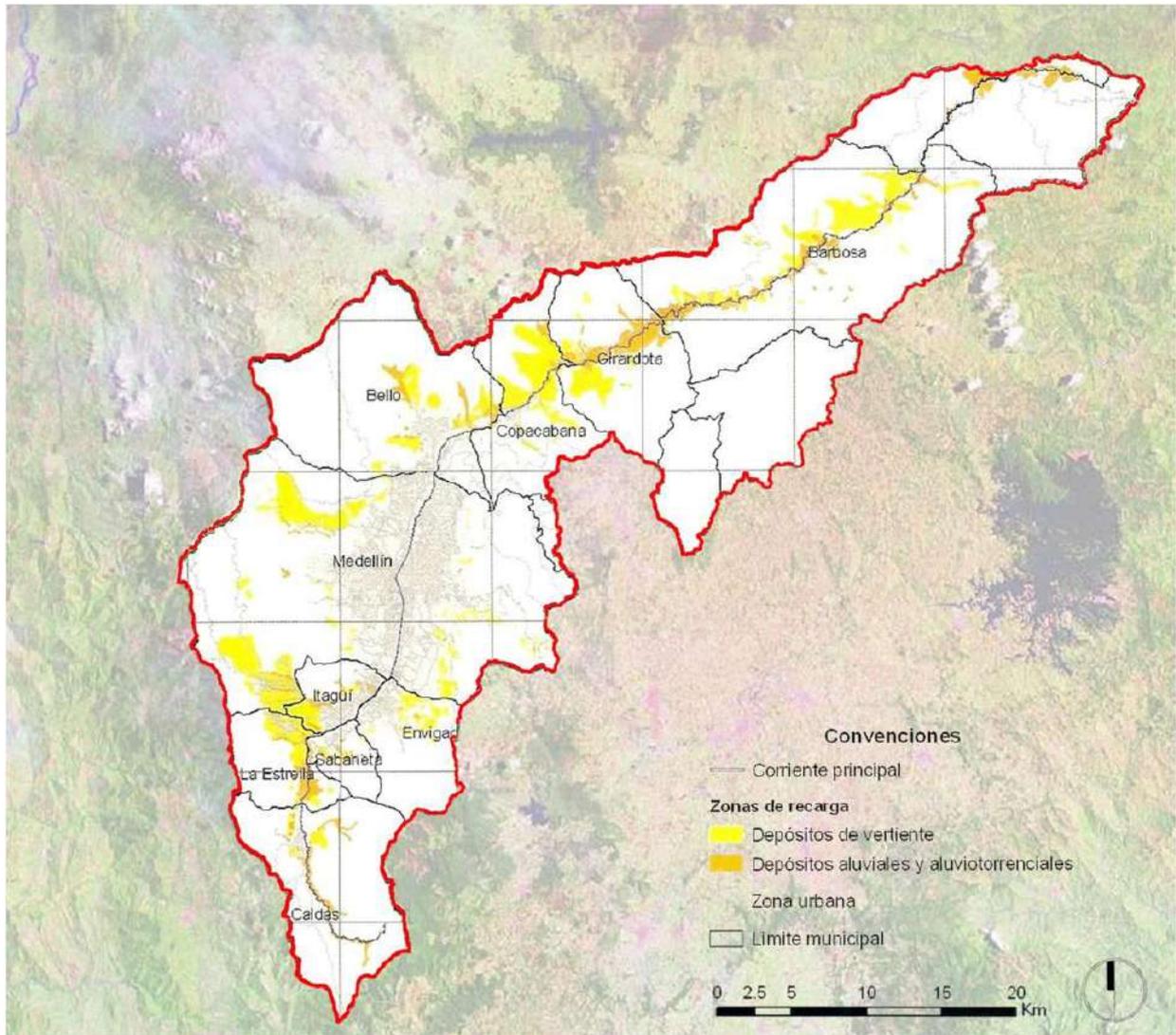


Figura 39. Zonas de recarga para el acuífero asociado a los depósitos aluviales del río Aburrá .elaboración propia a partir de plano del POMCA 2007 Fuente: "zonas de recarga y acuíferos en el valle de Aburra (U.de A. 2001)

4.3. Proyecciones a futuro

Es importante analizar las posibles tendencias hacia el futuro, respecto al consumo y aprovechamiento del recurso hídrico dentro de la cuenca. Por esto a partir del estudio hecho por el POMCA 2007 se presentan las proyecciones de posibles escenarios futuros hacia el 2025 respecto a la población y demanda, partiendo de la disponibilidad actual del recurso. Estas proyecciones han sido utilizadas a su vez para algunas comparaciones y aproximaciones hechas en un subcapítulo posterior.

Respecto a la población las proyecciones hechas por el POMCA se hicieron mediante dos tipos de métodos diferentes que dieron como resultado los siguientes gráficos:

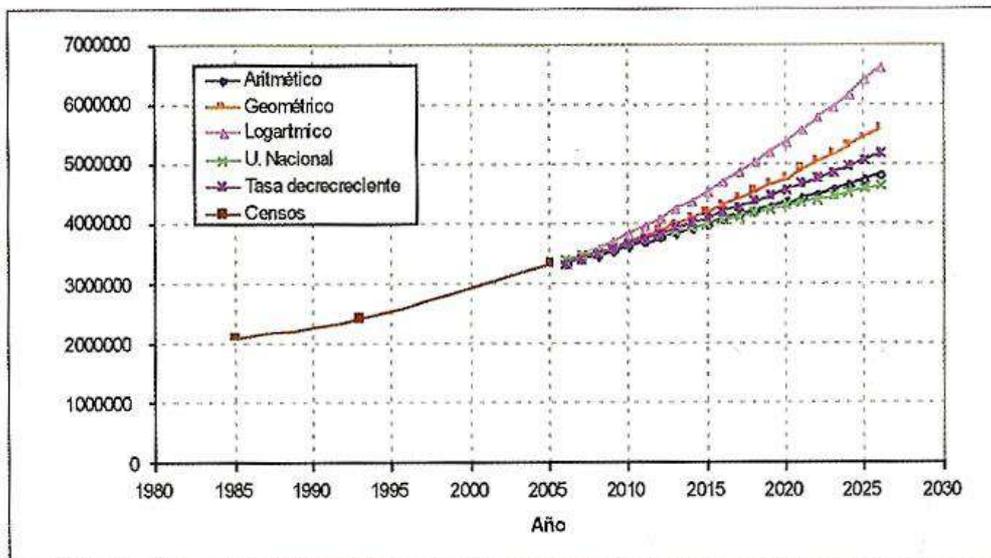


Figura 40. Proyección de la población total de la cuenca del río Aburrá. Fuente: POMCA 2007

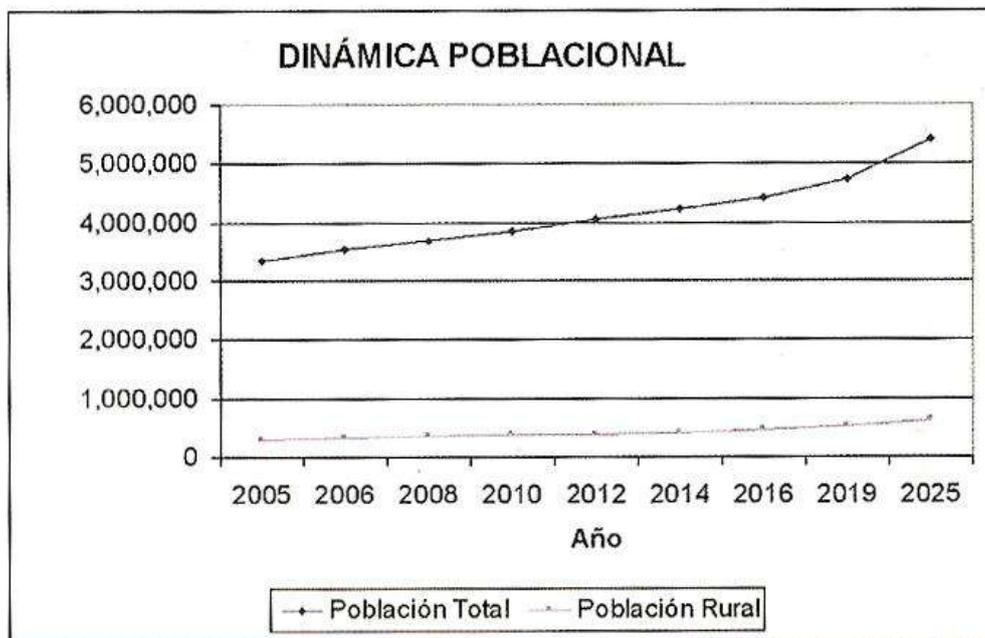


Figura 41. Proyección para la población total y rural de la cuenca según dinámica poblacional. Fuente: POMCA 2007

Se puede concluir de los dos gráficos, que la población a 2025 alcanzaría los 5.5 millones de habitantes aproximadamente.

Respecto a la demanda y teniendo en cuenta las proyecciones de la población, el estudio planteó tres escenarios para la demanda del recurso hídrico (pesimista, tendencial, optimista), a partir de los cuales se hicieron las respectivas proyecciones. En este estudio hecho en el 2006, se manejaron los siguientes datos:

Una dotación actual (escenario **tendencial**) para esa fecha de **211 L/hab/día**, dato estimado a partir de la información histórica (1995-2006) de EEPPM, partiendo de esto definieron los otros dos escenarios, uno **optimista** con una demanda de **180 L/hab/día**, y otro **pesimista** con una demanda de **242 L/hab/día**. En estos escenarios se planteo un decrecimiento en las perdidas, llevando este dato a un **34.47%**. A su vez aclaran que el dato de dotación de agua diaria se considero el mismo para usuarios rurales y urbanos. El siguiente es el grafico resultante:

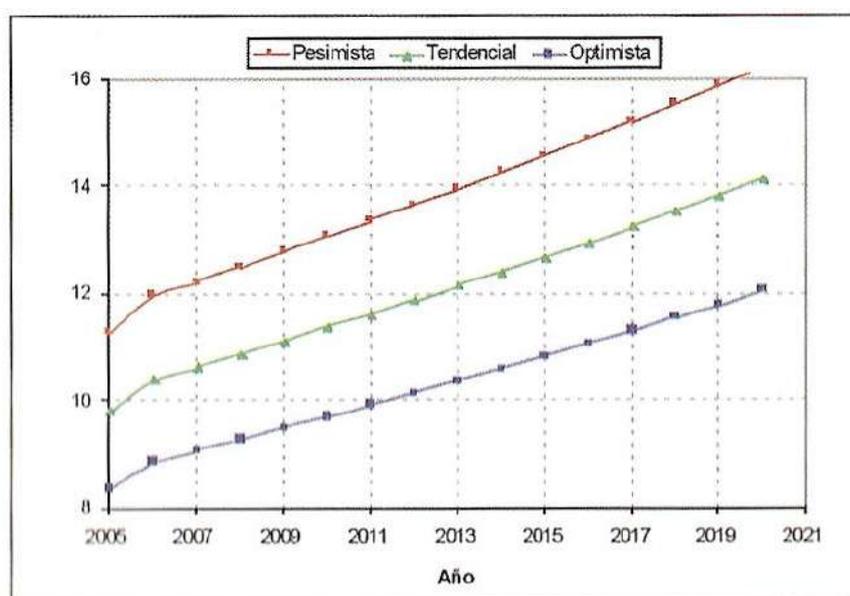


Figura 42. Proyección de la demanda de agua para los habitantes de la cuenca del río Aburrá.
Fuente: POMCA 2007

A partir de esta proyecciones el estudio del POMCA concluye que, sabiendo que la capacidad instalada de las plantas de tratamiento de agua de EEPPM es de 17.25 m3/seg, la demanda de agua potable en la cuenca puede ser abastecida durante todo el horizonte de planificación, inclusive en el escenario pesimista del uso del recurso hídrico. (POMCA 2007)

Sin embargo, más allá de la importancia en la capacidad instalada de las plantas de potabilización de EEPPM, es importante pensar en la permanencia y calidad del recurso en el territorio.

4.4. Calidad del recurso hídrico

Se hace una aproximación a la gestión de las aguas residuales dentro del territorio durante los últimos años, analizando a su vez posibles situaciones futuras de acuerdo con el estado actual y los proyectos que se adelantan respecto al tratamiento de las aguas.

Se presentan los datos de calidad del recurso hídrico en algunas subcuencas, en el río, y de las aguas subterráneas, de acuerdo con los últimos estudios realizados por EEPPM y el área Metropolitana.

4.4.1. Gestión del agua residual

En la actualidad Medellín y el área metropolitana presenta un grave problema de contaminación del recurso hídrico que corre por un alto porcentaje de los cuerpos de agua que conforman la cuenca del río Aburrá, esto debido a los complejos procesos de crecimiento a lo largo de la historia, y a que en su momento no pudo haber un control claro de las aguas residuales, considerando al río y sus quebradas como vertederos de estas aguas, afectando así el ciclo natural en el territorio.

Con los años la preocupación por la problemática en la contaminación de estos cuerpos de agua, fue generando mayor interés dentro de las entidades municipales y de servicios públicos, y por esto se comenzaron procesos de control de las aguas residuales y de recuperación de los cuerpos de agua en la cuenca.

“Hasta fines de la década de los años 50, Medellín y su área metropolitana no contaban con un plan maestro para el manejo de sus aguas residuales. En 1967 se inició la construcción de un sistema de recolección y transporte de aguas residuales con el fin de sanear las quebradas urbanas y el río Medellín. Este Sistema se ha venido construyendo gradualmente a lo largo de 39 años y ya ha permitido mostrar mejoras en la calidad del recurso hídrico”.¹⁰

El sistema funciona básicamente a partir de 3 componentes: los colectores, los interceptores y las plantas de tratamiento.

Los colectores son redes tendidas a ambos lados de las quebradas encargadas de recoger los vertimientos puntuales y transportarlos hasta el segundo componente (interceptores).

Según datos de EEPPM a **2009** el sistema cuenta con **319km** aproximadamente un **88%** del total requerido.

Los interceptores son las redes extendidas a ambos costados del río que llevan el total de las aguas servidas recolectadas al tercer componente (plantas de tratamiento).

Según datos de EEPPM a **2009** el sistema cuenta con **33km** aproximadamente un **78%** de la longitud necesaria.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales. Planteadas 2 para tratamiento secundario, de las cuales, a la fecha, se encuentra en funcionamiento una desde el año **1999**; planta de tratamiento secundario **San Fernando**, ubicada al suroccidente del valle de Aburrá entre los

¹⁰ PIEDRAITA DIAZ, Francisco. director de Aguas de Empresas Publicas de Medellín. En (La gestión de aguas en Empresas públicas de Medellín y la Sostenibilidad del recurso hídrico). Dialogo internacional sobre la crisis mundial del agua (gestión sostenible del agua urbana). Sevilla-España. p37.

municipios de Itagüí y Medellín, la cual recibe agua residual de los municipios de Sabaneta, La Estrella, Itagüí, Envigado y San Antonio de Prado. Mientras que la futura planta, planteada para entrar en funcionamiento hacia el **2012**, y que se ubicara al noroccidente del valle de aburra en el municipio de **Bello**, tratara aguas residuales de los municipios de Medellín y Bello.

Para esta última será necesaria la construcción de un interceptor de aproximadamente 8 km, desde el punto donde actualmente se descargan las aguas residuales al río Medellín (Aburrá) cerca al sector de Moravia.

Estas plantas se han convertido para las empresas prestadoras del servicio, en la “principal esperanza” para el saneamiento del río Aburrá. Sin embargo, no garantizan una remoción del 100% del material contaminante, ya que se prevén remociones que promedian el 80 y 85%.

Existen otras 2 pequeñas plantas de tratamiento en los municipios de Girardota y Barbosa, pero estas son de tratamiento preliminar, por lo que no aportan mucho en el mejoramiento de las aguas residuales.

Adicional a esto, para la recuperación de la vertiente se ha comenzado a implementar el programa de **acueductos y alcantarillados veredales**, que se orienta a controlar el uso del recurso y la contaminación de los cuerpos de agua en la parte alta de la cuenca. Siendo los responsables de operar estos sistemas las juntas de acueducto comunitario, las cuales reciben asesorías por parte de EPPM.

Sin embargo como lo enuncia el POMCA:

“Algunos de los mayores aportes de vertimientos directos de aguas residuales domesticas provienen de los asentamientos ilegales de las zonas urbanas, los cuales no cuentan con servicios públicos. Algunas empresas lo hacen de manera ilegal o se identifican vertimientos de aguas residuales mezcladas con lluvias (conexiones erradas). La mayoría de los asentamientos rurales, dado que no cuentan con servicios de alcantarillado, vierten sus aguas directamente a las corrientes sin ningún tipo de tratamiento”.¹¹

Un problema que tiende a empeorar en tanto no se intervenga de forma integral sobre estos asentamientos y áreas críticas dentro de la cuenca.

¹¹ POMCA 2007. p36.

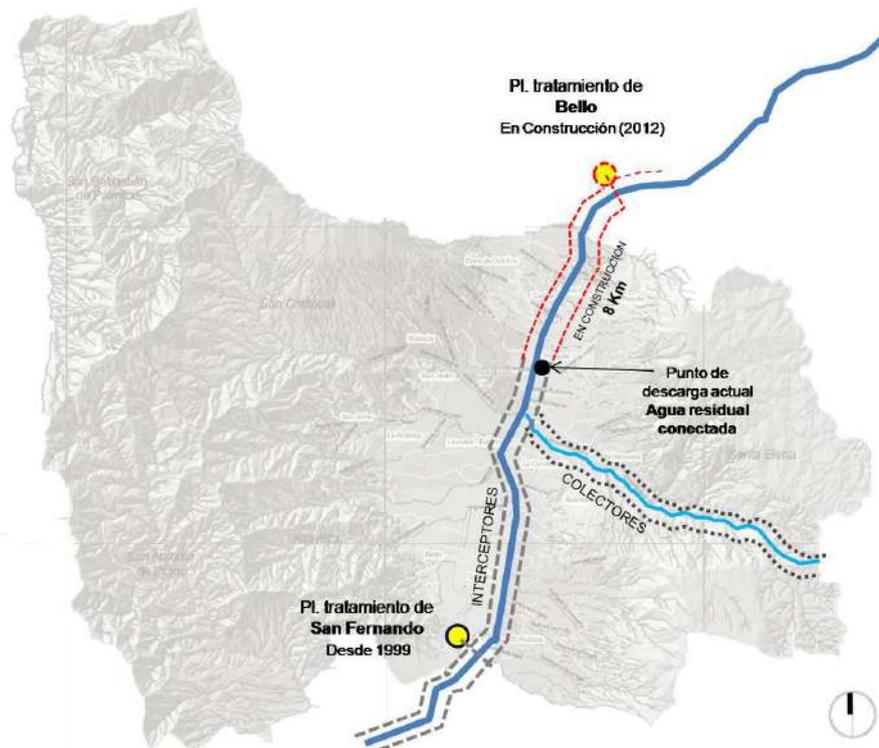


Figura 43. Esquema de sistemas de recolección de aguas residual en Medellín. Elaboración propia.

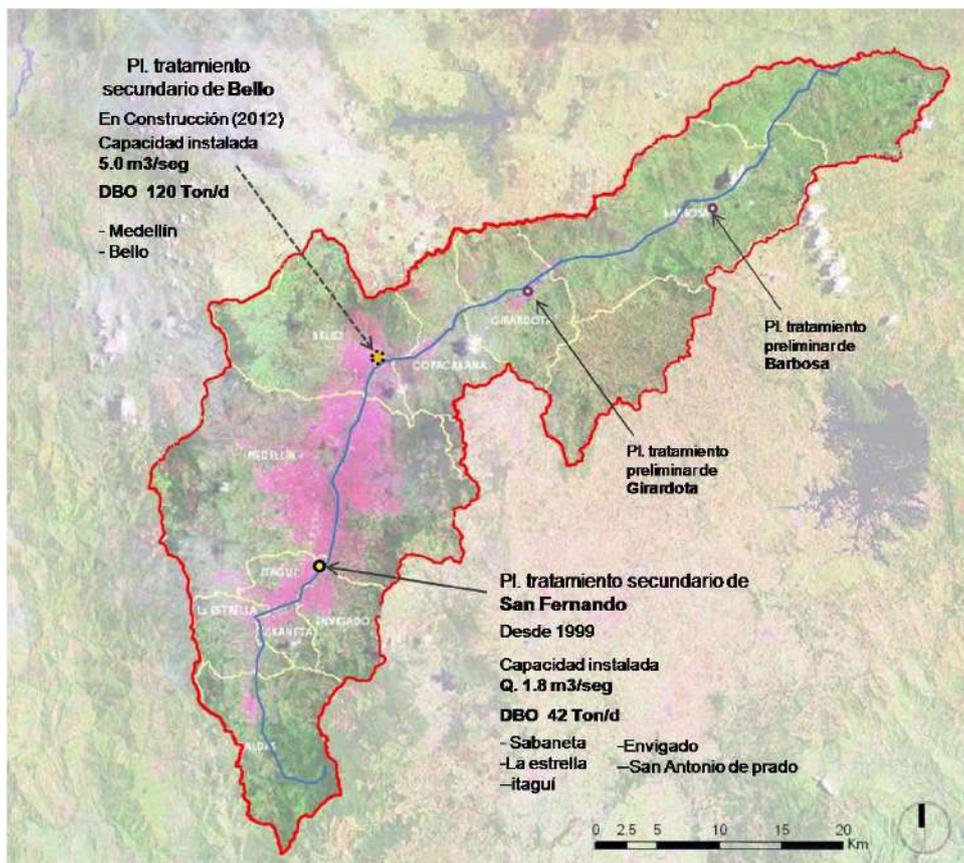


Figura 44. Ubicación plantas de tratamiento de agua residual en la cuenca del río Aburrá. Elaboración propia.

4.4.1.1. Agua residual no tratada

Los vertimientos no tratados se refieren al volumen total de aguas residuales (de uso doméstico, comerciales e industrial) que se arrojan a los cuerpos de agua de la cuenca, sin ningún tipo de tratamiento previo.

Estos volúmenes son la sumatoria de dos situaciones principales:

1. Volúmenes de agua residual no tratada, conectada al sistema de alcantarillado, correspondiente a volúmenes que aunque están dentro de la red de alcantarillado, aun son dirigidos directamente hacia los cuerpos de agua de la cuenca, a causa de la carencia del sistema de colectores y de capacidad de tratamiento.
2. Volúmenes de agua residual no tratada, No conectada al sistema de alcantarillado, correspondiente a los volúmenes que son arrojados por las viviendas que presentan domiciliarios que descargan directamente a una quebrada, o viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo donde no es permitido la instalación de alcantarillado.

La sumatoria de estos valores corresponde entonces al volumen de agua total servido (facturado y no facturado). de acuerdo con datos de EEPPM, en la siguiente tabla se puede observar la proyección de estos valores en los últimos años:

Tabla 20. Vertimientos de aguas residuales no tratadas, valle de Aburrá, a 2009

Origen	2004		2006		2008		2009	
	Mm ³ /año	%						
Agua residual no tratada conectada al sistema de alcantarillado	142.913.991	75,9	144.717.724	77,2	148.175.853	75,0	151.559.539	77,9
Agua residual no tratada no conectada al sistema de alcantarillado	6.350.000	3,4	3.404.305	1,8	6.658.272	3,4	5.875.967	3,0
Total	149.263.991	79,3	148.122.029	79,0	154.834.125	78,4	157.435.506	80,9

Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP, marzo de 2010.

Figura 45. Grafico Vertimientos de aguas residuales no tratadas, valle de Aburrá, 2004- 2009



Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP, marzo de 2010.

Se puede observar que la tendencia en los años evidencia cada vez un incremento mayor de los valores en periodos de tiempo menores, siendo el caso del 2006-2008 un salto considerable en cuanto al componente de no conectados; muy seguramente relacionado este dato con el pico en el incremento poblacional dado en 2007-2008, y donde como se observa los asentamientos de invasión o irregulares fueron determinantes. Y el periodo 2008-2009 mostrando un incremento del 2.9% en su componente de los conectados al sistema de alcantarillado, una reducción del 0.4% en los no conectados, pero finalmente un incremento en el total del 2.5% dándose este por posibles nuevas legalizaciones y conexiones de alcantarillados con imposibilidades de tratamiento previo a su vertimiento.

A su vez como lo enuncia la contraloría en su informe del 2009:

“El 91% del agua conectada al sistema de alcantarillado de EEPPM y que es vertida al río Aburrá sin ningún tratamiento es doméstica y comercial, y el 9,3% restante es agua industrial. El agua no tratada y no conectada al sistema del alcantarillado de EEPPM solo representa el 3,11%”.¹²

4.4.1.2. Agua residual tratada

Los vertimientos tratados de aguas residuales corresponden al volumen de agua que es transportado por medio del sistema de alcantarillado hasta las plantas de tratamiento residual, para luego ser vertidas al cuerpo de agua; en este caso al río Aburrá. Es importante conocer, tanto, cuánto es este porcentaje respecto al total de las aguas residuales, cuanto es el nivel de descontaminación logrado en estas plantas y finalmente cual es la calidad del recurso hídrico en los cuerpos de agua de la cuenca al haberse dado estos procesos.

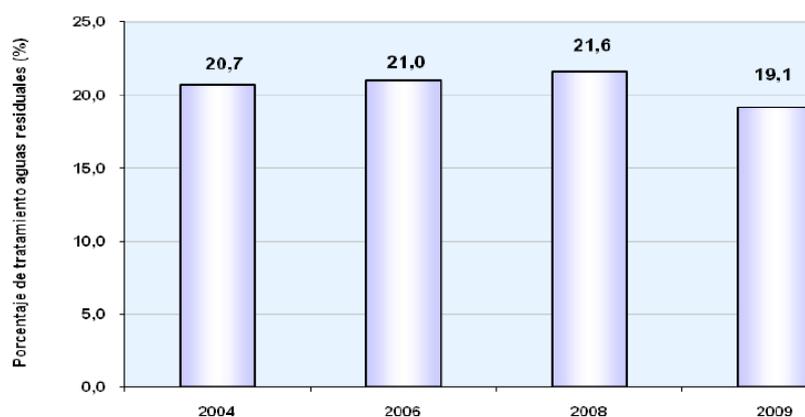
En cuanto al porcentaje del volumen de agua residual tratado frente al volumen total, de acuerdo con datos de EEPPM y de acuerdo con el funcionamiento de la actual planta de tratamiento San Fernando que recibe las aguas de Sabaneta, La Estrella, Itagüí, Envigado, San Antonio de Prado y aguas de infiltración, se observan los siguientes datos:

Tabla 21. Porcentaje de tratamiento aguas residuales valle de Aburrá, 2009

Año	Tratamiento Aguas residuales	
	Agua residual tratada Mm ³ /año	% frente a total
2004	39.012.860	20,7
2006	39.398.220	21,0
2008	42.738.478	21,6
2009	37.236.173	19,1

Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP, marzo de 2010.

¹² CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN. Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2009. p 70.

Figura 46. Grafico Porcentaje de tratamiento aguas residuales valle de Aburrá, 2004-2009

Fuente: gráfico de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP, marzo de 2010.

Se observa que para el año **2009** hay una disminución en la cantidad de agua tratada, respecto al total de agua residual vertida; **> vertimiento < tratamiento**.

En el 2009, el volumen total de vertimientos de aguas residuales es de **194.7 millones de metros cúbicos** (facturado + no facturado). Donde solo el **19.1 %** está siendo tratado en la **planta de San Fernando** antes de ser vertido al río, mientras el **80.9%** restante es **vertido a las quebradas y al río sin ningún tipo de tratamiento**.

A partir de estos datos, se hace un comparativo entre la cantidad del recurso consumido (directo) y la cantidad del recurso contaminado (tratada + no tratada), como se muestra en la siguiente tabla:

AGUA RESIDUAL Vs AGUA CONSUMIDA TOTAL (directa) A 2009			
Tipo	Volumen (Mill.m3/año)	caudal (m3/seg)	porcentaje %
Agua Residual no tratada Total	157.435.506	4.99	48.6
Agua Residual tratada Total (Planta San Fernando)	37.336.173	1.18	11.5
Agua Residual Total	194.771.679	6.18	60
Agua consumida Total (*)	324.124.397	10.28	100

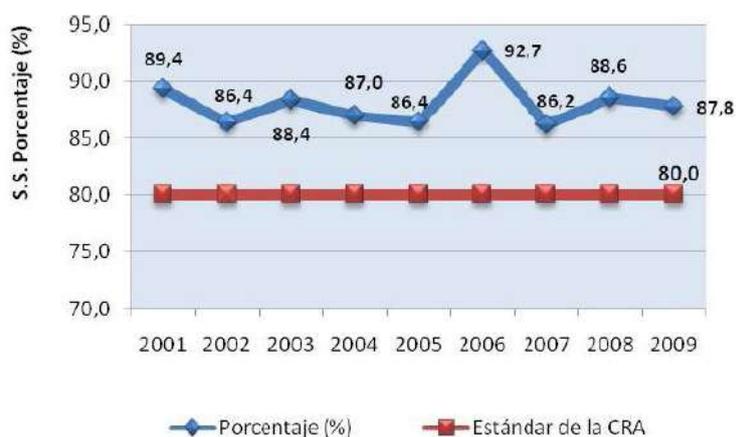
(*)el dato no contempla los consumos indirectos, ni otros valores como el del sector agroindustrial y de riego en zona rural.

Tabla 22. Elaboración propia

Se observa entonces que aproximadamente el total del **agua residual corresponde con el 60% del 100% del agua total consumida en la cuenca**, y que a su vez la componente **no tratada** equivale al **48.5%**, quedando solo un **11.5%** equivalente a la cantidad de **agua que es tratada** en la Planta san Fernando y vertida luego al río.

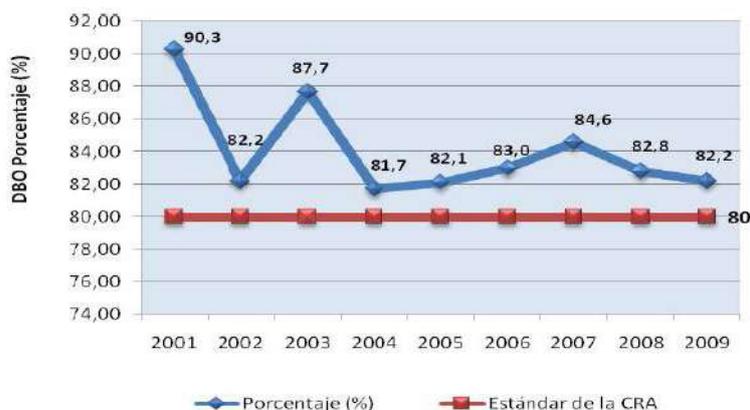
En tanto para la evaluación de este 11.5% de agua tratada, debe tenerse en cuenta la capacidad y eficiencia de las planta de tratamiento en cuanto a variables como el **SST** (porcentaje de remoción anual de sólidos suspendidos) y el **DBO₅** (porcentaje de variación de la demanda bioquímica de oxígeno) .en este caso se presentan los valores dados en la planta de tratamiento de San Fernando, frente al estándar de la **CRA** (Comisión de Regulación del Agua potable y Saneamiento Básico) que exige un mínimo de 80% , como se muestra en los dos siguientes gráficos:

Figura 47. Porcentaje de remoción anual de sólidos suspendidos totales (SST) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, 2001 - 2009



Fuente: gráfico de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP MARZO DE 2010.

Figura 48. Porcentaje de remoción anual de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, 2001-2009



Fuente: gráfico de Contraloría General de Medellín con datos de Empresas Públicas de Medellín ESP marzo de 2010

El porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (**SST**) en la planta San Fernando en el **2009** fue en promedio de **87,8%**, con un máximo de 92,1% y un mínimo de 82,2%. Mientras que El porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (**DBO**) fue de **82,2%** en promedio, con un porcentaje máximo del 89,0% y mínimo de 74,3%. (Contraloría de Medellín 2009)

Aunque estos porcentajes se mantienen por encima del **80% mínimo** planteado por el estándar **CRA**, se nota una tendencia al decrecimiento.

A su vez , si se tiene en cuenta que el volumen vertido luego de su tratamiento no está en un 100% descontaminado y que el río aun no tiene una capacidad auto depuradora debido a que el volumen tratado es mínimo respecto al volumen total del recurso contaminado que corre por la cuenca , el panorama no es muy claro.

“El aumento de vertimientos domésticos no tratados debido al aumento de la población, la existencia de puntos de descarga industriales y de los colectores aun no tratados, ha hecho que la calidad del agua no llegue a los niveles deseados. Aunque se han hecho grandes obras para el tratamiento de las aguas, el problema sigue siendo mayor que las soluciones implementadas”.¹³

En tanto, se prevé que con la entrada en funcionamiento de la nueva **planta de tratamiento** en el **municipio de Bello** para el año **2012** la cual tendrá una **capacidad instalada de 5.0 m3/seg** inicialmente y hacia **2020** un **máximo de 6.5 m3/seg**, se alcancen los niveles esperados en cantidad y calidad.

Partiendo de las proyecciones hechas por el POMCA 2007 respecto al posible crecimiento de la población hacia el 2025, se hace una aproximación hacia un posible escenario de consumos y vertimientos futuros; manteniendo la tendencia actual, y luego se relacionan estos datos con los datos de las plantas de tratamiento secundario de agua residual; incluyendo la nueva planta de tratamiento de bello, y estimando tanto que esta como la ya existente trabajáran al 100% de su capacidad, como se presenta en estas dos tablas:

PROYECCIÓN DEMANDA Y AGUA RESIDUAL A 2025						
Año	consumo (L/hbt/día)	# de habitantes	Consumo total		Agua Residual total	
			Volumen (Mill.m3/año)	caudal (m3/seg)	Volumen (Mill.m3/año)	caudal (m3/seg)
2009	253	3.510.604	324.124.397	10.28	194.771.679	6.18
2025	253	5.500.000	507.897.500	16.11	305.203.958	9.68

Tabla 23. Elaboración propia

PROYECCIÓN DEMANDA Y AGUA RESIDUAL A 2025							
Capacidad instalada Plantas de tratamiento al 100%				Agua residual a 2025			
Planta	caudal (m3/seg)	Volumen (Mill.m3/año)	Total (Mill.m3/año)	caudal (m3/seg)	Volumen (Mill.m3/año)	caudal (m3/seg)	% de Agua sin posibilidad de tratamiento
Pl. san Fernando	1.8	56.764.800	261.748.800	8.3	305.203.958	9.68	14
Pl.Bello	6.5	204.984.000					

Tabla 23. Elaboración propia

¹³ POMCA 2007.p36.

Partiendo a demás de un supuesto que el total de las aguas residuales estuviesen conectadas al sistema de alcantarillado, este no tendría una capacidad suficiente para su tratamiento, ya que como se observa en las tablas anteriores, en este escenario futuro a aproximado a **2025**, los valores de agua residual excederían la capacidad instalada de las plantas, quedando un **14% sin tratar**, y que muy probablemente seguiría siendo arrojado a las quebradas y al río.

4.4.2. Variables e indicadores de calidad del agua

Luego de los procesos de consumo y vertimientos residuales tratados (en un porcentaje) y no tratados del recurso hídrico, lo que queda finalmente en la actualidad es una cuenca contaminada, de allí la importancia en aproximarse a las condiciones de calidad del agua presente en la cuenca, a partir de las variables e indicadores de calidad.

Se presentan los indicadores de calidad **ICA** (índice de calidad del agua superficial) para una parte de las subcuentas, e **ICA RED RIO** correspondiente al río Aburrá; donde se evalúan diferentes variables como el **DBO** (demanda bioquímica de oxígeno) ,el **OD** (oxígeno disuelto), el **DQO** (la demanda química de oxígeno), esto respecto a las aguas superficiales.

Para el recurso hídrico subterráneo se presenta el resultado del estudio que mide los parámetros de calidad de diferentes captaciones hechas en diferentes municipios del valle de aburrá, basándose en los parámetros de calidad para el agua de consumo humano definidos por la resolución 2115 de 2007.

Estos datos fueron analizados, consolidados y presentados por la contraloría de Medellín en su última publicación del informe del estado de los recursos naturales 2009.

4.4.2.1. Contaminación en las sub cuencas

Se presenta una aproximación a la calidad del recurso dentro de la cuenca a partir de los monitoreos hechos por las Empresas Publicas de Medellín durante los últimos años a **65 quebradas** dentro del área metropolitana, relacionándolos a partir de dos metodologías usadas para la determinación de la calidad del agua; una que tiene en cuenta como principales variables el **DBO** (demanda bioquímica de oxígeno) y el **OD** (oxígeno disuelto), y otra que se da a partir del **ICA** (índice de calidad del agua superficial) , planteadas desde la autoridad ambiental del Área Metropolitana para la evaluación de la calidad del agua en las corrientes.

En tanto en función del **DBO** (demanda bioquímica de oxígeno) y el **OD** (oxígeno disuelto) ,Partiendo de los objetivos de calidad fijados por la autoridad ambiental del Área Metropolitana para un periodo 2006-2016 respecto a la calidad del río aburrá, se plantea que si un cuerpo de agua presenta un valor de la **DBO inferior a 20 mg/l y/o un nivel de OD superior a 5,0 mg/l, simultáneamente, se considera que este ha superado su situación crítica**; y para las condiciones locales su categoría ambiental sería “Aceptable”.

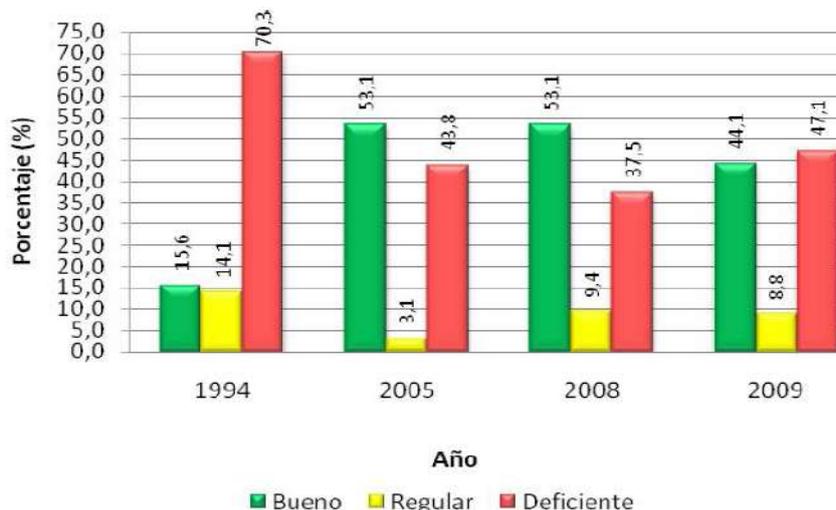
A < **DBO** y > **OD** = mejor calidad del recurso hídrico

Tabla 24. Niveles de calidad de las quebradas Valle de Aburrá, para los años 1994, 2005, 2008 y 2009

Niveles de calidad	Bueno	Regular	Deficiente	Total
Rangos de calidad	OD>5,0 mg/l DBO<20 mg/l	4,0 mg/l<OD<5,0 mg/l 20 mg/l<DBO<40 mg/l	OD<4,0 mg/l DBO>40 mg/l	
Año	Número de quebradas por rango de calidad			
1994	10	54		64
2005	34	2	28	64
2008	34	6	24	64
2009	30	6	32	68

Fuente: Empresas Públicas de Medellín ESP, marzo de 2010.

Figura 49. Comparativo del índice de calidad del agua (ICA) de las quebradas monitoreadas en el Valle de Aburrá, años 1994, 2005 y 2008



Fuente: gráfico de Contraloría General de Medellín - Empresas Públicas de Medellín ESP, marzo de 2010.

Se puede observar que aunque respecto a 15 años atrás el número de quebradas en buen estado a aumentado; esto gracias a la implementación de los proyectos de recolección por medio de los colectores paralelos a los ejes de quebrada que recogen parte de las aguas residuales no tratadas que se vierten a las quebradas, se nota sin embargo que respecto a los **últimos 5 años**, los valores a **2009 han comenzado a aumentar el número de quebradas en mal estado**; de 24 en 2008 a 32 en 2009, disminuyendo a su vez el porcentaje en buen estado.

Respecto al **ICA** (índice de calidad del agua superficial) que tiene en cuenta parámetros como: la demanda bioquímica de oxígeno (**DBO**), la demanda química de oxígeno (**DQO**) el oxígeno disuelto (**OD**), las coliformes totales, los sólidos suspendidos, la turbiedad y el color, agrupándolos en un solo valor, ofreciendo así una forma de medir integralmente la calidad del agua, ampliando los rangos de evaluación a: Natural, Aceptable, Moderadamente contaminada y muy contaminada.

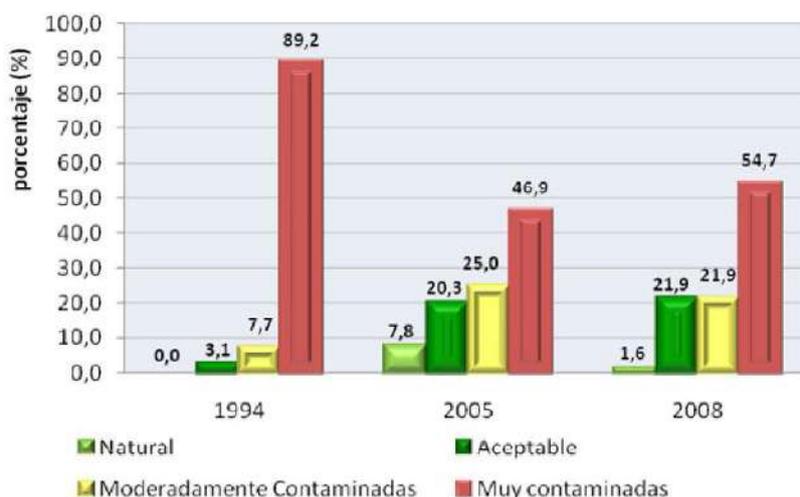
A continuación se presenta el cuadro resultante con el **ICA** de la evaluación de 64 quebradas en los años 1994, 2005 y 2008; presentado por la contraloría de Medellín en 2009:

Tabla 25. Resumen estado ambiental de las quebradas monitoreadas, años 1994, 2005 y 2008

Año		Natural	Aceptable	Moderadamente Contaminadas	Muy contaminadas	Total
1994	N° quebradas	0	2	5	58	65
	Porcentaje	0,0	3,1	7,7	89,2	100,0
2005	N° quebradas	5	13	16	30	64
	Porcentaje	7,8	20,3	25,0	46,9	100,0
2008	N° quebradas	1	14	14	35	64
	Porcentaje	1,6	21,9	21,9	54,7	100,0
Variación (%) 08/94			610,9	184,4	-38,7	
Variación (%) 08/05		-80,0	7,7	-12,5	16,7	

Fuente: cuadro de Contraloría General de Medellín con ICA's reportados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2007 para ICA 2005 ; Febrero de 2009 para ICA 2008; ICA 1994 calculado por la Contraloría General de Medellín a partir de datos de EEPPM, febrero de 2000.

Figura 50. Comparativo del índice de calidad del agua (ICA) de las quebradas monitoreadas en el Valle de Aburrá, años 1994, 2005 y 2008



Fuente: gráfico de Contraloría General de Medellín con ICA's reportados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2007 para ICA 2005 ; Febrero de 2009 para ICA 2008; ICA 1994 calculado por la Contraloría General de Medellín a partir de datos de EEPPM, febrero de 2000.

Al igual que el análisis anterior , se observa que en el periodo **2005-2008**, ha habido un **aumento** en la cantidad de **quebradas con altos niveles de contaminación** y una **reducción** en el numero de **cuerpos de agua en estado natural**, mostrando así un retroceso en los procesos de control y descontaminación de los cuerpos de agua en la cuenca.

4.4.2.2. Contaminación en el río Aburrá

En tanto para la evaluación del río Aburrá, el **ICA RED RIO** se ha dividido en cinco categorías donde la criticidad muy baja o poco relevante corresponde a una buena calidad del agua y la criticidad muy alta se relaciona con una mala calidad del agua o muy contaminada, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tabla 25. Convenciones de referencia ICA RED RIO

Denominación	Código
Criticidad Muy Baja o poco relevante	Verde
Criticidad baja	Verde vivo
Criticidad media	Amarillo
Criticidad alta	Naranja
Criticidad muy alta	Rojo

Fuente: Área metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2009.

En este estudio hecho por el área metropolitana, se ha hecho un registro o toma de muestras a partir de las estaciones de control ubicadas a lo largo del río Aburrá, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 26. Resultados ICA para el Río Aburrá, Fase I 2004-2005 y Fase II 2006-2007

Estación	FASE I Período 2004-2005	FASE II Período 2006-2007
San Miguel	Verde	Verde
Primavera	Verde	Verde
Ancón sur	Verde vivo	Verde
Antes de San Fernando	Amarillo	Amarillo
Después de San Fernando	Naranja	Naranja
Puente Guayaquil	Amarillo	Naranja
Aula Ambiental	Amarillo	Naranja
Puente Acevedo	Rojo	Naranja
Puente Machado	Rojo	Naranja
Ancón Norte	Naranja	Naranja
Puente Girardota	Naranja	Naranja
Parque de las Aguas	Rojo	Naranja
El Hatillo	Amarillo	Amarillo
Papelsa	Naranja	Amarillo
popalito	Amarillo	Amarillo
Pradera	Amarillo	Verde vivo
EADE	Rojo	Verde vivo
Puente Gavino	Rojo	Verde vivo

Fuente: Área metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2009.

Lo que se observa a simple vista es que aunque la criticidad muy alta ha ido desapareciendo, la **criticidad alta permanece** y se incrementa en algunos puntos como el del puente de Guayaquil y el aula ambiental, **concentrándose** este tipo de estado **en la zona más urbana de la cuenca**.

A la fecha no se registro una actualización de datos a 2009, lo que imposibilita ver el estado de los últimos dos años, sin embargo, si se supone que **el estado del río es el reflejo de lo que sucede en la cuenca en general**, seguramente, de acuerdo con lo concluido en el análisis por quebradas, **la situación del río a 2009 podría también haber desmejorado**.

En general, las estaciones del río no alcanzan los límites mínimos permitidos para destinar el recurso hídrico a alguno de los usos de valor establecidos en el decreto 1594/84 (Contraloría de Medellín 2009).

4.4.2.3. Contaminación en aguas subterráneas

Se presenta el informe hecho por la contraloría de Medellín de acuerdo con los estudios realizados por la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín en el periodo 2006-2008, donde se hizo un total de 200 captaciones en los diferentes municipios del área metropolitana, analizando diferentes parámetros de calidad de acuerdo con la normativa colombiana para el agua de consumo humano (resolución 2115 de 2007) como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 27. Número de captaciones contaminadas o que exceden valores admisibles del agua para consumo humano, en el período 2006 - 2008

Parámetro analizado	Municipios Valle de Aburrá										Total
	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Medellín	Itagüí	Envigado	La Estrella	Sabaneta	Caldas	
Color	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
Turbiedad	0	0	2	6	47	13	7	0	6	2	83
Alcalinidad	0	0	0	7	25	2	0	0	0	0	34
Dureza total	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1	7
Ión Nitrato (NO ₃)	0	1	2	14	26	12	8	4	2	0	69
Ión Calcio (Ca)	0	0	0	2	11	4	0	1	0	0	18
Ión Cloruro (Cl)	0	0	0	0	10	2	0	0	0	0	12
Hierro Total (Fe)	0	0	0	1	14	7	4	1	4	1	32
Ión Magnesio (Mg ⁺²)	0	0	0	10	6	0	0	0	0	0	16
Ión Manganeso (Mn ⁺²)	0	0	1	1	5	2	1	1	1	0	12
Ión Sulfato (SO ₄ ⁻²)	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Grasas y Aceites	1	1	4	22	102	32	15	10	9	4	200
Coliformes Totales	0	1	4	20	92	29	13	9	8	4	180
Coliformes Fecales (E. Coli)	0	1	3	9	44	15	4	8	5	2	91
Número de muestras totales	1	1	4	22	102	32	15	10	9	4	200

Fuente: Cuadro de Contraloría General de Medellín con datos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, marzo de 2010.

Y Donde concluyen que:

“Las muestras tomadas en las captaciones de los municipios de Copacabana, Bello, Medellín e Itagüí presentaron, en su mayoría, aguas entre medianamente duras a duras. Envigado y la Estrella, aguas blandas a medianamente duras. Barbosa, Girardota, Sabaneta y Caldas presentaron aguas blandas.

En cuanto a las grasas y aceites, la resolución 2115 de 2007 no presenta valores admisibles para consumo humano, sin embargo, en el muestreo, se evidencia contaminación en mayor o menor grado en todas las 200 muestras.

Asimismo, 180 muestras están contaminadas por coliformes totales y 91 por coliformes fecales, correspondiente al 90,0% y 45,5%, respectivamente, del total de las muestras analizadas.

Los municipios cuyas captaciones exceden en mayor cuantía los límites de calidad fueron Medellín, Itagüí y Bello”.¹⁴

La informalidad y el poco control en la extracción, uso y tratamiento de estas aguas, a la vez que la carencia de sistemas de drenajes sostenibles en las superficies que permiten la recarga del acuífero, ha hecho que este recurso, al igual que el de los cuerpos superficiales de agua, sea altamente contaminado.

¹⁴ CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN. Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2009. p 61.

4.5. Oferta y disponibilidad hídrica

La disponibilidad del recurso hídrico determina las posibilidades que el territorio tiene para abastecer la demanda, para la obtención de la disponibilidad es necesario conocer la oferta hídrica total, que es la cantidad de agua presente en el territorio.

La estimación de la oferta hídrica es un tema algo complejo ya que incluye la determinación de variables específicas para las diferentes fases del ciclo hidrológico como son: **precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía**. A su vez componentes como los de agua subterráneas bastante difíciles de contabilizar, y el total del recurso superficial que corre por la cuenca, complejizan aun más la obtención de este dato. En este caso se hacen aproximaciones partir de datos generales, y aunque se parte de algunas metodologías consultadas; como la propuesta por el IDEAM para el análisis de la disponibilidad (**resolución 0865 de 2004**), para la comprensión de este concepto, no se profundiza en estas metodologías de cálculo debido a la carencia de información específica, y a que no es el objeto de este trabajo.

En esta parte el trabajo se limita por un lado, al análisis de variables como la precipitación y la escorrentía; ya que se tienen datos a partir del estudio nacional de aguas 2008 elaborado por el IDEAM, de donde se han extraído valores medios para la aproximación a estos componentes. Por otro lado se manejan los datos de las aguas subterráneas presentados por la autoridad ambiental del Área Metropolitana, y se hace una aproximación a la oferta hídrica total y neta superficial a partir del análisis de los datos de caudales medios multianuales registrados por estaciones de caudal ubicadas en el río; relacionados con los datos de caudales máximos y mínimos presentados por el POMCA 2007.

4.5.1. Precipitación

A partir de los datos dados por el POMCA, y entendiendo que los niveles de precipitación varían en diferentes zonas de la cuenca, se opta por hacer un promedio de los datos que se tienen por zonas y obtener así un valor anual promedio general para toda la cuenca, verificando y complementando a su vez estos datos con los presentados en el mapa nacional de precipitaciones elaborado por el IDEAM.

PRECIPITACION MEDA EN CUENCA DEL RÍO ABURRÁ					
zona	precipitacion (mm/año)	promedio (mm/año)	conversion a (m3/año/m2)	área cuenca (m2)	volumen total aprox. (m3/año)
Norte	2800	2171	2.17	1.251.000	2.716.457
Norte	3200				
central	1400				
central	1500				
central	1800				
sur	2000				
sur	2500				

Tabla 28. Elaboración propia

Con el valor promedio de 2171 mm de precipitación anual y haciendo la respectiva conversión, se obtiene un valor de **2.17m3/año/m2** y partiendo de una área total de la cuenca de **1251 km2**, se obtiene un volumen total aproximado de **2.716.000 m3/año**

4.5.2. Escorrentía superficial

Aunque La escorrentía está compuesta por la escorrentía superficial y la escorrentía subterránea La dificultad de determinar la escorrentía subterránea obliga a aproximar el término Con la escorrentía superficial. (Resolución 0865 de 2004)

La escorrentía superficial es el agua que escurre hacia la corriente de drenaje de la cuenca después que la precipitación se ha repartido en intercepción, retención e infiltración. (Resolución 0865 de 2004)

Partiendo de esto, y mediante los datos presentados en el mapa nacional de escorrentía superficial elaborado por el IDEAM, se obtiene un valor medio de escorrentía superficial. (ver anexo)

ESCORRENTIA MEDIA EN CUENCA EN CUENCA DEL RÍO ABURRÁ					
zona	precipitacion (mm/año)	promedio (mm/año)	conversion a (m3/año/m2)	área cuenca (m2)	volumen total aprox. (m3/año)
Norte	1500	1200	1.20	1.251.000	1.501.200
Norte	2000				
central	600				
central	800				
central	1000				
sur	1000				
sur	1500				

Tabla 29. Elaboración propia

Con el valor de **1200 mm/año** de escorrentía anual y haciendo la respectiva conversión, se obtiene una valor de **1.2 m3/año/m2** y partiendo de una área total de la cuenca de **1251 km2**, se obtiene un volumen total aproximado de **1.501.000 m3/año**

La diferencia entre el volumen de precipitación y el volumen de escorrentía superficial, corresponde con el volumen de agua **infiltrada, retenida y evaporada**, que en este caso se aproximaría a **1.213.470 m3/año**.

4.5.3. Oferta hídrica de Agua subterránea

*“Reporta el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que el estudio de la Universidad de Antioquia en el año 2001 estima que el sistema acuífero del Valle de Aburrá debe tener una capacidad de almacenamiento de 200 millones de m³, para regular en un año medio la variación entre las entradas y las salidas de agua en la cuenca del río Aburrá. Ciertamente esta información fue validada por el estudio de la Universidad Nacional de Colombia en el año 2006. El principal acuífero se encuentra en los depósitos aluviales del río Aburrá y sus principales quebradas afluentes”.*¹⁵

Tabla 30. Estimado reservas de aguas subterráneas en el Área Metropolitana.

Concepto	Cantidad	Unidad
Capacidad de almacenamiento	200.000.000,0	m ³
Oferta hídrica	59.690.459,0	m ³ ●

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2009 y marzo de 2010.

¹⁵ Ibíd. p 59.

(*)Este dato presenta inconsistencias en sus unidades (se tomara como m3/año)

La oferta hídrica subterránea es de unos **59 millones de m3/año** aproximadamente. Sin embargo aun falta profundizar en estudios, metodologías y técnicas que permitan conocer de forma más concreta el estado del recurso hídrico subterráneo dentro del territorio.

Por el momento en el caso de Colombia se aclara que:

*“La estimación de la oferta hídrica subterránea se corresponde con el estado del conocimiento actual sobre la evaluación del recurso, presentado en el documento Consideraciones sobre las aguas subterráneas en Colombia y sus posibilidades de explotación, publicado por Ingeominas en 1997”.*¹⁶

En este documento básicamente se dice que la oferta hídrica se estima a partir de los recursos dinámicos, que se definen como el caudal de agua subterránea que es renovada estacionalmente por la infiltración proveniente de la precipitación y otras fuentes naturales. Esta es la que se considera para una explotación sostenible.

No se consideran las reservas estáticas, definidas como el volumen de agua almacenado en los poros y grietas del acuífero. (Ingeominas, 1997)

4.5.4. Oferta hídrica superficial y total neta

Partiendo de lo enunciado en la **resolución 0865 de 2004**; que dicta las metodologías planteadas por el IDEAM para el cálculo del índice de escasez; a tratar en el siguiente subcapítulo, y donde también se dan las pautas para el cálculo de la oferta hídrica, entre otros componentes, y donde se plantea que:

“El conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial. Cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de esa cuenca”.

A partir de los datos encontrados en el POMCA, respecto al registro de los caudales máximos y mínimos para diferentes tiempos de retorno, de acuerdo con 10 puntos de control definidos en el eje del río; donde a su vez existen estaciones de caudal, y estimando que el monitoreo del río se convierte en una estrategia indirecta de evaluación de la cuenca en general, se decidió buscar los datos de la estación ubicada más al norte de la cuenca; antes que el río Aburrá se una al río grande, donde a su vez se registran los valores de mayor caudal, al ser el punto donde se tienen la totalidad de aportes de la cuenca, y sacar así el valor del caudal medio anual.

Sin embargo no se pudieron obtener los datos de esta estación; denominada como Puente Gabino; además al ser una estación relativamente nueva no se tendrían secuencias de muchos años hacia atrás.

¹⁶ IDEAM. Estudio Nacional del agua 2008.p 16.

por lo tanto se decidió para llegar al dato del caudal medio multianual que se da en este “punto final” de la cuenca, partir de los datos de las estaciones ubicadas antes, de las cuales si se pudieron obtener los datos de caudales multianuales (ver anexo), y relacionándolos con los datos de caudales mínimos y máximos del periodo de retorno mínimo (2.33 años) presentados por el POMCA 2007 para el punto de Puente Gabino , hacer una equivalencia y lograr así un aproximado al caudal medio multianual que se daría en este punto de la cuenca, y obtener así la oferta hídrica total superficial.

CAUDAL MEDIO MULTIANUAL DEL RIO ABURRÁ - ESTACIONES LIMNIMETRICAS ZONA NORTE					
MUNICIPIO	BELLO	COPACABANA	BARBOSA	BARBOSA	YOLOMBO
ESTACION	MACHADO (RMS-12)	ANCON NORTE (RMS-20)	HATILLO (RMS-13)	YARUMITO (RMS-14)	PUENTE GABINO (RMS X)
Caudales medios multianuales (m3/seg) (**)	Enero	19	25	32	38
	Febrero (**)	17.56	22.03	32.03	35.4
	Marzo	20	25	33	37
	Abril	26	28	38	44
	Mayo	32	37	47	58
	Junio	30	30	45	52
	Julio	22	26	38	44
	Agosto	20	26	40	44
	Septiembre	25.5	32	50	57
	Octubre	34	38	57	66
	Noviembre	34	41	55	62
Diciembre	26	30	46	53	
Caudal medio multianual Total (m3/seg)	25.5	30.0	42.8	49.2	62.3
Promedio Qmax y Qmin para Tr=2.33 años (*)	112.16	129.07	150.51	189.89	248.59
(*) Datos tomados del POMCA 2007 y usados para la equivalencia en la obtencion del caudal medio multianual de la ultima estacion					
(**)datos obtenidos a partir de graficos publicados por el instituto Mi Río en 2001, ver anexo					

Tabla 31. Elaboración propia

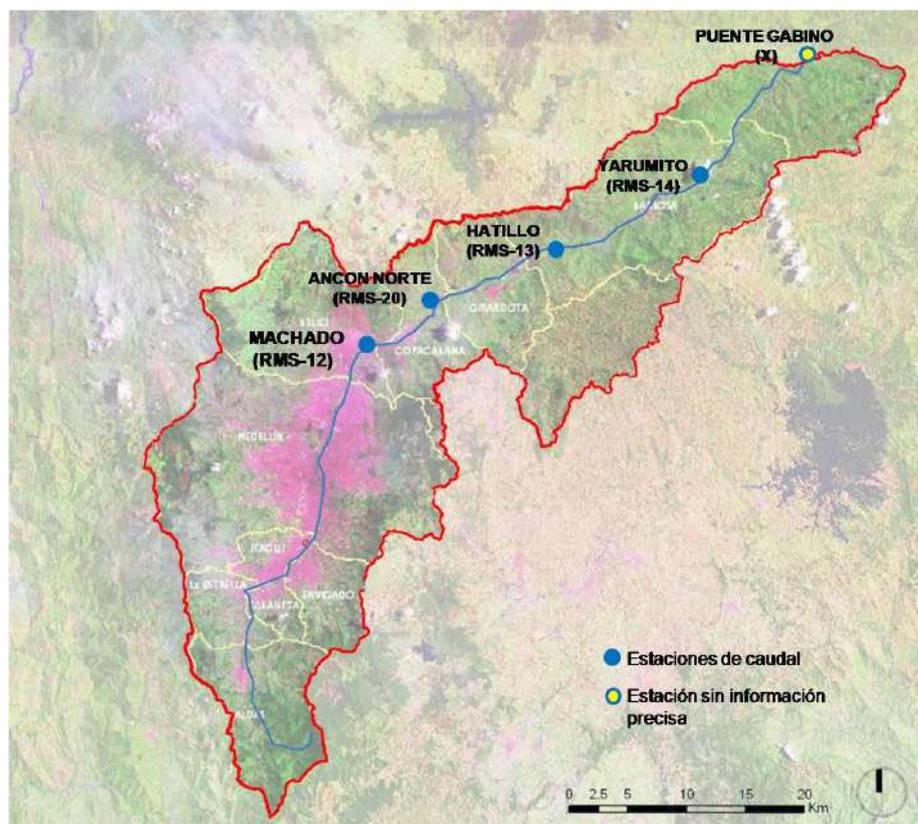


Figura 51. Ubicación estaciones de caudal al norte del río Aburrá. Elaboración propia

OFERTA HIDRICA SUPERFICIAL			
Componentes	%	Caudal (m3/seg)	volumen total aprox. (m3/año)
Oferta hidrica superficial Total	100	62.3	1.964.692.800

Tabla 32. Elaboración propia

Se tendría entonces una oferta hídrica superficial de aproximadamente **1964 millones de m3/año**. Ahora si se suman los valores de aguas subterráneas dados anteriormente tendríamos:

OFERTA HIDRICA TOTAL aprox.	
Componentes	volumen total aprox. (m3/año)
Oferta hidrica superficial Total	1.964.692.800
Oferta hidrica Agua subterranea (*)	59.690.459
TOTAL	2.024.383.259

Tabla 33. Elaboración propia

Se tendría entonces una oferta hídrica Total aproximada de **2024 millones de m3/año**

Se aclara que el tema de la oferta hídrica dentro de un territorio determinado es mucho más complejo, ya que debería involucrar otros volúmenes presentes como lagos, embalses, lagunas; generados algunos de forma artificial, y usados con fines diversos, los cuales deberían entrar a ser parte integral del patrimonio hídrico de las regiones. En este caso al solo tener información del embalse de piedras blancas; el único de los embalses abastecedores ubicado dentro del a cuenca, pero que se surte a su vez en parte de una cuenca externa, y al carecer de información precisa de los demás cuerpos de agua de este tipo, no se incluyen dentro de esta aproximación.

Sin embargo el valor dado anteriormente no es la totalidad de la oferta hídrica que se puede usar, ya que se deben mantener volúmenes permanentes que garanticen la estabilidad de los ecosistemas, y al igual que la calidad del recurso también compromete en un porcentaje el posible uso del recurso hidrico.

Por tanto para la obtención de la **oferta hídrica superficial neta** (disponibilidad del recurso), la oferta hídrica total calculada anteriormente debe reducirse. Lo planteado dentro de las metodologías de cálculo de la oferta que se presentan en la resolución 0865 de 2004, es hacer reducciones por calidad del agua y por caudal mínimo ecológico.

El **Caudal ecológico** o caudal mínimo que debe permanecer para el sostenimiento de los ecosistemas; la flora y la fauna de una corriente de agua, y se calcula con los caudales mínimos multianuales.

En tanto para la reducción de la oferta por calidad y caudal ecológico, y partiendo de que ;en el caso del componente de calidad, aunque el recurso hídrico resultante en el río presenta altos niveles de contaminación, no representa este el 100% de la calidad del recurso hídrico que corre por la cuenca , y debido a que solo se registra a la fecha un monitoreo de 64 quebradas de los cerca de 200 afluentes directos que conforman la cuenca, es difícil estimar un porcentaje específico para este componente, por lo que se decide de acuerdo con lo expresado tanto en la resolución 0865 de 2004 como en el estudio del POMCA 2007, hacer una reducción del volumen total en un 25% para cada condicionante.

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL			
Componentes	%	Caudal (m3/seg)	volumen total aprox. (m3/año)
Oferta hidrica superficial Total	100	62.3	1.964.692.800
Reducción por calidad	25	15.6	491.173.200
Reducción por caudal ecológico	25	15.6	491.173.200
OFERTA HIDRICA SUPERFICIAL TOTAL NETA	50	31.2	982.346.400

Tabla 34. Elaboración propia

Se tiene entonces una **oferta hídrica superficial neta** aproximada de **982 millones de m3/año**

Respecto a la oferta hídrica total subterránea, el Estudio Nacional del agua 2008 elaborado por el IDEAM, enuncia que:

“El análisis de la oferta hídrica subterránea considera únicamente una condición hidrológica media anual, sin tener en cuenta las condiciones hidrológicas de año seco ni su disminución por causa de un régimen mínimo y de la calidad de agua; esto, debido a que su régimen hidrológico en el espacio y el tiempo no es conocido suficientemente, ni se cuenta con información básica adecuada”

Por lo tanto se mantiene el valor total de agua subterránea presentado anteriormente, de acuerdo con los datos del área metropolitana (*), quedando entonces la oferta hídrica total neta así:

OFERTA HIDRICA TOTAL NETA aprox.	
Componentes	volumen total aprox. (m3/año)
Oferta hídrica superficial Total neta	982.346.400
Oferta hídrica Agua subterranea (*)	59.690.459
TOTAL	1.042.036.859

Tabla 34. Elaboración propia

Se tienen entonces una **oferta hídrica Total neta** aproximada de **1042 millones de m3/año**

4.6. Índice de escasez

Aunque se parte de que el **80%** de la demanda de la cuenca del río Aburrá esta suplida por fuentes externas; ubicadas en otras cuencas, y un **5%** de forma mixta. Es interesante analizar las posibilidades de autosuficiencia por parte de la Cuenca del río Aburrá en relación con su propia demanda, por medio de la relación del índice de escasez.

Este índice se define como la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades sociales y económicas, frente a la oferta hídrica disponible (neta), luego de aplicar factores de reducción por calidad del agua y caudal ecológico (Resolución 0865 de 2004). Esto en el caso del agua superficial.

En el caso del agua subterránea, se da a partir de la relación entre el caudal total captado; de acuerdo con el inventario de captaciones existentes y el caudal explotable del acuífero (oferta hídrica), esto determinado por la resolución 0872 de 2006. En este caso por las razones expresadas en el punto anterior, no se hacen reducciones por calidad.

Está dado por las siguientes fórmulas:

$$I_e = D_h / O_h * f_r * 100 \text{ (para agua superficial)}$$

Donde:

I_e : Índice de escasez en porcentaje

D_h: Demanda hídrica (m³/año)

O_h: Oferta hídrica superficial neta (m³/año)

f_r: Factor de reducción por calidad del agua y el caudal ecológico

100: Para expresarlo en porcentaje

$$I_{eg} = Q_c \text{ total} / Q_E \text{ (para agua subterránea)}$$

Donde:

Q_c : caudal captado total (demanda hídrica) (m³/año)

Q_E: caudal explotable (oferta hídrica) (m³/año)

El índice de escasez se agrupa en cinco categorías, asociadas a un rango porcentual según el siguiente cuadro:

Tabla 35. Categorías y características asociadas al índice de escasez de aguas superficiales

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

Fuente: Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá (Aburrá) – PMCA, 2007. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, febrero de 2008.

En este capítulo se hace primero una aproximación a este índice, por medio del estudio realizado en el POMCA 2007, donde se dividió la cuenca en tres áreas: Ancón sur, centro y Ancón Norte, y donde se evaluaron dentro del territorio las sub cuencas con áreas totales mayores a 1,8km².

Luego, Como lo que se pretende con este análisis es hacer un acercamiento global al estado del recurso, se decide hacer a su vez una aproximación respecto a un supuesto global de la cuenca con los valores obtenidos en los subcapítulos anteriores.

El factor de reducción usado fue de **1.778**. A medida que el factor de reducción es mayor, va a presentar situaciones de escasez más graves. (POMCA 2007)

4.6.1. Estudio POMCA 2007

Respecto al estudio hecho por en el POMCA para el índice de escasez, la información que se pudo obtener se refiere como tal a los resultados generales, quedando no muy claros los procesos para llegar a estos.

Tabla 36. Resultados índice de escasez POMCA 2007. Fuente: POMCA 2007.

Factor de Reducción, Fr = 1,778			
Ie = Fr*Dh/Oh			
Punto de Control	Índice de escasez (%)		
	Ancón Sur	Central	Ancón Norte
	7,35	63,29	34,75
Categoría	Minimo	Alto	Medio Alto

Como se puede observar el único punto que tendría una demanda baja respecto a la oferta es el ancón sur, los demás puntos presentan una mediana y alta demanda con respecto a la oferta, concluyéndose que la cuenca presenta un déficit en la oferta hídrica para poder ser autosuficiente. (POMCA 2007)

A partir de esto se obtuvo por medio del informe de la contraloría, el siguiente cuadro con los datos del POMCA 2007, donde se especifican los índices de las sub-cuencas evaluadas en el municipio de Medellín; correspondiente con la zona central, donde se evidencia el nivel más crítico de la cuenca en relación al cuadro anterior.

Tabla 37. Índice de escasez de aguas superficiales para las subcuencas en Medellín

Nombre Cuenca	Municipio	Rojo	Demanda (m³/s)	Oferta distribuida (m³/s)	Índice Escasez (%)	COLOR
Q. PIEDRAS BLANCAS	MEDELLIN	Naranja	0.05340	0.0197	37.29	
Q. LA MADERA	MEDELLIN	Amarillo	0.00174	0.0037	1.21	
Q. SECA	MEDELLIN	Verde	0.00251	0.0198	1.75	
Q. TOSCANA-TINAJA	MEDELLIN	Azul	0.00006	0.0001	0.04	
Q. LA ROSA	MEDELLIN	0.63	0.00144	0.0075	1.01	
Q. MINITAS	MEDELLIN	0.44	0.00102	0.0073	0.71	
Q. LA CANTERA	MEDELLIN	0.49	0.00113	0.0056	0.79	
Q. LA BERMEJALA	MEDELLIN	0.61	0.00140	0.0062	0.98	
Q. QUINTANA	MEDELLIN	1.09	0.00251	0.0234	1.75	
Q. LA CHORRERA	MEDELLIN	2.30	0.00527	0.0436	3.68	
Q. MALPASO	MEDELLIN	0.34	0.00078	0.0066	0.54	
Q. EL AHORCADO	MEDELLIN	0.27	0.00062	0.0067	0.43	
Q. SANTA ELENA	MEDELLIN	32.81	0.07532	0.9229	52.60	●
Q. LA IGUANA	MEDELLIN	44.65	0.10251	12.077	71.58	●
Q. LA HUESO	MEDELLIN	12.94	0.02970	0.3641	20.74	●
Q. LA PICACHA	MEDELLIN	6.93	0.01591	0.3837	11.11	●
Q. EL INDIO	MEDELLIN	0.24	0.00056	0.0045	0.39	
Q. ALTAVISTA	MEDELLIN	14.30	0.03283	0.1399	22.93	
Q. LA PRESIDENTA	MEDELLIN	8.12	0.01864	0.2036	13.01	
Q. LA SUCIA	MEDELLIN	0.03	0.00008	0.0024	0.05	
Q. LA VOLCANA	MEDELLIN	0.73	0.00167	0.0229	1.17	
Q. LA AGUACATALA	MEDELLIN	3.50	0.00803	0.0990	5.61	
Q. DOÑA MARIA	MEDELLIN	54.69	0.12557	18.205	87.68	●
Corriente sin nombre	MEDELLIN	0.49	0.00112	0.0101	0.78	
Corriente sin nombre	MEDELLIN	0.03	0.00008	0.0002	0.05	
Corriente sin nombre	MEDELLIN	0.36	0.00082	0.0054	0.57	
Corriente sin nombre	MEDELLIN	0.00	0.00001	0.0001	0.01	

Fuente: Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá (Aburrá) - PMCA, 2007.

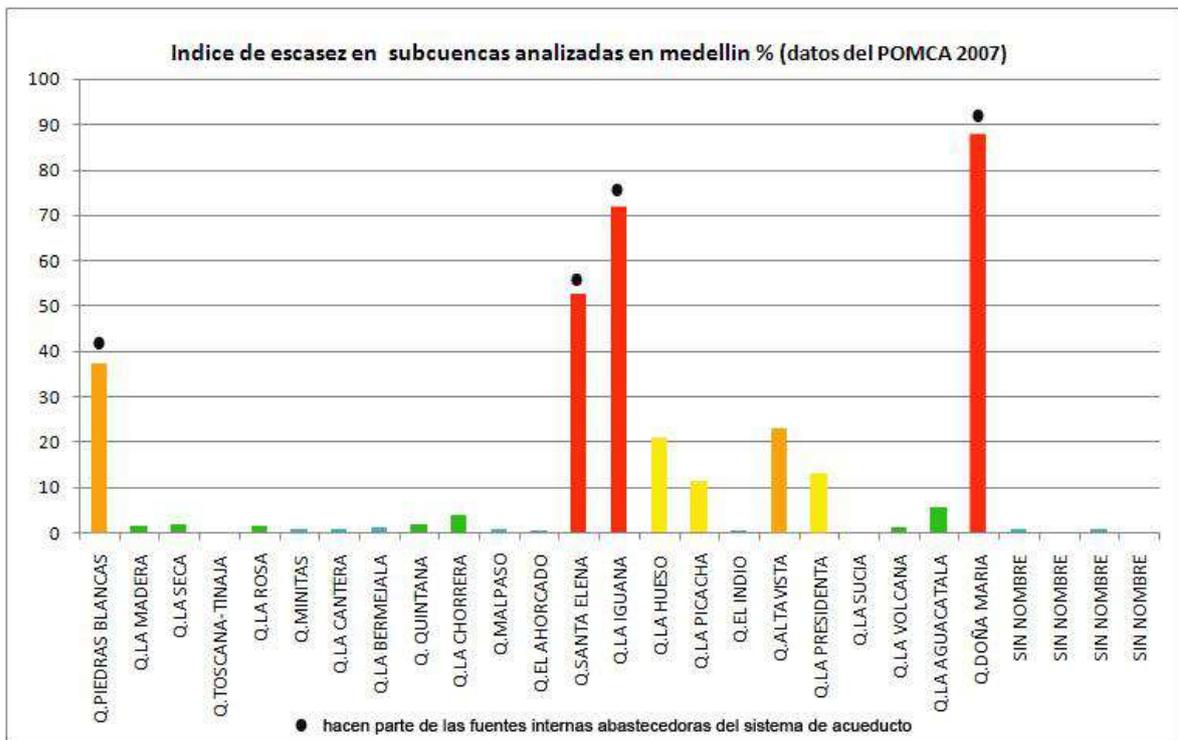


Figura 52. Grafico con índices de escasez para las principales subcuencas del río Aburrá en Medellín. Elaboración propia con datos de la tabla 37

En este escenario se observa a simple vista que la mayor presión sobre el recurso hídrico se daría sobre las principales afluentes del río, que a su vez corresponden con fuentes de extracción para el sistema de acueducto.

4.6.2. Aproximación global propia

Ahora para la aproximación global al estado del recurso en la cuenca, de acuerdo con los datos obtenidos en este análisis y partiendo de las formulas presentadas anteriormente tenemos que:

INDICE DE ESCASEZ SUPUESTO PARA AGUA SUPERFICIAL CON DEMANDA TOTAL		$le = Dh/Oh*fr*100$
Dh: Demanda hídrica total (*) m3/año	322.051.375	58
Oh: Oferta hídrica superficial neta m3/año	982.346.400	
Fr: Factor de reducción	1.778	
(*) se le resta el valor de la demanda de aguas subterráneas		

Tabla 38. Elaboración propia

En un escenario donde la demanda total se diera sobre la oferta hídrica neta actual de la cuenca, el resultado sería un índice de escasez demasiado alto (58%), evidenciando que el recurso hídrico estaría en riesgo para suplir la demanda actual.

INDICE DE ESCASEZ AGUA SUPERFICIAL CON DEMANDA PARCIAL		$le = Dh/Oh*fr*100$
Dh: Demanda hídrica total interna (*) m3/año	45.411.840	8.2
Oh: Oferta hídrica superficial neta m3/año	982.346.400	
Fr: Factor de reducción	1.778	
(*) acueductos comunitarios + consumo de fuentes internas superficiales (14% de la demanda total)		

Tabla 39. Elaboración propia

Si se contempla solo la cantidad de la demanda que en estos momentos es suplida por el recurso al interior de la cuenca, se llega a un índice de escasez no significativo (8.2%), evidenciando que en este momento el consumo no es el que ejerce la mayor presión sobre el recurso hídrico presente en la cuenca del río Aburrá.

INDICE DE ESCASEZ AGUA SUBTERRANEA		$leg = Qc \text{ total} / QE$
Qc : caudal captado total m3/año	2.073.022	0.03
QE: caudal explotable m3/año	59.690.459	

Tabla 40. Elaboración propia

Mientras tanto la relación entre la Demanda hídrica o volumen captado de agua subterránea respecto a la Oferta hídrica en el subsuelo, presentan un índice de escasez no significativo al presentar un 0.03%.

Sería interesante poder analizar a partir de este indicador la presión que la demanda está teniendo sobre las cuencas externas. Pero por falta de información clara y precisa respecto a las fuentes externas, no es posible hacerlo dentro de este análisis.

4.7. Síntesis

SÍNTESIS DEL ESTADO HÍDRICO APROXIMADO EN LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ A 2009				
COMPONENTE	COMPOSICIÓN	Volumen (Mill.m3/año)	%	V.Total (Mill.m3/año)
DEMANDA HÍDRICA	Agua obtenida del interior	45.411.840	14	324.124.397
	Agua obtenida de forma mixta	17.664.237	5	
	Agua obtenida del exterior	258.975.298	80	
	Agua subterránea	2.073.022	1	
CALIDAD HÍDRICA	Agua Residual tratada (al 80%)	37.336.173	19	194.771.679
	Agua Residual No tratada	157.435.506	81	
OFERTA HÍDRICA	Agua Superficial neta disponible	982.346.400	48.5	2.024.383.259
	Agua Superficial No disponible (*)	982.346.400	48.5	
	Agua subterránea	59.690.459	2.9	

(*) afectada por caudal ecológico y calidad

Tabla 41. Elaboración propia

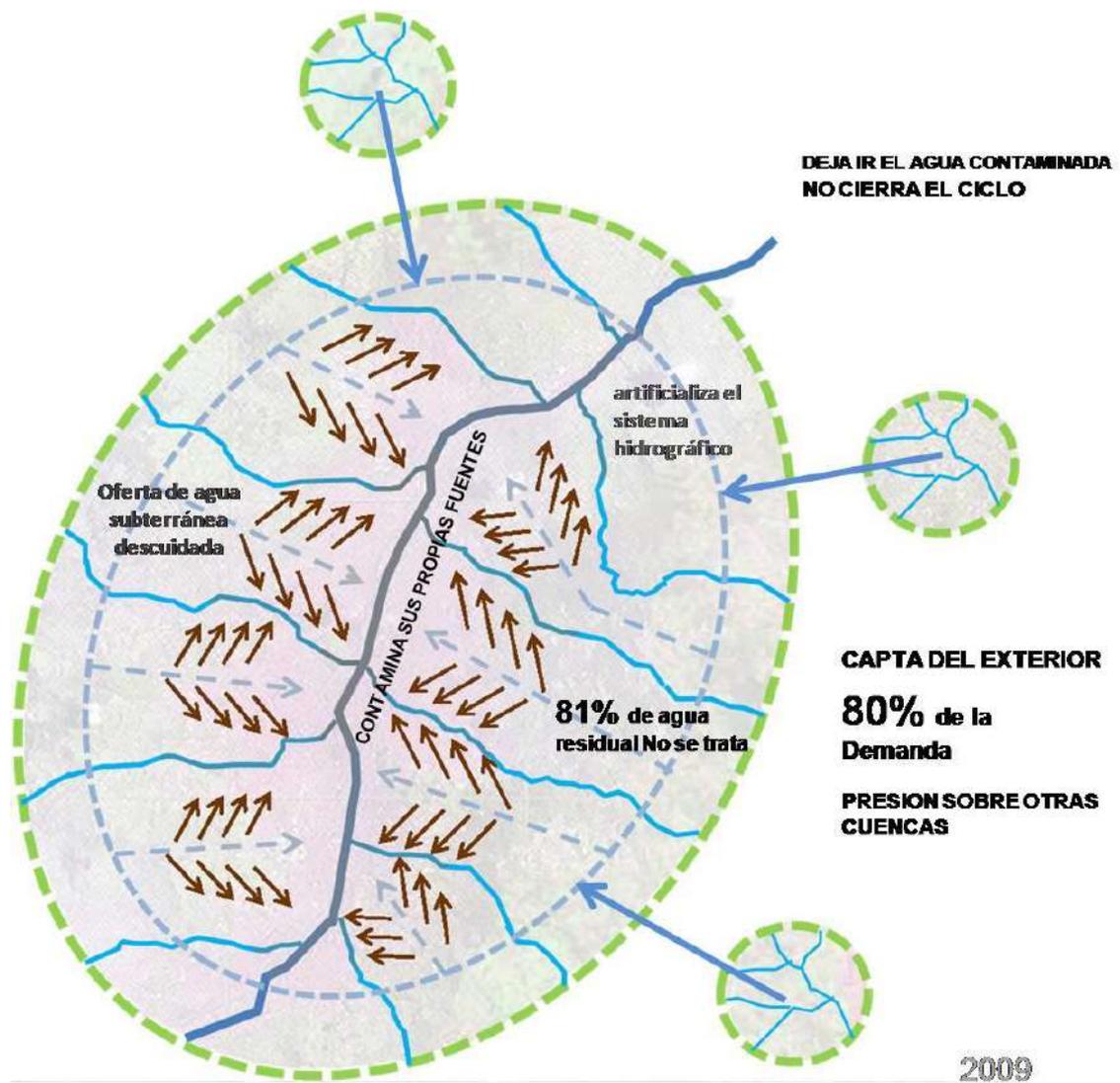


Figura 53. Esquema síntesis Modelo de Ciudad. Elaboración propia.

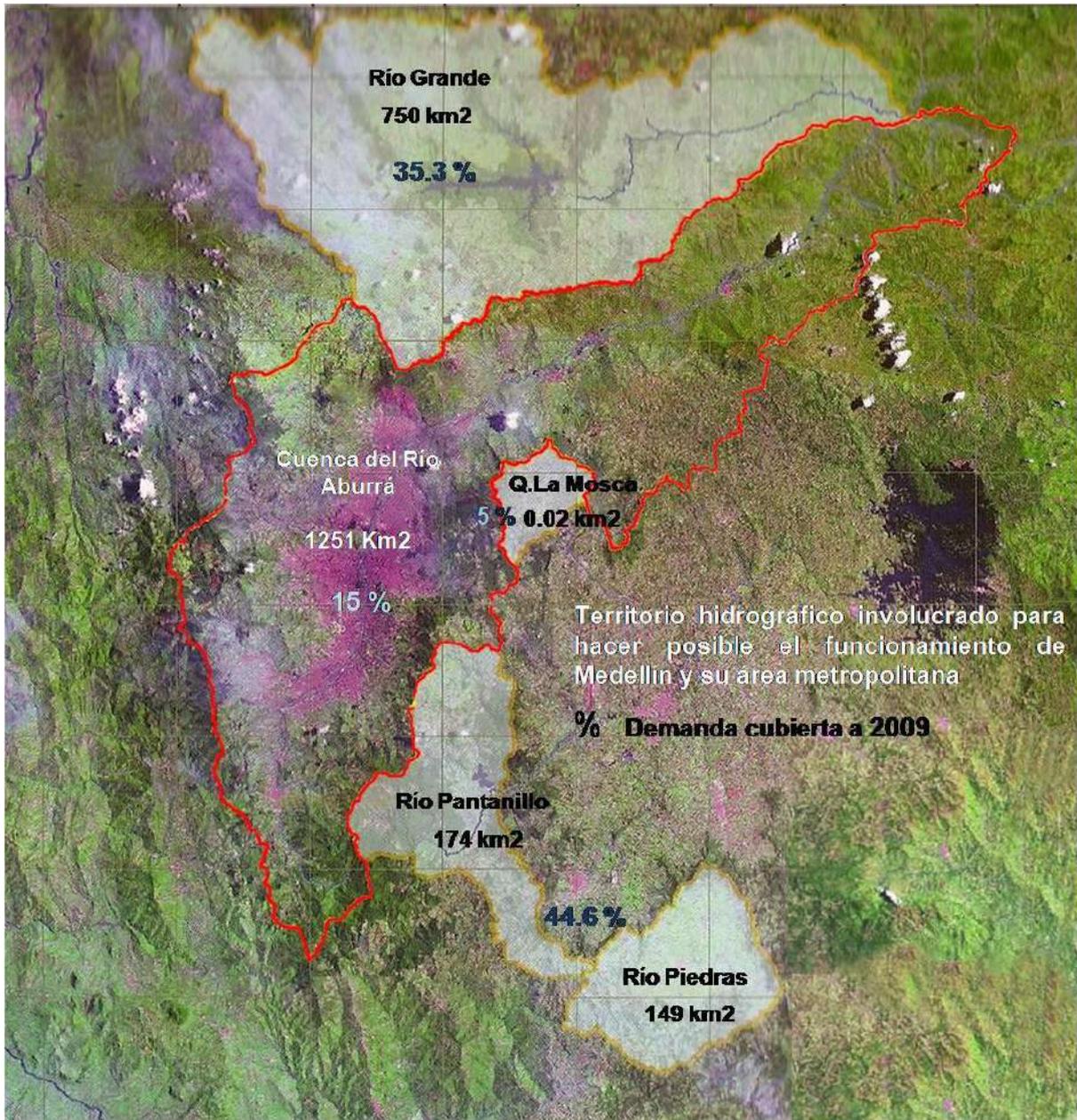


Figura 54. Esquema síntesis. Alcance de la huella hídrica de Medellín y el área metropolitana en el territorio. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

-A pesar de haber contado con un territorio hidrográficamente rico, el desarrollo de la ciudad no supo integrarlo dentro de sus dinámicas. Ha ejercido mucha presión sobre éste en poco tiempo, afectándolo y artificializándolo cada vez más, y poniendo en riesgo la permanencia del recurso hídrico en el territorio.

-La problemática que presenta el recurso hídrico y su paisaje en la actualidad es resultado y reflejo de la compleja problemática social, cultural y económica dada en la corta historia de la ciudad.

-El modelo de ciudad actual ejerce presión sobre cuencas externas, reduciendo la capacidad de estas; ya que el agua extraída no retorna al cuerpo de agua original, mientras que el recurso presente en la propia cuenca es contaminado.

-Al tener una dependencia casi total de fuentes externas a la cuenca (un 80%), y debido a que el sistema de captación y almacenamiento se da a partir de represas, se está ampliando el impacto que ejerce la ciudad metropolitana sobre el territorio y su recurso hídrico.

-Sería interesante saber cuánto es el impacto que se tienen en las cuencas vecinas a partir de la relación demanda vs. la oferta hídrica de las fuentes externas. Para esto se requeriría de información más específica.

-Un gran porcentaje del agua presente al interior de la cuenca está contaminada, lo que dificulta el aprovechamiento de esta. Mucho volumen total, mucha contaminación, poca disponibilidad.

-El sistema de tratamiento de las aguas residuales por el momento no ha logrado un efecto contundente en el mejoramiento de las condiciones de calidad del recurso hídrico.

-El sistema de tratamiento actual y proyectado no garantiza un mejoramiento total en el tiempo, ya que en un momento dado sus componentes pueden quedar obsoletos, y por el contrario si implican grandes obras de infraestructura que a su vez artificializan más el territorio.

-El recurso hídrico subterráneo requiere gran atención, y una visión profunda en torno al estudio e implementación de técnicas que se enfoquen en posibles estrategias de aprovechamiento sostenible, ya que aparente mente se cuenta con una muy buena capacidad de almacenamiento, y la relación demanda vs. Oferta es aún muy baja.

-No existe una regulación clara respecto al manejo y aprovechamiento de las aguas subterráneas.

-La mayor presión sobre el recurso hídrico al interior de la cuenca no está dada por el consumo de este sino por los procesos contaminantes y las intervenciones que se han dado sobre el sistema hidrográfico del territorio.

-Para comenzar a recuperar la cuenca del río Aburrá e ir reduciendo la huella hídrica que la ciudad ha dejado sobre esta, es necesario la implementación y desarrollo de sistemas de aprovechamiento hídrico alternativos, que permitan de forma eficiente comenzar a cerrar los ciclos dentro del mismo territorio, evitando al máximo las pérdidas y reduciendo el impacto sobre este.

6. PERSPECTIVAS HACIA UN DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE EN LA CUENCA DEL RIO ABURRA

En los últimos años Medellín ha iniciado una serie de procesos de desarrollo urbanístico, que sin duda han mejorado parte de las condiciones ambientales y de vida de algunas comunidades, y dentro de estas dinámicas, proyectos como el de los ejes ambientales y parques lineales de quebrada han comenzado a ser de gran interés para el desarrollo de la ciudad.

En este ámbito se plantea, que deberían tenerse unas perspectivas más claras para el desarrollo sostenible de la ciudad en torno al sistema hidrográfico, y un entendimiento y estrategias más profundas respecto al manejo, utilización y recuperación del recurso hídrico y el territorio (gestionar el paisaje del agua), en pro de un desarrollo que beneficie a las comunidades locales, a la ciudad en general, y con una repercusión global positiva en torno a al escenario que nos presenta el cambio climático.

Entendiendo entonces la importancia de este tema y de este tipo de proyectos para la ciudad, se pretende continuar en la búsqueda de estrategias que mejoren y comiencen a recuperar las condiciones ecológicas de los cuerpos de agua, a partir de la implementación de sistemas integrados que involucren el trabajo conjunto de los componentes principales que conforman los desarrollos urbanos (tratar de cerrar el ciclo):

1. AGUA, como elemento base y fundamento del proyecto:

Agua lluvia

Agua de escorrentía

Cuerpo de agua a recuperar

2. VEGETACIÓN, como medio y complemento para el tratamiento de las aguas, mejoramiento y conformación del entorno, y vinculación social productiva:

Sistema de fitodepuración para aguas de escorrentía (paisajismo activo)

Huertas urbanas (paisajismo activo)

3. SUELO, como base para la regulación del ciclo hídrico, los sistemas de vegetación activos, y el uso social complementario:

SUDS (sistemas urbanos de drenaje sostenible)

Superficies filtrantes

Zonas de inundación

4. SER HUMANO (usuario), como beneficiario, veedor y responsable del espacio físico resultante.

5. URBANISMO Y EDIFICACIÓN, deben cumplir funciones de conductor, filtro y regulador en relación con las aguas lluvia y aguas residuales; convertirse en un apoyo para la recuperación del sistema natural. Deben ser medios y no fines de la intervención.

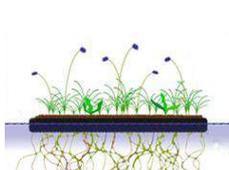
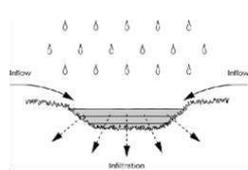
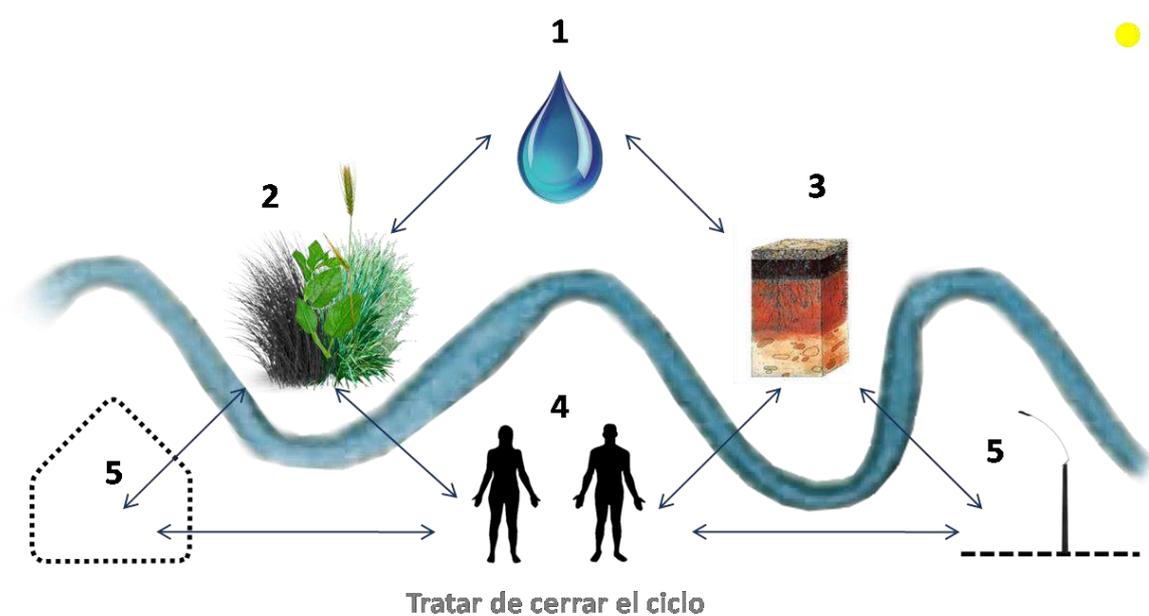


Figura 55.Esquema de propuesta, para intereses futuros de la investigación. Perspectivas hacia un desarrollo urbano sostenible en la cuenca . Elaboración Probia

BIBLIOGRAFIA

Referencias directas

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. CORNARE. CORANTIOQUIA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN. **Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA)**. Medellín. 2007. 237p.

CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN. **Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2009**. Medellín. 2010. 224p.

BOTERO HERRERA, Fernando. **Medellín 1890-1950 Historia urbana y juego de intereses**. Medellín. Editorial Universidad de Antioquia. 1996. 360p.

EPM. **Informe de gestión epm aguas a diciembre de 2009**. Medellín. 2010. 56p.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. **Gestión del recurso agua en el valle de Aburrá**. Simposio internacional del agua pasado, presente y futuro. Municipio de sabaneta. 2009. 77p.

INSTITUTO PARA EL MANEJO INTEGRAL DEL RIO MEDELLIN – MI RÍO. **Segunda evaluación fisicoquímica y biológica del río Medellín con medición de caudales**. Medellín. 2001.

Referencias electronicas

HOEKSTRA Arjen Y. CHAPAGAIN Ashok K. ALDAYA Maite M. MEKONNEN Mesfin M. **Water Footprint Manual State of the Art 2009**. Enschede, The Netherlands. Water Footprint Network. 2009. 131p
<http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>

CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN. **Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2008**. 2009. 224p. <http://www.contraloriagdcm.gov.co/plantillabase.asp?opcionPadre=138>

GÓMEZ ESPINOSA, Jaime Alberto. **Historia Institucional de la Alcaldía de Medellín 1860-1920**. Archivo Histórico de Medellín. Programa de Memoria y Patrimonio. Subsecretaría de Cultura. Medellín. 2006. 60p.
<http://www.reddebibliotecas.org.co/sites/Bibliotecas/Cultura/Documents/Historia%20Institucional%20de%20la%20Alcald%C3%ADa%20de%20Medell%C3%ADn%201860-1920.pdf>

ARCHIVO HISTORICO DE MEDELLÍN. **Servicios Públicos, Transcripción textual de documentos pertenecientes al archivo histórico de Medellín desde la colonia hasta el siglo xx**. Medellín.
http://biblioteca-virtual-antioquia.udea.edu.co/pdf/49/49_1718191585.pdf

PIEDRAITA DIAZ, Francisco. director de Aguas de Empresas Publicas de Medellín. **La gestión de aguas en Empresas públicas de Medellín y la Sostenibilidad del recurso hídrico**. Dialogo internacional sobre la crisis mundial del agua (gestión sostenible del agua urbana). Sevilla-España. 2006. 57p.
http://www2.epm.com.co/bibliotecaepm/biblioteca_virtual/documents/PiedrahitaDOC.pdf

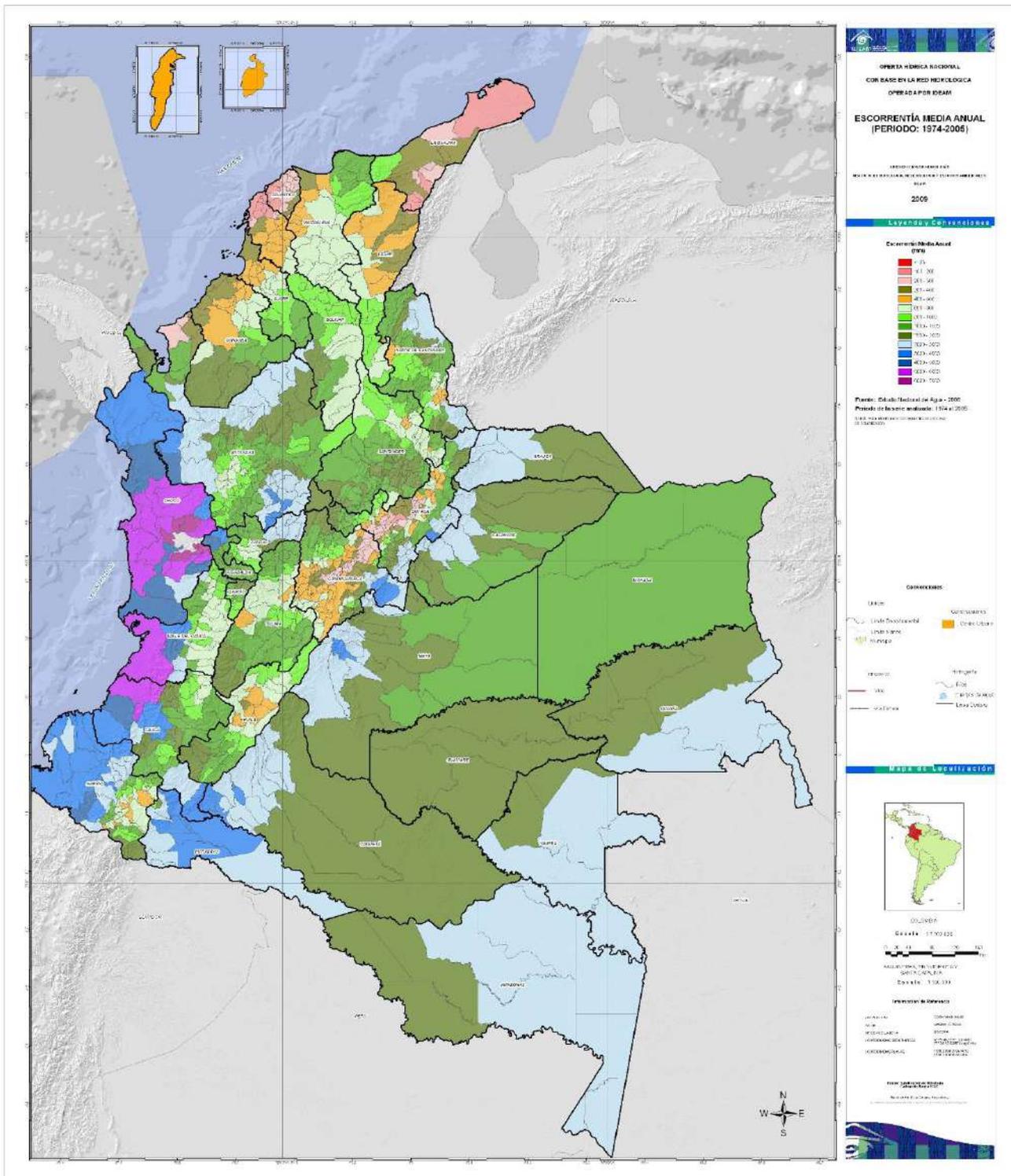
BIBLIOTECA EPM. **Proyecto planta de tratamiento de aguas residuales Bello**. EPM. Medellín. 2007. 16p. http://www2.epm.com.co/bibliotecaepm/biblioteca_virtual/documents/PtarBello.pdf

REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. **Estudio Nacional del agua 2008**. Colombia. 2008.
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=671>

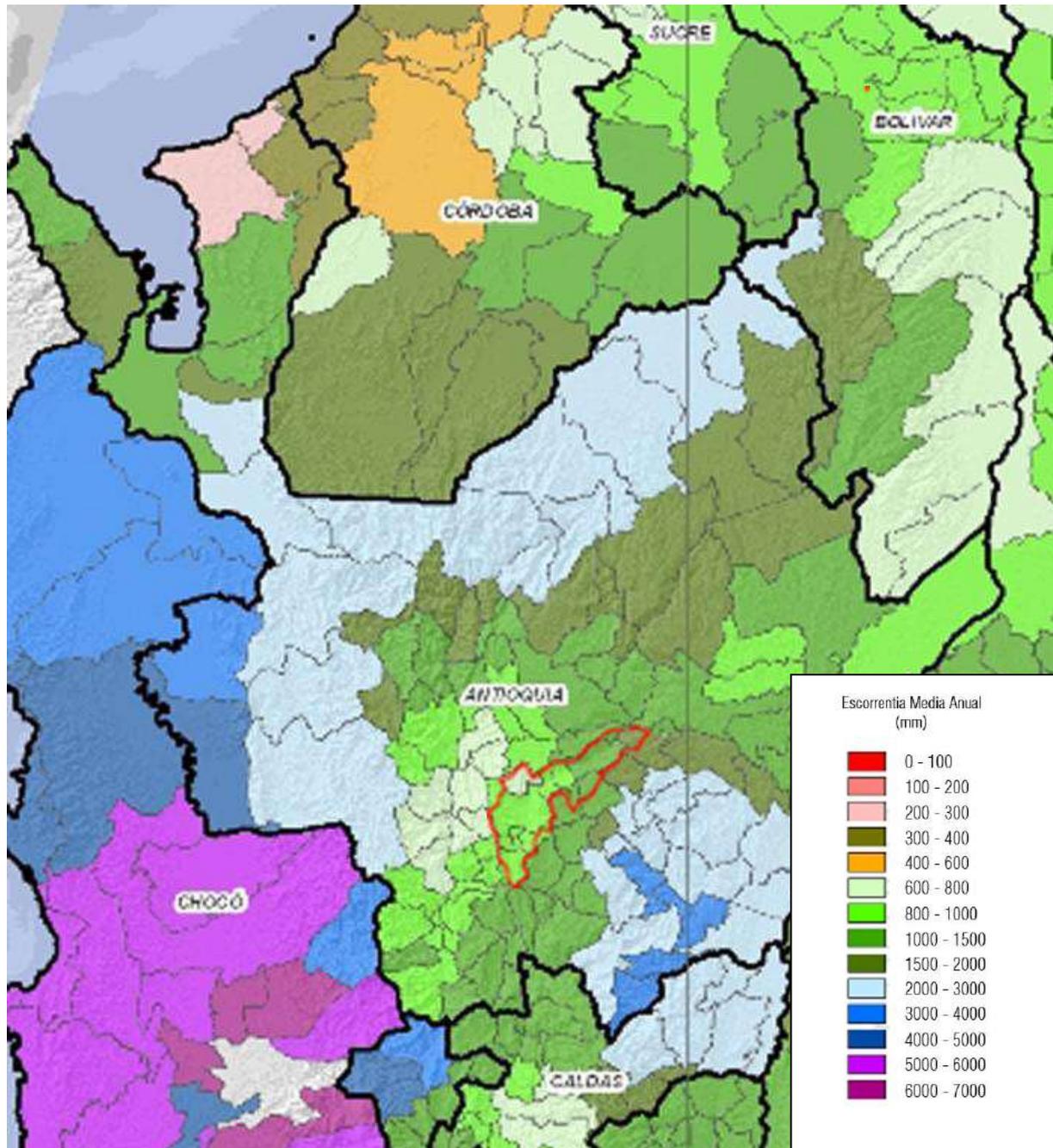
REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. **Resolución numero 0865, metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales**. Colombia. 2004
http://www.cenicana.org/pdf/otros/regulaciones_uso_agua/res_0865_22_07_2004.pdf

REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. **Resolución numero 0872, metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas**. Colombia. 2006
http://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/241109_Res_872_1e_ASubter.pdf

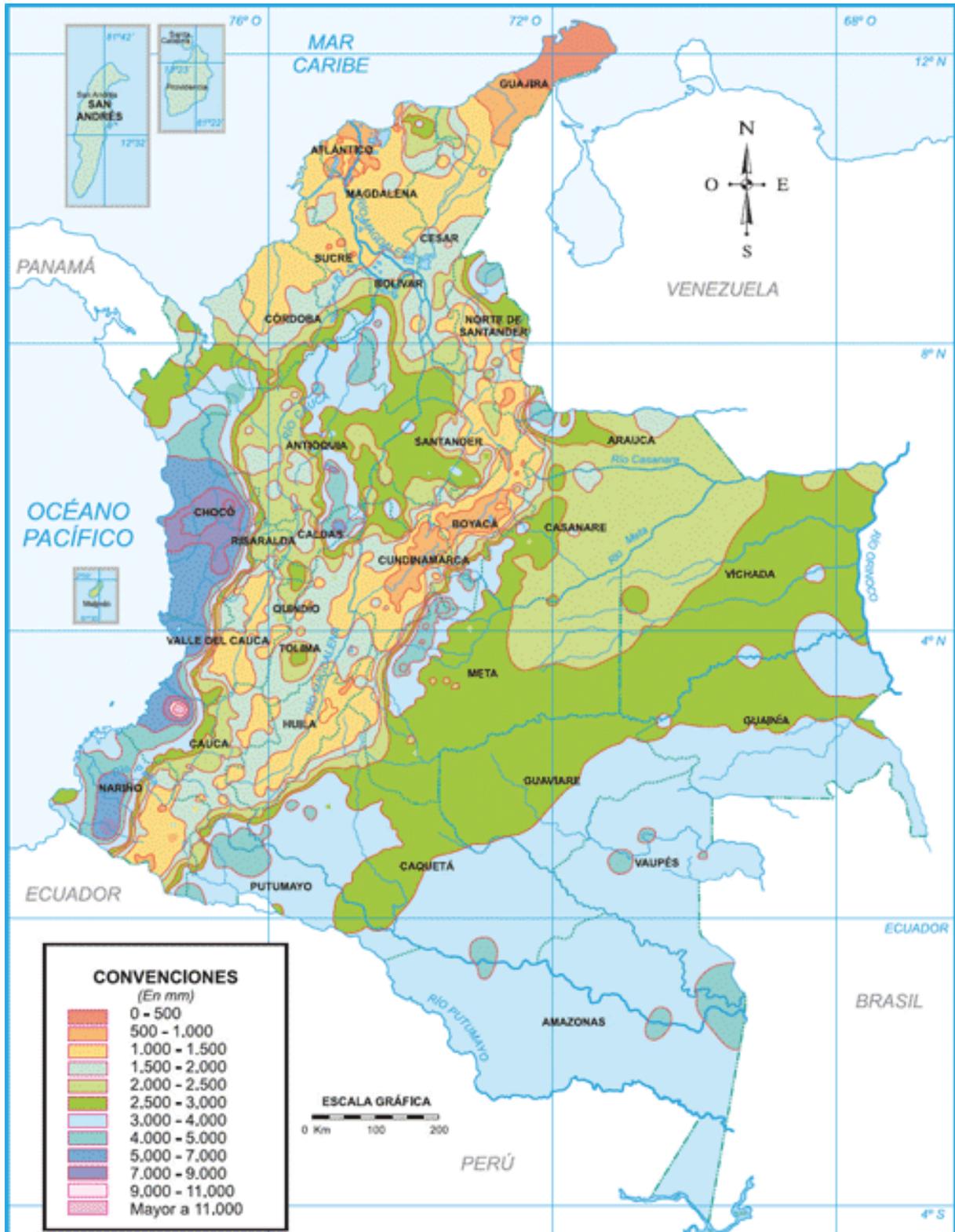
SECRETARIA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA. **Manual de estadísticas ambientales Andinas**. Lima- Perú. 2008. 93p.
<http://www.infoandina.org/node/27755>



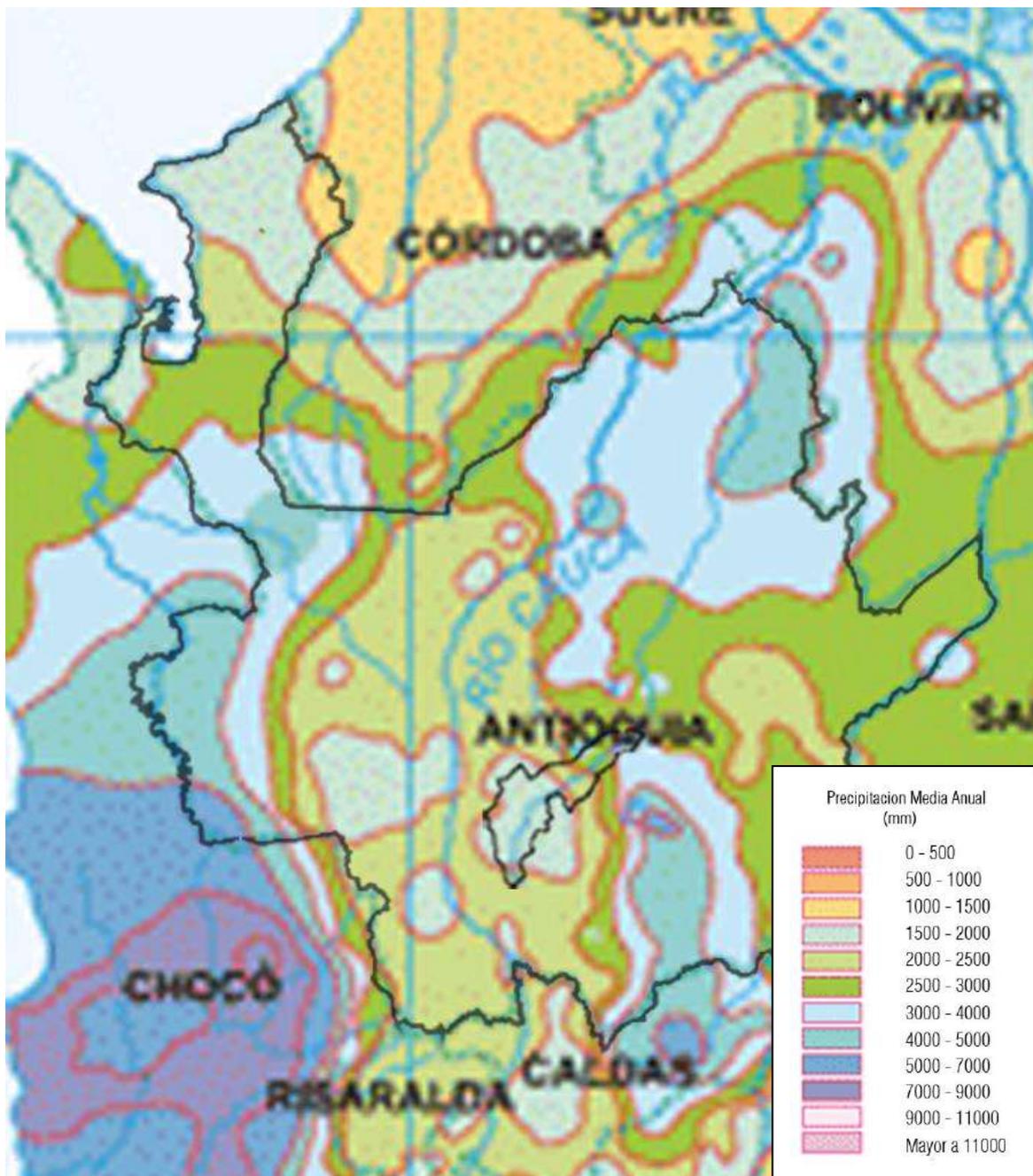
<http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=280&conID=548> figura escorrentía ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2008



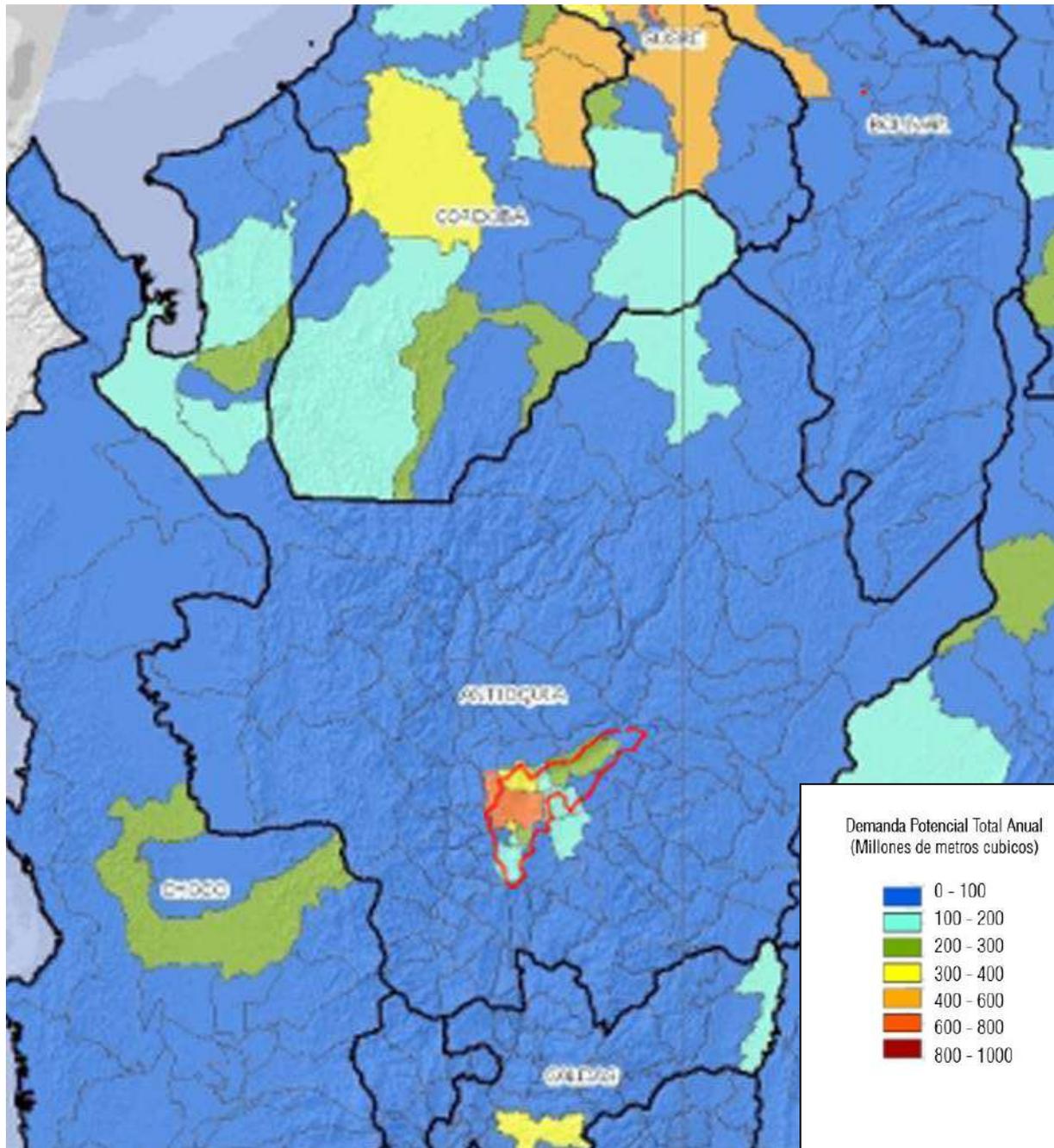
<http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=280&conID=548> figura escorrentía ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2008



Mapa precipitaciones medias anuales Colombia. IDEAM.



Mapa precipitaciones medias anuales Colombia. IDEAM.



<http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=286&conID=539> figura demanda ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2008

Figura 2.7. Caudales mínimos, medios y máximos mensuales multianuales de la estación limnigráfica 2701734 Machado RMS-12. Para el mes de febrero, las condiciones normales de la corriente (mínimos, medios y máximos) en este punto de muestreo ascienden a 13.21, 17.56 y 51.05 m³/s, respectivamente. Incongruencia con caudales mínimos mensuales multianuales de la estación 2701781 Ancón Norte RMS-20 (aguas abajo).

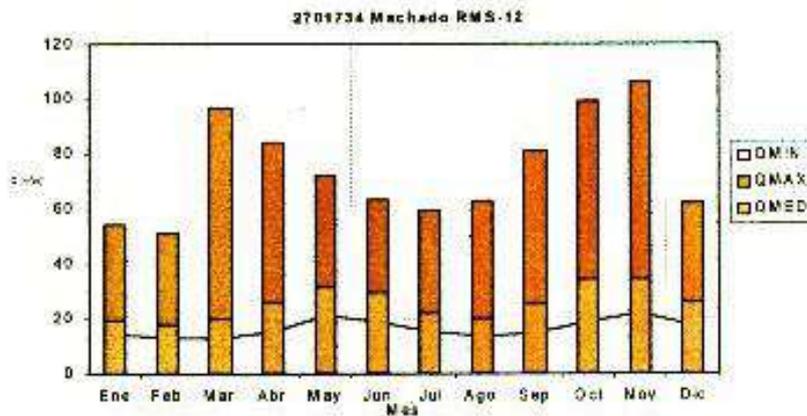


Figura 2.8. Caudales mínimos, medios y máximos mensuales multianuales de la estación limnigráfica 2701781 Ancón Norte RMS-20. Para el mes de febrero, las condiciones normales de la corriente (mínimos, medios y máximos) ascienden a 12.75, 22.03 y 146.40 m³/s, respectivamente. Incongruencia con caudales máximos mensuales multianuales de la estación 2701738 El Hatillo RMS-13 (aguas abajo).

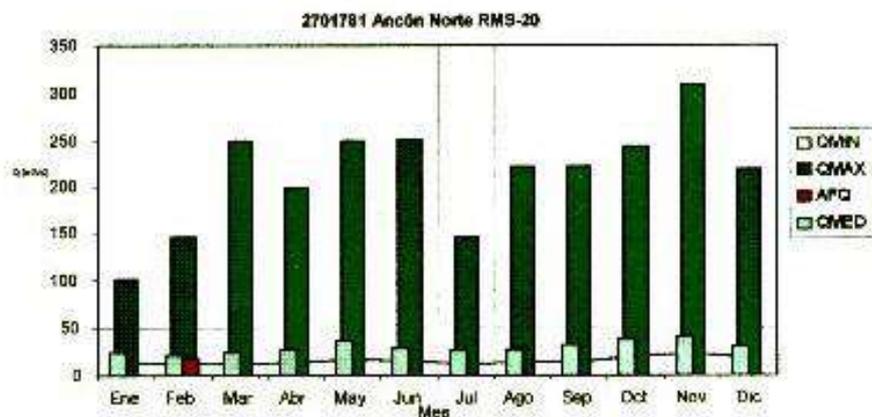




Figura 2.9. Caudales mínimos, medios y máximos mensuales multianuales de la estación limnigráfica 2701738 El Hatillo RMS-13. Para el mes de febrero, las condiciones normales de la corriente (mínimos, medios y máximos) ascienden a 16.11, 32.03 y 134.40 m³/s, respectivamente. Incongruencia con caudales máximos mensuales multianuales de la estación 2701735 Yarumito RMS-14 (aguas abajo). Estas series presentan fuerte influencia de la descarga de la Central La Tasajera.

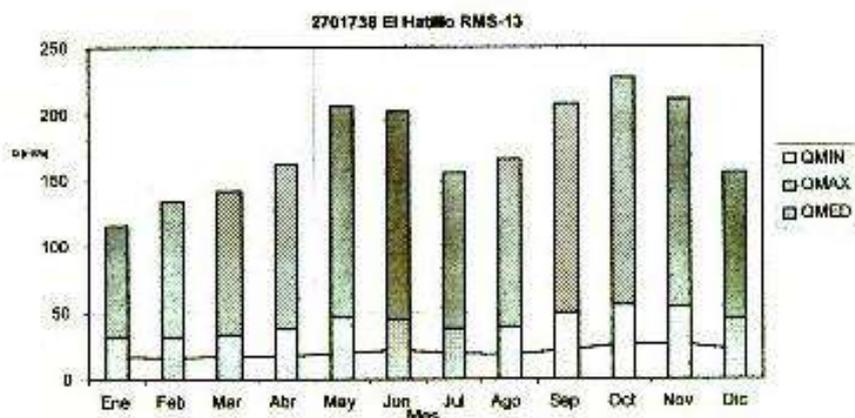
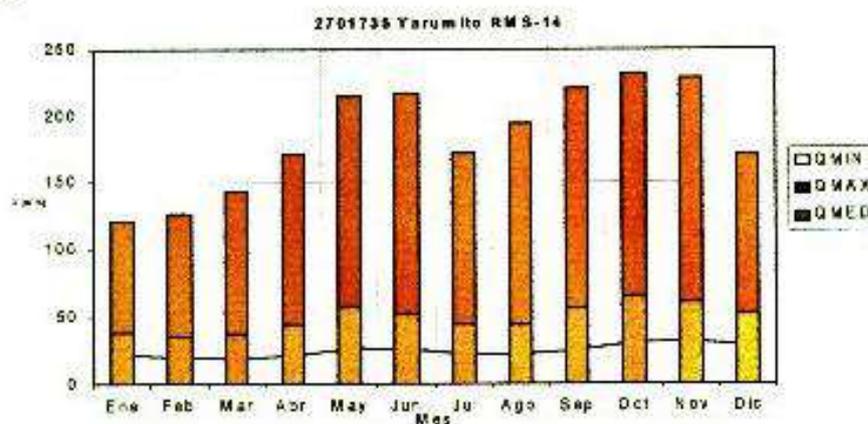
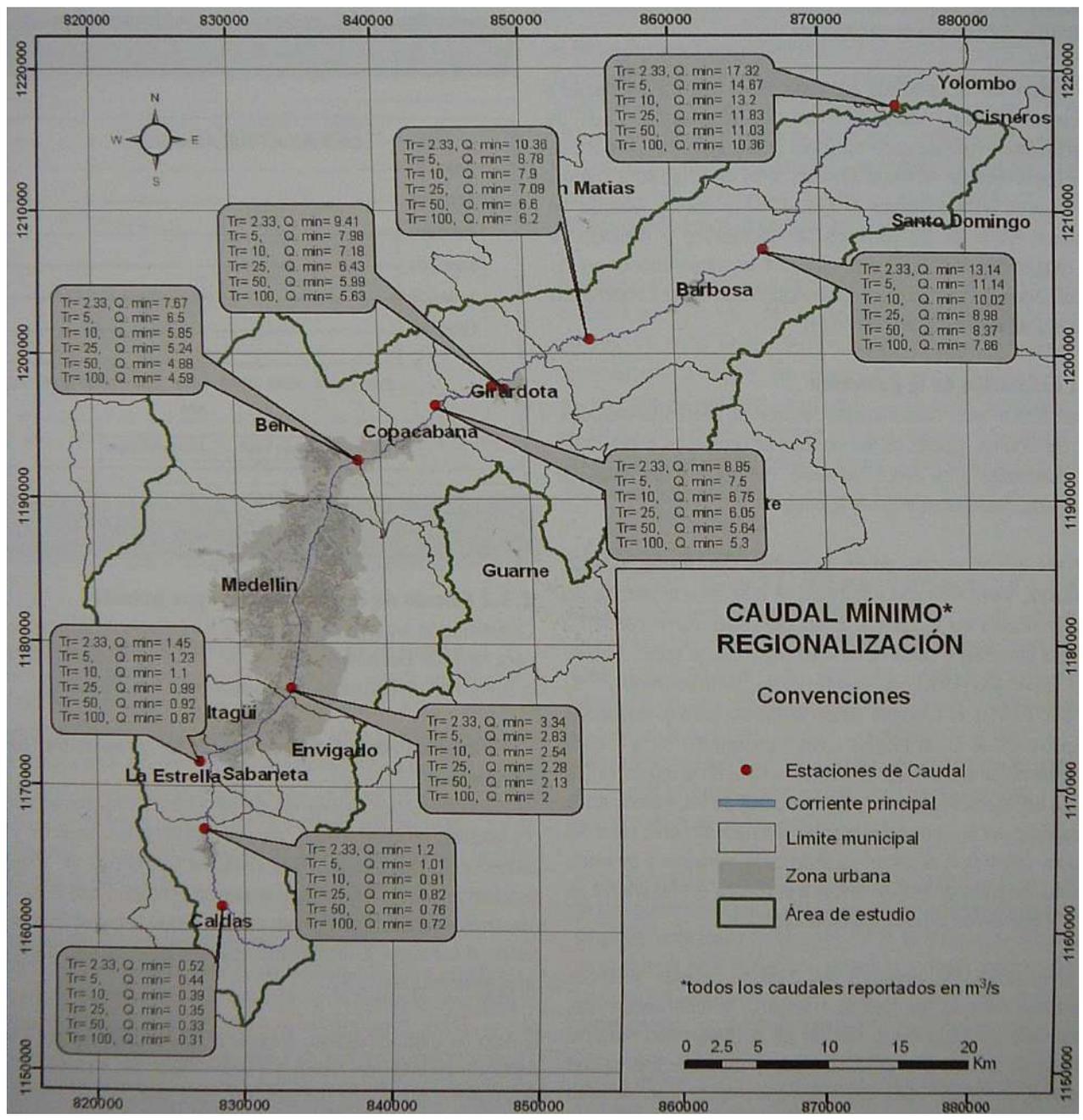
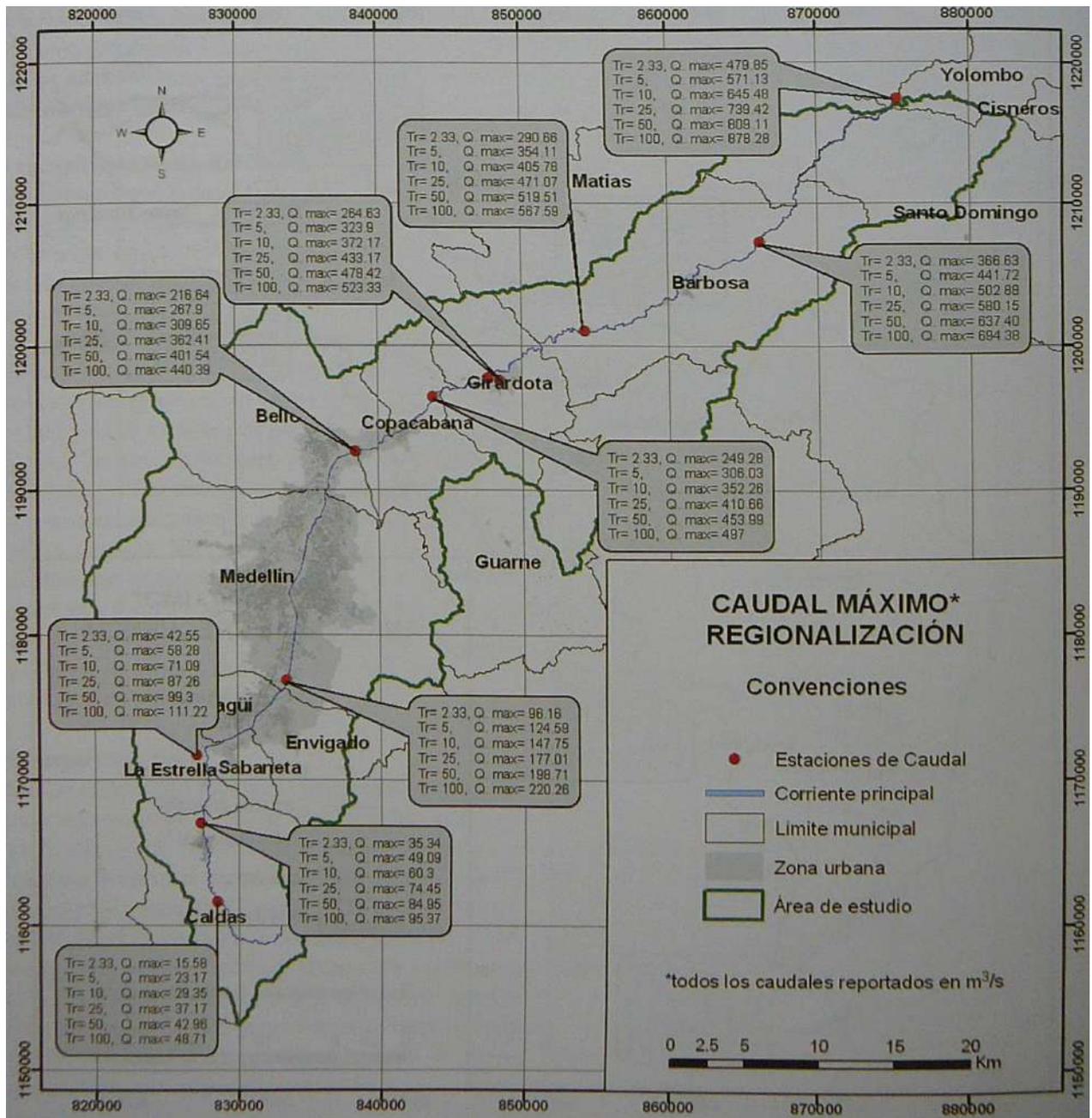


Figura 2.10. Caudales mínimos, medios y máximos mensuales multianuales de la estación limnigráfica 2701735 Yarumito RMS-14. Para el mes de febrero, las condiciones normales de la corriente (mínimos, medios y máximos) ascienden a 19.31, 35.41 y 125.80 m³/s, respectivamente. Influencia de la descarga de la Central La Tasajera.





Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA). Medellín. 2007.



Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA). Medellín. 2007.