

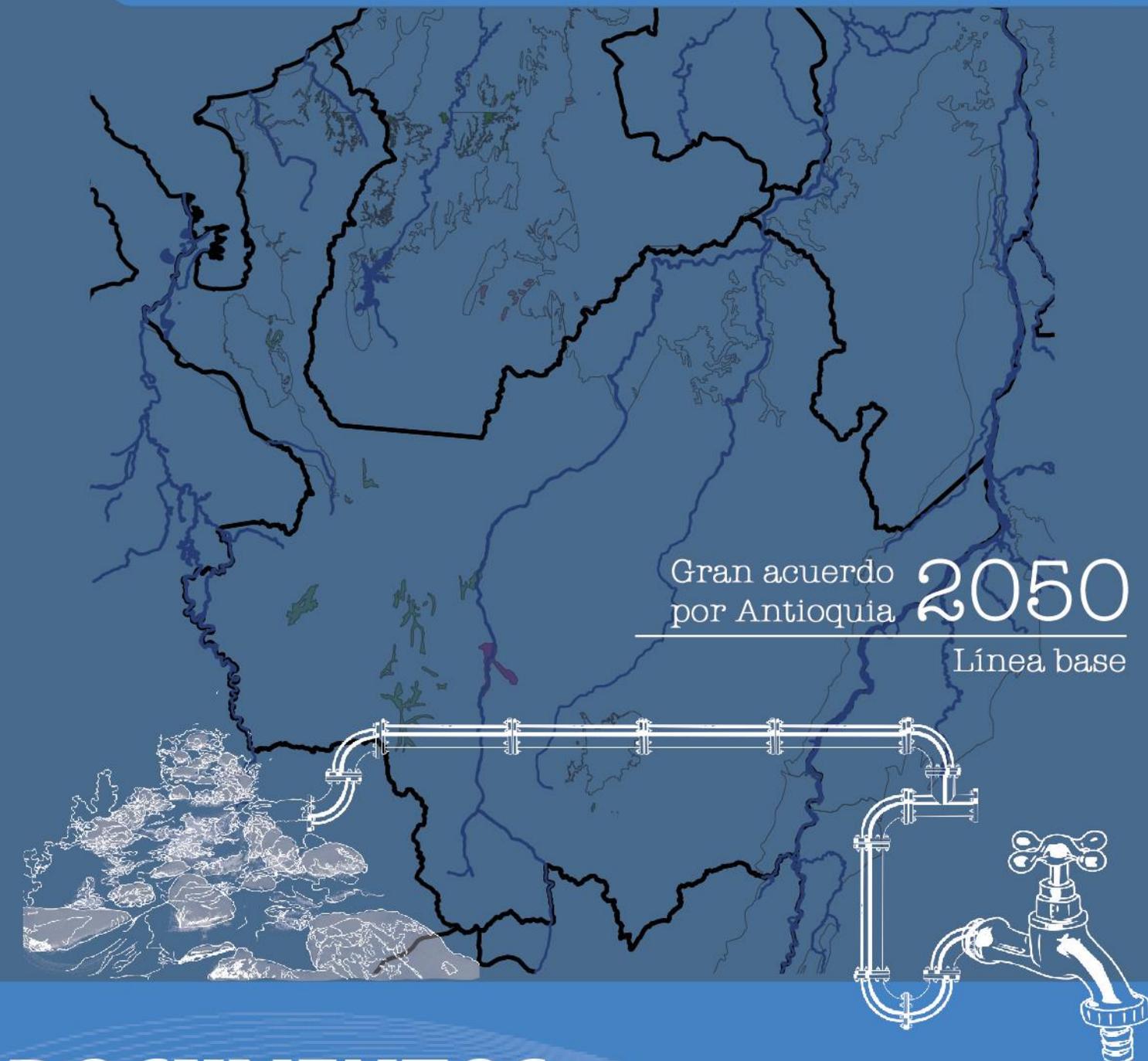
Nº 21

ESCASEZ Y VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

John Fernando Escobar; María Camila Arroyo Álzate y
Gabriela del Mar Pérez Villota

Febrero 2021

Gran acuerdo
por Antioquia **2050**
Línea base



DOCUMENTOS
de
TRABAJO INER

Medellín, Colombia. ISSN Electrónico 2462-8506



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Instituto de Estudios Regionales

ISSN 2462-8506 Edición electrónica

Universidad de Antioquia
Instituto de Estudios Regionales
Calle 67 No. 53 - 108
Bloque 9 - 243
Medellín - Colombia
Febrero de 2021

Ilustraciones: *Laura Ospina Montoya*

Edición. *Harold Cardona, Yesenia Arboleda*
Instituto de Estudios Regionales
Universidad de Antioquia
Calle 67 No. 53 - 108
Bloque 9 - 243
Teléfono 2195696 -2195983

Medellín - Colombia

El Instituto de Estudios Regionales es un centro de investigación de la Universidad de Antioquia-Colombia que se dedica a investigar de manera creativa e incluyente, desde diversas disciplinas, produciendo conocimiento desde el diálogo de saberes, aportando a las políticas públicas y a la gestión para el cambio social. Articula la investigación a procesos de educación superior, formal y continua para un conocimiento socialmente pertinente con sentido crítico, fortaleciendo el compromiso ético de los estudiantes. A través de actividades de extensión contribuye y cualifica para la gestión social, promoviendo la pluralidad en la toma de decisiones y la formación en habilidades específicas de ciudadanos e instituciones.

La presente publicación está protegida por los derechos de autor de quienes aparecen como titulares del documento. El uso del documento está permitido de manera libre y gratuita y sin ánimo de lucro; sin embargo, se exige el buen uso de la información ofrecida, no alterar su contenido y, en caso de ser empleado, hacer la debida citación de la fuente. Las visiones expresadas en esta publicación son de los autores. En ningún caso debe asumirse como una postura de INER o de la Universidad de Antioquia, tampoco de los entes financiadores.

<p>Cómo citar: Escobar, J. F., Arroyo Alzate, M. C., y Pérez Villota, G. (2021). Escasez y vulnerabilidad del recurso hídrico. Documentos de Trabajo-INNER, (21), 4-34</p>

Escasez y Vulnerabilidad del Recurso Hídrico

Resumen:

El presente documento hace parte de una serie de productos derivados del proyecto de investigación: Gran acuerdo por Antioquia 2050, del contrato interadministrativo 0154 del 2018 suscrito entre el Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA) y la Universidad de Antioquia, financiado por la Gobernación de Antioquia, para realizar una serie de estudios de la línea base del acuerdo por Antioquia 2050. El proyecto fue liderado por el Instituto de Estudios Regionales de la Universidad de Antioquia, con participación de grupos de investigación de la facultad de ingeniería, ciencias sociales, derecho y ciencias económicas. Los resultados del proyecto fueron documentos técnicos sobre los siguientes temas: cambio climático, cambio demográfico, reconfiguración del conflicto armado, conservación de la biodiversidad, desequilibrios en el sistema urbano regional, disparidades regionales en desarrollo, diversificación energética, Estado social de derecho y naturaleza como sujeto de derechos, estructura productiva e internacionalización, gobernanza territorial, recurso hídrico y servicios ecosistémicos. El material completo de la investigación reposa en el centro de documentación del Instituto de Estudios Regionales, el cual puede contactar al correo cediner@udea.edu.co

Introducción

Es extensamente conocido que las tres cuartas partes del planeta Tierra están cubiertas con agua, y que esta se encuentra principalmente en los océanos, mientras que la porción de agua dulce es muy pequeña, con alrededor de 2,5% del total de agua en el planeta. La mayor parte del agua dulce se encuentra en los glaciares (68,7%) y de forma subterránea (30,1%), y una mínima parte en los sectores profundos del suelo de las regiones más frías, permanentemente heladas (0,8%); aguas de difícil acceso para la mayoría de los asentamientos humanos (ATALC, 2016).

El desarrollo de las actividades humanas altera directa o indirectamente el entorno, pero muchas veces con consecuencias negativas para la salud humana y para el medio ambiente. Las fuentes antropogénicas pueden contaminar la atmósfera, la litosfera, la hidrosfera y la biosfera, así que el recurso hídrico se puede contaminar en cualquier proceso del ciclo hidrológico.

Agua atmosférica: En la atmósfera se acumula el agua proveniente de la evaporación, que representa menos de un 0,001% del agua de la Tierra, pero su papel es muy importante para el clima y la continuidad del ciclo hidrológico. El agua en la atmósfera también es vulnerable de ser contaminada por las actividades antrópicas. Cuando sustancias como los óxidos de azufre y de nitrógeno provenientes del uso de combustibles fósiles entran en la atmósfera, pueden ser desplazados por el viento y permanecer allí por mucho tiempo, sin embargo, estas partículas no tienen carácter ácido mientras están en la atmósfera, pero cuando entran en contacto con la neblina, el rocío o el agua superficial, se convierten en ácidos (cuanto más tiempo permanezcan estos óxidos en la atmósfera, es más probable que se transformen en sustancias de carácter ácido), y posteriormente pueden precipitar como lluvia ácida (Garcés & Hernández, 2004).

Agua subterránea: Representa más del 30% de las reservas de agua dulce del planeta, pero si se tiene en cuenta que el agua almacenada en la criósfera (agua en estado sólido) no está disponible para uso, entonces, el agua subterránea representa más del 97% del agua dulce disponible del planeta (Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá).

El agua que se filtra a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, se acumula en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo. El agua se almacena y se mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o vacíos (INGEOMINAS, 2008), se traslada por gravedad y se mueve lentamente hacia niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados, y eventualmente llega a los arroyos, lagos y océanos. La contaminación del agua subterránea ocurre cuando agentes contaminantes son liberados al suelo o subsuelo y luego migran hacia un acuífero, pero el agua puede contaminarse previamente o durante el proceso de goteo e infiltración, si en la biosfera o en los diferentes estratos del suelo hay presencia de contaminantes; dichos materiales se pueden desplazar con la recarga perjudicando la calidad de acuíferos confinados o cuerpos de agua superficiales. Esto también puede ocurrir de manera natural debido a la presencia de elevadas concentraciones de constituyentes minerales existentes en el acuífero. Las aguas subterráneas forman generalmente grandes embalses subterráneos, con un mayor grado de protección frente a fuentes potenciales de contaminación y a variaciones climáticas. Sin embargo, el deterioro de su calidad es más peligroso que el de aguas superficiales, ya que es más difícil de detectar y se reconoce tardíamente, cuando ya hay daños y víctimas (MADS, 2012).

Agua superficial: Es el agua contenida en ríos, canales, lagos, embalses y humedales. Por su exposición a la biosfera las aguas superficiales son en general más vulnerables a la contaminación de origen antrópico.

Con el fin de monitorear y evaluar el estado y la dinámica del recurso hídrico, en cuanto a cantidad y calidad, se emplean algunos indicadores propuestos por el Estudio Nacional del Agua (ENA) del 2010, como el Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, que a su vez lo componen otros indicadores, y el Índice de alteración potencial de la calidad de agua.

Si bien Colombia posee esta gran riqueza hídrica, ella no se encuentra distribuida de manera homogénea, y paradójicamente, las zonas con mayor concentración de población son las más vulnerables ante la escasez del recurso. Según el IDEAM, la oferta hídrica en el país experimenta

una disminución progresiva a causa de las limitaciones de uso por la calidad del agua, afectada por la contaminación producto de las actividades socioeconómicas e industriales, por los aportes de sedimentos provenientes de fenómenos erosivos y por los procesos de degradación de las cuencas; de no tomarse medidas de conservación y manejo adecuadas, para 2015 y 2025, respectivamente, el 66% y el 69% de los colombianos podrían estar en riesgo de alto desabastecimiento en condiciones hidrológicas secas. Debido a esto, hay una latente vulnerabilidad del país en materia de oferta hídrica, y se hace necesaria una pronta cultura para asumir la gestión integral del agua y su uso sostenible (Zamudio, 2012).

El desarrollo de los procesos de apropiación del territorio colombiano ha conducido a una importante transformación de los ecosistemas originarios, a través de procesos de colonización y establecimiento de sistemas productivos en alta medida extractivos y que deterioran la cobertura vegetal. Han sido especialmente afectados los bosques húmedos tropicales, bosques secos, bosques andinos, páramos, sabanas del Caribe y Orinoquía y los ecosistemas de manglar.

Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH): Este indicador mide el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta en el abastecimiento de agua, que ante amenazas —como periodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno cálido del Pacífico (‘El niño’)— podría generar riesgos de desabastecimiento (IDEAM, 2010). El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos entre el Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA), donde el IUA corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores, en un periodo determinado, y por unidad espacial de cuencas abastecedoras de acueductos, en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espacio. Por otro lado, el Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), permite medir la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas. La relación entre estos dos indicadores permite identificar cuencas hidrográficas capaces o no de mantener sus funciones ecosistémicas en el tiempo, por lo tanto, proveer servicios ecosistémicos a pesar de la presión que ejercen los sectores, los mismos ecosistemas de la cuenca, y los cambios en dinámicas ambientales sobre el recurso hídrico en una zona determinada.

El Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL): No es suficiente evaluar solo la cantidad disponible del recurso hídrico, también se debe tener en cuenta la calidad del mismo, para eso se mide el IACAL, el cual representa la presión según el tipo de contaminante sobre las condiciones de calidad del agua en los sistemas hídricos (IDEAM, 2010). Es el valor numérico que califica, en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica en un periodo de tiempo y la oferta hídrica superficial para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica estimada a partir de una serie de tiempo.

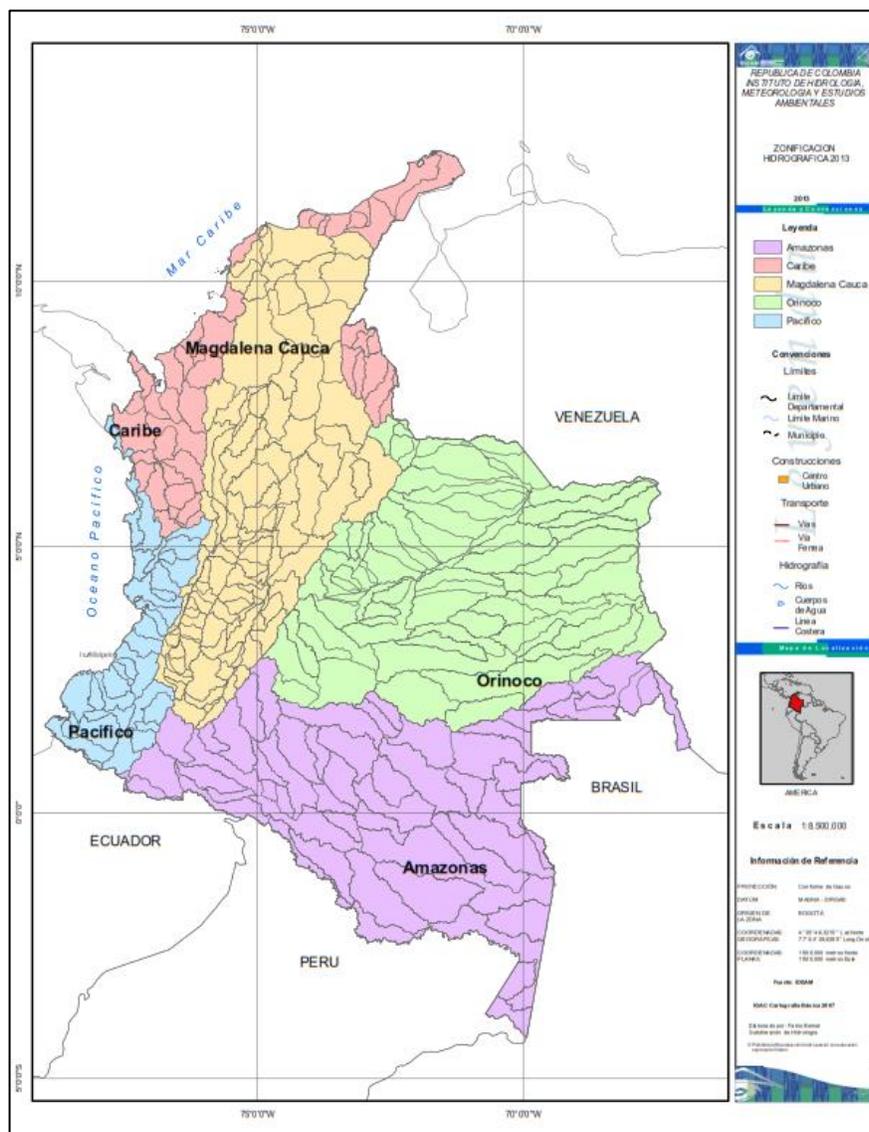
1. Situación actual

En términos globales, los procesos asociados a la circulación del agua atmosférica, temperatura de los océanos y estaciones, regulan los flujos a nivel supracontinental¹. A nivel nacional, los procesos son regulados principalmente por la topografía y fenómenos atmosféricos que tienen una fuerte influencia sobre nuestra franja tropical como: la ZCIT (La zona de convergencia intertropical), y el ENSO (El Niño-Oscilación del Sur), esto incluye los fenómenos climáticos ‘Niña’ y ‘Niño’, los jets subtropicales y las ondas tropicales del Este (Poveda, 2004; IDEAM, 2015). Todos estos fenómenos, y muchos más, son los que determinan los cambios y alteraciones de la humedad en nuestro territorio.

El modelo e hilo conductor de la política ambiental y de gestión hídrica se ejecuta alrededor del modelo de cuencas; es así como el IDEAM define cinco áreas hidrográficas: Caribe, Magdalena-Cauca, Pacífico, Orinoco y Amazonas, las cuales están enumeradas bajo ese orden. A su vez, estas áreas se dividen en zonas hidrográficas; en total, Colombia cuenta con 41 zonas, y en el interior de cada una se cuenta con subzonas hidrográficas, que en total son 31 (ver Figura 1). Para agua subterránea la zonificación del recurso se clasifica en 16 provincias hidrogeológicas y 61 sistemas acuíferos (ENA, 2014), tal como se ilustra más adelante en la Figura 3.

¹ Se reconoce la influencia local de los procesos mencionados. Pero el presente documento da una mirada en escalas superiores a las locales.

Figura 1. Mapa de zonificación hidrográfica.



Fuente: IDEAM, 2013.

Hidrológicamente el departamento de Antioquia está conformado por dos áreas hidrográficas, la del Caribe, con el 30,4% de la superficie, y la del Magdalena-Cauca con el 60,6%. Esta última, a su vez se divide en siete zonas hidrográficas correspondientes al Litoral Caribe, el río Atrato y el golfo del Darién, el río Sinú, el Magdalena Medio y Bajo, el río Cauca y el río Nechí, las cuales se dividen en subzonas. De las 309 subzonas hidrográficas que cubren todo el territorio nacional, Antioquia está cubierta por 31 de ellas; en la Tabla 1 se presentan las cuencas que al menos tienen el 10% de su área dentro de la delimitación del departamento antioqueño.

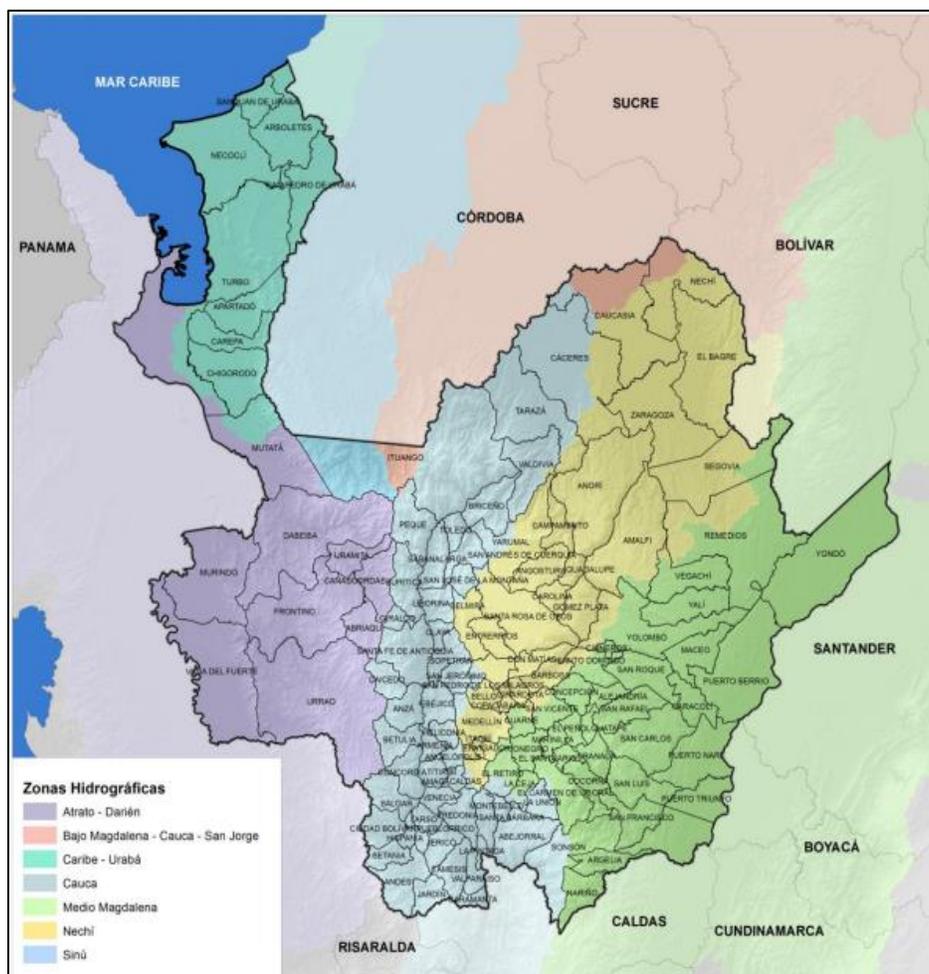
Tabla 1. Áreas, zonas y subzonas hidrográficas abarcadas en el análisis para el departamento de Antioquia.

Área Hidrográfica	ZH - Zona Hidrográfica	SZH - Subzona Hidrográfica	Extensión (Km ²)	Ofer ta (Mm ³)
1 - Caribe	11 - Atrato-Darién	1106- Directos Atrato entre ríos Bebaramá y Murri (md)	1605	585 8
		1107- Río Murri	3472	554 1
		1110- Río Murindó - Río Opagadó	2656	857 5
		1111- Río Sucio	5376	141 98
		1114- Directos Bajo Atrato entre Río Sucio y desembocadura al mar Caribe	2065	480 0
	12 - Caribe-Litoral	1201- Río León	2278	452 6
		1202- Río Mulatos u otros Directos al Caribe	2981	238 3
		1203- Río San Juan	1444	662
	13 - Sinú	1301- Alto Sinú-Urrá	4596	101 74
2305- Río Samaná		2400	793 5	
2 - Magdalena-	23 - Medio Magdalena			

Cauca		2307- Directos Magdalena Medio entre el Río La Miel y Río Nare	1484	0	308
		2308- Río Nare	5600	67	128
		2310- Río San Bartolo	3596	0	511
		2317- Río Cimitarra y otros directos	4972	6	731
	25 - Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge	2501- Alto San Jorge	3961	8	694
	26 - Cauca	2617- Río Frío y otros directos	1638	2	195
		2618- Río Arma	1861	4	278
		2619- Río San Juan	1416	5	229
		2620- Directos Río Cauca entre Río San Juan y Puerto Valdivia (md)	3554	5	177
		2621- Directos Río Cauca entre Río San Juan y Puerto Valdivia (md)	3414	6	164
		2624- Río Tarazá-Río Man	2579	1	565
		2625- Directos Bajo Cauca entre Puerto Valdivia y Río Nechí	1437	9	353
	27 - Nechí	2701- Río Porce	5231	1	841
		2702- Alto Nechí	2938	4	663
		2703- Bajo Nechí	4492	0	800
		2704- Directos al Bajo Nechí	1952	6	347

Fuente: Elaboración propia con información tomada del Estudio Nacional del Agua (2010).

Figura 2. Zonas hidrográficas en el departamento de Antioquia.



Fuente: Recurso Hídrico de Antioquia, 2014.

La alta presencia de ríos, quebradas y humedales en Antioquia, permite que haya una alta oferta hídrica, siendo las zonas del río Atrato-Darién y la del río Nechí las que presentan los aportes más altos; en oposición se encuentra la zona del Caribe Litoral, siendo la de menor disponibilidad hídrica (ENA, 2014). Así como varía la oferta del recurso, puede variar la demanda, y por lo tanto la cantidad disponible como la calidad del mismo. A continuación, se presenta un análisis de la oferta, demanda, regulación y calidad del recurso hídrico para cada zona hidrográfica.

Zona Hidrográfica Atrato-Darién (ZH 11): Entre los principales afluentes del río Atrato se encuentra el río Sucio (SZH-1111), una de las subzonas más grandes de Antioquia, con 3.900 km² dentro del departamento, pero las mayores precipitaciones se presentan en la cuenca del río Murrí, con medias de 4.668 mm/año y 5.465 mm/año. En cuanto a la calidad del recurso de acuerdo con el Análisis de Calidad y Cantidad del Agua Superficial en la jurisdicción de Corpourabá (2016), las fuentes naturales ubicadas en Murindó, San Pedro de Urabá, Necoclí, San Juan de Urabá, Chigorodó, Apartadó, Carepa, Turbo, Dabeiba y Urrao, presentan una calidad del agua media, destacando una mejoría en los índices de calidad con relación a los registrados en el 2015. Sin embargo, la calidad obtenida en los ríos Turbo y Currulao es mala, debido a la alta concentración de demanda química de oxígeno (DQO) y los coliformes fecales, producto de la carencia de plantas de tratamiento de aguas residuales en los centros urbanos, y la falta de sistemas de saneamiento básico en algunas zonas rurales, además, las concentraciones de nitratos y fosfatos también son altas ya que en esta región se presenta gran cantidad de monocultivos y ganadería.

Zona Hidrográfica Caribe-Litoral (ZH 12): Las subzonas hidrográficas del río Mulatos y otros Directos al Caribe (SZH-1202) y río San Juan (SZH-1203) hacen parte de la zona hidrográfica Caribe-Litoral. En esta región del departamento el régimen de precipitación es unimodal, mostrando claramente una estación de lluvias importantes (mayo-noviembre) y una estación seca (diciembre-abril), sin embargo, presenta los niveles más bajos de Antioquia en cuanto a precipitación y rendimiento, entre 1.600 mm/año y 2.800 mm/año para la subzona del río Mulatos y otros Directos al Caribe, y entre 1.500 mm/año y 2.000 mm/año para la subzona del río San Juan. En términos generales el recurso hídrico presenta limitaciones en su oferta, debido a la pérdida de la cobertura vegetal por la expansión de los sectores agrícola y ganadero, así como a las condiciones climáticas (Gobernación de Antioquia y UdeA, 2012). Esto se refleja en la demanda hídrica potencial; la mayor parte del agua es empleada en la producción agrícola de banano y plátano (64,76 hm³/año), seguida por el consumo doméstico (7,63 hm³/año) principalmente para la zona urbana de Turbo.

La tercera subzona es el río León, con una oferta hídrica estimada de 4.526 Mm³/año, siendo el mayor contribuyente en la zona, seguido por el río Mulatos con 2.383 Mm³/año y por último el río

San Juan con 662 Mm³/año (IDEAM, 2014). De igual forma esta subzona es la que mayor demanda tiene del sector doméstico asignada principalmente a la cabecera del municipio de Apartadó, con un valor de 27 hm³/año, pero la demanda del sector agrícola en la subzona del río Mulatos y otros Directos al Caribe (SZH-1202) duplica dicho valor con 64,76 hm³/año, seguida por el consumo doméstico con 7,63 hm³/año, para un total, en demanda de esta región, de 73,24 hm³/año. Con los datos anteriores no es de extrañarse que el 54% de la proporción de SZH-1202 tenga un índice de uso Alto o Muy Alto y en la cuenca del río León solo alcance estos niveles en la cabecera del río Chigorodó (EPM, 2018).

Zona Hidrográfica Sinú (ZH 13): La subzona hidrográfica Alto Sinú-Urrá (SZH-1301) está ubicada en el departamento de Córdoba y una pequeña parte de ella en Antioquia. Dentro de este departamento la subzona presenta precipitaciones entre 1.800 mm/año y 4.100 mm/año, y un rendimiento hídrico de 60 l/s por km²; no evidenciando reportes sobre la calidad o su demanda potencial.

Zona Hidrográfica Medio Magdalena (ZH 23): Esta zona cuenta con cinco subzonas hidrográficas (SZH) dentro de Antioquia; en la Tabla 1 se puede apreciar que la SZH con mayor oferta es el río Nare con 12.867 Mm³, seguido por el río Samaná con 7.935 Mm³. La cuenca del río Nare y sus principales afluentes (ríos Negro, Guatapé, Nare, Nus y Samaná Norte), con el código 1308, es una de las que posee mayor oferta hídrica en el departamento de Antioquia. Por su ubicación estratégica recibe precipitaciones que superan los 4.000 mm/año en algunos sectores (Cornare y Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2017), pero es una cuenca altamente dependiente de la variabilidad climática, ya que durante el fenómeno de ‘El niño’ disminuye los caudales en un 30% y durante ‘La niña’ los incrementa en un 40% (EPM, 2018). Gracias a la abundante oferta, la ZBH 2308 (río Nare) cuenta con la segunda mayor demanda hídrica en Antioquia y con los más altos consumos del país. Sus aguas se utilizan para producir energía y alimentos; posee la segunda aglomeración poblacional del departamento incluyendo importantes industrias, además existen múltiples desarrollos pecuarios, especialmente proyectos piscícolas y ganaderos (Cornare y Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2017), por ese motivo el porcentaje de la subzona con Índices de Uso del Agua entre Altos y Muy Altos ya supera el 50%.

Los resultados registrados de calidad se encuentran determinados principalmente por los vertimientos líquidos generados en los centros poblados de los municipios de El Retiro, Rionegro y Marinilla, así como por la creciente actividad industrial de la zona. Esta calificación puede llegar a ser Muy Mala, debido al incremento en la presencia del sector industrial, al aumento en la producción de las empresas existentes, al incumplimiento de las políticas de gestión de recurso y al crecimiento poblacional; factores que pueden ocasionar una pérdida progresiva en la calidad del agua en sus fuentes naturales.

La segunda subzona hidrográfica con mayor oferta hídrica es SZH 2305, asociada al río La Miel-Samaná; se caracteriza por tener muy pocos usuarios, los cuales se ubican principalmente en el municipio de Nariño, pero la cuenca es altamente dependiente de la variabilidad climática, pues eventos como ‘El niño’ disminuyen los caudales hasta en un 60% durante los meses de verano; esto genera altos Índices de Uso del Agua en condiciones secas, y puede derivar en desabastecimiento a la cabecera del municipio de Nariño; además de los municipios ser los principales consumidores, hay tres pequeñas centrales hidroeléctricas, dos en la subcuenca del río La Paloma y una tercera en la subcuenca del río San Pedro-Damas.

La calidad del agua en la cuenca del río Samaná Sur depende principalmente de los vertimientos de origen doméstico provenientes de los centros poblados y las cabeceras municipales de Nariño y Argelia, así como del vertimiento de aguas residuales no domésticas, proveniente del centro de beneficio de ganado del municipio de Argelia (EPM, 2018). En conclusión, en esta zona el recurso hídrico está altamente influenciado por la variabilidad climática, es importante que los POMCAS incorporen estrategias para mantener la disponibilidad del recurso incluso en temporadas de estiaje, e implementar planes para controlar la contaminación proveniente de las aguas domésticas residuales.

Zona Hidrográfica Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge (ZH 25): Solo tiene una subzona que hace parte de Antioquia, llamada Alto San Jorge; las demás subzonas dentro de esta zona presentan

un alto grado de preservación natural y poca intervención por lo que no han sido priorizadas en el POMCA.

Zona Hidrográfica Cauca (ZH 26): El área es aproximadamente de 27.087 km², equivalente al 43% del departamento, y alberga una población cercana a los 4.200.000 habitantes. En el departamento de Antioquia sus principales tributarios son los ríos Nechí, San Juan, Cartama, Poblano, El Buey y Arma, entre otros (Gobant, 2014). En esta zona solo se evaluaron siete subzonas hidrográficas (SZH), las cuales tienen un porcentaje considerable dentro del territorio antioqueño; en la Tabla 1 se puede apreciar que la SZH con mayor oferta es río Tarazá y río Man con 5.651 Mm³, seguida por los Directos Bajo Cauca entre Puerto Valdivia con 3.539 Mm³ y el río Arma con 2.784 Mm³.

Los caudales del río Tarazá y río Man son débilmente influenciados por ‘El niño’ y ‘La niña’; en general, la cuenca del río Tarazá presenta altos excedentes de agua en la mayoría de su extensión, pero disminuyen a medida que se acerca a la desembocadura del río Cauca. En cuanto a la demanda de los diferentes sectores productivos, se describe que para toda la cuenca es de 13,68 hm³/año, mayoritariamente destinada al sector doméstico con 8,91 hm³/año; le siguen el consumo para la producción pecuaria con 2,60 hm³/año y la minería 0,75 hm³/año. El resto se ha destinado a la generación de energía; todo lo anterior implica una baja presión de la demanda sobre la oferta hídrica disponible para la subzona (EPM, 2018). Consecuentemente, el Índice de Uso del Agua es Muy Bajo (IDEAM, 2014). Respecto al río Arma la demanda se estimó para los diferentes sectores productivos, siendo en total de 713,62 hm³/año para toda la subzona, de los cuales 235,89 hm³/año son destinados al sector eléctrico, seguido por el sector piscícola con 218,71 hm³/año y el agrícola con 119,94 hm³/año. Se destaca, además, un trasvase de 2 m³/s desde el río Buey hacia el río Piedras en el municipio de La Ceja, con el ánimo de alimentar el embalse de La Fe y abastecer el Valle de Aburrá (Corantioquia y Gotta Ingeniería SAS, 2016).

Zona Hidrográfica Nechí (ZH 27): De los 63.000 km² de Antioquia, la cuenca del río Nechí representa unos 15.000 km², cerca del 25% del territorio departamental. Esta característica, unida al hecho de que 40 de los 125 municipios tributan sus aguas a esta cuenca, y que más del 70 % de

la población departamental se asienta allí, son razones suficientes para entender su importancia en el departamento (Cornare, 2017).

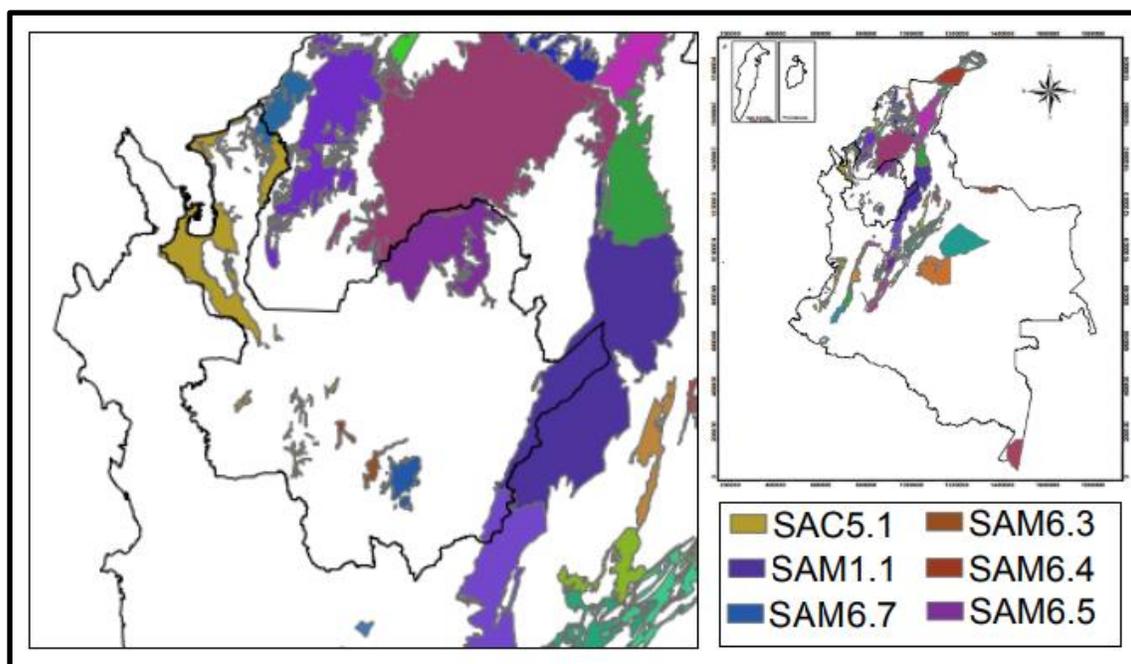
Es importante añadir que Antioquia es uno de los departamentos con mayor producción de oro y plata en el país; por tal motivo el uso de mercurio por beneficio de oro es 170 T (MADS, 2012), gran parte del cual, termina en los cuerpos de agua; por eso se presentan niveles críticos de cromo en el río Tonusco en Santa Fe de Antioquia, río Man en Cauca y en el San Jorge en Ayapel; con valores altos de plomo se encuentra el río Nechí en Nechí, el Man en Cauca, y el San Andrés en San Andrés.

En conclusión, para muchas de las cuencas se vuelve de especial interés mejorar el conocimiento sobre las relaciones entre la oferta y la demanda del agua, aumentar el registro de los usuarios y proponer acciones para garantizar la disponibilidad hídrica, incluso bajo condiciones de estrés dadas por eventos como 'El niño'. Las concentraciones de nitratos (contaminación por fertilizantes y exceso de nutrientes en el agua), coliformes totales (contaminación por vertimientos de aguas residuales) y mercurio (contaminación por minería de oro) en la mayoría de las subzonas hidrográficas superan los parámetros límite permisibles.

La escasez de agua en unos casos, y la alteración de las condiciones naturales de calidad de las aguas superficiales, en otros, junto con el papel que ellas desempeñan en su compleja relación con algunos ecosistemas acuáticos, han convertido al recurso aguas subterráneas en un recurso natural estratégico en el departamento, sobre todo porque el volumen de agua subterránea con que cuenta el país no ha sido cuantificado en su verdadera magnitud. Solo el 30% del territorio nacional ha sido cubierto por estudios regionales para conocer las características generales de los acuíferos como son algunas áreas de la Guajira, Sucre, San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Boyacá, Urabá, Cundinamarca, Valle del Cauca, Magdalena, Risaralda, Santander, Norte de Santander, Cesar, Antioquia y Quindío. Se requiere adelantar estudios que definan con mayor precisión la oferta del recurso (disponibilidad espacial y temporal en cantidad y calidad) y su potencial.

Así como existe una zonificación para las cinco áreas hidrográficas, el agua subterránea se clasifica en unidades hidrogeológicas, las cuales pueden agruparse y codificarse en tres grupos de acuerdo con su posición geográfica. La letra P corresponde a la provincia y las letras C, M y P corresponden a las provincias hidrogeológicas costeras, montañas e intramontañas y pericrátonicas, respectivamente (IDEAM, 2013). Antioquia contiene seis acuíferos o parte de ellos; en la Figura 3 se puede apreciar la localización y en la Tabla 2 algunas características y parámetros métricos de cada acuífero.

Figura 3. Localización de los sistemas acuíferos de Antioquia.



Fuente: Elaboración propia con información de IDEAM (2015).

Tabla 2. Distribución de sistemas acuíferos del departamento de Antioquia por áreas hidrográficas, provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos.

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas	Tipo de acuíferos	Parámetros hidráulicos		Área superficial (Km ²)
Área hidrográfica del Caribe							
PC5 Urabá	SAC5.1	Golfo de Urabá	Unidad T2C, unidad T2B, unidad T2A, unidad T21 y depósitos lanura aluvial	Libres, semiconfinados a confinados	B= 45 a 410m K= 2 a 20m/d	T= 30 a 1,780 m ² /d S= 1,0 x10-4 Ss= 0,3 a 4,68 l/s/m	4313
Valle Medio del Magdalena							
PM1 Valle Medio del Magdalena	SAM1.1	Valle Medio del Magdalena	Acuífero Terrazas del río Magdalena, acuífero depósito aluvial del río Magdalena, acuífero Mesa (NgCp), acuífero Real (Ngc), acuífero La Luna y acuífero Tablazo y Rosablanca	Libres, semiconfinados a confinados y cársticos	B= 80 a >800m K= 5 a 12m/d	T= 150 a 280m ² /d S= 4,0x10-4 a 6,0x10-4 Ss=1,0 a 2,0l/s/m	14 913
Área hidrográfica del Magdalena – Cauca							
PM6 Otros sistemas acuíferos en región Cordillera Occidental - Central	SAM6.3	Valle de Aburrá	Acuífero libre del Valle de Aburrá (A1), acuífero semiconfinado del centro y sur del Valle (A2) y acuífero de la Dunita de Medellín	Libres a semiconfinados y pseucárstico	B= 0 a 156m K= 0,003 a 54m/d		222
	SAM6.4	Santa Fe de Antioquia	Acuíferos asociados a depósitos aluviales del río Cauca, acuíferos asociados a materiales tributarios del río Cauca y acuíferos asociados a depósitos de vertiente	Libres	B= 82 a 155m K= 0,7 a 40m/d	T= 22 a 985m ² /d S= 5x10-3 a 0,047	103
	SAM6.5	Bajo Cauca Antioqueño	Acuífero U123, acuífero U4 y acuífero U5	Libre a Confinado	B= 10 a 190m K= 1 a 2m/d		4046
	SAM6.7	Valles de San Nicolás y la Unión	Acuíferos Libres en Aluviones, Acuíferos Libres en Suelos Residuales, Acuíferos Libres en Rocas Fracturadas, Acuíferos Confinados en Rocas Fracturadas, Acuíferos Salobres	Libre a Confinado	B= 100 a 250m K= 0,2 a 8m/d		642

Fuente: EPM (2018).

Para cada sistema acuífero localizado en Antioquia se realizó una descripción de sus características, haciendo especial énfasis en la oferta, la demanda y la calidad del recurso.

SAM 1.1 Acuífero Valle medio del Magdalena: Pertenece a la provincia hidrogeológica PM1 Valle medio del Magdalena y al Área Hidrográfica AH2 Magdalena-Cauca; las corrientes superficiales más importantes dentro de la zona son: quebrada La Malena, quebrada Balcanes, Caño Negro, río Nare y caño San Pablo. Alrededor del Sistema Acuífero están los ríos San Bartolo al norte, Magdalena al oriente y Cocorná al sur, los cuales forman parte de la recarga directa del acuífero. Se diferencian varias fases hidroquímicas con predominio de bicarbonatadas tipo sódico

o potásico (UNAL, 2003). Este acuífero cuenta con un plan de manejo ambiental elaborado en 2016 por Corantioquia y Gotta Ingeniería SAS. Respecto a la cantidad de puntos de agua, se tienen 58 captaciones, 23 pozos y 35 aljibes; el agua captada tiene usos domésticos y agropecuarios. Se calcula que el acuífero tiene reservas aproximadas de 18,23 km³ (EPM, 2018).

Calidad del agua del acuífero (valores comparados respecto a parámetros de calidad para consumo humano, resolución 2115 de 2007):

- 5,6% excede valores de dureza.
- 46,6% excede valores de hierro.
- 66,6% excede valores de turbidez.
- 30% excede valores de alcalinidad.
- 16,7% no cumple con los valores establecidos de pH.
- Todo el acuífero presenta contaminación por materia fecal y coliformes (EPM, 2018).
-

SAC 5.1 Acuífero Golfo de Urabá: Abarca cuatro municipios; posee una reserva calculada de 3.944 millones de metros cúbicos, de las cuales son extraídas 22 millones de metros cúbicos al año (FUNIAS, 2014), tiene una demanda según concesiones vigentes: 23.754.548 m³/año (Corpourabá y UdeA, 2016), donde el sector con mayor utilización del recurso es el agrícola, seguido del industrial y el doméstico. Para la evaluación de la calidad del agua subterránea almacenada en este sistema acuífero (SA) se hace referencia al monitoreo de calidad realizado por Corpourabá en 2017 a 24 aljibes y 37 pozos profundos, en cuyo informe se establece que en términos generales las concentraciones de nitratos, sulfatos y pH en el acuífero del Golfo de Urabá son óptimas para el consumo humano, dado que el 100% de las muestras analizadas presentaron valores admisibles según los establecido por la Resolución 2115 del 2007. Sin embargo, hay parámetros de calidad que no cumplen con dicha resolución, donde:

- 32% de los puntos no cumplió el criterio de conductividad eléctrica,
- 2% con el de cloruros,
- 17% el de calcio

- 86% el de alcalinidad,
- 17% el de dureza, y
- 76% de las muestras superaron el valor admisible de hierro total.

Además, en ninguno de los sitios monitoreados se analizaron coliformes fecales y totales, lo que impide dar un concepto acerca de la calidad microbiológica del agua subterránea del acuífero del Golfo de Urabá; por ende, se restringe la idoneidad de dicha agua para ser destinada al consumo humano sin previo tratamiento (EPM, 2018). La variabilidad de la calidad en el agua subterránea está relacionada con la localización de las áreas donde se practica de forma más intensa la actividad agrícola o donde es mayor el déficit sanitario.

SAM 6.5 Acuífero del Bajo Cauca antioqueño: Pertenece a la provincia hidrológica PC2 Valle bajo del Magdalena y al Área Hidrográfica AH2 Magdalena-Cauca; sobre este acuífero están las zonas hidrográficas ZH25 Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge, ZH26 Cauca y ZH27 Nechí. Abarca cinco municipios, y posee una reserva calculada de 3.300 millones de metros cúbicos (Palacio & Betancur, 2007). Con base en resultados de muestreos se ha concluido que el 21% de las captaciones no cumple el criterio de color, el 19,7% el de turbiedad, el 22% el de alcalinidad, el 19,7% de las muestras superan el valor admisible de hierro total, y el 62% está por fuera de los rangos de pH; la demanda química de oxígeno (DQO) y los nitritos registran 13% y 11%, respectivamente, de muestras por fuera de los rangos permitidos para esos parámetros para consumo humano. En todos los sitios y en todos los muestreos realizados se han encontrado concentraciones variables de coliformes, situación no deseada en agua para consumo humano (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011). Este acuífero cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA). Se estima una oferta promedio de 0,883 km³/año y una demanda de 0,00714 km³/año (EPM, 2018).

Calidad del agua del acuífero (valores comparados respecto a parámetros de calidad para consumo humano, Resolución 2115 de 2007; EPM, 2018):

- 40% excede valores de hierro,
- 10% excede valores de turbidez,

- 57,1% no cumple con los valores establecidos de pH, y
- todo el acuífero presenta contaminación por materia fecal y coliformes.
-

Es importante tener en cuenta que el Bajo Cauca es una zona minera, por lo tanto, su acuífero es susceptible de contaminación asociada a este tipo de actividad y requiere, por lo tanto, monitoreo constante.

SAM 6.3 Acuífero del Valle de Aburrá: Pertenece a la provincia hidrológica PM6 Otros sistemas acuíferos en la región Cordillera Occidental-Central y al Área Hidrográfica AH2 Magdalena-Cauca; la zona con potencial alto de recarga, corresponde a las zonas localizadas en las áreas con pendientes planas asociadas al río Medellín, a algunos afluentes en los municipios de Barbosa y Girardota, y a la quebrada La Miel del municipio de Caldas (AMVA, 2011).

Campillo (2012), concluye que el acuífero A3, está caracterizado por aguas bicarbonatadas cálcicas magnésicas-sódicas, mientras que el acuífero A1 se encuentra el clorurado sódico, asociado a la contaminación por actividades antrópicas, a la interacción con el río Medellín, y a la recarga artificial desde las fugas del alcantarillado. Este acuífero supera las 372 captaciones, las cuales, a agosto de 2017, estaban distribuidas en 40 pozos, 328 aljibes y 4 galerías, y sus usos principales son: lavado de vehículos, uso industrial, aseo, riego y doméstico. Cuenta con una reserva aproximada de 0,49 km³, una oferta máxima de 0,0915 km³/año, recarga máxima de 4.063 mm/año y demanda aproximada de 0,00735 km³/año (esta cifra solo tiene en cuenta captaciones formales ante la autoridad ambiental; EPM, 2018). La calidad del agua del acuífero se evalúa según su uso. La Figura 4 indica que este acuífero no es apto para uso doméstico, pero presenta muy buenas condiciones de calidad para otros usos como industrial y agrícola.

Figura 4. Cantidad de muestras clasificadas a partir de los índices ICA-AS, muestreo de calidad agosto de 2017.

ICG-AS			
	Uso doméstico	Uso industrial	Uso agrícola
Excelente	0	21	2
Buena	4	7	8
Aceptable	2	2	15
Regular	6	2	5
Mala	32	1	3

Fuente: Antioquia un territorio para proteger (2018).

SAM 6.4 Sistema Acuífero Santa Fe de Antioquia: Está conformado por la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental, el cañón del río Cauca y el extremo más occidental del altiplano Páramo de Belmira-Páramo de Sonsón (Vélez y Rhenals, 2008). Posee dos zonas de recargas, una ubicada por encima de los 1.800 m s. n. m., correspondientes a las zonas más de ladera y el borde del altiplano, que recarga la mayoría de las unidades acuíferas (1D, 1F, 1H y 1B). La segunda, localizada entre los 1.100-1.400 m s. n. m., que recarga los acuíferos de Sopetrán (1G) (AMVA, 2011). Este acuífero cuenta con un inventario de 311 aljibes, 2 pozos y 1 manantial, de dichos puntos 272 son utilizados, 41 no tienen uso actual y 7 se encuentran secos. El principal uso del agua subterránea extraída de estos puntos es el agrícola (53%), seguido del uso con fines domésticos (5%), el 2% corresponde a uso industrial y pecuario, y el 40% de los puntos no posee información al respecto. Su reserva estimada es de 0,338 km³, su oferta máxima es de 0,024 km³/año, y su recarga máxima de 630,2 mm/año; no se cuenta con estimaciones de demanda (EPM, 2018).

Calidad del agua del acuífero (valores comparados respecto a parámetros de calidad para consumo humano, resolución 2115 de 2007):

- 9% excede valores de dureza,
- 63,6% excede valores de turbidez,
- 54,5% excede valores de alcalinidad,
- 63,7% excede valores de hierro, y
- todo el acuífero presenta contaminación por materia fecal y coliformes (EPM, 2018).
-

SAM 6.7 Sistema acuífero Valle de San Nicolás y La Unión: De acuerdo con el Formato Único Nacional de Aguas Subterráneas (FUNIAS), se tiene registro de 65 captaciones presentes en este sistema, cuya agua es utilizada principalmente en los sectores industrial y agrícola, y en menor proporción en fincas recreativas. No se cuenta con información suficiente acerca de demanda, oferta ni recarga anual. La calidad del agua de este acuífero, en base a los parámetros de la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994, es excelente en el 87,5% y buena en el 2,5% (EPM, 2018). Esta norma no tiene en cuenta parámetros importantes para evaluar la calidad del agua para consumo humano, como presencia de coliformes, por lo tanto, es necesario tener precaución en la destinación del agua cuando se requiera para dicho uso.

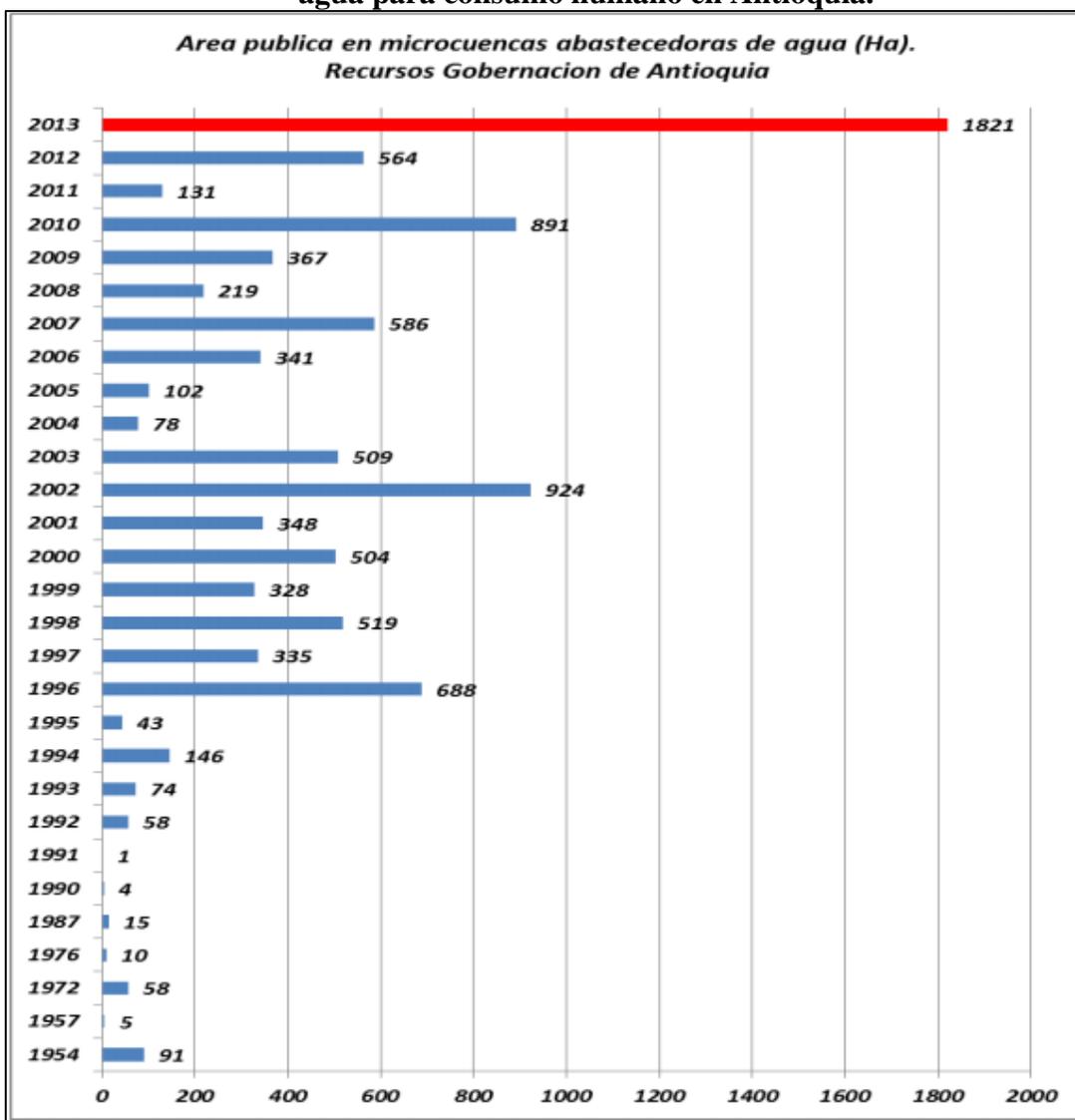
2. Posible evolución futura

El crecimiento poblacional es una clara tendencia, así que a pesar de los esfuerzos para la conservación de estos ecosistemas, persistirán los procesos de transformación, fragmentación y pérdida por actividades humanas, constituyéndose en una de las principales causas directas de pérdida de biodiversidad, degradación de suelos y disminución de bienes y servicios ambientales, como la regulación hídrica, la protección de suelos y el suministro de agua para consumo humano y procesos productivos importantes para el desarrollo local de muchas comunidades (Secretaría de Medio Ambiente Gobernación de Antioquia, 2014).

Sin embargo, Antioquia es uno de los departamentos que más planes ha desarrollado para la protección, gestión y restauración del recurso hídrico. De acuerdo con los registros disponibles, desde la década de 1950, en Antioquia ha existido un interés en la adquisición de predios estratégicos ubicados en las microcuencas que abastecen acueductos municipales (*Fig. 5*). No obstante, ha sido durante el año 2013 que se ha logrado el registro histórico más alto en cuanto a

hectáreas adquiridas para la Conservación del Agua, pues se ha duplicado el registro histórico que se tenía a la fecha.

Figura 5. Registro histórico del proceso de adquisición de predios para la protección del agua para consumo humano en Antioquia.



Fuente: Recurso Hídrico en Antioquia, 2014.

En aras de garantizar la ampliación de la cobertura y la calidad en la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado con las menores afectaciones al medio ambiente posibles, en 2007 surge el Plan Departamental de Aguas (PDA) como un conjunto de herramientas impulsadas por

el Gobierno Nacional para organizar el sector de servicios públicos del país. A través de esta iniciativa se integran los esfuerzos del gobierno nacional, el departamento y los municipios. Como punto de partida, los municipios construyen su plan maestro de acueducto y alcantarillado, el cual es revisado a través de la gerencia asesora del PDA para dar inicio al proceso que culminará en la operación del servicio. Actualmente el PDA cuenta con 65 municipios adscritos distribuidos en ocho de las nueve subregiones (no incluye Valle de Aburrá). Según lo reportado por la Gerencia de Servicios Públicos, se vienen desarrollando diferentes procesos en los municipios.

A pesar de la implementación de planes de gestión, actualmente la calidad del agua que transporta por las principales fuentes de agua superficial de Antioquia, como lo son los ríos Cauca, Man, Nechí, Cacerí, Atrato, Poblano, El Buey y Arma, se encuentra altamente deteriorada como consecuencia del mal manejo que el hombre les ha dado a los recursos naturales; esta situación ha llevado a que las aguas subterráneas se constituyan en la principal fuente de abastecimiento de agua en la región. A medida que aumente la población, mayor será la carga contaminante sobre los cuerpos de agua (Gobant, 2014).

Como punto adicional y último, el crecimiento poblacional no solo trae consigo la expansión de la frontera agrícola, pecuaria, urbana, etc., también la demanda energética aumenta, por ese motivo la creciente tendencia en la demanda de energía eléctrica es un hecho; en 2010 la generación de energía eléctrica en Colombia fue de 56.887,6 GWh, 1,6% por encima de la registrada en 2009 (55.965,6 GWh). Las proyecciones realizadas por la UPME tomando en cuenta los nuevos escenarios macroeconómicos suministrados por el Departamento Nacional de Planeación y el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, al igual que las nuevas series poblacionales y de precios del DANE, indican que en el escenario medio la demanda de energía eléctrica, sin incluir la demanda de Grandes Consumidores Especiales (GCE), tendrá un crecimiento promedio para el periodo 2015-2029 de 2,72%. La proyección conjunta nacional más GCE y las exportaciones a Panamá, tendrá un crecimiento promedio anual en el escenario medio del 3,12% durante el periodo proyectado. Para garantizar la atención de la demanda con criterios de calidad, seguridad y confiabilidad, la UPME crea el Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión para 2015-2029 donde formulan escenarios que contemplan la incorporación de fuentes renovables no convencionales e intercambios de energía con Ecuador y Centroamérica. Al igual que en el Plan de Expansión anterior (2010-2024), además, todas las

alternativas de largo plazo contemplan la segunda etapa de Ituango (1.200 MW), la instalación de 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia.

3. Actores claves para la gestión de las tendencias

Roles Identificados: 1: Uso adecuado del recurso. 2: Gestión. 3: Control y Regulación. 4: Veeduría. 5: Financiación. 6: Investigación. 7: Cumplimiento de la norma.

Actores:

Asociaciones de agricultores o ganaderos; 1,4,5

Consejos Comunitarios, comunidades negras e indígenas; 1,2,5,8

Juntas de Acción Comunal; 1,2,5,8

Corporaciones Autónomas Regionales; 3,4,6

Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente; 3,4,6

Gobernación de Antioquia; 3,4,6,7

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; 3,4,6,7

Servicio Geológico Colombiano; 7

Universidades; 4,6,7,

Instituciones de Educación Básica Urbana y Rurales, y Jardines Infantiles; 1

Sector Comercial y Servicios; 1, 3,5, 7

ONGs y Fundaciones; 1,2,5,6,7

I. Expresiones territoriales de la Escasez y Vulnerabilidad del Recurso Hídrico.

Este factor de cambio se pregunta por la fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta en el abastecimiento de agua y su relación con fenómenos naturales como El Niño que podría derivar en desabastecimiento, pero también con la calidad del agua para el consumo, asunto referido a la presión que hacen las poblaciones sobre sus sistemas hídricos. Esta situación fue considerada muy crítica en las subregiones Occidente y Bajo Cauca, crítica en el Aburrá Sur, Nordeste y el Oriente, pero menos crítica en las demás de Aburrá Norte, Suroeste y Urabá. En el Norte este factor no fue relevante como otros.

Subregión Occidente. Esta subregión es la tercera con menor oferta de agua por cuencas abastecedoras de acueductos en el departamento según el Anuario Estadístico de Antioquia 2016 que da calcula la oferta en 502 (l/s). Al observar la demanda, la situación se agrava ya que Occidente demanda 151,3 l/s. Si bien hoy no hay problemas evidentes en abastecimiento de agua se pueden presentar en el futuro de acuerdo con las demandas que vendrán con el fortalecimiento de la subregión como productora minera, actividad de gran consumo de agua, y el tipo de turismo de veraneo, característico de los tres municipios más dinámicos de la subregión (Santa Fe de Antioquia, Sopetrán y San Jerónimo), basado en el uso y consumo de agua para el abastecimiento de piscinas en hoteles, restaurantes, fincas de recreo, urbanizaciones e incluso viviendas, actividad que sigue su tendencia al alza.

Subregión Bajo Cauca. Los ríos Cauca y Nechí son los principales afluentes de la subregión también atravesada por los ríos Man y Cacerí. Aguas arriba, el río Cauca conecta la subregión con la subregión Norte y aguas abajo, con el departamento de Córdoba. El río Nechí está conectado con el río Porce en la subregión Nordeste Antioqueño. Estos afluentes se encuentran dentro de un complejo hidrológico de aguas subterráneas y un sistema de humedales muy intervenido por los habitantes (Montoya V. & Gaviria S., 2011). En la subregión “[...] se forman numerosas ciénagas con una extensión de más de 40.000 hectáreas, conectadas con los ríos mediante caños, formando complejos sistemas de lagos, pozas, pantanos y playones que retienen el agua de las crecientes y

la liberan lentamente en el estiaje” (Betancur Vargas, Palacio Buitrago, Benjumea Hernández, & Posada Marín, 2014, p. 13).

Este importante sistema hídrico está vulnerado. Sus afectaciones se relacionan con las malas prácticas mineras sobre los ríos Nechí y Cacerí donde se concentra esta actividad en la subregión² (Betancur Vargas et al., 2014), pero también inciden las afectaciones de la ganadería extensiva y la tala de bosques (Montoya V. & Gaviria S., 2011). La minería afecta la calidad de las aguas superficiales por los contaminantes que derrama pero también las aguas subterráneas, única fuente permanente de abastecimiento para satisfacer la demanda de la población, en tanto las perforaciones afectan la estructura hidráulica del acuífero (Betancur Vargas et al., 2014). No obstante, la vulnerabilidad del acuífero es moderada (Betancur Vargas et al., 2014; Montoya V. & Gaviria S., 2011)³. Este es afectado por las actividades del desarrollo urbano; la inadecuada disposición de aguas residuales, de residuos orgánicos, sólidos y peligrosos por el uso de plaguicidas, fertilizantes y aguas residuales para el riego por aspersion o irrigación de los cultivos; los usos de contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos empleados en la explotación minera; el almacenamiento de combustibles; los sumideros de carreteras y los cementerios; los efluentes de abono generados por las cabezas de ganado (Betancur Vargas et al., 2014). Aunque sea moderada la vulnerabilidad referida al riesgo de contaminación del acuífero, el peligro está catalogado en un nivel alto en la mayoría de la subregión por la posibilidad de que las aguas subterráneas lleguen a no ser aptas para el consumo humano (Betancur Vargas et al., 2014). En algunas veredas de la vertiente del río Man esta situación se ha calificado como extrema por los riesgos de contaminación del desarrollo urbano y la producción agrícola⁴ (Montoya V. & Gaviria S., 2011).

“La afectación de la calidad del recurso hídrico subterráneo almacenado en el acuífero libre registra valores por encima de los rangos establecidos en la normatividad vigente en Colombia sobre calidad del agua para consumo humano. En términos generales, el 21% de

² Ver anexo mapa “Uso del suelo subregión Bajo Cauca antioqueño” del Atlas Hidrogeológico de la subregión (pág. 29 del documento).

³ Ver anexo mapa “Vulnerabilidad intrínseca del acuífero libre del Bajo Cauca subregión Bajo Cauca antioqueño” (pág. 76)

⁴ Ver mapas de estudio de aguas subterráneas págs. 306 y 307

las captaciones no cumplen el criterio de color, el 19,7% con el de turbiedad, el 22% con el de alcalinidad, el 19,7% de las muestras superan el valor admisible de hierro total y el 62% está por fuera de los rangos de pH, la demanda química de oxígeno -DQO- y los nitritos registran el 13% y 11% de muestras por fuera de los rangos permitidos para esos parámetros” (Betancur Vargas, 2014, p. 56).

Subregión Nordeste. Caracterizada por su vocación minera, los municipios de la subregión han disminuido su calidad de vida por la baja tecnificación en el procesamiento del oro y el uso indiscriminado de mercurio, convirtiendo a la subregión en una de las más contaminadas del mundo por este químico. Hacia 2010, las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial determinó que, en las zonas urbanas de Remedios, Segovia y Zaragoza, y en el Bajo Cauca, los niveles de mercurio pueden llegar a ser 1000 veces más altos que los aceptados por la OMS. El problema se agrava por la contaminación atmosférica y las fuentes de agua, de donde se surte la población del pescado, su principal alimento. Al superponer los mapas de títulos mineros (color aguamarina) y rondas y nacimientos de agua (color verde) en el Nordeste, se evidencia un posible impacto sobre estos últimos, teniendo en cuenta, además, las formas de producción minera mencionadas anteriormente.

excepción de La Unión, cuyas aguas van al río Arma) aportan el 62,4% de la contaminación de dicha cuenca (Restrepo-Conciudadanía, 2015). La contaminación hídrica se origina por aguas residuales domésticas de viviendas urbanas y rurales, vertimientos de agroquímicos usados en floricultivos y otras sustancias de residuos industriales. A pesar de que las industrias cuentan en general con plantas de tratamiento, la calidad de agua no se recupera totalmente, hechos que disminuyen la oferta hídrica de la zona (Álvarez, 2016b).

Así mismo, estas dinámicas territoriales implican un incremento en la demanda de agua tal y como demuestran el número de registros de concesiones otorgadas por Cornare en la cuenca del río Negro (Cornare, 2014; Cornare, 2015) que, de acuerdo con la subdirectora de Recurso Hídrico de Cornare, en 2016 superaba el 50 por ciento del agua correspondiente a la oferta hídrica en las cuencas de la región (Álvarez, 2016 b El Colombiano). Esta situación se torna más crítica si se considera que municipios como La Ceja, Rionegro y Guarne (además de Abejorral en Páramo, San Francisco en Bosques y Concepción en Embalses), han visto reducida la oferta hídrica superficial que en temporadas del fenómeno de El Niño alcanzan aproximadamente un 60% (Cornare, 2014).

Referencias

- ATALC, Amigos de la Tierra América Latina y el Caribe. 2016. Informe: *Estado del agua en América Latina y el Caribe*. Recuperado de: <http://atalc.org/wp-content/uploads/2017/03/Informe-del-agua-LQ.pdf>.
- AMVA. (2011). *PLAN DE MANEJO DE ACUÍFERO DEL VALLE DE ABURRÁ – PMAA*. Disponible en: http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/PMAA/TALLER%204_Formulaci%C3%B3n_Julio.pdf.
- Corantioquia y Gotta Ingeniería SAS. (2016). *INFORME DE AVANCE DE LA EJECUCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN CUATRIENAL 2016-2019*. Disponible en: <http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/informes%20de%20gesti%C3%B3n/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%20consolidado%20Sem%20I%202017.pdf>.
- Cornare y Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño. (2017). *Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Nare*. Medellín.
- Cornare. (2017). Informe de resultados de monitoreo de oferta y calidad de fuentes hídricas (2017). El Santuario.
- Corpourabá. (2016). Subdirección de Gestión y Administración Ambiental. Análisis de Calidad y Cantidad del Agua Superficial en la jurisdicción de Corpourabá 2016. Apartadó.
- EPM. (2018). *Antioquia un Territorio para Proteger-Actualización y monitoreo del estado del recurso hídrico*. FUNIAS. (2014). GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/acuiferos/Guia-metodologica-para-la-formulacion-de-plan-de-manejo-ambiental-de-acuiferos.pdf>
- Garcés, L., & Hernández, M. (2004). *La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local*. Revista Lasallista de Investigación, vol. 1, núm. 2, 2004, pp. 67-72. Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69510211>.

- Gobant. Gobernación de Antioquia (2014). *Recurso hídrico en Antioquia*. Secretaría de Medio Ambiente. Consultado de:
http://190.109.167.188:83/imagenes/SIAD/HI_GEN_DOC_EL_RECURSO_HIDRICO_EN_LA_MAS_EDUCADA.PDF
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*, Consultado de:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/021888.htm>
- IDEAM. (2013). Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia, Consultado de:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf>
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua (ENA) 2014*, Consultado de:
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- INGEOMINAS. (2008). *Aguas Subterráneas un Enfoque Práctico*. Disponible en:
<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Aguas-subterranas-enfoque-practico.PDF>
- INGEOMINAS. (2011). *SECTOR Energía Eléctrica*. Disponible en:
<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23400/05-ENERGIA2010-2011.pdf/770a198d-d4ee-4687-b74c-74592b403ae6>
- MADS. (2012). *INFORME DE GESTIÓN SECTOR AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE*. Disponible en:
http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Rendicion_de_cuentas/informe_gestion_mads_2012.pdf
- Poveda, G. (2004). *Variabilidad Espacial y Temporal del Almacenamiento de Agua en el Suelo en Colombia*. Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37n142/v37n142a07.pdf>
- Palacio P., & Betancur T., 2007. *IDENTIFICACIÓN DE FUENTE Y ZONAS DE RECARGA A UN SISTEMA ACUIFERO APARTIR DE ISÓTOPOS ESTABLES DEL AGUA. CASO DE ESTUDIO BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO*. Gestión y Ambiente, vol. 10, núm. 1, pp. 167-181 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/pdf/1694/169419796014.pdf>

- Secretaría de Medio Ambiente Gobernación de Antioquia (2014). *EL RECURSO HÍDRICO EN ANTIOQUIA*, Versión 1. Disponible en:
http://190.109.167.188:83/imagenes/SIAD/HI_GEN_DOC_EL_RECURSO_HIDRICO_EN_LA_MAS_EDUCADA.PDF
- UNAL. (2003). Arismendy R. D., Salazar J. F., Vélez M. V., y Caballero H. A. Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare. Disponible en:
<http://bdigital.unal.edu.co/4441/2/EA3759.pdf>
- UPME. (2015). *PLAN DE EXPANSIÓN DE REFERENCIA GENERACIÓN – TRANSMISIÓN 2015-2029*. Disponible en: http://www1.upme.gov.co/Documents/Plan-Expansion-2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf.
- Zamudio, R. (2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos*. Gestión Ambiental, Volumen 15, Número 3, p. 99-112, 2012. Disponible en:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36284/42930>.