



El potencial de las aguas subterráneas en Antioquia

Teresita Betancur Vargas



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Ingeniería



El potencial de las aguas subterráneas en Antioquia

Teresita Betancur Vargas



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Ingeniería

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

John Jairo Arboleda C.
Rector Universidad de Antioquia.

Julio César Saldarriaga M.
Decano Facultad de Ingeniería

AUTORA

Teresita Betancur Vargas.

CONTRIBUCIONES

Cristina Martínez U.
Deisy Yurani Rivera A.
Eloísa Mejía B.
Juliana Ossa V.
Liliana Monsalve B.
María Alejandra Vela C.
Miriam Benjumea H.
Oscar Mejía R.

PRÓLOGO

Ricardo Hirata

REVISIONES

Carlos Alberto Palacio T.
Emilia Bocanegra.
Jhon Camilo Duque D.
Juan Camilo Villegas P.
María Victoria Vélez O.
Paola Andrea Palacio B.

REVISIÓN DE TEXTOS

Pablo Mejía B.

REVISIÓN DE PRUEBA

Patricia Escobar B.

INFOGRAFÍAS

Juan Sebastián Betancur B.

DISEÑO

Lina M. Pérez G.

ISBN 978-628-7652-51-4

Primera edición 300 ejemplares

IMPRESIÓN

Divegráficas S.A.S. Medellín, Colombia
Octubre de 2023

CITACIÓN

Betancur, T., 2023. Las aguas subterráneas en el departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, 312 pp.

AGRADECIMIENTOS

Trascendiendo la gratitud, quiero hacer una mención especial a la memoria del maestro de todos: al doctor Emilio Custodio.

Expreso mis agradecimientos a la Universidad de Antioquia por haberme permitido aprender y desarrollar, durante mas de 20 años, el ejercicio de explorar y ahondar en el mundo de las aguas subterráneas, integrando el conocimiento al quehacer en docencia, investigación y extensión, al interior de la Facultad de Ingeniería y su Escuela Ambiental.

Agradezco su apoyo y compañía a todos los estudiantes de pregrado, maestría y doctorado quienes, han sido parte de la consolidación de la línea de hidrogeología del grupo GIGA. Por estar ahí, con todos, a Ángela Díaz.

A mi familia –mis hermanos-, a mis amigos y a Julialba.

Muchas gracias a la Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá, a la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, al Area Metropolitana del Valle de Aburrá, a Empresas Públicas de Medellín; con estas entidades la Universidad de Antioquia suscribió convenios que han ayudado a la sostenibilidad de muchos estudios de hidrogeología.

A las comunidades, moradores de este territorio que me guiaron, me acompañaron y me enseñan cada vez que entablamos un diálogo.

Han sido de crucial importancia, en este camino, los apoyos de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), la red CYTED, el programa E4P de UNESCO-IHE-Delft Institute, la Universidad Nacional de Mar del Plata, el IRD de Francia, la Universidad de Montpellier.

Entre muchos nombres de colegas y amigos, con especial afecto agradezco a Vanessa Paredes, a Monica D`Elia, a Daniel Martinez, a Alba Upegui, a Lina Pérez, a Ana Karina Campillo, a John Fernando Escobar y, en donde habite, a Luis Ribeiro.

Contenido

• La belleza de lo que no se ve	7
• Presentación	9
PARTE I	
• Geología	12
Estructura y composición de la tierra	13
El ciclo de las rocas	17
Deformación y estructura de los materiales de la corteza y la superficie	21
El tiempo geológico	23
Mapa geológico de Antioquia	23
• Hidrología	28
Generalidades	29
El ciclo hidrológico	31
La cuenca hidrográfica	35
Antioquia, su hidrología	37
• Hidrogeología	40
Generalidades	43
Exploración hidrogeológica	44
Balance hídrico para la determinación de la recarga	48
Delimitación de zonas de recarga	51
Hidrogeoquímica e isotopía, bases para verificación de modelos hidrogeológicos	54
Estado del conocimiento de las aguas subterráneas en Antioquia	59

• Gestión. La responsabilidad para el cuidado del agua subterránea	100
La institucionalidad y el cuidado del agua subterránea	101
Gestión social y el cuidado del agua subterránea	117
Gestión de aguas subterráneas en Antioquia	121
PARTE II	
• Bajo Cauca antioqueño	138
Población	139
Acceso al agua	141
Calidad de vida	141
Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	144
Priorización por municipios	146
Estudios hidrogeológicos en la región	146
Potencial hidrogeológico	150
Percepciones	153
• Urabá antioqueño	156
Población	159
Acceso al agua	161
Calidad de vida	161
Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	163
Priorización por municipios	165
Estudios hidrogeológicos en la región	165
Potencial hidrogeológico	171
Percepciones	173

• Valle de Aburrá	176	Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	220	• Norte de Antioquia	272
Población	177	Priorización por municipios	222	Población	275
Acceso al agua	179	Estudios hidrogeológicos en la región	222	Acceso al agua	275
Calidad de vida	179	Potencial hidrogeológico	226	Calidad de vida	275
Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	182	Percepciones	229	Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	278
Priorización por municipios	184	• Occidente de Antioquia	232	Priorización por municipios	280
Estudios hidrogeológicos en la región	184	Población	233	Estudios hidrogeológicos en la región	280
Potencial hidrogeológico	188	Acceso al agua	235	Potencial hidrogeológico	281
Percepciones	191	Calidad de vida	235	Percepciones	287
• Oriente de Antioquia	194	Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	238	• Nordeste de Antioquia	290
Población	197	Priorización por municipios	240	Población	293
Acceso al agua	197	Estudios hidrogeológicos en la región	240	Acceso al agua	293
Calidad de vida	197	Potencial hidrogeológico	244	Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	296
Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	200	Percepciones	249	Priorización por municipios	298
Priorización por municipios	202	• Suroeste antioqueño	252	Estudios hidrogeológicos en la región	298
Estudios hidrogeológicos en la región	203	Población	255	Potencial hidrogeológico	299
Potencial hidrogeológico	206	Acceso al agua	255	Percepciones	303
Percepciones	211	Calidad de vida	255	• Consideraciones finales	306
Perspectiva hidrogeológica para la región de oriente	213	Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial	258	• Referencias bibliográficas	308
• Magdalena Medio antioqueño	214	Priorización por municipios	261		
Población	217	Estudios hidrogeológicos en la región	261		
Acceso al agua	217	Potencial hidrogeológico	264		
Calidad de vida	217	Percepciones	269		

LA BELLEZA DE LO QUE NO SE VE

Ricardo Hirata

Considero que el conocimiento no cambia a las personas. Eso ocurre únicamente cuando tal conocimiento llega a sus corazones. Los textos científicos sobre recursos hídricos generalmente se emplean con la idea de una catástrofe, como un mecanismo para lograr ese efecto. Si bien es cierto que nuestro trabajo como científicos es alertar a la población de sus problemas, llegar al corazón a través de la belleza es quizá la forma más sublime de hacerlo.

Las aguas subterráneas son bellas, pero invisibles –lejos de la vista, lejos del corazón–, lo que las hace poco seductoras. Pero ahí es donde entra en juego el conocimiento, que se genera a partir de datos e información técnica. Ese conocimiento nos hace comprender cómo actúa este recurso en la naturaleza, cómo dependemos de él –a menudo sin darnos cuenta– y cómo su manifestación embellece nuestro mundo. Y entonces nos enamoramos de él, porque descubrimos cómo un recurso casi omnipresente sustenta nuestra vida y la de los distintos ecosistemas, que son igualmente lindos.

Toda esta belleza sigue siendo desconocida para la sociedad, gobiernos e instituciones que deben velar por el recurso hídrico subterráneo. Las sociedades que no se interesan en este recurso no presionan a sus gobernantes para que hagan un buen uso de las aguas subterráneas y de igual forma protejan sus acuíferos. Por otra parte, los gobernantes no ven su importancia, porque más del 70% de la extracción de aguas subterráneas se hace a través de pozos clandesti-

nos, es decir, cifras invisibles en las estadísticas oficiales. En muchas localidades (por no decir en casi todas), cientos o miles de pozos tubulares, pozos excavados y manantiales explotados por particulares garantizan la seguridad hídrica en el campo y las ciudades, al punto de que si no fuera por ellos, las urbanizaciones habrían colapsado, y los sistemas de abastecimiento y la agricultura no tendrían la fuerza que tienen hoy en día.

Así, esta inviabilidad no nos permite ver que en América Latina se está produciendo desde hace décadas una “revolución silenciosa”. Una revolución que es la suma de todos los pequeños usuarios, la cual, para ser más eficaz, debería evolucionar hacia un sistema más organizado, con un mejor conocimiento de su potencial y límite y, por supuesto, hacia la conciencia de sus usuarios y gestores.

Por eso, hacer visible lo invisible es clave para la protección del recurso hídrico subterráneo, y no hay mejor forma de hacerlo que a través de los libros. Es el caso de la publicación “El potencial de las aguas subterráneas en Antioquia” de la profesora Teresita Betancur Vargas.

El libro de Teresita no es un extracto de información tomada de otros libros, sino un compendio de sus experiencias a lo largo de su carrera como profesora e investigadora de la Universidad de Antioquia. En sus diversos proyectos de investigación, en la orientación

de estudiantes y en sus viajes por las hermosas tierras paisas, la profesora ha recopilado, organizado e interpretado datos y generado conocimiento, pero, sobre todo, en este documento, muestra soluciones para el manejo adecuado de los recursos hídricos subterráneos, considerando las contribuciones de la sociedad.

El libro es un recorrido por los rincones de este departamento colombiano, uno de los más poblados y prósperos económicamente. En él se describe la ocurrencia de aguas subterráneas en los acuíferos presentes en los grandes valles y montañas, mostrando su potencial, las formas de organización para su control, y la participación de la sociedad en la gestión y gobernanza. En los primeros capítulos, la profesora explica el funcionamiento de los acuíferos y las cuencas fluviales, describiendo las rocas, la química del agua y los hidrogramas, lo que permite que personas “no-hidrogeólogas” comprendan el concepto de agua subterránea en las diversas regiones geográficas del departamento.

Es un placer pasar la página, puesto que es una publicación muy bonita, escrita por una de las personas que más conocen de la hidrogeología de Colombia. Es un libro de consulta que muestra cómo se encuentran las aguas subterráneas en Antioquia y qué podemos hacer para protegerlas.

13 de septiembre de 2023

PRESENTACIÓN

Las aguas subterráneas —ese bien natural invisible que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra, del lecho de los ríos o del fondo marino— brotan de forma natural en los manantiales de la accidentada geografía del departamento de Antioquia (Colombia); ellas, en su tránsito, desde las zonas de recarga, cumplen la función de soporte a los ecosistemas en este territorio biodiverso.

Las contribuciones del agua subterránea al bienestar humano se evidencian en el aprovechamiento que de ellas se hace para satisfacer necesidades de abastecimiento, a través de aljibes, pozos, zanjas o galerías; además, es bien sabido que las aguas del subsuelo representan un patrimonio reservado ante las necesidades de adaptación que se derivan de los escenarios de cambio climático, toda vez que se sabe que este se relaciona de forma contundente y absoluta con el agua.

Desde hace más de veinte años, en la Universidad de Antioquia se viene recopilando información y generando conocimiento acerca de la presencia de aguas subterráneas en la corteza terrestre del departamento de Antioquia. Los estudios adelantados han contribuido a la solución de problemas sociales en zonas donde el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento para la población, han puesto en evidencia la funcionalidad ecosistémica de los acuíferos, han brindado elementos técnicos para soportar la toma de decisiones y la adopción de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos. En el transcurso de tantas investigaciones se han tejido relaciones con actores sociales claves que tienen, desde sus vivencias, un conocimiento integral del territorio que dialoga con el saber académico. Bajo estos antecedentes se concibió la elaboración de este libro, que

pretende ser un documento de educación, comunicación y difusión, que resuma la hidrogeología regional del departamento de Antioquia y plantee sus potencialidades en relación con la presencia de agua subterránea allí donde aún, pese a que no se han estudiado, están presentes y se utilizan.

Para cumplir con este propósito, el documento se diseñó en un formato híbrido en el que se combinan reportes epistolares e infografías. El documento está organizado en dos partes:

- En la primera parte se abordan unas bases conceptuales de geología, hidrología e hidrogeología, que son las disciplinas que soportan el conocimiento del agua subterránea; se concluye con unos elementos básicos sobre gestión. En cada uno de estos primeros cuatro capítulos se termina exponiendo el estado del arte sobre las aguas subterráneas en el territorio objeto de estudio, esto es: en el departamento de Antioquia.
- En la parte dos se aborda —por subregiones— la descripción del conocimiento hidrogeológico. Considerando la relevancia que, en términos humanos, llega a tener la determinación de la existencia del agua subterránea en una localidad, para cada subregión se exponen las principales características sociodemográficas, las condiciones de acceso al agua, el estado y la presión antrópica sobre el recurso hídrico. El análisis de la conjunción de estos factores sumados a los escenarios de riesgo que —por municipio— se prevén ante el cambio climático, lleva a una priorización, en orden a la carencia, de pensar en atender necesidades de acceso al agua,

bien sea a partir de fuentes superficiales o subterráneas. Con base en la evaluación geológica se determinan las condiciones litoestructurales de cada subregión, las cuales, cruzadas con la geoespacialización de puntos de agua y las percepciones sociales sobre el agua subterránea, permiten establecer categorías de potencial hidrogeológico en formaciones blandas y en rocas duras que han desarrollado porosidad secundaria.

La expectativa que se asocia con este ejercicio es la de identificar áreas donde el potencial acuífero, las condiciones ecosistémicas y la necesidad de acceso al agua revelen la pertinencia y urgencia de avanzar en la evaluación hidrogeológica para lograr contar con mejores modelos hidrogeológicos conceptuales. Así mismo, se pretende insistir y contribuir con la realización del lema —ahora global— que promulga: “Aguas subterráneas: hacer visible lo invisible”; bajo la hipótesis de que para proteger es necesario conocer.

Parte I

- Geología
- Hidrología
- Hidrogeología
- Gestión

Geología

-
- Estructura y composición de la tierra
 - El ciclo de las rocas
 - Deformación y estructura de los materiales de la corteza y la superficie
 - El tiempo geológico
 - Mapa geológico de Antioquia
-

Las rocas constituyen una clara representación, en la naturaleza, de lo que se denomina estado sólido; por eso, aceptar intuitivamente la presencia de agua en ellas, genera cierta resistencia. Sin embargo, son las rocas las que se constituyen en los embalses subterráneos que desde la hidrogeología son llamados acuíferos.

Para aproximar una comprensión general acerca de las características que hacen posible que la materia sólida de la tierra contenga gran parte del agua del planeta, se presenta a continuación una serie de cinco infografías, enmarcadas en el contexto de unos contenidos explicativos. Se inicia con la descripción de cómo es la estructura del planeta desde su interior hasta encontrar la corteza y, en ella, las clases de materia que la conforman.

Posteriormente, se hace referencia a los procesos que afectan la estructura original de las rocas y que pueden inducir en ellas nuevos caminos para el paso del agua. Dimensionar la escala del tiempo geológico supone un reto para la mente humana, acostumbrada a medir los sucesos en intervalos que se cuentan entre segundos y años, por eso se hace referencia al origen y la evolución del planeta a lo largo de mas de 4.000 millones de años. Finalmente se muestra la naturaleza de la corteza en Antioquia, incluyendo el mapa geológico del departamento.

ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA

Aparte de la teoría de la creación se concibe el origen del universo producto de una gran explosión, ocurrida hace más de 13.000 millones de años, a la cual se le llama el *BigBang*. El Universo sigue

expandiéndose y, probablemente cuando cese el efecto del impulso inicial, volverá a contraerse en una lenta implosión que marcará su fin y, tal vez, un nuevo comienzo (Sagan, 2009).

Entre el infinito número de galaxias en el universo, dentro de la vía láctea existe un sistema solar, en uno de cuyos planetas —La Tierra— habita el hombre. La Tierra se formó hace 4.500 millones de años, el *Homo Sapiens* interviene sobre ella hace menos de 70.000 (Harari, 2014).

Las teorías sobre el origen de los planetas y sus lunas, de los sistemas, las galaxias y el universo mismo se pueden leer en textos generales o especializados sobre el tema (Tarbuck *et al.*, 2005, Hawking, S., 1981).

La ciencia denominada geología se ocupa de estudiar los materiales que constituyen la tierra, el interior del planeta y su superficie, así como los procesos responsables de sus cambios (Geología Física); igualmente estudia la evolución o historia desde el origen hasta su configuración actual, apoyándose en evidencias biológicas —referentes al origen y evolución de la vida—, en los principios fundamentales del actualismo y uniformismo, y en las técnicas de datación radiométrica con isótopos (Geología Histórica).

El hombre habita la superficie, sin embargo, el dominio de lo que se denomina Planeta Tierra se extiende hasta unos 500 km hacia arriba, en la atmósfera, y hasta 6.380 km hacia el interior en el núcleo terrestre.

Estructura interna de la tierra

Los elementos que conformaron la tierra, en los principios de su evolución, se diferenciaron por densidad en una serie de capas concéntricas con diferente composición química, esas capas aún hoy siguen transformándose. Desde el centro hacia la superficie se citan el núcleo, el manto y la corteza. El conocimiento que hoy se tiene de su naturaleza se ha logrado gracias al comportamiento de las ondas sísmicas, el cual varía según la densidad y composición de los materiales a través de los cuales se propagan (Tarbuck *et al.*, 2005).

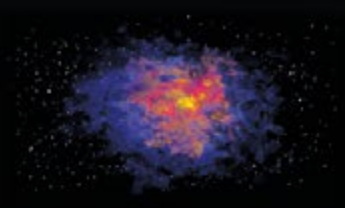
El núcleo es la capa más interna del planeta, tiene un radio promedio de 3.500 km. Está compuesto, básicamente, por hierro y níquel, con cantidades menores de silicio, oxígeno y azufre. Hay un núcleo interno —sólido— y un núcleo externo —fundido—. Nuevas investigaciones indican que habría un núcleo más interno en el cual el hierro tendría características especiales (Belonoshko *et al.*, 2008).

El manto alcanza aproximadamente 2.900 km de profundidad. La parte superior del manto es sólida y está seguida de un material de naturaleza plástica al que se llama astenósfera; la parte inferior o mesósfera, tiene mayor resistencia y se comporta como un sólido.

La corteza terrestre, —oceánica y continental—, tiene un espesor que varía entre 3 km en el centro del océano, y 77 km en la zona de las cumbres continentales más altas. La corteza oceánica alcanza los 7 km de espesor y está compuesta, principalmente, por silicatos de características ferromagnesianas; en la corteza continental, —con espesor medio de 35 km—, hay presencia de silicatos de aluminio, hierro, magnesio, calcio, potasio y sodio, entre otros minerales.

La corteza y la porción superior sólida del manto constituyen la litósfera, la cual puede alcanzar más de 220 km de espesor.

EL INTERIOR Y LA CORTEZA DE LA TIERRA



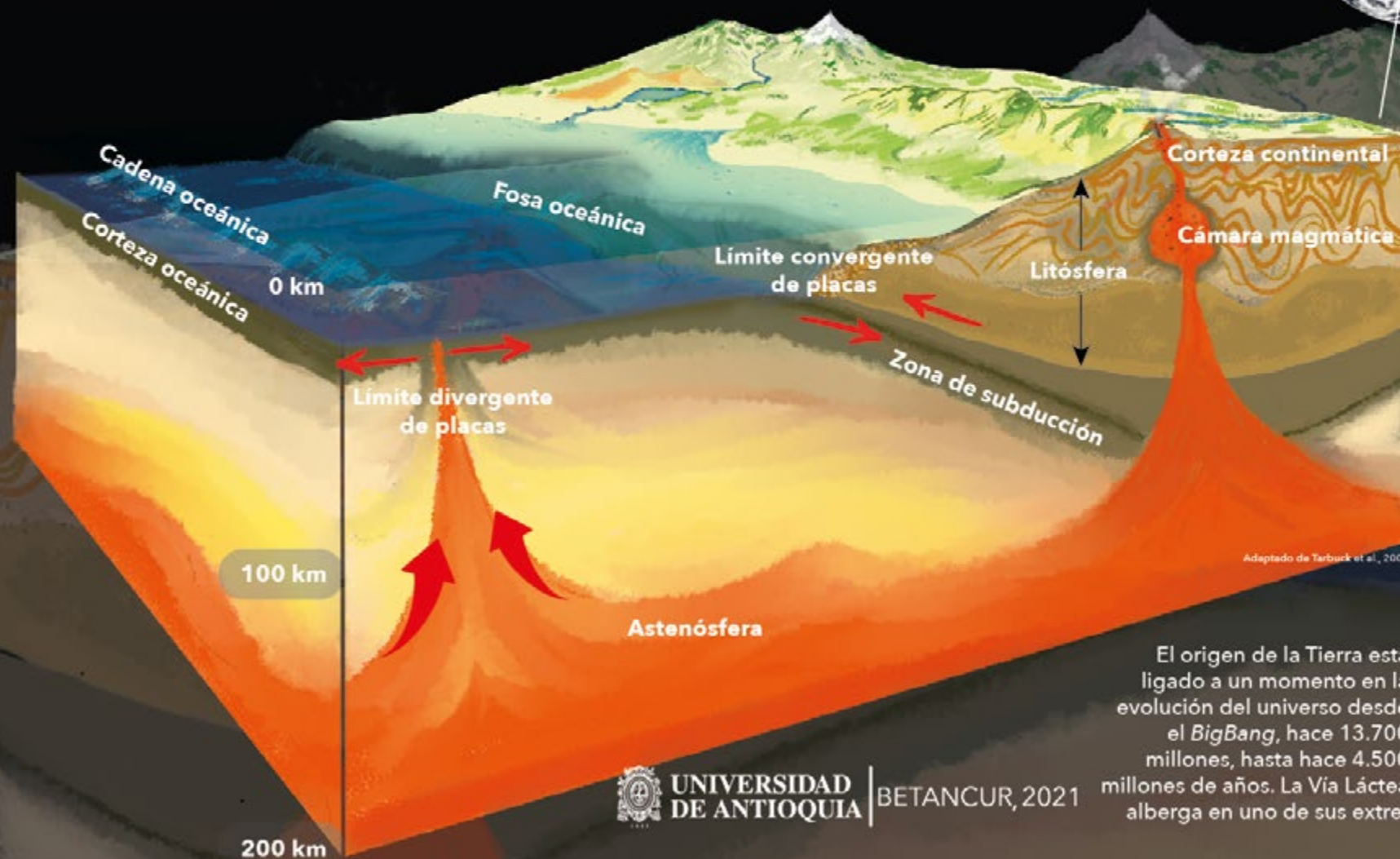
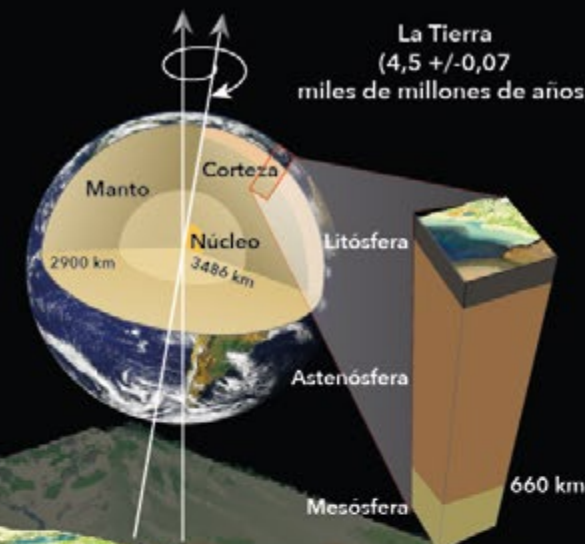
Big - Bang
(13,7 +/-0,2
miles de millones de años)



Vía Láctea



Sistema Solar



Capa	Características
Corteza	La corteza continental tiene una densidad media de 2,7 g/cm ³ , la corteza oceánica es más joven y más densa (3,0 g/cm ³)
Manto superior Astenósfera	Se temperatura puede alcanzar 2.000 °C; la densidad media es de 3,3 g/cm ³
Manto inferior Mesósfera	Naturaleza rígida. Su límite inferior está a 2,99 km de profundidad
Núcleo externo	Alcanza temperaturas de 5.000 °C, tiene una densidad media de 11 g/cm ³
Núcleo interno	La explicación sobre el campo magnético de la Tierra exige que el núcleo esté compuesto por un material conductor de la electricidad, y que sea móvil

El origen de la Tierra está ligado a un momento en la evolución del universo desde el Big Bang, hace 13.700 millones, hasta hace 4.500 millones de años. La Vía Láctea alberga en uno de sus extre-

mos al sistema solar y este tiene en su órbita a la Tierra; en ella desde el núcleo, a más de 6.300 km de profundidad, hasta la superficie ocurren permanentemente procesos que transforman el interior y el paisaje. La corteza es la capa más externa del planeta, sobre ella habita la vida, desde su interior el hombre extrae recursos naturales, uno de ellos: el agua subterránea.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

Tectónica de placas

La litósfera está fragmentada en una serie de placas tectónicas que se deslizan sobre la astenósfera dando lugar a lo que Wegener denominó la deriva continental (Wegener, 1915). Wegener planteó que a lo largo del tiempo las placas tectónicas han estado desplazándose, partiéndose y uniéndose desde un estadio inicial en el que existía un supercontinente llamado Pangea (Toda la tierra continental), hasta la forma actual, con placas continentales separadas por océanos y placas oceánicas. En los años 60, con Wegener la teoría de la deriva de los continentes tenía, ante todo, el carácter de Geopoesía (Hess, 1962).

Según el movimiento relativo entre las placas tectónicas se tienen límites divergentes, límites convergentes y transformantes. Estas fronteras dan origen a las mayores fallas geológicas que hay en el planeta, y con ellas a la distribución de cinturones volcánicos y sísmicos (Tarbuck *et al.*, 2005).

En las dorsales centro-oceánicas se crea corteza terrestre permanentemente, estas son cadenas volcánicas que existen en los océanos Atlántico, Pacífico e Índico; constituyen límites divergentes de placas.

En los límites convergentes, la corteza se hace normalmente más gruesa, son estas zonas en las que se forman las cordilleras; la convergencia se suele dar entre dos placas continentales o entre una placa continental y una oceánica. Donde hoy existen los montes Himalaya se produce el choque de dos placas con corteza continental de densidad aproximadamente igual.

El encuentro convergente, entre una placa oceánica (más densa) y una continental (menos densa), da lugar al hundimiento de la placa oceánica bajo la continental. Este colapso genera la subsidencia y

la formación de fosas marinas paralelas a las costas continentales. Ejemplos de este tipo de convergencias se dan en Los Andes y en varios arcos insulares en el Pacífico Oeste; la región se caracteriza por una intensa actividad sísmica y volcánica continental.

Las fronteras laterales entre placas también generan esfuerzos cuya energía desencadena la ocurrencia de grandes sismos. Un ejemplo de este límite se encuentra entre las placas Pacífica y Norteamericana que dan lugar a la Falla de San Andrés que atraviesa al norte de México y al sur de Estados Unidos.

Materiales de la corteza terrestre

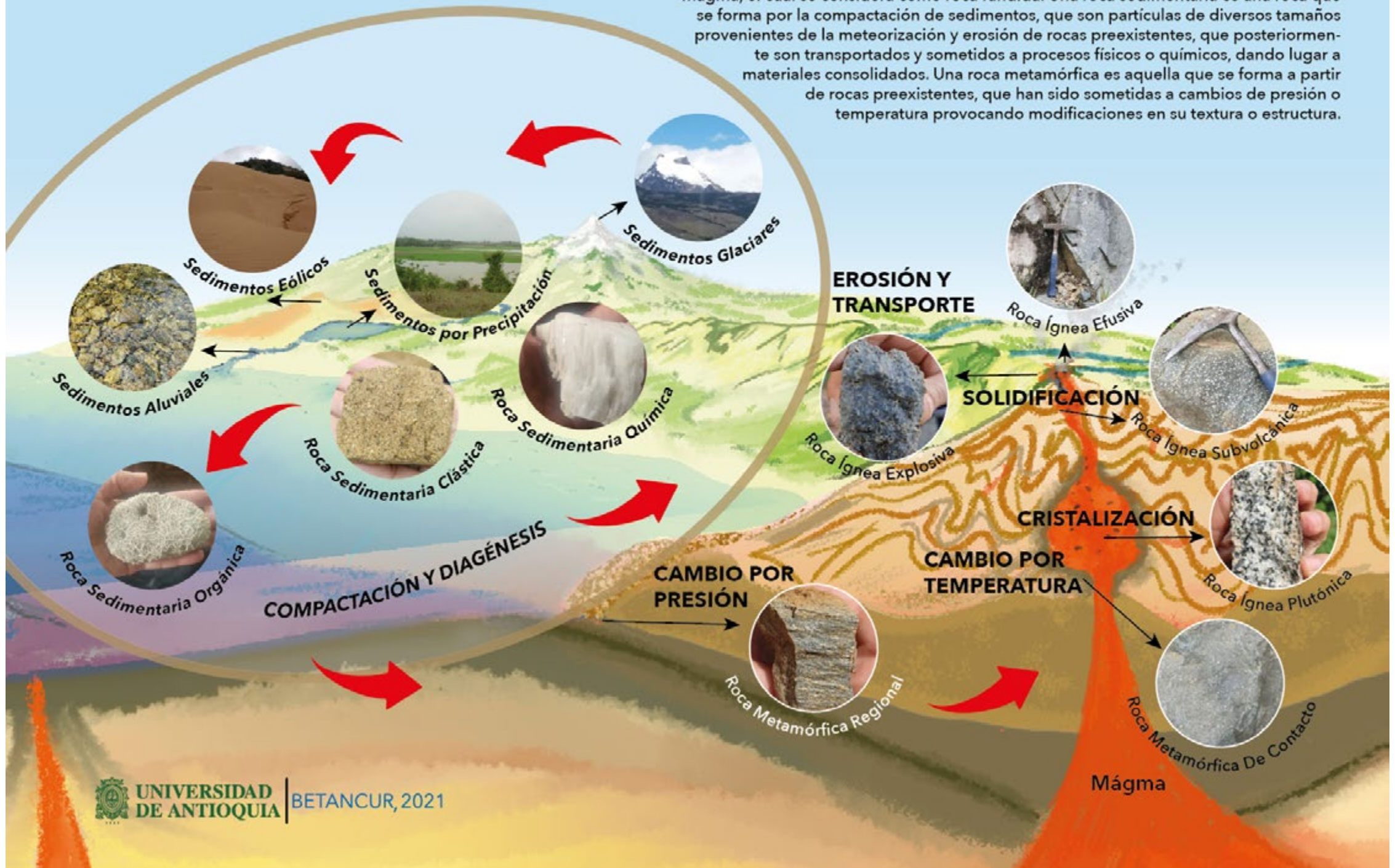
La corteza terrestre está formada por rocas. Estas son agregados de minerales u otras sustancias producto de la acumulación o transformación de materiales preexistentes.

La combinación natural y ordenada entre elementos químicos, en proporciones precisas que den lugar a una estructura cristalina sólida, determina la formación de los minerales. Siendo casi infinita la posibilidad de uniones y combinaciones químicas entre los 92 elementos, en la naturaleza existen más de 5.000 minerales; sin embargo, los más comunes, que son los principales constituyentes de las rocas, se reducen a un número limitado de silicatos, carbonatos, sulfuros, hidróxidos, óxidos y otras sales. Oxígeno, silicio, aluminio, hierro, magnesio, calcio, potasio y sodio son los principales elementos químicos formadores de minerales (Tarbuck *et al.*, 2005).

Por la acción de procesos internos —endógenos— o externos —exógenos—, las rocas que constituyen la corteza terrestre, se originan y transforman de forma continua dando lugar al ciclo de las rocas.

CICLO GEOLÓGICO

Una roca ígnea es aquella que se forma a partir de la cristalización o solidificación del magma, el cual se considera como roca fundida. Una roca sedimentaria es una roca que se forma por la compactación de sedimentos, que son partículas de diversos tamaños provenientes de la meteorización y erosión de rocas preexistentes, que posteriormente son transportados y sometidos a procesos físicos o químicos, dando lugar a materiales consolidados. Una roca metamórfica es aquella que se forma a partir de rocas preexistentes, que han sido sometidas a cambios de presión o temperatura provocando modificaciones en su textura o estructura.



EL CICLO DE LAS ROCAS

Las fuerzas responsables de la permanente formación y transformación del planeta tierra son de origen endógeno —internas— y exógeno —externas— (Tarbuck *et al.*, 2005); en este sentido el tectonismo, el volcanismo y los factores meteóricos como el viento, la radiación solar y la lluvia, son responsables de la permanente renovación de los materiales de la corteza.

Existen tres tipos principales de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas. La composición mineralógica o de fragmentos de otros materiales que las conforman y la textura —representada como forma, tamaño y relación entre minerales— son las principales características que se emplean para reconocer los distintos tipos de rocas y, en cada tipo, la clase.

Rocas ígneas

Las rocas ígneas son las que se han formado a partir del proceso de enfriamiento y solidificación del magma (Tarbuck *et al.*, 2005). Si el proceso tiene lugar de manera lenta, al interior de la tierra, se forman las rocas ígneas plutónicas o intrusivas; si ocurre de forma rápida, en la superficie, se originan rocas ígneas volcánicas. Las rocas plutónicas suelen ser granulares, razón por la cual los cristales, de los minerales que las forman, se reconocen a simple vista; las rocas volcánicas pueden poseer pequeños cristales, menos fáciles de reconocer, y una matriz masiva y amorfa.

La naturaleza química del magma y el proceso de enfriamiento determinan los minerales, la forma y el tamaño de los mismos y, con todo ello, la naturaleza de la roca. A medida que un magma se enfría se van formando los primeros minerales, a la par que se produce un proceso de fraccionamiento o diferenciación; mientras transcurre ese proceso se van agotando los primeros elementos químicos. Existe un orden de formación de los minerales a partir del magma que se conoce como serie de reacción de Bowen (Tarbuck *et al.*, 2005); en ella se diferencian los minerales oscuros, por ser ferromagnesianos, y los minerales claros, fundamentalmente aluminicos, cálcicos, potásicos y sódicos; la cristalización de unos y otros se da inicialmente de forma simultánea. Cuando en el producto final priman los minerales ferromagnesianos se dice que la roca ígnea es de naturaleza básica o máfica; si predominan los minerales claros la roca es ácida o félsica.

Cuando la lava se solidifica en superficie se producen las rocas ígneas volcánicas. En el volcanismo juega un papel fundamental la presencia de gases en el magma, son ellos los que impulsan el ascenso de la roca fundida. El derrame de lava a partir del cráter del volcán se conoce como volcanismo efusivo; las coladas de basalto son un ejemplo típico de este tipo de actividad. También existe un volcanismo explosivo que expulsa el magma hacia la atmósfera, desde donde luego se precipita en fragmentos, de distinto tamaño, llamados piroclastos. Los volcanes activos de Colombia están, todos, en fase explosiva (Gomez y Pinilla, 2020), depositan fragmentos de mayor tamaño (bloques y bombas) cerca al cráter y transportan a decenas (incluso cientos) de kilómetros de distancia material de tamaño ceniza y polvo.

Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman a partir de la depositación, física o química, y posterior compactación o litificación de materiales o compuestos que han sido transportados por agentes como el agua, el hielo, o el aire. La fuente de estos materiales son rocas preexistentes sometidas a la acción de agentes meteóricos, a la erosión y posterior transporte de fragmentos. Las principales zonas de acumulación de los depósitos son los océanos, a donde son transportados por los ríos, pero también se encuentran en las riberas y zonas de inundación de corrientes, en áreas de desierto, zonas costeras y en el fondo de los lagos. Otra fuente de sedimentos es constituida por el material soluble en el agua producido por la meteorización química, el cual, luego de precipitar, genera sedimento químico (Tarbuck *et al.*, 2005).

La diagénesis, que se refiere al conjunto de procesos que litifican los sedimentos acumulados, se da al interior de la corteza a temperaturas del orden de 200°C. En la diagénesis se combinan la compactación, que es un mecanismo regido por la presión que ejerce la columna de material acumulado, y la cementación, que es de naturaleza química y obedece a la precipitación de sustancias disueltas y que unen los fragmentos sedimentados.

Las rocas sedimentarias clásticas o detríticas están formadas por fragmentos de distinto tamaño cementados por procesos químicos. Según el tamaño y forma predominante de fragmentos, las rocas sedimentarias se denominan: conglomerados, brechas, areniscas, limolitas y arcillolitas. Las rocas sedimentarias químicas obedecen a una composición generada por procesos de precipitación y/o evaporación, ejemplo de ellas son las calizas.

Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son aquellas que se originan a partir de rocas preexistentes (roca madre o protolito), que han sufrido transformación al interior de la corteza por efectos de aumento en las condiciones de presión y/o temperatura y el restablecimiento del equilibrio termodinámico; esos cambios que ocurren en estado sólido pueden incluir cambios de textura y/o de mineralogía (Tarbuck *et al.*, 2005). Los límites de placas convergentes o transformantes y las cámaras magmáticas son los principales escenarios del metamorfismo.

En los límites entre placas tectónicas, por aumento en la presión, tienen lugar el metamorfismo regional y el metamorfismo dinámico; en los alrededores de las cámaras magmáticas, las altas temperaturas dan lugar al metamorfismo de contacto. También se puede dar metamorfismo por procesos hidrotermales.

El metamorfismo puede ser gradual y ligero, de “bajo grado”; o también puede generar cambios rápidos y notables, de “alto grado”, que impiden en ciertos casos determinar la roca original de la que provenía.

La textura característica del metamorfismo de presión es la foliación, la cual determina el ordenamiento y disposición en planos o en láminas de los minerales o fragmentos que constituían la roca madre. Asociados al grado de metamorfismo, en foliación, se diferencian las texturas néisica, esquistosa, pizarrosa (Tarbuck *et al.*, 2005).

En el metamorfismo de contacto y en el hidrotermal suele haber recristalización de minerales en estado sólido, sin pasar por la fase fundida.



En más de 4.500 millones de años, desde cuando la Tierra empezó a configurarse como una gran masa sólida, muchos cambios se han producido. El planeta sigue evolucionando, en un perpetuo movimiento, cambiando, construyéndose y renovándose.





DEFORMACIONES

- Diques inclinados
- Diques horizontales
- Diques verticales
- Fallas inclinadas
- Fallas verticales
- Zonas de cizalla inclinadas
- Zonas de cizalla
- Falla Geológica

Adaptado del cartografía
1:100.000 del SGC

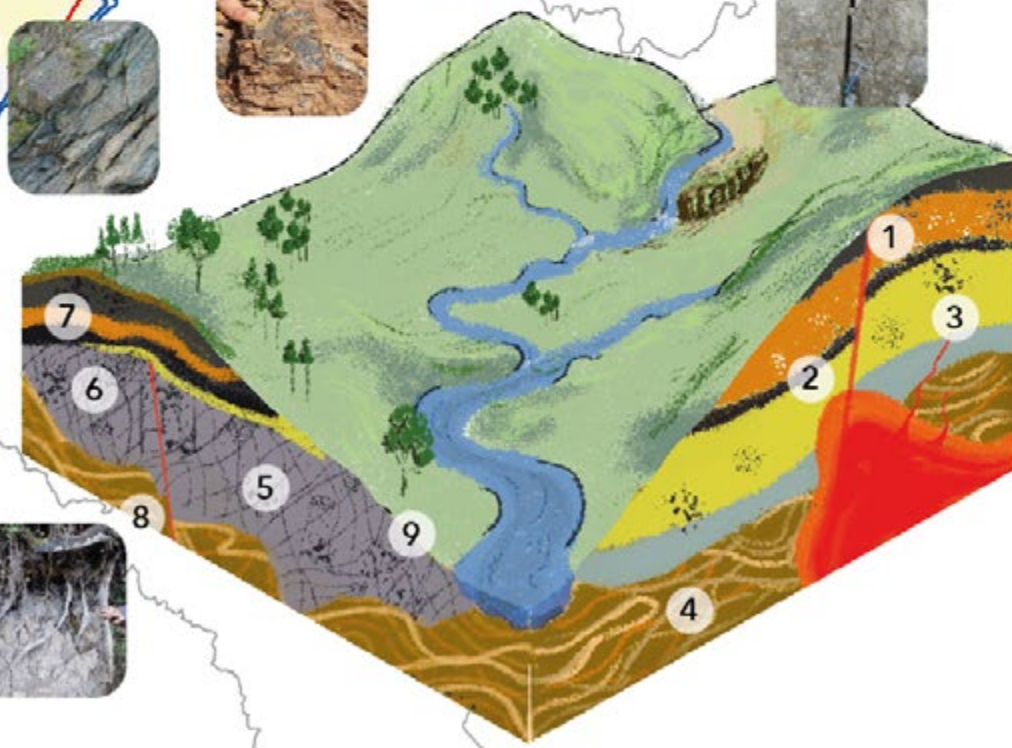
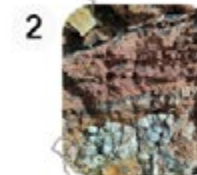


UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

La complejidad de la geología en Antioquia se refleja en la variedad de rocas y en la afectación estructural que ellas han sufrido. Además de la estratificación y foliación asociada a la génesis litológica, los efectos de la tectónica se manifiestan en fallas, fracturas, diaclasas, zonas de cizalla; también desde la superficie el efecto de las raíces alteran los niveles más someros de la corteza.

1. Falla
2. Estratificación
3. Dique
4. Foliación
5. Familia de diaclasas
6. Fractura
7. Pliegues
8. Cizalla
9. Raíces



DEFORMACIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES DE LA CORTEZA Y LA SUPERFICIE

La tierra es un planeta dinámico. Además de los procesos superficiales que modelan el paisaje, las fuerzas tectónicas deforman las rocas de la corteza (Tarbuck *et al.*, 2005) quedando evidencias de ello en pliegues, inclinaciones, volcamientos, fallas o fracturas, muchas veces visibles en afloramientos.

Los geólogos estructurales estudian la arquitectura de la corteza terrestre y cómo ella adquiere este aspecto como consecuencia de la deformación.

Los esfuerzos, es decir el conjunto de las tensiones, tracciones, compresiones sobre un área determinada, que se originan a causa de la presión asociada a los límites convergentes y transformantes entre placas tectónicas, o por el impulso ascendente de un magma, tienen efectos elásticos, frágiles o dúctiles sobre las rocas de la corteza; producto de ello los materiales sólidos pueden deformarse dando lugar a pliegues; o se rompen en estructuras planas que generan discontinuidades y que pueden producir, con el tiempo, la migración de fluidos a través de ellas (Marsily, 1986).

Se reconocen tres tipos principales de esfuerzos: compresión, tensión o cizalla; estos pueden ocurrir bajo diferentes condiciones de temperatura y presión de confinamiento, y afectan cualquier tipo de roca (Tarbuck *et al.*, 2005), determinando muchas veces condiciones de permeabilidad diferentes a las que se reconocían en la roca madre.

Los pliegues se forman como respuesta dúctil ante determinados esfuerzos, su caracterización estructural se hace a partir de la disposición del plano axial y de los flancos.

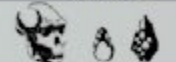
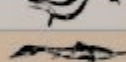
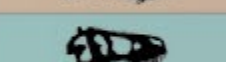
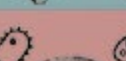
Una fractura es una abertura generada bajo presión en dos o más porciones de una roca; según la naturaleza de ella se pueden presentar fallas y diaclasas. Una falla es una fractura a lo largo de la cual se presenta un desplazamiento; las diaclasas son rupturas entre las cuales no hay desplazamiento de las partes, estas se presentan como familias, cuyas direcciones de rumbo e inclinación (buzamiento) se repiten sistemáticamente. En las zonas de cizalla se pueden generar fracturas sin patrón sistemático.

Otras estructuras o discontinuidades planares en las rocas son la foliación y los planos de estratificación. La foliación está determinada por la orientación de los constituyentes de la roca metamórfica; la estratificación se refiere al contacto entre dos capas de sedimentos.

Para fines de considerar la posibilidad del flujo del agua a través de los materiales sólidos de la corteza, cabe señalar los efectos de disolución que pueden presentarse a través de zonas de fractura, especialmente en rocas carbonatadas, y que generan cavidades irregulares e incluso cavernas (Pérez, 1996).

A nivel subsuperficial por acción radicular se pueden generar o ensanchar grietas y, de esta forma, se originan rutas preferenciales de agua para la infiltración y la recarga (Nimmo, 2004).

TIEMPO GEOLÓGICO

EDAD (Millones de años)	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	MOMENTOS CLAVES	ÍMAGENES	ANTIOQUIA
0,001 - 0	Cenozoico	Cuaternario	Antropoceno	Globalización, incremento de los niveles de CO ₂ .		Las actividades económicas y propias de la urbanización, desde el siglo XX, se suman al impacto global de la intervención humana.
0,01 - 0,001			Holoceno	Orígenes de la agricultura y la ganadería, primeras civilizaciones humanas. Fin de la edad de hielo.		La acción de los procesos erosivos da origen a la formación de los depósitos aluviales, lacustres, marinos y de vertientes durante el Cuaternario, esta actividad continúa actualmente.
1,8 - 0,01			Pleistoceno	Florecimiento y posterior extinción de megafauna. Aparece el <i>Homo Habilis</i> . Comienza la reciente edad de hielo.		Aún se dan eventos de intrusión magmática y se desarrolla actividad volcánica en el flanco occidental de la cordillera Central, al sur del departamento.
5,3 - 1,8		Neógeno	Plioceno	Clima frío, Primeros seres bípedos y primeros humanos (<i>astrophitecus</i>). Se forma el Istmo de Panamá.		
23,8 - 5,3			Mioceno	Orogenia en el hemisferio Norte, Desecación del Mediterráneo. Clima moderado. Migración de los simios.		Extensas formaciones de rocas sedimentarias se dan en la cuenca del río Cauca, el Bajo Cauca y la región de Urabá. Estas formaciones contienen yacimientos de carbón. Se continúa dando el levantamiento de las cordilleras hasta el Plioceno.
33,7 - 23,8		Paleógeno	Oligoceno	Evolución de los caballos en América. Clima cálido.		
54,8 - 33,7			Eoceno	Las ballenas regresan al océano. India colisiona con Asia. Se forman los hielos de La Antártida.		
65 - 54,8			Paleoceno	Pequeños dinosaurios, primeros mamíferos, ictiosaurios.		Desde el Cretáceo Tardío se producen grandes fallamientos: Cauca-Romeral y Palestina.
144 - 65		Cretácico		Los mamíferos aumentan de tamaño. Clima tropical.		Al mismo tiempo que se desarrollaba una intensa actividad magmática, ocurría la deposición de sedimentos epicontinentales y productos de volcanismo oceánico al occidente de la cordillera Central (Segovia, San Luis, Abejorral, Amalfi y San Pablo). Estas rocas se adhirieron al continente por acción tectónica.
206 - 144		Jurásico		Últimos dinosaurios, insectos sociales, flores, pájaros, monocotiledóneas.		Se caracteriza por un vulcanismo ácido y por un intenso plutonismo que da lugar a un cinturón de rocas, alargado en sentido N-S: el Batolito de Segovia y otros plutones (Sonson), en los cuales se encuentran importantes depósitos minerales de oro y plata.
248 - 206	Mesozoico	Triásico		Los dinosaurios dominan la tierra. Los perodáctilos dominan el cielo.		Se generan pequeños plutones (La Honda, El Buey).
290 - 248		Permiano		Los continentes emergidos forman La Pangea. Reptiles. Hace 251 millones de años se extinguió el 95 % de la vida en la Tierra.		Se producen eventos metamórficos regionales que superponen sus efectos a eventos anteriores.
354 - 290		Carbonífero		Anfibios, reptiles; en los océanos tiburones. En la Tierra grandes árboles primitivos en bosques; se diversifican los insectos alados.		Época en la que se producen intrusiones sintectónicas, localizadas entre el Río Samaná y Doradal, en el flanco este de la cordillera Central y en algunas unidades en los alrededores de Medellín. Disminuye la intensidad del metamorfismo de este a oeste en condiciones de medio a bajo grado.
417 - 354		Devónico		Peces óseos y tetrápodos; primeras plantas con semilla.		
443 - 417		Silúrico		Plantas vasculares terrestres, primeros peces con mandíbula y peces acorazados.		
490 - 443		Ordovícico		Primeros vertebrados. Se dan las primeras plantas verdes. Al final del período una glaciación.		
540 - 490		Cámbrico		Elevada diversificación de las formas de vida. Se reconocen fósiles de conchas, huesos y dientes. Aparecen la mayoría de las familias de animales modernas.		Importantes sucesos de metamorfismo regional (Complejo Cajamarca).
2500 - 540		Proterozoico		Desde unas primeras células complejas se da origen a los primeros organismos unicelulares y luego pluricelulares: algas, hongos, bacterias y gusanos; eran organismos sin partes duras. El clima sería muy frío con extensas superficies cubiertas de hielo.		Las rocas más antiguas del departamento son del Proterozoico, de tipo metamórfico y se localizan en la Cordillera Central, al norte y en el flanco oriental.
4550 - 2500		Arqueozoico		La tierra está en formación, se producen impactos de meteoritos y se origina el campo magnético. Aun no existe la vida. Intensa actividad volcánica que da origen a una primera atmósfera en la que tal vez esté presente el oxígeno.		



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

Fuente: Tarbuck, 2005.

EL TIEMPO GEOLÓGICO

A finales del siglo XVIII, James Hutton reconoció la inmensidad de la historia de la Tierra y la importancia del tiempo como componente de todos los procesos geológicos (Tarbuck *et al.*, 2005). Pensar que este planeta tiene una antigüedad que se cuenta en miles de millones de años supone un reto a la ciencia y al pensamiento mismo, acostumbrado a medir el tiempo en relojes y calendarios a escalas de la vida humana. Pero no es tan sencillo, la superficie y el interior de la Tierra han cambiado una y otra vez a causa de los mismos procesos geológicos que se dan en la actualidad.

La determinación de los sucesos y la edad de la Tierra se ha hecho mediante procedimientos de datación relativa, en principio, y de datación absoluta luego cuando se descubrió la radioactividad. La datación relativa establece que las rocas se colocan en su secuencia de formación adecuada según el orden sucesivo de origen; para ello se recurre a los principios de superposición (en una secuencia no deformada de rocas sedimentarias, cada estrato es más antiguo que el que tiene por encima y más joven que el que tiene por debajo), intersección (las rocas más jóvenes intersectan a las más antiguas) e inclusión (las formaciones más nuevas incluyen partes de las más viejas) y la identificación de discontinuidades (Albritton, 1970).

La Escala del Tiempo Geológico está conformada por una serie de divisiones que comprende diferentes niveles: las Eras están limitadas por profundos cambios en las formas de vida en el ámbito global; cada Era está subdividida en unidades temporales conocidas como períodos: el Paleozoico tiene seis, el Mesozoico, tres y el Cenozoico, tres. Cada uno de esos doce períodos se caracteriza por un cambio, algo menos profundo, de las formas de vida o ambientales, en comparación con las eras. Finalmente las Épocas pueden denominarse como temprana, media y tardía o con nombres particulares, como se tiene para el Cenozoico cuando se hace referencia al Cuaternario y al Terciario (Tarbuck *et al.*, 2005).

Las evidencias de la evolución de la Tierra están grabadas en las rocas. Ellas guardan las huellas de los sucesos que han marcado la historia del planeta, y pueden ser descifradas considerando

los principios geológicos del actualismo y el uniformismo, que combinan los postulados según los cuales “el presente es la clave del pasado”, a la vez que “el pasado es la clave del presente”.

El desarrollo de las técnicas de datación que utilizan isótopos de elementos químicos que se desintegran siguiendo precisos patrones de vida media permiten cuantificar el tiempo geológico. Los fósiles, esos restos de vida antigua incluidos en los sedimentos y las rocas sedimentarias, son herramientas importantes y básicas para interpretar el pasado geológico (Gallego, 2020); de su estudio se encarga la paleontología, una ciencia interdisciplinar que une la Geología y la Biología en un intento de entender todos los aspectos de la sucesión de la vida durante la enorme extensión del tiempo geológico.

MAPA GEOLÓGICO DE ANTIOQUIA

En el Departamento de Antioquia afloran unidades de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyas edades se han asignado desde el Proterozoico hasta el Reciente (González, H., 2001).

Las rocas de edades Precámbrico y Paleozoico fueron intruidas por varios cuerpos plutónicos, desde el Paleozoico hasta el Cretáceo. En esta época (Cretáceo) se producía, a la par de la actividad magmática, la depositación de sedimentos y productos del volcanismo oceánico al occidente de la cordillera Central. Por efectos tectónicos, estas rocas fueron adheridas al continente en el Mesozoico.

La cuenca del río Cauca, el Bajo Cauca y la región de Urabá se caracterizan por la presencia de rocas sedimentarias originadas durante el Terciario. El Cenozoico está marcado por algunos eventos de intrusión magmática, especialmente al occidente, y el desarrollo de un intenso volcanismo en la cordillera Central, flanco occidental. El levantamiento de las cordilleras se extendió hasta el Plioceno, período durante el cual la acción de los procesos erosivos dieron origen a la formación de los depósitos aluviales, lacustres, marinos y de vertientes durante el Cuaternario; esta actividad continúa actualmente (González, H., 2001).

La síntesis geológica de Antioquia, que aquí se presenta, se basa en la revisión de la cartografía geológica oficial generada por el Servicio Geológico Colombiano —SGC— y en algunas campañas de verificación en campo. Se ha recopilado la cartografía a escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 1996; INGOEMINAS, 1979; Calle y González, 1982; Calle y González, 1980; Mejía, 1984; Hall *et al.*, 1970; GEOTEC Ltda. 2003; Zapata *et al.*, 2013; INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI e Instituto Colombiano de Geología y Minería, 2001; CONSORCIO GSG (GEOMINAS – SERVIMINAS – GEMI), 2015; Zapata y Cossio, 2001; Hall *et al.*, 1970; Calle y González, 1982; González, 1992; Feininger *et al.*, 1970; Mejía, 1984; Bermúdez *et al.*, 2010; CONSORCIO GSG (GEOMINAS – SERVIMINAS – GEMI)); a partir de ella se ha efectuado un ensamble, homologación y agrupación de unidades, teniendo en cuenta la interpretación y nomenclatura consignadas en los mapas geológicos de Antioquia, escala 1:400.000 (González, 2001). Para Urabá y el Bajo Cauca, se han incluido detalles de la cartografía a escala 1:25.000 (Betancur *et al.*, 2020 y CORANTIOQUIA, Betancur y Martínez, 2021, y Universidad de Antioquia, 2014) y para el Valle de Aburrá se tuvo en consideración el mapa geológico a escala 1:10.000 (AMVA & Conso-rico Microzonificación, 2007).

Dentro del proceso de ensamble cartográfico se presentaron cuatro situaciones particulares: i) entre una y otra plancha se registraba continuidad y coincidencia en la designación de las unidades geológicas, en este caso se procedía a la unión de los polígonos y se conservaba la descripción y nomenclatura; ii) entre dos planchas vecinas se registraban discontinuidades que desembocaban en discrepancias en forma, extensión o caracterización de unidades. En estas circunstancias se recurrió a lectura minuciosa de las memorias y, cuando estaban disponibles, a las libretas de campo, con las que se cotejaron los tipos de roca con las unidades dispuestas en el mapa geológico departamental y se digitalizaron los nuevos límites para

proceder luego a asignar el nombre y la descripción de la unidad, conforme con la geología de Antioquia; iii) había vacíos de planchas geológicas a escala 1:100.000 (no está disponible la plancha 103 y no empalman las planchas 114, 115 y 104), en estas circunstancias se completaron vacíos a partir de la cartografía geológica 1:400.000 (González, 2001); y iv) se tenían ventanas de información a una escala de mayor resolución, de esta forma se aplicaron ajustes en las zonas del Bajo Cauca, Urabá y Valle de Aburrá, incluyendo algunas unidades que tenían una extensión que podría ser legible en una síntesis 1:100.000.

Las unidades se presentan empezando con las rocas duras: metamórficas e ígneas; para pasar luego a las unidades blandas: rocas y depósitos sedimentarios; todo ello considerando, además, la edad.

También los rasgos estructurales mayores, tales como trazas de fallas o lineamientos, fueron acoplados y se practicó la unión de las demás estructuras.

Teniendo en cuenta el propósito que determina el conocimiento de la geología en un contexto hidrogeológico, las unidades se presentan empezando con las rocas duras: metamórficas e ígneas; para pasar luego a las unidades blandas: rocas y depósitos sedimentarios; todo ello considerando, además, la edad.

Los efectos estructurales que provoca la tectónica, suelen ser de importancia para la generación de porosidad secundaria en las rocas duras y la afectación estratigráfica en las rocas sedimentarias; por esta razón es necesario hacer referencia a ellos.

A la descripción, en detalle, de la geología, se accede a través del volumen de memorias técnicas que hacen parte integral de este trabajo (Betancur, 2021 y Betancur y Martínez, 2022).

Las rocas metamórficas de la zona de estudio se localizan al norte del departamento, en el costado oeste y la parte axial de la cordillera Central. A algunas unidades se les ha asignado edad Precámbrica como a las Migmatitas de Puente Peláez (P_{Ecgr}), el Complejo Puquí (P_{Cap}, P_{Cnp} y P_{Cmpt}) y el Neis Cuarzo Feldespático de San Lucas (P_{Cnsl}). Las de Edad Paleozoico incluyen al Complejo Cajamarca (P_{znf}, P_{znl}, P_{zes}, P_{zev}, P_{zes+Pzev}, P_{zq}, P_{zm}), Grupo Valdivia y en

parte del Grupo Ayurá-Montebello (Pza, PzaM, Pzei, PzagC, Pzms, PzeC, Pzmc) y las rocas metamórficas al sur del departamento consideradas como parte del Grupo Cajamarca (González, 2001). Durante el Triásico y el Jurásico se formaron algunas Migmatitas (PRgb, PRga), las Anfíbolitas de Medellín (TRaM) y cuerpos neísicos (TRgLC, JKgms, JkmbP) y esquistos (TreAB, TreC). De Edad Cretáceo se han identificado rocas metamórficas localizadas al occidente del Complejo Quebradagrande, hacia el río Cauca, las cuales constituyen una unidad litodémica, denominada Complejo Arquía (Kica). La actividad tectónica en el terciario determinó la ocurrencia de rocas de muy bajo de metamorfismo (PgSD).

Lo más probable es que la actividad ígnea que marca el territorio de Antioquia haya empezado durante el evento Permo-Triásico cuando ocurrió la intrusión de algunos *stocks* graníticos, como los de Amagá (TRga), El Buey (TRab), La Honda (TRah) y Quebrada Liborina (Traql) (González, 2001). Previo a ello se puede contar la ocurrencia de intrusiones sintectónicas (Pzin, Pnia, Pniv, Pnim) (Gonzalez, 2001).

La actividad ígnea en la cordillera Central se extendió de una manera más intensa durante el Jurásico con el emplazamiento de los batolitos de Segovia (Jdse) y Sonsón (Jts), siguiendo hasta finales del Cretácico, con dos ciclos magmáticos bien definidos, uno en el Cretácico temprano (Kidc, KcdU, Kitt, Kida, Kia, KgSD, KcdE, KcdMI) y otro en el Cretácico tardío (Kstu, Ksto, Ksgtm, Kscma, Kstp, Ksts, Ksdh, Kstmi), ciclos a los cuales corresponde el gran Batolito Antioqueño (Ksta), ubicado en la parte central del departamento. Estos ciclos intrusivos se manifiestan tanto en el borde oriental como occidental de la cordillera (González, 2001).

El plutonismo básico afecta tanto la parte axial como los flancos de la cordillera Central, durante el Cre-

tácico Inferior: son cuerpos de composición diorítica (Kidp) a gabroide (Kigsf, Kigr, Kige); se distinguen en Yarumal, Pueblito, Heliconia; en algunos casos se encuentran asociados a rocas ultrabásicas serpentinizadas (Ks).

La sedimentación marina del Cretáceo estuvo interrumpida o siguió a periodos de intenso vulcanismo básico, de fondo oceánico, como el indicado en el Complejo Quebradagrande (Kivqg) hacia el flanco occidental de la cordillera Central en Campamento (González, 2001).

El Grupo Cañasgordas con una unidad basal, formación Barroso o Vulcanitas del Barroso (Kivb), se constituye en la unidad litológica más antigua en la cordillera Occidental; representan un intenso vulcanismo oceánico básico, de finales del Cretácico temprano al Cretácico tardío (González, 2001).

Cuerpos de ultramafitas serpentinizadas y gabros (Ksg) asociados a las rocas volcánicas, podrían representar fragmentos de ofiolitas emplazados tectónicamente durante el Cretácico tardío.

Afloran sobre la cordillera Occidental plutones sintectónicos y postectónicos, algunos de dimensiones batolíticas como el de Farallones (Ngtf) y otros con dimensión de *stock* (Ngpf, Ngcf, Ngmg, Nglh) o menores (Pgnp, Pgab, N1n4n5mn, N1n4n5bb); que marcan la continuación de la actividad magmática iniciada en el Cretáceo. Relacionados con el valle actual del río Cauca se encuentran intrusivos subvolcánicos, de composición andesítica predominante, estructura porfirítica y edades entre el Mioceno Tardío y el Plioceno (Ngpa, Ngpd) (Feininger, 1970; Calle y González, 1980).

Rocas volcánicas de afinidad oceánica se encuentran tanto en la cordillera Central como en la Occidental; en esta última se encuentran normalmente intercala-

das con sedimentitas marinas. En el límite entre las dos cordilleras están, especialmente, acompañadas de ultramafitas y gabros en el sistema de fallas de Romeral (Kiu, Kium, Kum). De acuerdo con su posición geográfica y tectónica, en la zona de estudio se reconocen las vulcanitas del Complejo Quebradagrande (Kivqg) y el Miembro Volcánico del Barroso (Kivb) (González, 2001).

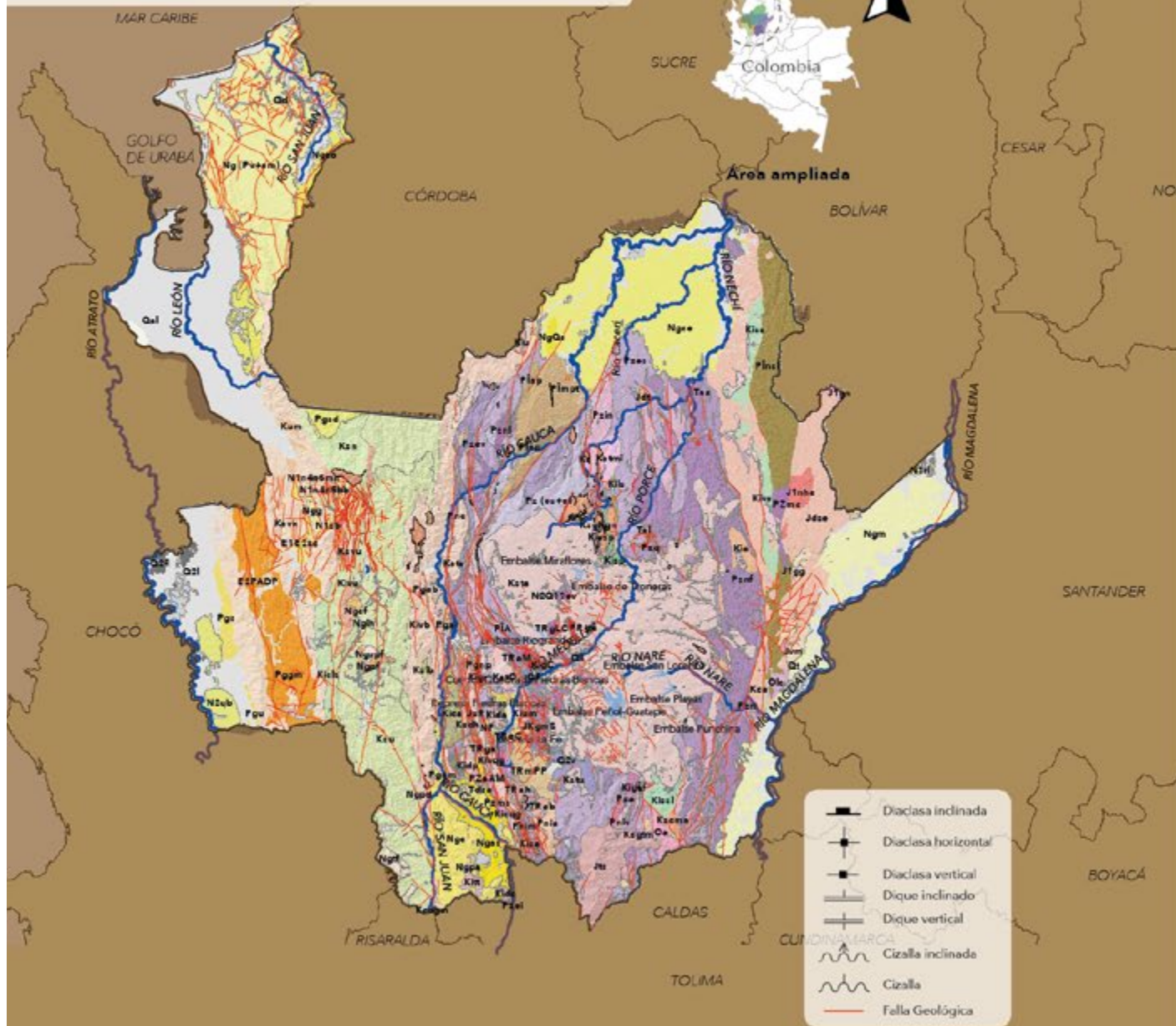
Entre el Batolito de Mandé (Pggm) y el flanco occidental de la cordillera Occidental se extiende un cuerpo de rocas volcánicas denominado Complejo Santa Cecilia La Equis (Ksvx) (GEOTEC, 2003).

Sobre los sedimentos de la formación Amagá, en discordancia se depositaron los flujos y piroclastitas de la formación Combia (Ngc), con la cual se inició un ciclo de intensa actividad volcánica que se extiende hasta el Reciente (Calle y González, 1980; Calle y González, 1982).

Rocas sedimentarias del Cretáceo se encuentran asociadas a las dos cordilleras que cruzan el departamento. Algunas formaciones son exclusivamente sedimentarias, otras están intercaladas con rocas volcánicas básicas (González, 2001).

Rocas sedimentarias del Cretácico se encuentran tanto en la cordillera Central, como en la Occidental. De acuerdo con su posición geográfica o tectónica y edad se reconocen las siguientes unidades principales: formación San Pablo (Kisp), formación La Soledad (Kils), formación Abejorral (Kisa), Grupo Quebradagrande (Kisqg) y Grupo Cañasgordas (Ksu, Ksn). Con menor extensión superficial se conocen Las sedimentitas de San Luis (Kissl) y las Sedimentitas al Este de Segovia (Kiss) y las Sedimentitas de Amalfí (Ksam) (Hall *et al.*, 1970; González, 1980).

ANTIOQUIA GEOLOGÍA



- Diquesa inclinada
- Diquesa horizontal
- Diquesa vertical
- Dique inclinado
- Dique vertical
- Cizalla inclinada
- Cizalla
- Faja Geológica

ERA	PERIODO	EPOCA	SEDIMENTARIAS	IGNEAS
Cuaternario	Holoceno	QII	Llanos antropicos	
		QII	Depositos de deslizamiento	
		QII	Aluviones Recientes	
		QII	Tormentas aluviales	
		QII	Depositos lacustres y fluvioaluviales	
	Pleistoceno	QII, QII	Depositos de turbiditas	
		QII	Flujos de escombros y lodo	
		QII	Deposito aluvionario	
		QII	Sedimentarios del Vorge	
		QII	Grupo Suroeste	
Neogeno	Mioceno	NQII	Formacion Anaga - Miembro Superior	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Medio	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Inferior	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Medio	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Inferior	
	Plioceno	NQII	Formacion Anaga - Miembro Superior	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Medio	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Inferior	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Medio	
		NQII	Formacion Anaga - Miembro Inferior	
Terciario	Paleogeno	PgII	Formacion Anaga - Miembro Superior	
		PgII	Formacion Anaga - Miembro Medio	
		PgII	Formacion Anaga - Miembro Inferior	
		PgII	Formacion Anaga - Miembro Medio	
		PgII	Formacion Anaga - Miembro Inferior	
	Cretacico Superior	KII	Sedimentarios de Amali	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Nutiba	
		KII	Sedimentarios de Amali	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
Mesozoico	Cretacico	KII	Sedimentarios de Amali	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Nutiba	
		KII	Sedimentarios de Amali	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
	Cretacico Inferior	KII	Sedimentarios de Amali	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Nutiba	
		KII	Sedimentarios de Amali	
		KII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
Paleozoico	Jurassico	JII	Sedimentarios de Amali	
		JII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
		JII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Nutiba	
		JII	Sedimentarios de Amali	
		JII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
	Triasico	TII	Sedimentarios de Amali	
		TII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
		TII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Nutiba	
		TII	Sedimentarios de Amali	
		TII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
Paleozoico	Jurassico	JII	Sedimentarios de Amali	
		JII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
		JII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Nutiba	
		JII	Sedimentarios de Amali	
		JII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
	Triasico	TII	Sedimentarios de Amali	
		TII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	
		TII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Nutiba	
		TII	Sedimentarios de Amali	
		TII	Grupo Calagorda - Formacion Penderico - Miembro Urua	

Hidrología

-
- Generalidades
 - El ciclo hidrológico
 - La cuenca hidrográfica
 - Antioquia, su hidrología
-

La hidrología es una disciplina que se ocupa del estudio del agua, de su origen y su distribución en la Tierra; se encarga de evaluar el movimiento permanente de esta sustancia natural, teniendo en cuenta sus estados, orígenes y destinos. Se relaciona y acude al conocimiento de tantas otras ciencias que tienen su asidero en el mundo natural y en las leyes de la física y la termodinámica.

Establecer las fronteras espaciales en las que reside, delimitar los lugares y momentos de su almacenamiento, en coherencia con el principio de conservación de la masa, sujeta a la acción del sol y de la gravedad, constituyen grandes retos para la mente y el conocimiento que el hombre genera a partir de la observación, la medición y la interpretación.

Los textos, pero especialmente las infografías que a continuación se presentan nos ponen en contexto acerca de la existencia del agua en la Tierra, recuerdan la dinámica del ciclo hidrológico, exponen el medio físico de ese espacio que se llama cuenca y muestran, finalmente, un contexto general del agua en Antioquia.

GENERALIDADES

El agua es la sustancia líquida más abundante en la Tierra, es el principal constituyente de los seres vivos, es una variable determinante del clima y es un factor modelador del paisaje.

Hace más de 4.500 millones de años, durante la formación de la Tierra, las altas temperaturas mantenían el agua en forma de vapor. Cuando la Tierra comenzó a enfriarse ocurrieron precipitaciones que llevaron agua a las partes más bajas de la superficie; además, hay evidencias que indican que parte del agua fue traída desde afuera por centenares de cuerpos extraterrestres (probablemente cometas) que impactaron la superficie trayendo el líquido a la Tierra (Piani *et al.*, 2020).

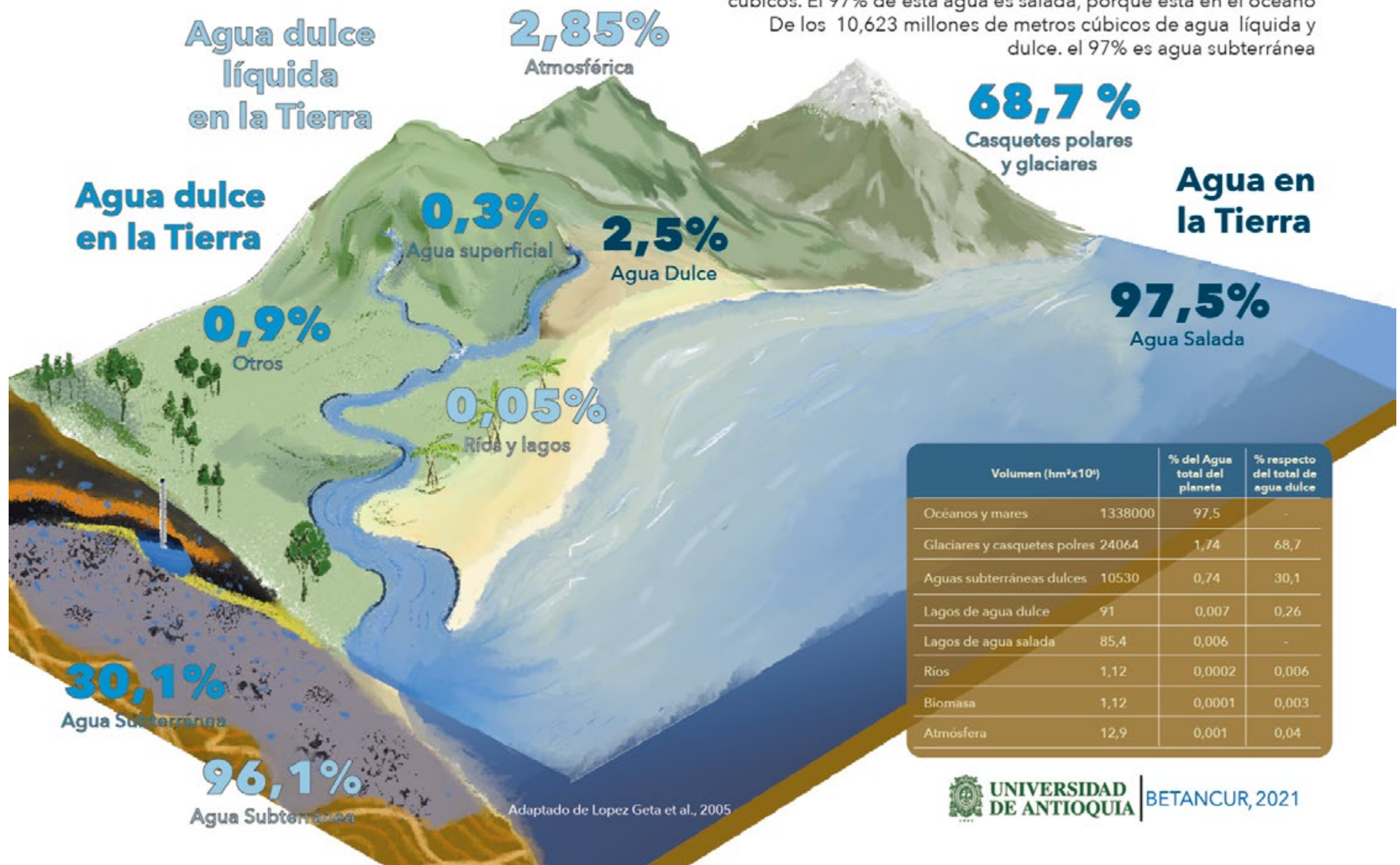
La hidrología es una ciencia que se ocupa del estudio del agua en el planeta Tierra, de su origen y circulación, la variabilidad en su distribución espacial y temporal, los procesos que determinan su calidad y su relación con los ecosistemas y el hombre.

En la Tierra el agua existe en un espacio llamado hidrósfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba de la superficie —en la atmósfera— hasta dos kilómetros por debajo de ella —en la litósfera—; incluye los cuerpos superficiales —caños, quebradas, ríos, lagos, humedales, mares y océanos—, el suelo y la biósfera —formada por los seres vivos—.

De los 1,373 trillones de metros cúbicos de agua que existen en el planeta Tierra, solo 10,623 millones de metros cúbicos están en estado líquido y es agua dulce, y de esta cantidad el 97 % es agua subterránea. La cantidad de agua presente en el planeta se asume constante; poco suman al gran volumen del líquido los 1.000 millones de m³ que cada año pueden producirse a partir de las erupciones volcánicas y las lavas que ascienden a la superficie (López Geta *et al.*, 2009).

AGUA EN EL PLANETA

El agua en la Tierra tuvo un origen, y hoy es la sustancia líquida más abundante del planeta: mas de 1,373 trillones de metros cúbicos. El 97% de esta agua es salada, porque esta en el océano. De los 10,623 millones de metros cúbicos de agua líquida y dulce, el 97% es agua subterránea



EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico, o ciclo del agua, se define como el movimiento ininterrumpido del agua en todos sus estados, desde todos sus orígenes, hasta todos

sus destinos; el ciclo del agua involucra dos factores de gran importancia: circulación, es decir movimiento, y conservación, lo que significa que la cantidad de agua en el planeta permanece constante. El ciclo combina procesos físicos, químicos y biológicos en los que intervienen la energía radiante que procede del sol y la gravitación universal; se dan reacciones químicas y se producen cambios de estado (USGS, 2019).

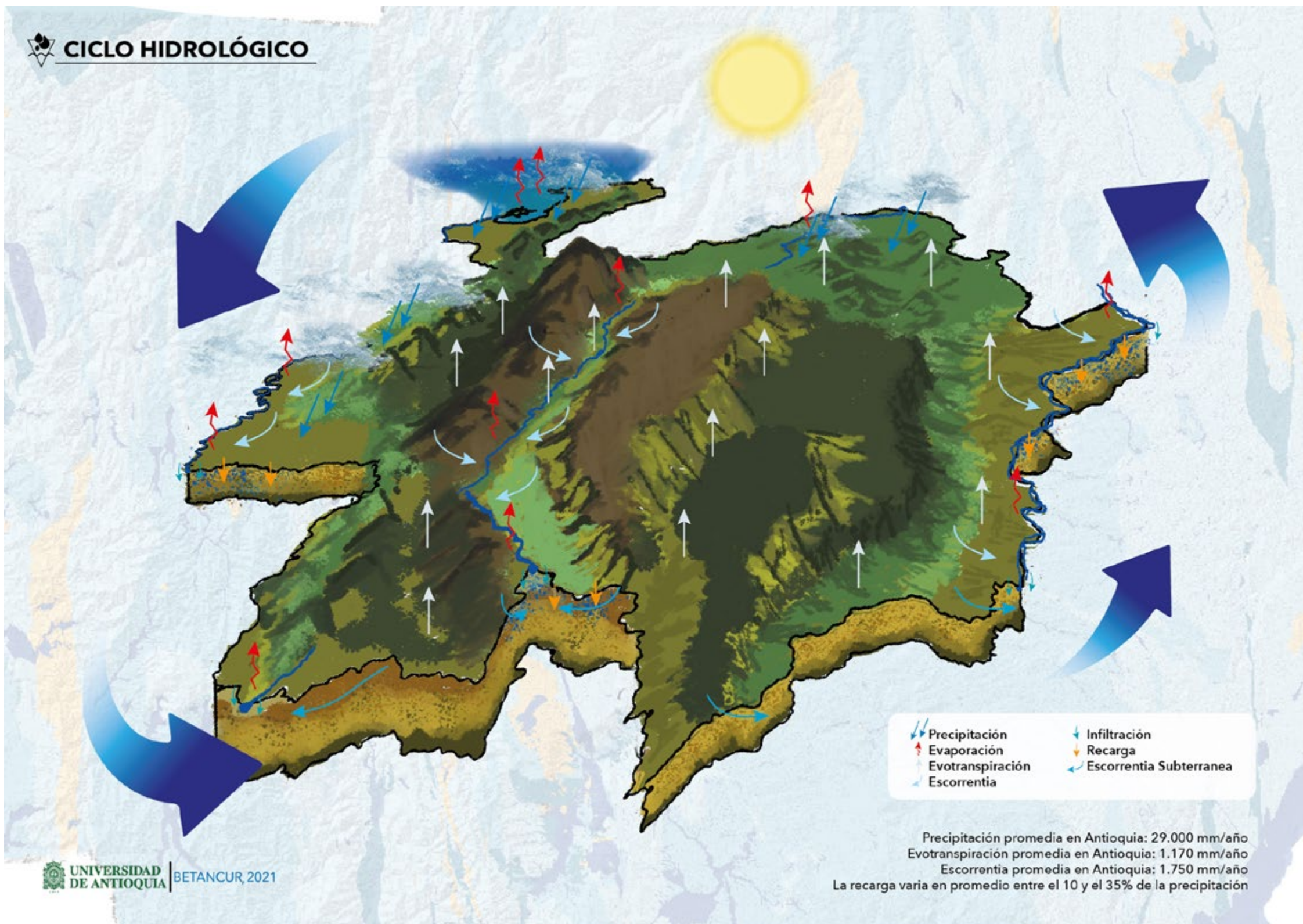
El vapor acuoso que se forma, asciende a lo alto impulsado por las corrientes de aire que se elevan de la superficie terrestre hacia los espacios donde la temperatura es más baja. En presencia de corrientes de aire, según gradientes de presión, el vapor de agua se condensa en diminutas gotas y se hace visible en forma de nubes o niebla, que pueden ser transportadas por el viento hacia regiones muy alejadas. Las gotas se van haciendo más grandes y pesadas a medida que la condensación aumenta, entonces el aire ya no puede sostenerlas y se precipitan en forma de lluvia (estado líquido), nieve o granizo (estado sólido). Si estas precipitaciones ocurren en latitudes polares o a gran altura, parte de las aguas van a formar los glaciares; en otras regiones, parte del agua que llega a la superficie, dependiendo del tipo de cobertura, la cantidad de vegetación, el tipo de suelo y a la pendiente, puede tomar distintos caminos: el agua es devuelta a la atmósfera por evaporación, se filtra a través del suelo desde donde es aprovechada por las plantas y devuelta a la atmósfera mediante la transpiración; o percola lentamente por acción de la gravedad hacia los niveles superiores de la corteza, donde se almacenan y circulan hasta de nuevo aflorar a la superficie en forma de manantiales; o el agua escurre superficialmente, formando arroyos y ríos que desembocan en el mar (IDEAM, 2005).

Desde el punto de vista hidrológico, el ciclo natural del agua no puede ser entendido sin considerar la intervención por parte del hombre mediante la regulación de los flujos superficiales (embalses, captaciones, elevaciones) y las extracciones de las aguas subterráneas a través de pozos, aljibes, galerías o zanjas. Así, el balance hidrológico final no es ya solo un resultado de procesos naturales, sino que han de considerarse las distintas formas de apropiación y consumo en las diferentes fases del ciclo (Ruiz *et al.*, 2010). Es necesario entender que existen otros mecanismos, además del uso, a través de los cuales la acción humana modifica los procesos naturales del ciclo hidrológico: la deforestación y la erosión son aspectos que influyen en una menor capacidad de retención del agua y alteran los procesos de circulación; la contaminación modifica la composición físico-química del agua, lo que no solo afecta a los procesos biológicos sino que llega a comprometer su propia reutilización (López Geta *et al.* 2009). Así se describa de manera sencilla y existan muchas formas para representarlo de manera pictórica, los fenómenos hidrológicos no ocurren de forma homogénea ni lineal, son sumamente complejos.

Bajo la concepción sistémica, el ciclo hidrológico consta de un conjunto de componentes conectados mediante flujos. Los componentes se representan mediante los espacios físicos de la hidrósfera, en los que es posible almacenar o contener agua, y los flujos corresponden al movimiento del agua entre uno y otro componente. Desde el océano, el suelo y los cuerpos de agua hacia la atmósfera se da la evaporación; desde ésta hacia La Tierra la precipitación; sobre ella la escorrentía; verticalmente, desde la superficie hacia el suelo, la infiltración; desde el suelo hacia los acuíferos la recarga (Chow, 1994); estos son los procesos que mueven el agua en el ciclo hidrológico.

Evaporación: es el proceso físico, movido por la radiación solar, mediante el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.

CICLO HIDROLÓGICO



Transpiración: es el proceso biológico, gobernado por el metabolismo vegetal, mediante el cual se produce el cambio de estado que devuelve agua a la atmósfera desde la biósfera.

Evapotranspiración: está representada por la evaporación y por las cantidades de agua que, en forma de vapor, son devueltas a la atmósfera por los seres vivos.

Precipitación: es el proceso físico, regido por la fuerza de gravedad, mediante el cual el agua procedente de la atmósfera, en forma sólida o líquida fluye hasta la superficie de la tierra.

Escorrentía: una parte del agua que precipita sobre la superficie fluye sobre ella hasta ser canalizada en corrientes o almacenada en cuerpos de agua como lagos, lagunas, charcos, o mares; esta es la escorrentía superficial, la cual se define como el proceso físico, regido por la fuerza de gravedad, mediante el cual, el agua circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje hasta alcanzar una depresión o canal. La escorrentía tiene, también, otros dos componentes de flujo uno subsuperficial y otro subterráneo.

El agua que no escurre sobre el terreno, puede atravesar la superficie e incorporarse al suelo para satisfacer, luego, necesidades fisiológicas de la vegetación, fluir subsuperficialmente o penetrar la superficie del terreno a través de los poros y fisuras del suelo, los depósitos o las rocas, y podría también llegar hasta niveles más profundos alcanzando el nivel de las aguas subterráneas.

Infiltración: se define como el proceso físico que, por efectos de la gravedad, permite el movimiento del agua desde la superficie hasta los niveles superiores del suelo. Está condicionada por efectos de la pendiente, la cobertura y la permeabilidad del terreno. Parte del agua infiltrada escurre lateralmente a través de los primeros

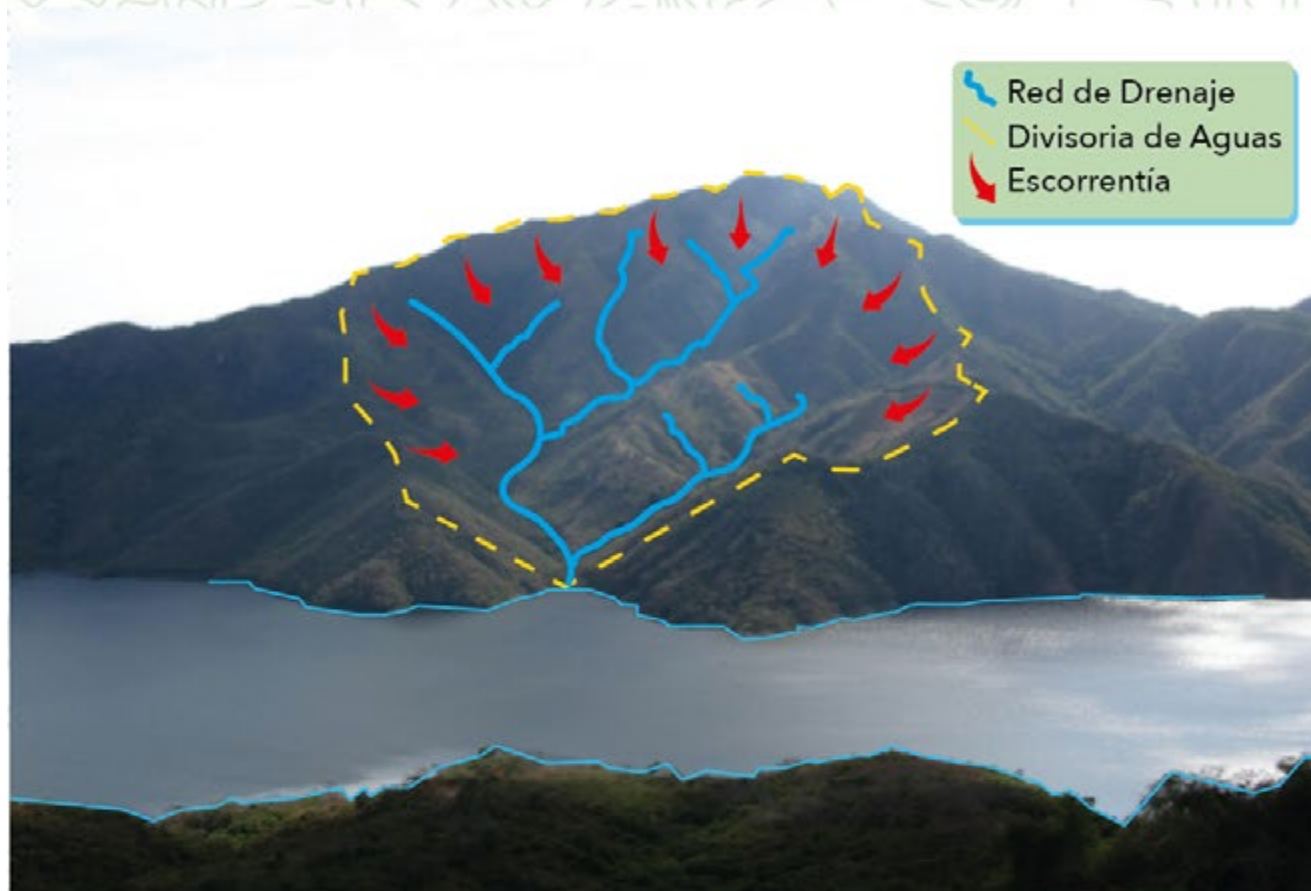
horizontes del suelo por encima del nivel freático, hasta brotar en superficie o incorporarse eventualmente a los cauces superficiales de drenaje. La definición formal indica que la escorrentía subsuperficial es la diferencia entre el agua infiltrada y la retenida, que es la que forma la humedad del suelo y la que alimenta a las reservas de agua subterránea. Esta escorrentía es más lenta que la superficial pero más rápida que la subterránea.

Recarga o percolación: es un proceso físico con el cual, por efectos de fuerzas gravitatorias, parte del agua infiltrada alcanza niveles más profundos, atraviesa el nivel freático y causa la recarga a los medios saturados. Por efectos de gradientes hidráulicos el agua percolada en los acuíferos, fluye desde zonas de mayor hacia áreas de menor potencial, este proceso constituye la escorrentía subterránea y con ella se configura el caudal base, que mantiene el nivel de las corrientes y cuerpos de agua en épocas de estiaje.

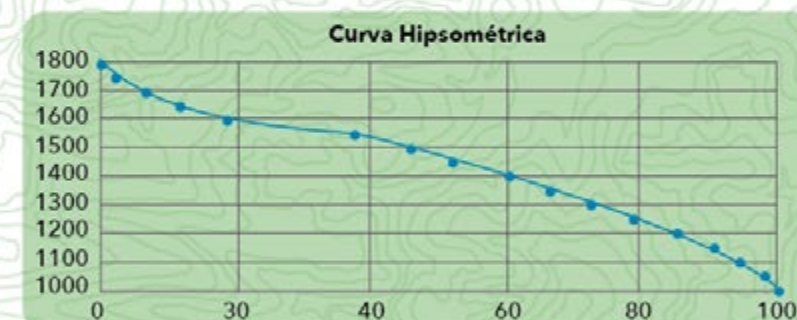
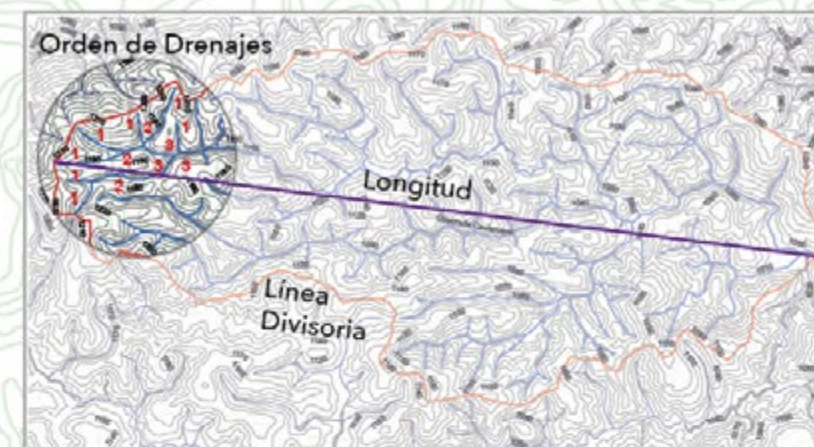
La traslación que durante 365 días hace la Tierra en su órbita alrededor del sol, da origen al año calendario, el cual suele marcar también los ciclos del año hidrológico. La repetición de este ciclo le imprime al clima y al agua, un patrón normal (promedio) de comportamiento que determina para cada territorio la existencia de épocas de lluvia o sequía, y fenómenos de variabilidad que a veces dan lugar a situaciones atípicas. El conocimiento y la comprensión del ciclo hidrológico en un lugar determinado, se logran a partir de observaciones y mediciones realizadas a través del tiempo. Los parámetros que se miden tienen que ver con las características físicas de cada componente del sistema y con la cantidad de agua que se mueve entre ellos. Para estos propósitos deben existir estaciones con instrumentos adecuados, personas responsables de la toma de datos y protocolos de almacenamiento y evaluación que generen información hidrológica (IDEAM, 2005).



LA CUENCA HIDROGRÁFICA



Red de Drenaje
Divisoria de Aguas
Escorrentía



El análisis de las características físicas de una cuenca, establecidas con base en su representación sobre un mapa básico, permite inferir factores claves de la respuesta que en ella pueda darse como consecuencia de eventos hidrológicos de diferente magnitud. El grado de ramificación de las corrientes (orden de la cuenca) y la densidad de drenaje son indicadores de las condiciones de escorrentía.

La pendiente promedio y la relación entre áreas y alturas ayudan a determinar las características de energía de los caudales y las condiciones erosivas en los cauces, para configurar el grado de evolución o madurez de la cuenca.

La forma de la cuenca, en relación con la de un círculo, determinan grados de peligrosidad, al determinar el tiempo de concentración de las lluvias en el punto de cierre, a través del cual se entrega agua de escorrentía a un tributario de mayor orden.

El trabajo "de escritorio" que constituye el análisis morfométrico de una cuenca representa una ruta de entrada a la comprensión de este entorno natural, en la medida en que de él se plantean hipótesis de trabajo que permiten planear y programar nuevas búsquedas para tomar datos, efectuar mediciones, realizar interpretaciones y obtener conclusiones, más certeras, en términos de la respuesta del medio a un evento determinado.

Pendiente(%)	Relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Moderado
12-20	Accidentado
20-35	Fuerte
35-50	Muy Fuerte
50-75	Escarpado
Mayor a 75	Muy Escarpado



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Generalmente, la comprensión del sistema hidrológico parte de la concepción del ciclo a escala global y a nivel de un sistema de referencia (área de

terreno que drena agua en un punto común) como la cuenca hidrográfica. De esta forma, en términos de espacio, es preciso enfatizar el hecho de que la naturaleza (y el ciclo hidrológico que hace parte de ella) no actúa según fronteras políticas, administrativas, o de propiedad privada definidas por el hombre; el ciclo del agua tiene un ámbito natural de desarrollo a escala global, es decir, de todo el planeta, o a escala de sistemas físicos determinados por la circulación del agua en la atmósfera y en el terreno.

La cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua tal, que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple (Monsalve, 2004). La línea que demarca el polígono de una cuenca, separándola de cuencas vecinas, se denomina divisoria de aguas.

El propósito central de la hidrología aplicada es el análisis para el entendimiento de la forma como ocurre el ciclo hidrológico en un sistema de referencia. Las cantidades de agua que circulan en la hidrósfera se relacionan entre sí, conforme al principio de conservación de masa, debiendo existir un equilibrio entre entradas y salidas. Las relaciones cuantitativas que representan este equilibrio constituyen el balance hídrico según el cual, la sumatoria de las entradas menos las salidas de agua deben ser igual al cambio en el almacenamiento.

$$P - (EVT + QS) = \Delta S$$

donde

P: Precipitación

EVT: Evapotranspiración

Qs: Escorrentía superficial

ΔS : Cambio en el almacenamiento

Cada uno de estos componentes se puede subdividir dependiendo del propósito y condicionado por el nivel de detalle que se pretenda analizar.

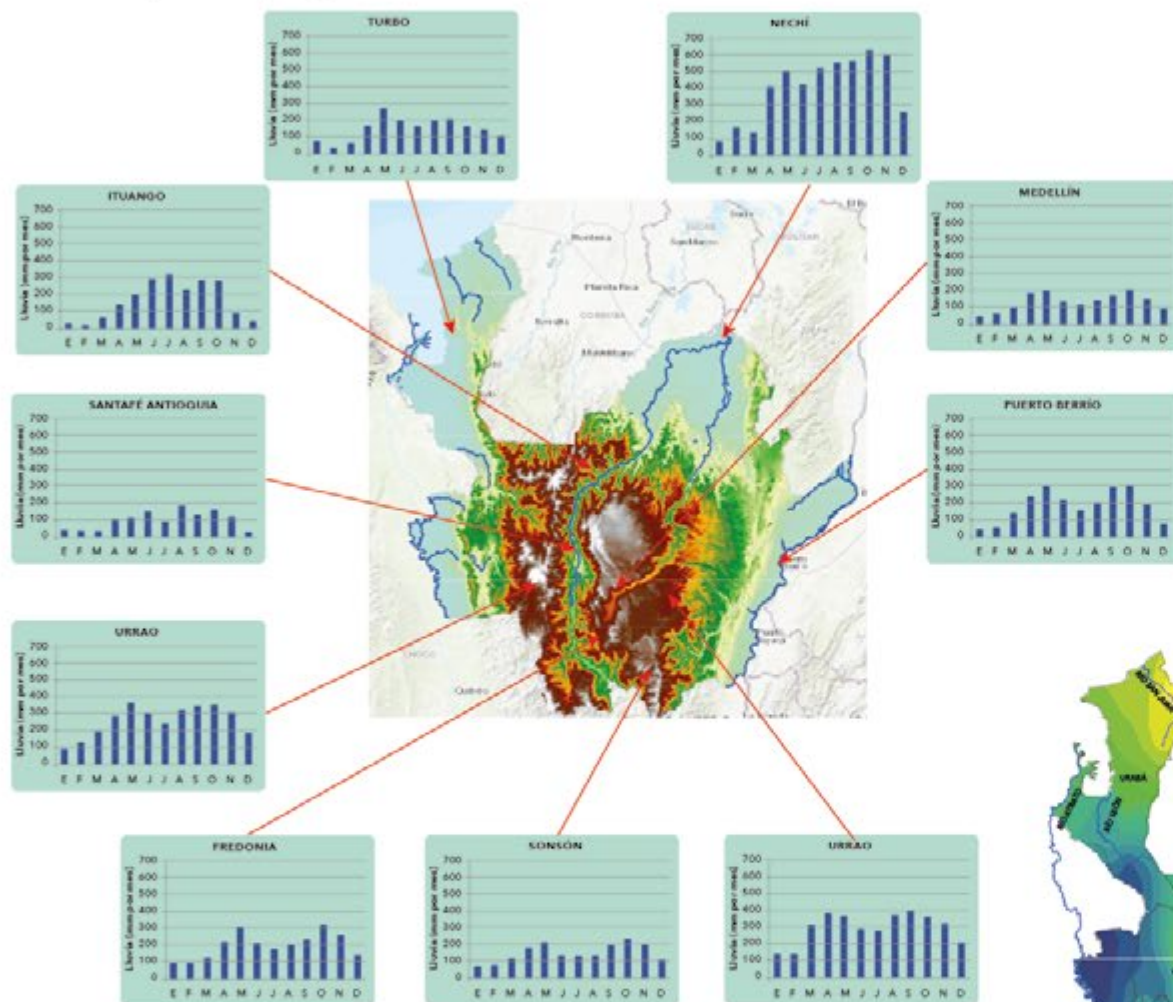
Dentro de la normatividad ambiental colombiana (Decreto 1729 de 2002, compilado en el Decreto 1076 de 2015) se encuentran así definidas la cuenca y la divisoria:

- **DEFINICIÓN DE CUENCA.** Entiéndase por cuenca u hoyo hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

- **DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.** Una cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Se entiende por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas.

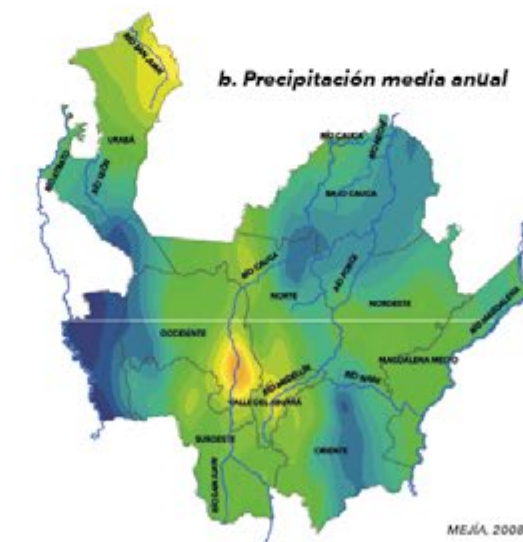
Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea divisoria de aguas, sus límites serán extendidos subterráneamente más allá de la línea superficial de divorcio hasta incluir la de los acuíferos subterráneos cuyas aguas confluyen hacia la cuenca deslindada.

a. Variación espacial de la precipitación



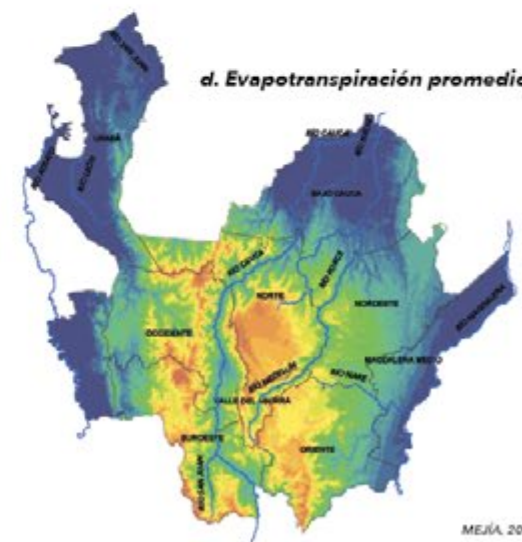
Poveda, 2007

b. Precipitación media anual



MEJÍA, 2008

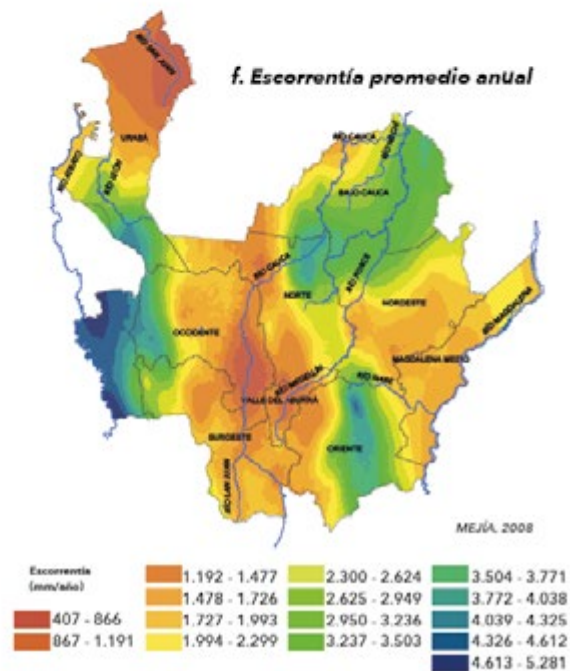
d. Evapotranspiración promedio anual



MEJÍA, 2008

Las condiciones de la atmósfera y el relieve, en Antioquia, determinan variaciones espaciales en los patrones de precipitación (a); esta situación se resume en un mapa de precipitación promedio anual (b) en el que se pueden identificar las zonas más secas y las más húmedas.

La temperatura del aire (c), que en el trópico está condicionada por la altitud, predominantemente, determina el comportamiento de la evapotranspiración (d). La diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración se convierte en flujo, a través de una densa red de drenaje (e), determinando los caudales de escorrentía (f).



ANTIOQUIA, SU HIDROLOGÍA

Entre los 5 y los 8 grados de latitud norte, bajo el influjo global de la zona de convergencia intertropical, afectada por corrientes de aire

procedentes de el Pacífico, el Caribe y la Amazonía, Antioquia es un territorio expuesto a regímenes de humedad variables.

Las condiciones fisiográficas que le imprimen a la geología una gran variedad de relieves, desde la costa en el golfo de Urabá, los páramos de las cordilleras Occidental y Central, las depresiones en los valles del Cauca y el Magdalena y el piedemonte de la zona costera, de entrada al Atlántico, determinan una compleja variabilidad espacial en los patrones temporales de precipitación.

Desde cumbres hasta hondonadas, y afectado por diferentes coberturas y tipos de suelo, un denso entramado de corrientes mueven flujos de escorrentía que convergen en las distintas subzonas hidrográficas, todas, finalmente tributarias al mar Caribe.

La convergencia de los vientos Alisios en la Zona de Convergencia Intertropical —ZCIT— hace que ellos, al chocar, asciendan y se condensen formando lluvia. Como resultado del ciclo anual de las temperaturas superficiales del aire y de la circulación de los Alisios, la ZCIT presenta una migración en sentido Norte-Sur y Sur-Norte durante el año, pasando por encima de Antioquia dos veces. Por ello ocurren, en general, dos temporadas más lluviosas, una entre marzo y mayo y otra desde septiembre hasta noviembre; y dos secas, una de diciembre a febrero y otra de junio a agosto. La ZCIT alcanza la posición más al sur durante el verano del hemisferio sur dando lugar a una temporada seca más intensa entre diciembre y febrero.

La precipitación promedio anual en Antioquia es de 2.920 mm/año (Poveda, 2007), variando espacialmente entre los 1.500 mm y los 4.000 mm anuales (Mejía, 2008). Las zonas de menores precipitaciones se localizan en el valle geográfico del río Cauca, hacia el occidente del departamento. Las mayores lluvias se registran en límites con el departamento del Chocó, al extremo suroccidental, seguido del Bajo Cauca antioqueño y al sur oriente en la cordillera Central. La distribución de las lluvias durante el año es de tipo bimodal en la mayor parte del departamento; sin embargo, al norte, en el Bajo Cauca y el Golfo de Urabá, el régimen es de tipo monomodal con una única época seca de diciembre a marzo y una temporada lluviosa el resto del año.

Teniendo en cuenta la variabilidad topográfica que determina la presencia de varios pisos térmicos se puede definir la distribución de la evapotranspiración en el departamento. Sobre las riberas del Magdalena, así como en el sector de Caucasia, las temperaturas superan los 28 °C, constituyéndose en los sectores más calientes del departamento. En el Urabá antioqueño y en el valle de río Cauca, las temperaturas oscilan entre 26 y 28 °C. En el resto de las montañas antioqueñas, las temperaturas dependen estrechamente de la elevación generando pisos térmicos templados y fríos. En el Magdalena Medio, el Bajo Cauca y Urabá se presentan valores de evaporación por encima de 1.600 mm/año, mientras que para zonas con alturas por encima de 2.000 metros no superan los 1.000 mm/año (Mejía, 2008); en promedio la evapotranspiración es de 1.170 mm/año (Poveda, 2007).

Mejía (2008) presentó un mapa en el que evaluó la contribución local de la precipitación a la escorrentía superficial; en él puede observarse que en regiones como el Occidente cercano y el Norte del departamento este valor es bajo (menos de 50 mm/año), mientras que en límites con Chocó y en el altiplano oriental alcanza magnitudes considerables, entre 3.000 mm/año y 3.500 mm/año respectivamente. La escorrentía superficial promedio es de 1.750 mm/año (Poveda, 2007).

Cabe señalar que para los casos de los ríos Cauca y Magdalena, luego de haber recorrido gran parte de su trayectoria, desde el naci-

miento al sur del país, los caudales se incrementan tras su curso por el departamento. En el caso específico del río Cauca, entre Caramanta y Caucasia el cambio sería considerable, pasando de 800 m³/seg a 1.600 m³/seg.

A la escala del tiempo interanual (varios años, menos de una década) el clima de casi todo el planeta está controlado por El Niño y La Niña. Estas son dos fases opuestas del fenómeno llamado El Niño Oscilación del Sur (ENSO) que se da como resultado de la interacción entre la circulación de los vientos y las temperaturas del mar sobre el Pacífico tropical. El Niño es el calentamiento anormal de las aguas del Pacífico; durante La Niña ocurre el enfriamiento del mar. En Colombia y en Antioquia, durante El Niño se presenta una disminución drástica de las lluvias y de los caudales de los ríos. Durante La Niña ocurren los procesos contrarios y se dan tormentas, crecidas de ríos e inundaciones (Poveda, 2007).

Varios fenómenos ejercen influencia sobre la hidrología de Antioquia a escala interanual: las ondas atmosféricas que pasan cada 40-60 días por encima de la geografía del departamento, la ondas tropicales del este del verano del hemisferio norte, cada 4 a 6 días, y los frentes fríos que provienen de las altas latitudes durante los inviernos de los dos hemisferios.

El amplio rango de temperaturas que se presentan entre la madrugada y el medio día es una importante característica de la variabilidad climática del trópico, causando que las lluvias más importantes se registren, normalmente, en horas de la tarde o la madrugada.

En 1978 (Resolución 0337 del 1978) el HIMAT (INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ADECUACIÓN DE TIERRAS) realizó una zonificación del país desde el punto de vista hidrológico definiendo cinco áreas hidrográficas: Caribe, Magdalena - Cauca, Orinoco, Amazonas y Pacífico; a su vez, estas áreas están divididas en zonas y en subzonas hidrográficas, con el propósito, primero, de adoptar un sistema de codificación para estaciones hidrometeorológicas y luego para la realización de estudios y análisis hidrológicos relacionados con los informes ambientales. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales —IDEAM— ha realizado ajustes a la zonificación hidrológica, teniendo en cuenta

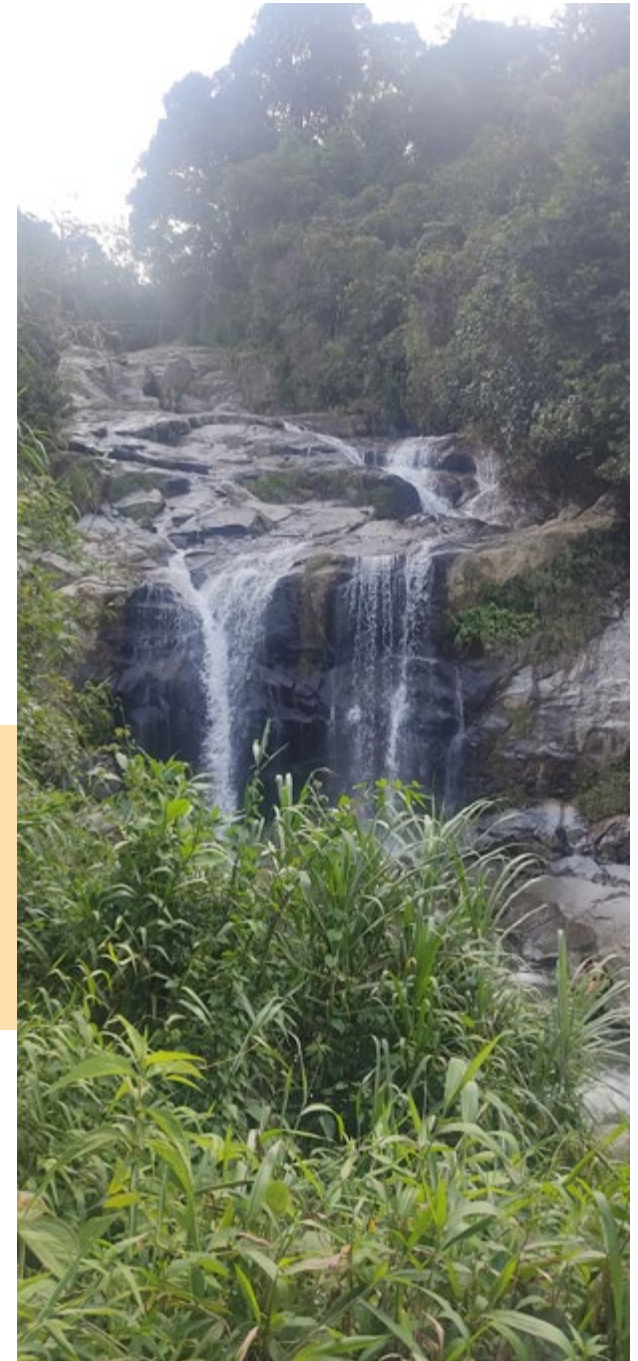
nuevas variables asociadas a la gestión del recurso hídrico y con el propósito de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento ambiental del territorio (Decreto 1277 del 21 de junio de 1994); mediante esta zonificación se identifican y definen los límites y fronteras para el modelamiento de escenarios de estado y dinámica de los recursos hídricos, se realizan estudios y cálculos de la disponibilidad, oferta y demanda del recurso hídrico, se diseña la red de monitoreo nacional de la calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas, se regionalizan variables de oferta, demanda, calidad y riesgo hidrológico para mejorar la evaluación integral del recurso hídrico en la cual se basan las acciones y estrategias de administración y manejo en el marco de la Gestión Integrada de Recurso Hídrico (GIRH), se facilita la sistematización de información y generación de productos de valor agregado en el SIRH (Vargas *et al.*, 2013). En Antioquia se han delimitado cerca de 50 subzonas asociadas a las áreas Magdalena-Cauca (más del 75 % de la superficie del departamento) y Caribe.

Vale la pena señalar también la clasificación que, de otro lado, se ha hecho en términos de hidrología subterránea al proponer la configuración de las provincias hidrogeológicas. Estas se delimitaron sobre el mapa geológico base en el cual se definen las

cuenas sedimentarias y unidades tectónicas que corresponden a eventos geológicos únicos cuyos límites físicos están marcados por megafracturas de orden regional documentadas en los estudios geológicos del país, especialmente los que describen la subdivisión de terrenos (IDEAM, 2019). Del territorio de Antioquia hacen parte 17 provincias hidrogeológicas.

Las imágenes que en la mente dibujan estos párrafos, evocan, para Antioquia, un territorio pleno de agua: humedad en la atmósfera, lluvias sobre toda la geografía, drenajes circulando en intrincados canales sobre la superficie y, además, importantes reservorios de agua subterránea. No obstante, debe llamarse la atención que este territorio está inmerso dentro de las complejidades que, naturalmente y por acción del hombre, marcan el cambio climático y con él el cambio en la naturaleza hidrológica.

Somos alma,
el alma es agua.
El agua es alma,
somos agua



Hidrogeología

- Generalidades
 - Exploración hidrogeológica
 - Balance hídrico para la determinación de la recarga
 - Delimitación de zonas de recarga
 - Hidrogeoquímica e isotopía, bases para verificación de modelos hidrogeológicos
 - Estado del conocimiento de las aguas subterráneas en Antioquia
-

La palabra hidrogeología —con sus raíces del griego: Hidro: ὕδω- Hydro, ‘agua’; Geo: γῆ- Geo, ‘la Tierra’; Logía: Λογος- Logos, ‘tratado’, ‘estudio’, ‘ciencia’— designa a la disciplina que se ocupa del estudio de las aguas dulces almacenadas en las zonas saturadas de las formaciones rocosas de la corteza terrestre, de su circulación y distribución, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones tanto con el medio físico como con el biológico, y los impactos ante la acción del hombre. La hidrogeología es una ciencia que tiene como laboratorio natural la geografía y de esa forma se sitúan sobre un lugar y narran una historia.

Tanto la hidrología como la geología son ciencias de la tierra, que además de permitir entender los fenómenos que determinan la ocurrencia de agua en el subsuelo, tienen su asidero sobre un lugar y a través de la historia, por lo tanto requieren ser objeto de representación espacial y de evaluación y análisis a través del tiempo. Los aspectos básicos acerca de la fí-

sica de la atmósfera, el suelo e incluso la vida, pueden ser comprendidos mediante el estudio de la hidrósfera, ese sistema físico constituido por el agua que se encuentra bajo y sobre la superficie de La Tierra: en la atmósfera, en el océano, en los ríos y lagos, en el suelo, en la corteza terrestre y en los seres vivos.

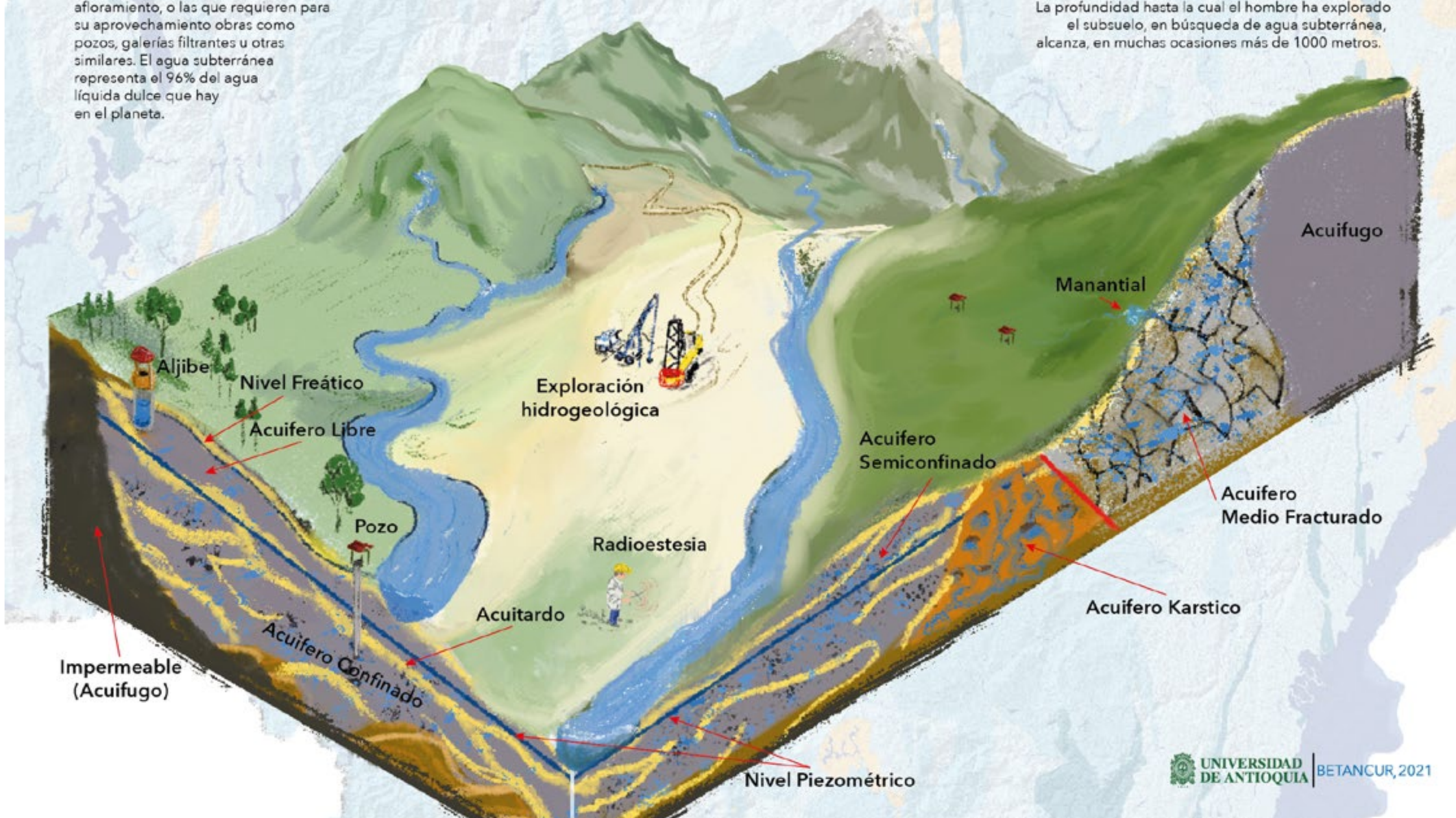
Los gráficos que ilustran este capítulo empiezan mostrando la presencia del agua en las rocas, se presenta luego la ruta para la exploración en la búsqueda de la presencia del agua subterránea y, seguidamente, el método para cuantificar volúmenes de recarga e identificar las áreas más favorables para ella; luego se exponen, de forma sintética, los principios de la química que se utilizan para validar los modelos hidrogeológicos; para terminar se hace una síntesis relacionada con el conocimiento que se tiene del agua subterránea en Antioquia, contando los avances para Urabá, el Bajo Cauca, el Magdalena Medio, el Valle de Aburrá, el Oriente, el Suroeste y la zona de influencia del bosque seco tropical.



PRESENCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Las aguas subterráneas son las aguas que se encuentran bajo el lecho de los ríos y demás cuerpos de agua continentales, bajo la superficie del suelo o del fondo marino, que brotan en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento, o las que requieren para su aprovechamiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares. El agua subterránea representa el 96% del agua líquida dulce que hay en el planeta.

Los acuíferos son esas formaciones rocosas desde las cuales se puede aprovechar el agua subterránea para ser utilizada por el hombre; sin embargo, bajo condiciones menos favorables el agua se mueve lentamente a través de poros, en los acuitardos, o no alcanza a permear las rocas. La profundidad hasta la cual el hombre ha explorado el subsuelo, en búsqueda de agua subterránea, alcanza, en muchas ocasiones más de 1000 metros.



GENERALIDADES

Las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran bajo el lecho de los ríos y demás cuerpos de agua continentales, de la superficie del suelo o del fondo marino; brotan en forma natural en fuentes y manantiales; también se accede a ellas a través de obras como pozos, galerías o zanjas. Desde todos esos puntos pueden ser utilizadas para satisfacer necesidades humanas. El agua subterránea representa el 96 % del agua líquida dulce que hay en el planeta

En principio, la litósfera (del griego lito: piedra y σφαίρα: esfera) representaría el medio físico que puede albergar el agua subterránea, sin embargo las dimensiones en profundidad, desde decenas a casi doscientos kilómetros, de esta capa que envuelve al planeta Tierra, incorpora dominios dentro de los cuales el flujo hídrico, a escala del ciclo hidrológico, pierde el significado y se estaría en el límite que puede involucrar dimensiones temporales de miles o millones de años.

En la litósfera, considerando como parte de esta la porción superior de la corteza terrestre, es necesario presentar un panorama general acerca de las propiedades hidráulicas que poseen las rocas y que determinan la posibilidad de que se dé en ellas el almacenamiento y la circulación del agua subterránea. La presencia de agua fluyendo en las formaciones sólidas de la corteza terrestre, solo es posible si el medio sólido es poroso y permeable. La porosidad se define, en términos generales, como el volumen de espacios abiertos (los poros) en la roca o en el suelo en relación con el volumen total o con el volumen sólido. En la mecánica clásica, esta relación se representa mediante una función matemática:

$$\text{Porosidad primaria (n)} = \frac{\text{Volumen de vacíos (VV)}}{\text{Volumen total (Vt)}}$$

La permeabilidad se refiere a la capacidad que tiene una roca de permitir el flujo de agua a través de sus poros interconectados.

Una unidad hidrogeológica se define como una unidad geológica, parte de ella, o como un conjunto de unidades geológicas adyacentes, susceptibles a reconocerse por poseer propiedades o características hidráulicas similares; en este sentido se tiene que una formación o grupo de formaciones de rocas permeables, saturadas con agua y con un grado de permeabilidad que permita la extracción del recurso hídrico subterráneo, se denomina acuífero; una unidad geológica que contiene agua, incluso hasta la saturación, pero no la transmite, es un acuícludo; si la circulación es muy lenta se denomina acuitardo; y si la formación no almacena ni transmite agua se denomina acuífugo. Unas y otras pueden estar presentes dentro de un mismo sistema, distribuidas como componentes que se complementan y limitan entre sí.

Según las condiciones de presión a las que se encuentre la superficie del agua en un medio sólido saturado, un acuífero puede ser libre, semiconfinado o confinado. En un acuífero libre la superficie freática se encuentra a condiciones de presión aproximadamente iguales a la atmosférica, mientras que en los semiconfinados y confinados la presión es mayor. Los acuíferos confinados están aislados, en gran parte de su extensión, del ambiente meteórico por la presencia de acuitardos en el techo, los semiconfinados están limitados en una de sus fronteras por una unidad de este tipo.

El movimiento y la capacidad de almacenamiento, son controlados por la porosidad y la permeabilidad. Los espacios abiertos, vacíos o intersticios en las rocas, son los receptáculos para el almacenamiento y circulación del agua subterránea, y son de dos tipos: i) poros intergranulares (primarios), estos se encuentran en depósitos detríticos y en rocas volcánicas o sedimentarias clásticas consolidadas, y ii) poros secundarios que resultan de fisuras y fracturas en rocas duras. Teniendo en cuenta las condiciones texturales y estructurales de los materiales que conforman la corteza terrestre, se ha determinado que los principales acuíferos están asociados a: i) depósitos de gravas y arenas no consolidadas, intercalados frecuentemente con estratos de limos y arcillas, con pocas unidades de carbonatos, ii) unidades kársticas, resultantes de formaciones carbonatadas que tienen fisuras y fracturas, y que se han ensanchado por disolución, iii) formaciones consolidadas y semiconsolidadas de conglomerados y areniscas, que tienen permeabilidad y porosidades primarias (intergranulares) y secundarias (fracturas y diaclasas), iv) rocas ígneas de origen volcanoclástico, y iv) rocas ígneas y metamórficas con fisuras y fracturas que permiten el almacenamiento y circulación del agua (Custodio y Llamas, 1997).

La representación de un sistema natural es un modelo. Un modelo hidrogeológico conceptual muestra las características que hacen referencia a la extensión y profundidad de las unidades hidrogeológicas; a las fuentes, origen y edad del agua en ellas; a las propiedades hidráulicas del medio sólido que determinan el flujo; y a la propia calidad del agua. Para alcanzar esta representación se adelantan labores de exploración hidrogeológica, entendida esta como: “el conjunto de operaciones o trabajos que permiten la localización de acuíferos o embalses subterráneos, de los que se puede obtener agua en cantidad y calidad adecuada para el fin que se pretende” (Custodio y Llamas, 1997).

EXPLORACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Las actividades de exploración, inician con la recopilación de información disponible, que permite una primera

aproximación al conocimiento del medio, tanto en términos geográficos como hidrológicos; esta información comprende: cartografía básica, información hidrometeorológica, mapas y estudios geológicos, mapas de tipos y usos del suelo, cobertura vegetal, estudios hidrogeológicos previos, fotografías aéreas o imágenes de satélite, registros de perforaciones o de estudios geofísicos, entre otros.

La recolección de datos, denominada comúnmente inventario de puntos de agua, es el sistema más idóneo para empezar a conocer rápidamente las características hidrogeológicas de una zona dada. Los datos reunidos se consignan en formatos previamente diseñados que tengan coherencia con el Formulario Único de Aguas Subterráneas —FUNIAS— del IDEAM, de manera que se puedan incorporar en ellos diferentes elementos que proporcionen información útil para el conocimiento del sistema hidrogeológico, como: localización administrativa (municipio, vereda, barrio), aspectos técnicos del punto (naturaleza de la obra, modo de perforación, diámetro, materiales, profundidad, etc.), condiciones hidrológicas (niveles piezométricos en diferentes épocas, calidad química), entorno geológico (litología y geomorfología), usos que se hacen del recurso hídrico subterráneo, etc. Un inventario de puntos de agua combina procedimientos de trabajo que incluyen visitas a oficinas de entidades oficiales y privadas que hayan levantado, previamente, información; o reconocimiento del terreno predio a predio, efectuando encuestas personalizadas con propietarios o administradores.

El procesamiento, y sistematización de la información recopilada durante el inventario permite definir las rutas de exploración geológica que se requieren para efectuar las tareas de correlación estratigráfica y definición del carácter hidrogeológico de las unidades litológicas. Correlacionar es establecer una correspondencia en carácter y posición estratigráfica; para la correlación de las unidades hidrogeológicas se tienen en cuenta características texturales, estructurales, espesores, continuidad y posición relativa, en profundidad, de las unidades estratigráficas de cada columna. La exploración

del subsuelo obedece al diseño de una red con la que se busca lograr una cobertura y distribución representativa, considerando la extensión del dominio espacial y la variabilidad geológica. La geofísica, soportada especialmente en geoelectrónica, y las perforaciones son los métodos más certeros para obtener datos, interpretar evidencias y describir la naturaleza de las rocas, alcanzando profundidades de varios centenares de metros en la corteza. Después de haber sido identificadas las unidades hidrogeológicas y definido su carácter, se puede proceder a efectuar la representación de su extensión superficial y en profundidad, esto es: determinar su geometría.

La recarga es el proceso mediante el cual ingresa agua a un acuífero, de ella depende la renovación y perdurabilidad del recurso (Healy, 2010). La recarga tiene su origen en distintas fuentes, puede darse a partir de excedentes de precipitación que por infiltración fluyen desde la superficie al suelo (o zona no saturada) y luego desde esta al acuífero, zona en la que ya no hay aire en los poros y todos los vacíos están ocupados por el líquido (zona saturada). También a partir de la interacción con cuerpos de agua superficial se puede producir recarga; a través de las fronteras laterales o límites verticales entre unidades hidrogeológicas pueden generarse flujos de recarga natural. Existen, por otra parte, técnicas de manejo de la recarga que pueden inducir llenado de acuíferos; actualmente hay todo un dosel de procedimientos encaminados a propiciar esta “recarga artificial”; ellos se aplican en zonas secas para inducir el almacenamiento de las escasas lluvias que ocurren, para recuperar niveles que han descendido a causa del uso intensivo del agua subterránea o para mitigar impactos negativos generados por cambios en usos del suelo que tienden a modificar la naturaleza y condiciones hidráulicas de la zona no saturada y la superficie (Scanlon *et al.*, 2002).

En las áreas donde los acuíferos afloran en superficie es propicia la recarga directa, ella ocurre a tasas variables dependiendo de las condiciones de cobertura y textura de la zona no saturada. Las características topográficas del terreno representan un factor determinante para favorecer o no la escorrentía superficial, sólo en aquellas áreas donde se registren paisajes planos, suaves u ondulados, puede ocurrir el almacenamiento, o retención en superficie que posibilite luego la infiltración (Betancur y Martínez, 2021).

La permeabilidad secundaria en rocas duras, se adquiere mediante procesos de meteorización física y química que pueden convertir los saprolitos en suelos, o que pueden configurar rutas preferenciales para el movimiento de fluidos según disposición, apertura y densidad de las diaclasas. Así, el agua que se almacena y fluye por un acuífero puede provenir de regiones distantes y haber llegado al reservorio subterráneo a través de flujos regionales que, además, llegarían a involucrar prolongados tiempos de recorrido. Los flujos regionales se dan normalmente a partir de rocas encajantes del sistema acuífero, que han adquirido condiciones de porosidad y permeabilidad secundaria (Duque *et al.*, 2022). Para identificar las áreas que adquieren esta condición, se realiza el análisis cruzado de una serie de características de las unidades hidrogeológicas, que sirven de basamento a los embalses subterráneos.

Las zonas de recarga deben ser objeto de cuidado, están declaradas dentro de la normatividad colombiana (artículo 1. de la Ley 99 de 1993) como zonas de especial protección y son objeto de definición y aplicación de medidas de manejo.

La evaluación del componente de recarga dentro del Modelo Hidrogeológico Conceptual incluye la determinación de la magnitud de la misma, procedimiento que normalmente se realiza mediante el cálculo del balance hídrico, el cual se basa en el principio de conservación de masa. Este principio considera la existencia de un sistema, en el que hay un intercambio de flujos de entrada y salida, y en el cual se produce un cambio en el almacenamiento en función del tiempo. El uso extendido de esta técnica se debe a su facilidad de aplicación, y a la disponibilidad de la información que se requiere, que es, en esencia, información hidrometeorológica (Bastidas *et al.*, 2022). Por otra parte, si se logra realizar un seguimiento sistemático a la variación del nivel del agua subterránea en un acuífero libre y si se tienen estimativos adecuados de sus características hidráulicas, particularmente de sus condiciones de almacenamiento que se remiten a la porosidad eficaz, es posible efectuar cálculos más certeros sobre la magnitud de la recarga real; este método se conoce como oscilación del nivel freático, WTF (Por sus siglas en Inglés: *Water Table Fluctuation*) (Healy y Cook, 2002).

La altura, con relación al nivel del mar, a la que se registra el límite superior de agua subterránea se denomina nivel piezométrico; su posición está relacionada con la conexión que tenga el acuífero con el ambiente meteórico o atmosférico. En un acuífero libre al nivel piezométrico se le denomina, también, nivel freático; en este caso el límite superior de la capa de agua subterránea está en conexión con la atmósfera y la presión es cercana a la de ella (Custodio y Llamas, 1997). En los acuíferos confinados, la altura piezométrica está determinada por la presión que existe en la zona de recarga, el nivel piezométrico está marcado por la altura de la columna de agua que, asciende a través de una perforación vertical y, ejerce una presión que equilibra a la del ámbito subterráneo en ese punto. El lugar geométrico que representa los niveles del agua subterránea y su distribución en el espacio se llama superficie piezométrica. A la pendiente puntual de esta superficie se le denomina gradiente hidráulico. La función matemática que define el gradiente hidráulico, representado por la letra *i*, es:

$$i = \frac{(H_2 - H_1)}{L}$$

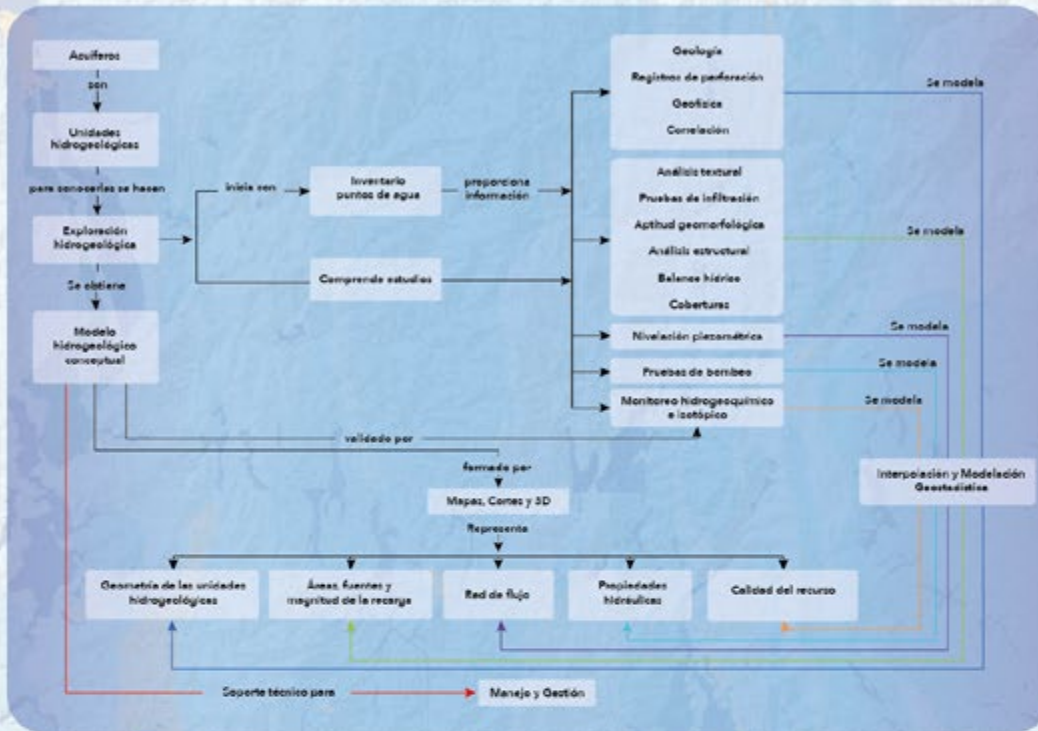
Donde: H_2 y H_1 son las alturas o niveles piezométricos en dos puntos y L es la separación horizontal entre ellos. El gradiente hidráulico es un delta de potencial y marca el sentido del flujo del agua subterránea.

El monitoreo de oscilaciones del nivel piezométrico permite definir redes de flujo con las que se dibujan las rutas del agua en el subsuelo. La comprensión de las rutas que sigue la escorrentía subterránea es crucial para la identificación de áreas de recarga, zonas de tránsito y lugares de descarga, todo ello puede configurar en un territorio la presencia y ocurrencia de flujos locales, intermedios y regionales (Duque *et al.*, 2022).

Un medio natural permeable presenta tres parejas de características físicas: i) continuidad o discontinuidad, ii) isotropía o anisotropía, y iii) homogeneidad o heterogeneidad. Si los vacíos están interconectados, en el sentido del flujo, se dice que es continuo. Las rocas porosas y las rocas compactas con sistemas de fisuras o fracturas interconectadas, se dice que constituyen medios continuos. Las rocas con macrofisuras y las rocas kársticas son medios discontinuos. Si la resistencia al flujo del agua es la misma en todas direcciones, se dice que el medio es

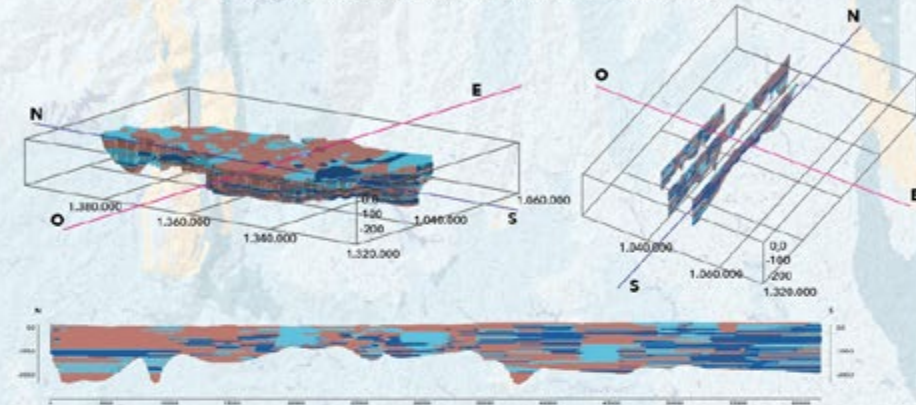


EL HOMBRE EN SU BÚSQUEDA DE AGUA SUBTERRÁNEA



$$Q = K * \frac{(hA - hB)}{L} * A = K * i * A$$

GEOMETRÍA DEL SISTEMA HIDROGEOLOGICO



isotrópico. Si la resistencia al flujo varía de acuerdo a las distintas direcciones, se presenta la anisotropía del medio poroso. El medio se dice que es homogéneo si sus propiedades de isotropía o anisotropía son las mismas en todos los puntos, y es heterogéneo si esas propiedades varían de un punto a otro. Las leyes de la hidrodinámica subterránea, debido a la complejidad de las ecuaciones, generalmente y en términos estrictos, sólo se aplicarían a medios homogéneos, isotrópicos y continuos (Vélez, 2002).

La condición acuífera de una unidad hidrogeológica saturada con agua está condicionada por sus propiedades hidráulicas: conductividad (K), transmisividad (T) y coeficiente de almacenamiento (Ss). El volumen de agua que fluye, por unidad de tiempo, a través de una sección transversal del acuífero, por efecto de un gradiente hidráulico unitario determina la conductividad (si el área transversal es de dimensiones unitarias) o la transmisividad (si la sección tiene ancho unitario y longitud igual al espesor saturado). El coeficiente de almacenamiento representa el volumen de agua que puede obtenerse de una sección volumétrica, unitaria, del acuífero. Los datos que permiten, mediante la relación caudal, tiempo, abatimiento y recuperación, calcular las propiedades hidráulicas de los acuíferos se obtienen a partir de la realización de pruebas de bombeo.

Henry Darcy, en el siglo XVII; formuló una ley experimental con la cual se describe el flujo de agua subterránea en estos medios (REF). Esta ley de flujo de agua en medios porosos, conocida como Ley de Darcy, establece que la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo, a través de una sección transversal de un medio permeable, es directamente proporcional a la conductividad hidráulica y a la diferencia de potencial entre dos puntos, e inversamente proporcional a la distancia de estos. Esta Ley se representa mediante la expresión:

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

Donde Q es el caudal, K es la conductividad hidráulica, i representa el gradiente hidráulico ($\Delta h / \Delta l$) y A representa el área de la sección de flujo.

La relación $K \cdot i$ se denomina velocidad de Darcy (V_D). Sin embargo, la real aproximación a la velocidad de flujo del agua subterránea

está condicionada por la porosidad, al determinar los poros la superficie efectiva de flujo. La llamada velocidad real está dada por la expresión $V_r = V_D / N_e$, donde N_e es la porosidad eficaz.

Al estar orientado el principal propósito de la exploración hidrogeológica a la localización de acuíferos, se hace pertinente incluir dentro de los componentes del modelo conceptual la calidad del agua subterránea, es decir, las características fisicoquímicas y biológicas que las hacen apta para un determinado uso. En Colombia, las normas de calidad para aguas, cuya destinación es el consumo humano, están regidas por la Resolución 2115 del 22 de junio de 2007, en la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua. Adicionalmente, en el Decreto 1594 del 1984 se definen criterios de calidad para aguas crudas que van a ser tratadas para consumo humano y para otros usos. El diseño de una red de monitoreo de calidad de agua subterránea se sustenta en criterios técnicos de representatividad espacial, direcciones de flujo, factores de amenaza, entre otros, y su operación debe ser regular y sistemática, solo el seguimiento a través del tiempo permite evaluar con certidumbre las condiciones de evolución química del agua subterránea.

Un modelo hidrogeológico está compuesto, principalmente, de mapas, secciones transversales o esquemas cartográficos en tres dimensiones -3D. Para la representación de la geometría de las unidades acuíferas, la recarga, propiedades hidráulicas, flujo y calidad, la modelación geoestadística permite una buena construcción pictórica del sistema mediante modelos digitales del terreno —MDT—. A partir de un conjunto de muestras o datos, tomados en localizaciones del dominio en que se manifiesta un fenómeno a estudiar, y consideradas representativas de su realidad, que por lo general es siempre desconocida, los procedimientos geoestadísticos permiten obtener la descripción o caracterización de las variables con dos fines diferentes: primero, proporcionar valores estimados en localizaciones de interés y segundo, generar valores que en conjunto presentan iguales características de dispersión que los datos originales. El desarrollo de los sistemas de información geográfica —SIG— y la aplicación de la geoestadística han dado impulso al análisis de la información espacial aplicada a la hidrogeología.

BALANCE HÍDRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RECARGA

La estimación de la recarga de acuíferos es importante dentro de la definición del modelo hidrogeológico conceptual, y necesaria para establecer los límites de extracción del recurso subterráneo, su grado de recuperación ante la explotación y las relaciones entre la oferta y la demanda.

Existen diversas técnicas para estimar la recarga, las cuales se clasifican según Lerner *et al.*, (1990) en métodos de medición directa (lisímetros), balance hídrico, trazadores químicos e isotópicos y relaciones empíricas; el método de mayor uso es el basado en balances hídricos de humedad en el suelo (Xie *et al.*, 2017), la recarga que se estima por este método se considera recarga potencial, dado que se basa en datos hidrológicos de superficie y en una aproximación a la zona no saturada, sin incluir directamente información hidrogeológica (niveles freáticos).

El principio del balance de humedad en el suelo se basa en aplicar la ley de conservación de masa, tomando los primeros estratos del suelo como el volumen de control, y esquematizando todos los flujos naturales que intervienen en el proceso de generación de la recarga.

En el modelo de balance por humedad del suelo (SWB, por sus siglas en inglés -*Soil Water Balance*), se estima la recarga potencial por precipitación como el remanente del balance hídrico en el volumen de control definido, según la siguiente ecuación:

$$\text{RPD} = \text{Entradas-salidas-variación en el almacenamiento} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{RPD} = P + IF - \text{Inp} + \text{ETR} + \text{ED} - \Delta H \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde RPD es la recarga potencial directa, P es la precipitación, IF representa otras posibles entradas, Inp es la intercepción en el follaje, ETR es la evapotranspiración real, ED es la escorrentía superficial directa, ΔH corresponde a la variación de humedad en el suelo.

Bajo esta perspectiva vale la pena detenerse, momentáneamente, en el suelo, procurando ganar suficiente claridad acerca de los conceptos relacionados al grado de humedad: capacidad de campo, punto de marchitez, agua gravítica, volumen de agua utilizable por las plantas, entre otros; ellos permiten entender intuitivamente la forma como se representa el proceso de recarga y se definen las consideraciones para el cálculo de las cantidades asociadas a ella. Luego de una temporada con ausencia de lluvia la primera cantidad de agua que ingresa al suelo, vía infiltración, se destina a otorgar a las partículas que lo conforman la humedad que ellas “saben” retener; alcanzado ese límite, el agua que continúe llegando desde la superficie fluye “libremente” entre los poros, por gravedad, hasta encontrar una frontera inferior que la detenga; es así cómo, de un punto en adelante, los vacíos se continúan llenando con el agua de recarga.

El procedimiento metodológico para el cálculo del balance hídrico, supone la disponibilidad de información, preferiblemente a escala diaria, y el diseño de un algoritmo de análisis que permita consultar en cada paso de tiempo la magnitud de las entradas, las salidas y las condiciones de evolución de humedad en el suelo, esas que establecen las condiciones y los límites que encuentra el agua infiltrada para convertirse, o no, en recarga.

Los datos de precipitación, escorrentía y evaporación potencial pueden, en teoría, ser obtenidos desde estaciones hidroclimatológicas, sin embargo, la realidad hace que en la mayoría de los casos se requiera recurrir a aproximaciones teóricas para estimar una o más de estas variables.

Agua gravítica: agua que puede circular por efectos de la gravedad en el suelo.

Agua capilar: ocupa los espacios de los pequeños poros del suelo. El volumen de estos espacios determina la capacidad de almacenamiento y retención del suelo.

Grado de humedad: es el porcentaje del peso del agua contenida en una muestra de suelo antes de desecarla, respecto al peso de la muestra desecada a 105°C.

Capacidad de campo: grado de humedad de una muestra que ha perdido el agua gravítica.

Humedad equivalente: es el grado de humedad determinado en laboratorio, de una muestra que se ha sometido a una fuerza centrífuga 1.000 veces superior a la gravedad.

Punto de marchitez: grado de humedad del suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla.

Agua utilizable por las plantas: diferencia entre los grados de humedad correspondientes a la capacidad de campo y el punto de marchitez.

Agua higroscópica: delgada película alrededor de las partículas de suelo y no puede ser removida por fuerzas gravitatorias o capilares.

La precipitación es la entrada principal al volumen de control donde se define el balance de humedad en el suelo. La temperatura, el brillo solar y la humedad relativa, brindan la posibilidad de realizar estimaciones sobre la evapotranspiración potencial.

El tamaño de las partículas del suelo influye en la habilidad de este para transmitir o retener agua. Las principales características físicas del suelo desde el punto de vista hidrológico e hidrogeológico son su composición granulométrica o su textura, a partir de lo cual se puede aproximar sus propiedades hidráulicas, tales como: permeabilidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y rendimiento específico. Otras variables de interés para la caracterización hidrológica de los suelos son: la tasa de infiltración, la humedad volumétrica y gravimétrica y las curvas de retención de humedad (Bastidas, 2019).

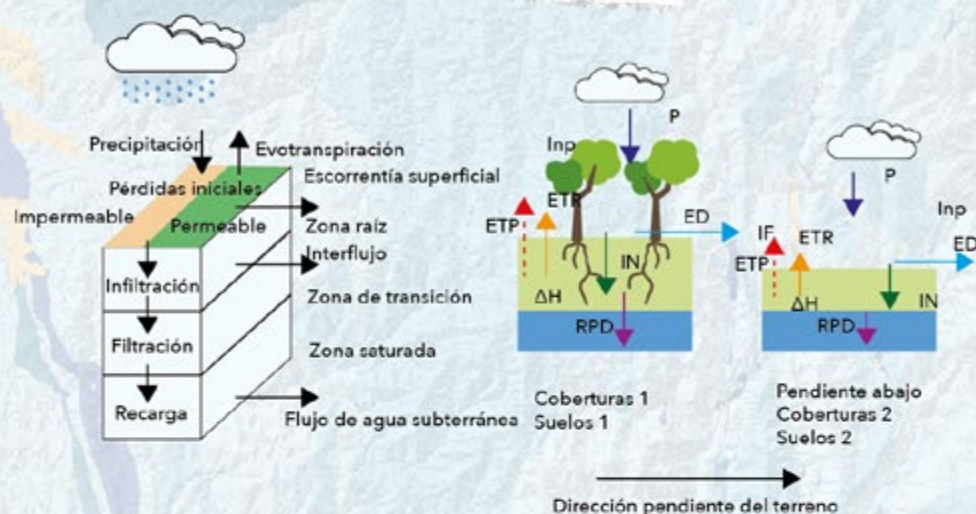
Las coberturas terrestres y/o los usos del suelo son propiedades de la superficie que influyen directamente en el proceso de recarga de las aguas subterráneas, así como en otros elementos del balance hídrico: la escorrentía superficial directa y la evapotranspiración.

Trascendiendo al cálculo de balances puntuales, por estación, la alternativa de aplicar un modelo distribuido de balance de humedad del suelo, que opere a escala diaria, reviste especial importancia si se tiene en cuenta que en muchas ocasiones la extensión del área de estudio es de magnitud considerable y las variables físicas que influyen en el proceso de recarga, como los suelos, las coberturas, las pendientes y la precipitación, presentan amplia variabilidad espacial.

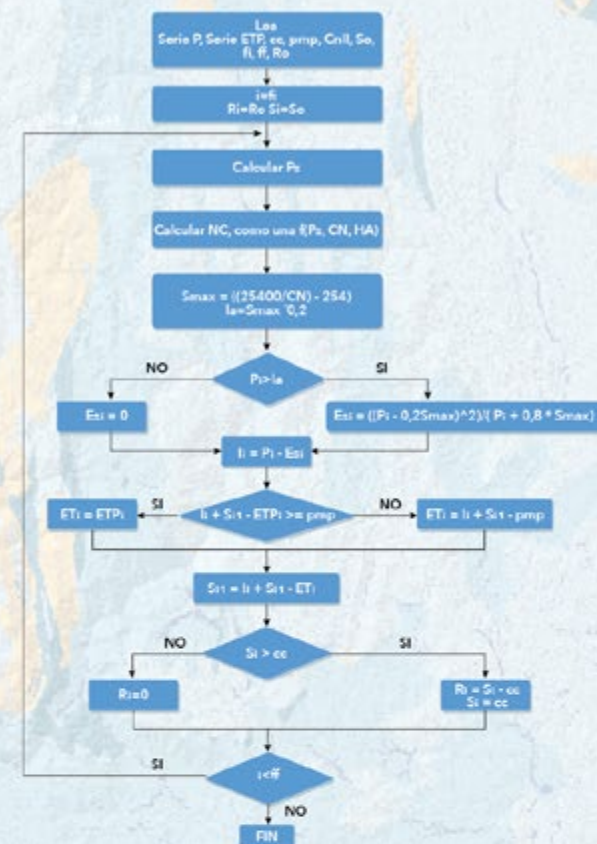
Los datos geomorfológicos necesarios para aplicar el balance hídrico mediante el modelo distribuido SWB, corresponden a la representación del relieve, mediante un Modelo de Elevación Digital —MED— y una red de drenaje superficial detallada. Un MED sirve para conocer la configuración del relieve de una zona específica, siendo una herramienta ampliamente usada en análisis hidrológicos.



CONTANDO EL AGUA DE RECARGA QUE SE ALMACENA EN LOS POROS DE LA CORTEZA

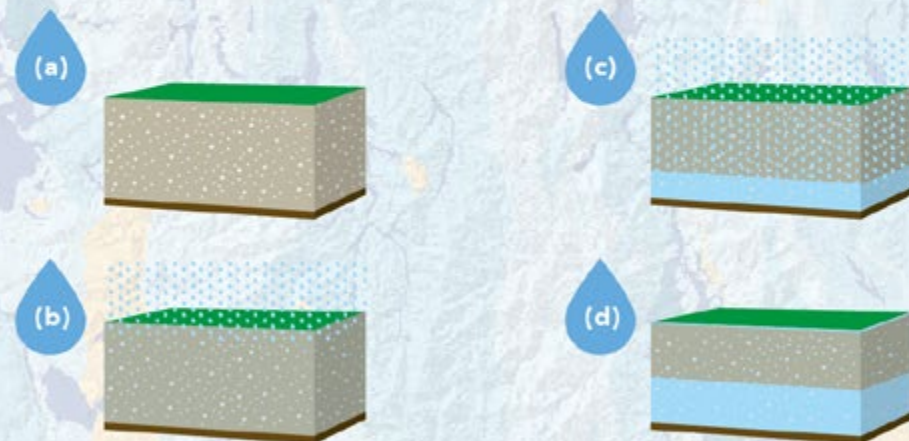


Bastidas, 2019



Convenciones

Serie P: Serie diaria continua de precipitación (mm/día)
Serie ETP: Serie diaria continua de evapotranspiración (mm/día)
cc: Capacidad de campo (mm)
pmp: Punto de marchitez permanente (pmp)
CNII: Número de curva en condiciones promedio
So: Humedad inicial en el suelo (pmp)
fi: Fecha de inicio de balance
ff: Fecha de finalización del balance
Ro: Recarga inicial (mm/día)
i: Representa un día en el balance
P: Precipitaciones de los 5 días (mm/día)
NCi: Número de curva del día i
HA: Condiciones de humedad antecedente
Smax: Retención máxima de humedad (mm)
Ia: Abstracción inicial para la que no se produce escorrentía directa (mm)
I: Infiltración (mm/dd)
ET: Evapotranspiración real (mm/dd)
S: Almacenamiento en el suelo (mm)
R: Recarga potencial directa por infiltración (mm/dd)



Luego de una temporada con ausencia de lluvia (a) las primeras aguas que ingresan al suelo, vía infiltración, se destinan a otorgar a las partículas que lo conforman la humedad que ellas "seben" retener (b). alcanzado ese límite el agua que continúe llegando desde la superficie fluye "libremente" entre los poros por gravedad hasta encontrar una frontera inferior que la detenga (c), es así como de un punto en adelante los vacíos se continúan llenando (d) con el agua de recarga.

DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RECARGA

La comprensión integral del fenómeno de la recarga según la cual se considera que, más allá de la recarga directa, los sistemas de flujo pueden alimentar los acuíferos, especialmente los confinados y

más profundos, determina la importancia de realizar evaluaciones regionales que conlleven a la delimitación de aquellas zonas a través de las cuales se genera el ingreso de agua al sistema subterráneo. Esta delimitación, y también la jerarquización de ellas, cobra importancia si se tiene en cuenta que, en coherencia con la imperiosa necesidad de cuidar los recursos hídricos, las zonas de recarga se consideran zonas de especial importancia ecosistémica y deben ser objeto de protección.

Como resultado de la revisión y aplicación de varias metodologías para delimitar zonas de recarga en acuíferos de Antioquia, se han sintetizado ideas al respecto hasta llegar a concebir una propuesta ajustada a la planteada por Betancur *et al.* (2017) y Escobar *et al.* (2017). Varias consideraciones o premisas se plantean al respecto: i) deben diferenciarse zonas de recarga directa y zonas que aportan recarga vía flujos regionales; ii) deben tenerse criterios claros para tratar la condición de la recarga según la litología del medio asociado al acuífero, esto en consideración a que las rocas duras y las formaciones blandas (rocas sedimentarias y depósitos) tienen una respuesta estructural distinta por efecto de la acción de la geodinámica; iii) para las zonas de recarga directa deben existir criterios que evalúen mayor o menor importancia, según condiciones intrínsecas que determinen su magnitud (Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2018).

Recarga directa

Las zonas de recarga directa son consideradas como áreas de alta importancia para la entrada de agua en un sistema acuífero, ya que en un evento de precipitación el flujo desde la superficie hacia el acuífero es vertical y es más rápido que los flujos de carácter

regional. Según varios autores (Chachadi, 2015; Arévalo & Carrillo, 2013; Yeh *et al.*, 2016; Deepa *et al.*, 2016) la cantidad de agua proveniente de recarga directa depende generalmente de los siguientes factores: distribución de la red de drenaje, características litológicas, pendiente del terreno, condiciones texturales del suelo, capacidad de infiltración, uso y cobertura del suelo, lineamientos de las estructuras geológicas entre otros. De manera preliminar se han establecido dos categorías de importancia en términos de la recarga directa, estas se sustentan en las condiciones texturales del suelo; para suelos con textura arenosa a limoarenosa se concibe un potencial de recarga directa alto, para suelos limoarcillosos la jerarquía que se asigna es media (Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2018). Cabe señalar que cuando se registran alteraciones en el suelo que generan compactación o impermeabilización se alerta sobre la pérdida de la propiedad de recarga.

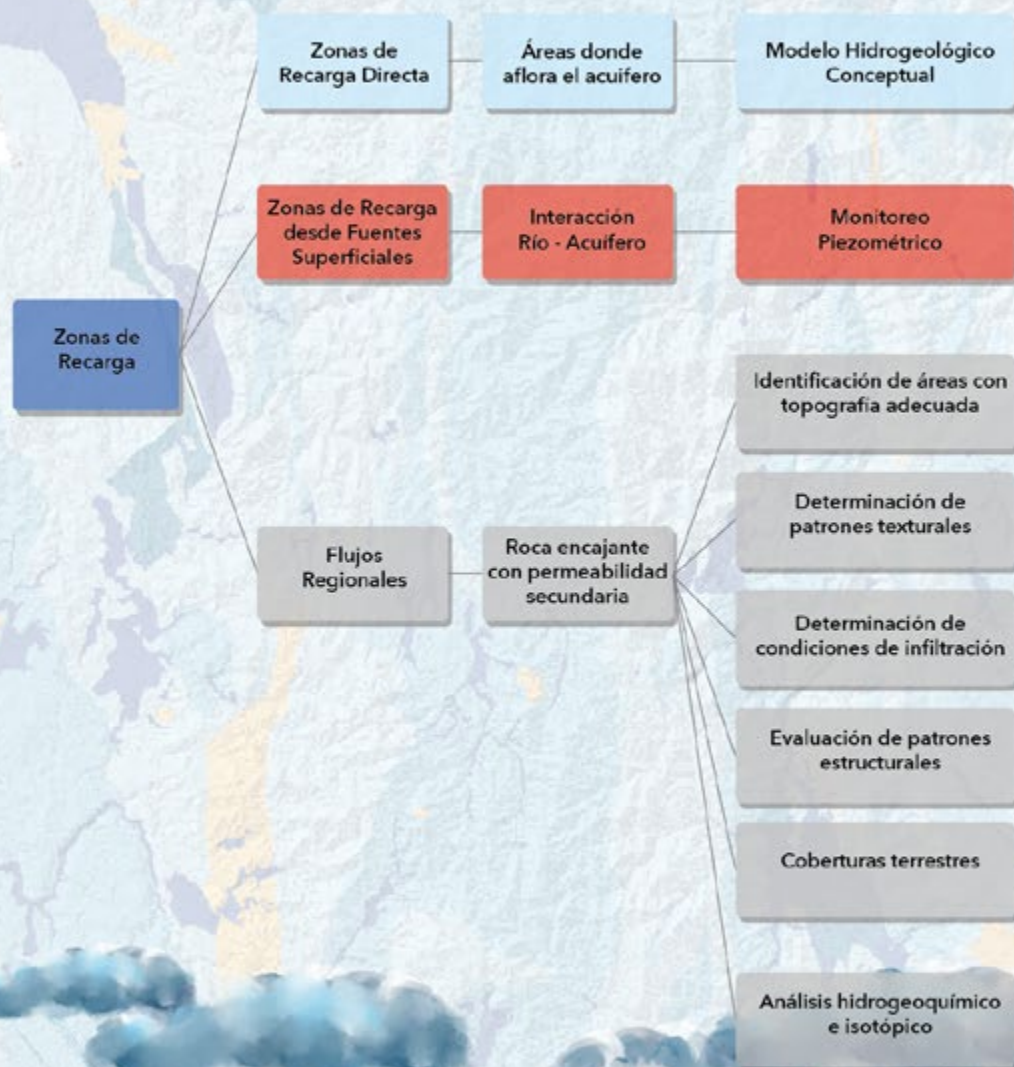
Recarga asociada a sistemas de flujo

Además de las zonas de recarga directa y de los lugares de interacción agua superficial-agua subterránea que direccionan el flujo hacia los acuíferos, los sistemas regionales constituyen posibilidades de aportes de agua según la incidencia relativa —que se traduce en una diferenciación ponderada de pesos— de factores como: condiciones topográficas, patrones estructurales de la roca, características texturales del suelo, capacidad de infiltración y coberturas terrestres.

Los pesos ponderantes de cada parámetro, definidos mediante la consulta a expertos, inciden luego en la calificación de cada uno, según una calificación asignada en virtud de la importancia que la heterogeneidad del sistema imprima al medio, para facilitar o inhibir la infiltración que se convertiría en recarga.

De acuerdo con la última evaluación, llevada a cabo desde la Universidad de Antioquia en 2020, se encontró que, de acuerdo con los expertos, el factor que tiene mayor incidencia en la recarga es la topografía (0,34), seguido de la tasa de infiltración (0,27), luego de las características texturales (0,17); las coberturas terrestres (0,12) y las características de la roca según su estructura (0,1) son las variables que tienen un peso menor.

LAS ZONAS DE RECARGA SON ÁREAS A PROTEGER



ZONAS DE RECARGA DIRECTA CALIFICACIÓN GENERAL: 5

TEXTURA DEL SUELO	CATEGORIZACIÓN
Arenosa a limo arenosa	Alta
Limo-arcillosa	Media

ZONAS DE RECARGA: SISTEMAS DE FLUJO $IFR = 0,34T + 0,27I + 0,17PT + 0,12CT + 0,10E$

RANGO	CALIFICACIÓN	CATEGORIZACIÓN
1-2	1	Importancia muy baja
2-3	2	Importancia Baja
3-4	3	Importancia Media
4-5	4	Importancia Alta

FACTOR	PESO OBTENIDO	CONDICIÓN	CALIFICACIÓN
Áreas con Topografía Adecuada (T)	0,34	$TA = 1 + \frac{f \times (90 - T)}{90}$	
Condiciones de Infiltración (I)	0,27	0-0,004	1
		0,004 a 1,52	3
		1,52 a 5,08	5
		5,08 a 50,8	5
		>50,8	5
Patrones Texturales (PT)	0,17	Grava	5
		Arena, Grava-arenosa	5
		Arena fina, Arena-limosa	5
		Limo, limo-arenoso, arcillo-arenoso	3
		Arcilla	1
Coberturas Terrestres (CT)	0,12	Tejido Urbano,	1
		Zonas industriales o de extracción minera	1
		Zonas abiertas sin o con poca vegetación	1
		Áreas pantanosas y húmedas	1
		Pastos	2
		Zonas agrícolas	3-4
		Bosques o zonas de vegetación herbácea o arbustiva	3-5
Condiciones Estructurales (E)	0,10	Depósitos o formaciones blandas afectadas estructuralmente	5,0
		Dirección de buzamiento favorable (por lo menos una familia) en dirección del flujo subterráneo marcado por la superficie piezométrica.	3,5 - 5,0
		Dirección buzamiento favorable a una unidad geológica con potencial acuífero medio.	1,5 - 3,0
		Familias de diaclasas sin actitud favorable	1,0



Para la valoración de cada uno de los factores determinantes en la evaluación de flujos regionales se establece una escala de calificación entre 1 a 5, siendo 1 la calificación asignada a las condiciones menos favorables y 5 la calificación para las condiciones que más contribuyen a la recarga.

La categorización de las zonas de recarga se hace a partir de la suma ponderada de los parámetros propuestos. Se calcula, entonces el Índice de recarga por Flujos Regionales IFR según la siguiente expresión

$$IFR=0,34(T)+0,27(I)+0,17(PT)+0,12(CT)+0,10(E)$$

Dónde: T es la topografía; I es la infiltración; PT son los patrones texturales; CT las coberturas terrestres; E las estructuras.

De acuerdo con el resultado se categorizan zonas de recarga indirecta de importancia alta, media, baja o muy baja.

• CATEGORIZACIÓN DE LAS CALIFICACIONES PARA CADA VARIABLE

Rango	Calificación	Categorización
1-2	1	Importancia muy baja
2-3	2	Importancia baja
3-4	3	Importancia media
4-5	4	Importancia alta
-	5	Directa

Según Rahardjo *et al.* (2007), Kima *et al.* (2004) y Ng & Shi, (1998) en superficies inclinadas con ángulos de hasta 60° puede darse la infiltración del agua. Basándose en esta idea se asume que, para el factor topografía, la calificación de 5 corresponde a ángulos de pendiente de 0°, y una calificación igual a 1 para ángulos que definen pendientes que se aproximan a la vertical. Mediante la relación TA (Topografía Adecuada) se calcula la calificación según el valor del ángulo (Y) entre 0° y 90°

$$TA=1+(4\times(90-Y))/90$$

Con información regional de direcciones de rumbo y buzamiento de sistemas de diaclasas en rocas duras, presencia de fallamiento y dirección de foliación en las rocas metamórficas, se determina el criterio de clasificación que busca categorizar las unidades litológicas en función de la mayor o menor permeabilidad secundaria que puedan adquirir. A las unidades (formaciones blandas) que poseen permeabilidad primaria se les asigna 5.0 como calificación estructural.

La textura del suelo se encuentra directamente relacionada con la porosidad eficaz, la cual depende del tamaño de las partículas y del tiempo de transporte para los materiales más fino-granulares. Dado que, en el desarrollo de un perfil de meteorización, la presencia de altos porcentajes de grava es poco probable, la calificación de análisis textural asignaría a las arenas con partículas fino-granulares la calificación de 3; y a las arcillas de 1.

Con respecto a la infiltración se asigna una calificación de 5 a aquellas unidades que presenten una velocidad de infiltración superior a 1,52 cm/h, 3 a las unidades que tengan una velocidad entre 1,52 y 0,004 cm/h y, 1 a aquellas que sean inferiores a 0,004 cm/h.

La cobertura vegetal, permite un mayor contacto del agua con el suelo, disminuye la escorrentía, la erosión y el impacto del agua de la precipitación en superficie, todos ellos elementos que favorecen la recarga (Yeh *et al.*, 2015; Báez *et al.*, 2019; Cerron *et al.*, 2019). El drenaje vertical regula el flujo del agua del suelo que fluye hacia el nivel freático; este flujo en presencia de una cobertura vegetal adecuada regula los caudales en épocas de eventos extremos de pluviosidad o sequía. Considerando el comportamiento y las comparaciones, encontradas de diversas coberturas, en relación a la regulación hídrica (infiltración, percolación) se establece la calificación correspondiente, con valores entre 1 y 5.

HIDROGEOQUÍMICA E ISOTOPÍA, BASES PARA VERIFICACIÓN DE MODELOS HIDROGEOLÓGICOS

El modelo —o representación simplificada— del sistema hidrogeológico se logra a partir de una serie de registros tomados en campo, de procedimientos realizados en oficina, de cálculos efectuados mediante programas de modelación, siempre bajo criterios metodológicos establecidos por las ciencias del agua y de la tierra. La consolidación de esos modelos puede lograrse mediante la realización de pruebas de validez y verificación, entre las cuales la evaluación de la naturaleza química e isotópica del agua subterránea y la relación de ellas con la lluvia y las fuentes superficiales, son de marcada relevancia. De esta forma, la química y la hidrología isotópica constituyen dos herramientas para el fortalecimiento del conocimiento de las aguas subterráneas:

- La composición química del agua subterránea es el resultado combinado de la composición del agua que ingresa al acuífero y sus reacciones con los minerales presentes en la roca a través de la cual circula y en contacto con la que ha estado almacenada o, con sustancias contaminantes que afectan su calidad (Appelo y Postma, 1994).
- La materia, es decir todas las sustancias que existen en estado sólido, líquido o gaseoso tienen una naturaleza química determinada por los elementos que la conforman; de otra parte, la forma general de todo elemento se representa por un átomo. Los átomos de cada elemento se caracterizan por tener un núcleo con cierta cantidad de cargas positivas —a las que se llama protones y un conjunto de igual número de electrones— o —cargas negativas— orbitando alrededor. Además de los protones y los

electrones, —entre otras partículas subatómicas— se cuentan los neutrones. La suma de protones y neutrones determinan la masa atómica. A los átomos de un mismo elemento que tienen diferente masa, porque la cantidad de neutrones puede variar, se les denomina isótopos. Normalmente hay un tipo de átomo que es más abundante en la naturaleza y otros isótopos que se encuentran en proporciones significativamente menores. La molécula del agua H_2O está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Dependiendo del número de neutrones un hidrógeno puede tener una masa atómica de 1, 2 o 3; en el oxígeno puede ser 16, 17 o 18. Casi todas las moléculas de H_2O tienen una masa de 18, pero dependiendo del tipo de isótopos que puedan combinarse en ellas pueden llegar a pesar más.

En el campo de la hidrogeología las diferencias en la composición química e isotópica del agua se han usado para marcar la infiltración del agua subterránea, reconocer el goteo entre acuíferos, definir áreas de intrusión marina, evaluar aportes de flujo base hacia corrientes superficiales e investigar condiciones de recarga a través de la zona no saturada (Aggarwal *et al.*, 2005).

Hidrogeoquímica

Los procesos que afectan la composición química del agua subterránea comprenden la evaporación-evapotranspiración, la toma selectiva de iones por las plantas, la decadencia de la materia orgánica, la meteorización y disolución de minerales, la precipitación de sustancias en suelos y acuíferos, las reacciones de intercambio iónico, los procesos de oxidación-reducción, los procesos de mezcla de aguas de diferente origen y la actividad antrópica (Appelo y Postma, 1994).

Considerando a la precipitación como primera fuente de entrada a los sistemas hidrogeológicos, es necesario evaluar la composición de la lluvia, determinada por la fuente de vapor de agua, por los iones adquiridos por él durante el transporte a través de la atmósfera y la disolución de gases. El océano es la fuente de cerca del 30 % de la

precipitación continental, cerca de la costa la composición de la lluvia es cercana a la del agua de mar y a medida que la distancia a la costa aumenta, la concentración de iones —directamente derivada del agua de mar— decrece. La disminución o aumento de iones en la lluvia se refleja por cambios en la relación con respecto al agua de mar y puede expresarse, especialmente para los compuestos conservativos, como un factor de fraccionamiento (Apello y Postma, 1994).

La evapotranspiración ocasiona concentración de iones en el agua a infiltrarse y, durante este proceso, a través del suelo, el agua adquiere su principal marca química. En el acuífero el tiempo de residencia varía y la evolución del agua, depende de los minerales con los que esté en contacto y del tiempo de residencia que, a la vez, está relacionado con la velocidad del flujo.

La química del agua subterránea tiene como principal propósito el trazar el origen y la historia del agua. Para llevar a cabo esa interpretación se requieren datos de parámetros tales como temperatura (T), pH, conductividad y Eh; se precisa conocer la concentración de los iones mayoritarios: sodio (Na_+), potasio (K_+), calcio (Ca_{2+}), magnesio (Mg_{2+}), bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-) y nitratos (NO_3^-); se obtienen argumentos adicionales a partir del conocimiento de la presencia de compuestos minoritarios, trazas, compuestos microbiológicos, orgánicos y volátiles. En ocasiones, la presencia de algunos compuestos dan indicios de contaminación del agua por efecto de actividades humanas.

Condicionadas por la naturaleza del medio sólido (geología), que determina la solubilidad y abundancia de elementos químicos, y el tiempo de reacción, en términos generales, las aguas subterráneas empiezan siendo, según la concentración de aniones (iones con carga negativa), bicarbonatadas, luego sulfatadas y finalmente cloruradas y, de acuerdo con los cationes (iones con carga positiva), cálcicas, magnésicas y después sódicas (Apello y Postma, 1994).

La teoría del equilibrio químico y la investigación de los procesos de óxido-reducción, junto con la evaluación de la cinética de las reacciones, que dependen de la velocidad de flujo y el tiempo de residencia del agua, se han constituido durante el último siglo en herramientas que contribuyen enormemente a la comprensión de los procesos hidrogeológicos (Glum y Plumer, 2005).

Hidrología isotópica

La hidrología isotópica se define como la disciplina que se ocupa de las investigaciones isotópicas para resolver un amplio espectro de problemas hidrológicos, relacionados con los recursos superficiales y subterráneos y los estudios ambientales en los sistemas hidro-ecológicos (Aggarwal *et al.*, 2005).

Si bien las primeras bases teóricas de la isotopía y su posible aplicación en hidrología, se aportaron desde los años veinte (Aggarwal *et al.*, 2005), el uso de herramientas isotópicas y técnicas nucleares en estudios del ciclo hidrológico empezó a crecer durante los años que siguieron a la segunda guerra mundial, a partir del monitoreo del tritio incorporado a la atmósfera desde las explosiones termonucleares y del uso de radioisótopos como herramienta de datación en geología. Ha sido la Sección de Hidrología Isotópica, del Organismo Internacional de Energía Atómica —OIEA— el ente que ha servido como catalizador para la maduración de esta disciplina.

El uso de trazadores isotópicos, principalmente radioactivos, inyectados artificialmente al sistema hidrológico para evaluar parámetros de su dinámica, involucra una serie de inconvenientes relacionados con aspectos legales y éticos (Maser y Rauter, 2005). Pero es que, como se indicó arriba, la propia molécula de agua, involucra dentro de su estructura química isótopos de un mismo elemento, se abre entonces la posibilidad de utilizar estos isótopos ambientales, estables y radiactivos, como “trazadores” naturales de la ruta del agua en el ciclo hidrológico.



UNA HISTORIA CONTADA POR LOS ELEMENTOS QUÍMICOS Y SUS ISÓTOPOS

Isótopos ambientales, estables y radioactivos



Abundancia relativa de isótopos ambientales utilizados en hidrología

Isótopos del carbono

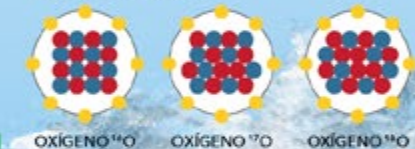


Isótopos del hidrógeno



● Neutrón
● Protón
● Electrón

Isótopos del oxígeno



Condensación

-120‰ -15‰
 $\delta^{18}\text{O}$ $\delta^2\text{H}$

Precipitación

Escorrentía

$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$
Recarga

- 1 Concentración
- 2 Disolución Precipitación Intercambio Iónico Reacciones redox Sorción
- 3 Disolución de gases

Fraccionamiento químico e isotópico

Gases polvo y aerosoles atmosféricos

-70‰ -10‰
 $\delta^{18}\text{O}$ $\delta^2\text{H}$

Precipitación

-30‰ -5‰
 $\delta^{18}\text{O}$ $\delta^2\text{H}$

Evaporación

Agua de mar 0‰ 0‰
 $\delta^{18}\text{O}$ $\delta^2\text{H}$
Intrusión salina

Evaporación

Transpiración

-7‰ -17‰
 $\delta^{18}\text{O}$ $\delta^2\text{H}$

Escorrentía

$\text{HCO}_3^- - \text{Mg}$

$\text{HCO}_3^- - \text{Ca} - \text{Mg}$

-120‰ -15‰
 $\delta^{18}\text{O}$ $\delta^2\text{H}$

Aguas Subterránea

Aunque la mayoría de los elementos presentes en sistemas acuíferos tienen algún isótopo, solo los que se encuentran en mayor cantidad como H, C, N, O y S, son de interés hidrogeológico. Los isótopos pueden permanecer invariables en el tiempo, estos son los que se denominan estables; sin embargo, en otros, se presenta desintegración y transformación a partir de procesos naturales que se dan en los núcleos atómicos, estos son los isótopos radioactivos. Dentro de los isótopos estables los más utilizados son los de los elementos que conforman la molécula de agua, es decir, los isótopos de H y O, particularmente el deuterio (D o $2H$) y el $18O$; los isótopos radioactivos más frecuentemente usados son $14C$ y el tritio $3H$ con tiempos de vida media de 5.730 y 12,43 años respectivamente.

Es bien sabido que la mayor fuente de vapor de agua para la precipitación proviene del océano; cuando la masa de vapor se desplaza hacia el continente se fracciona teniendo cada vez más moléculas livianas y quedando atrás las más pesadas, también cuando el vapor de agua asciende en la atmósfera las moléculas más livianas logran mayor altura; procesos como estos determinan que las nubes que se condensan, a diferente distancia y distinta altura en relación con el mar, generen lluvias que en cada sitio van ganando una naturaleza o marca isotópica que se convierte en una especie de huella que permite caracterizar y diferenciar las lluvias en distintos lugares de la geografía. De esta forma, reuniendo miles de datos de todo el mundo, se ha establecido una relación entre el contenido de los átomos de H y O, que se representa por una fórmula lineal a la que se le llama Línea Meteórica Global —LMG—. Las particularidades físicas y meteorológicas de cada región dan origen a Líneas Meteóricas Locales —LMLs—, útiles para describir dinámicas de sistemas hidrológicos a mayor escala, si se considera a la precipitación como una entrada a ellos (Aggarwal *et al.*, 2005).

Luego de la precipitación y mientras el agua esté en contacto con la atmósfera puede producirse evaporación, perdiéndose parte de los isótopos más livianos (es decir, el agua queda enriquecida en isótopos pesados); pero cuando el agua lluvia se infiltra y recarga los acuíferos, conserva la huella isotópica y de esta forma es posible rastrear las rutas que sigue en el mundo subterráneo; mediante la comparación de los análisis isotópicos de la lluvia y del agua subterránea es posible identificar las zonas de recarga directa y las zonas de recarga indirecta de los acuíferos, aun cuando estas estén a grandes distancias o a distinta altura.

Para determinar la edad de sustancias y objetos que trascienden en tiempo la escala de la vida humana se pueden utilizar los isótopos radioactivos. Para cada uno de esos elementos el tiempo de transformación está determinado por un período que se llama tiempo de vida media; transcurrido ese intervalo del elemento inicial quedará la mitad de la cantidad que había al inicio del período y se tendrá esa cantidad del nuevo átomo. La relación entre los dos permite calcular cuanto (y cuantos ciclos) se ha desintegrado y por lo tanto cuantos años han transcurrido. El tritio $3H$ es un isótopo radioactivo que puede estar en la molécula de agua, su tiempo de vida media es de 12,43 años, su presencia en la lluvia se incrementó con los ensayos nucleares de los años 50; desde ese entonces hasta la fecha ha transcurrido un tiempo suficiente para que la presencia de tritio en el agua haya decaído a niveles mínimos, más aún si se tiene en cuenta que por acuerdo internacional entre países de Naciones Unidas, esos ensayos han cesado. El carbono de masa 14 - $14C$ - es también radioactivo y tiene un tiempo de vida media de 5.730 años y puede estar disuelto en el agua subterránea, mediante su análisis se pueden datar aguas que fueron recargadas y están residiendo en el acuífero desde hace miles de años.



AVANCES EN EL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Ítem	Subítem	Valle de Aburrá			Bajo Cauca			Oriente		Magdalena Medio			Occidente	Urabá		Suroriente
		Acuífero libre	Acuífero semi-confinado	Acuífero confinado de arenitas	Acuífero libre del Bajo Cauca U123	Acuífero U4	Acuífero Confinado Pericari U5	Acuífero libre	San José/Valle	USAP (Acuífero libre de alta productividad)	USCAP (Acuífero semi-confinado de alta productividad)	Puerto Triunfo	U1, U2, U3, U4 y U5	Acuífero multilógico	Acuífero libre del Urdinola Antioqueño	U1, U2, U3, U4 y U5
Municipios asociados	Medellín															
	Envigado, Tagua, La Roca, Antioqueño, Calles, Bello, Copacabana, Suroeste, Suroriente															
Geomorfología	Geología															
	Registros de perforación															
	Geología															
	Geomorfología															
	Geomorfología															
Análisis hidrogeológico	Análisis hidrogeológico															
	Análisis estructural															
	Análisis de infiltración															
	Geomorfología															
	Geomorfología															
Red de Riego	Red de riego															
	Red de riego															
	Red de riego															
	Red de riego															
	Red de riego															
Propiedades hidrogeológicas	Propiedades hidrogeológicas															
	Propiedades hidrogeológicas															
Calidad del recurso	Calidad															
	Calidad															
Vulnerabilidad	Vulnerabilidad															
	Vulnerabilidad															
PMIA	PMIA															
	PMIA															
Nivel de conocimiento		10 x Suficiente	8 x Insuficiente	8 x Insuficiente	11 x Suficiente	8 x Insuficiente	8 x Insuficiente	11 x Suficiente	8 x Insuficiente	14 x Suficiente	14 x Suficiente	5 x Insuficiente	13 x Aceptable	13 x Suficiente	14 x Suficiente	10 x Aceptable

Acuíferos Libres

Acuíferos Confinados

Nivel de Conocimiento
Suficiente
Aceptable
Insuficiente
No explorado



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021



ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ANTIOQUIA

En Antioquia se han adelantado estudios hidrogeológicos en distintas fases y con diferente grado de avance; estos se han planteado por iniciativa de las Autoridades Ambientales y se han nutrido y complementado a través de proyectos de investigación desarrollados con la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional y la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Los acuíferos que han sido objeto de algún estudio en el departamento son: i) Eje Bananero de Urabá, ii) Bajo Cauca, iii) Magdalena Medio, iv) Occidente, v) Valle de Aburrá, vi) Oriente cercano y vii) Suroeste (Valparaíso-La Pintada). Entre 2020 y 2021 CORANTIOQUIA y la Universidad de Antioquia adelantaron un inventario de puntos de agua en la zona de influencia del bosque seco tropical del cañón del río Cauca, identificando varias unidades con potencial acuífero y estableciendo una priorización para su exploración; fue así como en 2021 se adelantó un nuevo estudio en el suroeste antioqueño, incluyendo el Miembro Superior de la formación Amagá y la formación Combia.

Dentro del estudio “Aguas Subterráneas en Colombia, una visión general” (IDEAM, 2013), se propuso una metodología para calificar el nivel de conocimiento de los sistemas hidrogeológicos según una valoración que se da a partir de la respuesta que se plantea a los siguientes criterios: i) definición de la geometría del acuífero, ii) caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (pH, CE, SDT), iii) existencia de un Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso

del agua subterránea según sectores económicos, iv) operación de un monitoreo sistemático, v) evaluación de vulnerabilidad intrínseca, vi) existencia de Plan de Manejo Ambiental de Acuífero. Cada uno de estos criterios es calificado en un rango de 1 a 3, según menor o mayor conocimiento. La suma de la calificación de las preguntas se sitúa en un rango de 6 a 18, con un significado que determina niveles de conocimiento suficiente (12-18), aceptable (9-11) o insuficiente (menor que 9).

En los numerales siguientes se presenta una síntesis del conocimiento de cada sistema hidrogeológico, sobre el cual se ha adelantado al menos un estudio en Antioquia.

Sistema hidrogeológico de Urabá

En el año 1994 el INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano) elaboró el primer modelo hidrogeológico conceptual de Urabá; en él se definió un acuífero libre (Qal), un acuitardo (T2A), un acuífero confinado (T2B) y un basamento (T2C). En 2014 se retomó nueva información recopilada por CORPOURABA, correspondiente a nuevos sondeos geofísicos y registros de perforación, y se ajustó un nuevo modelo hidrogeológico, para el denominado Eje Bananero del Urabá Antioqueño, el cual será presentado en este manuscrito (Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2014).

• EJE BANANERO DE URABÁ

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
Evidency4police	Universidad de Antioquia.	Universidad de Antioquia, UNESCO IHE.	2021
Tesis de doctorado: <i>Usando múltiples trazadores para comprender el funcionamiento de acuíferos freáticos heterogéneos en zonas húmedas tropicales: caso del golfo de Urabá, Colombia.</i>	Campillo Pérez, A.	Universidad de Antioquia.	2020
<i>Plan de Manejo Ambiental de Acuífero Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA.	2019
<i>Definición de medidas para la explotación y control de la contaminación de las aguas subterráneas en el sistema acuífero del golfo de Urabá. Convenio de cooperación Número 200-10-01-02-0126-2018.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA.	2019
Tesis de maestría: <i>Modelo conceptual de la recarga de aguas subterráneas en el nivel somero del sistema hidrogeológico golfo de Urabá, evaluando su magnitud y variabilidad espacio-temporal.</i>	Bastidas Osejo, B.	Universidad de Antioquia.	2019
<i>Delimitación de las zonas de recarga del sistema acuífero y fortalecimiento de la mesa de trabajo —MACURA—.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA.	2018
Tesis de maestría: <i>Modelo conceptual de funcionamiento hidrológico del sistema acuífero-humedal.</i>	García Giraldo, D.	Universidad de Antioquia.	2018
Tesis de maestría: <i>Nivel de fondo natural para un sistema acuífero. Caso de estudio: Urabá antioqueño.</i>	Ossa Valencia, J.	Universidad de Antioquia.	2017
<i>Evaluación de servicios ecosistémicos en sistemas de transición acuífero-humedal, incorporando los efectos de procesos de alteración a su dinámica natural.</i>	Arana, V.	Universidad de Antioquia, CORPOURABA, COLCIENCIAS.	2017
Tesis de maestría: <i>Modelación multi-escala del flujo de aguas subterráneas en medios hidrogeológicos complejos. Sistema acuífero del eje bananero del Urabá antioqueño.</i>	Duque, J. C.	Universidad de Antioquia.	2017
Tesis de maestría: <i>Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.</i>	Pineda Zapata, L.	Universidad de Antioquia.	2017

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
Tesis de maestría: <i>Propuesta metodológica para la caracterización de conflictos uso del suelo-agua subterránea orientada al manejo ambiental de sistemas acuíferos y su aplicación a un caso de estudio.</i>	Cardona Pérez, A.	Universidad de Antioquia.	2017
<i>Análisis y valoración de los servicios ecosistémicos de humedales asociados al río León (Urabá antioqueño – Colombia), su relación con el sistema hídrico subterráneo y con el bienestar humano.</i>	Arana, V.	Universidad Nacional de La Plata, Universidad de Antioquia y CORPOURABA.	2016
<i>Estudio isotópico de los acuíferos del golfo de Morrosquillo y el golfo de Urabá, Colombia.</i>	Universidad de Antioquia.	Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), CORPOURABA, CARSUCRE.	2014
<i>Actualización del modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero del Urabá antioqueño.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA.	2014
<i>Estudios hidrológicos y modelación hidráulica de los ríos Chigorodó y Currulao. Delimitación de la ronda hídrica.</i>	Universidad Nacional de Colombia.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, CORPOURABA.	2014
<i>Diagnóstico participativo de los humedales asociados al río León y la Ciénaga de Tumaradó.</i>		INER, CORPOURABA.	2014
<i>Planes municipales integrales sistema urbano central.</i>	Universidad EAFIT.	Gobernación de Antioquia.	2014
<i>Assessing the hydrochemistry of the Urabá Aquifer, Colombia by principal component analysis.</i>	Villegas, P.P., Paredes, V., Betancur, T., Ribeiro, L.		2013
<i>Definición de criterios de actuación estratégica para el desarrollo territorial de Urabá (Fase II) – Informe final.</i>	Universidad EAFIT.	Gobernación de Antioquia.	2013
<i>Investigación aplicada sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para la gestión de territorio en el Urabá antioqueño.</i>		Instituto para el Desarrollo de Antioquia -IDEA & Instituto Humboldt.	2013
Tesis de maestría: <i>Caracterización isotópica del acuífero del golfo de Urabá, utilizando 2 H, 18 O, 14 C Y 13 C.</i>	Villegas Yepes, P.	Universidad de Antioquia.	2013
<i>Consultoría para delimitar los humedales asociados al río León en el área de influencia de los municipios de Apartadó, Carepa, Chigorodó y Turbo, a través de técnicas que permitan modelar la función, estructura y composición de los humedales y evaluar la magnitud del daño generado por las modificaciones en el paisaje y en el cambio de uso del suelo a una escala 1:25.000.</i>	Universidad de Medellín.	CORPOURABA.	2012

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Proyecto Integral Regional para el Desarrollo de Urabá. - Urabá: un mar de oportunidades.</i>		Gobernación de Antioquia.	2012
<i>Evaluación del peligro potencial de contaminación de las aguas subterráneas por agroquímicos.</i>	Vargas, M.	CORPOURABA.	2011
<i>Evaluación hidrogeoquímica del acuífero del golfo de Urabá.</i>		Universidad de Antioquia, CORPOURABÁ.	2010
<i>Susceptibilidad a la contaminación salina del acuífero costero del eje bananero de Urabá (golfo de Urabá) con técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas.</i>	Paredes, V.	Universidad de Costa Rica.	2010
<i>Modelación del comportamiento hidrológico de tres cuencas en el Urabá antioqueño.</i>	Amaya, G. Restrepo, C. Vélez, M.V. Vélez, J.I. Álvarez, O.D.		2009
<i>Planes de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca –POMCA– de los ríos Apartadó (2005), Carepa (2009), Chigorodó (2009) y Turbo (2009).</i>		CORPOURABA.	2009
<i>Construcción de la red de piezómetros para el monitoreo de la cuña salina como apoyo al proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas.</i>	Jarma, T.	CORPOURABA.	2007
<i>Realización de sondeos eléctricos verticales en la zona costera del acuífero del Eje Bananero.</i>	Cárdenas, E.	CORPOURABA.	2006
<i>Aplicación y comparación de las metodologías GOD y DRASTIC para la evaluación de la vulnerabilidad en el acuífero libre de Urabá.</i>	Orozco, A. y Betancur, T.	Universidad de Antioquia.	2003
<i>Tesis de maestría: Aplicación y comparación de las metodologías God y Drastic para la evaluación de la vulnerabilidad en el acuífero libre de la región de Urabá, utilizando sistemas de información geográfica</i>	Orozco, A.	Universidad de Antioquia.	2003
<i>Caracterización hidroquímica y bacteriológica de las aguas y actualización del inventario de pozos profundos.</i>		Alcaldía de Apartadó, CORPOURABA.	2002
<i>Monitoreo de los niveles freáticos estacionales y de la calidad físico-química de las aguas subterráneas en el Urabá antioqueño.</i>	Naranjo, L.	CORPOURABA.	1998
<i>Tesis de maestría: Modelamiento de acuíferos para la zona de Urabá utilizando sistemas de información geográficos.</i>	Betancur, T.	Universidad Nacional Sede Medellín.	1996
<i>Evaluación hidrogeológica en el Urabá antioqueño.</i>		INGEOMINAS.	1995
Más de 30 artículos		Universidad de Antioquia.	1996 - 2022

Con una extensión aproximada de 1.206 km², el área del sistema de aguas subterráneas explorado limita al oriente con las serranías de Abibe y Las Palomas, al norte con el litoral del mar Caribe, al occidente con el golfo de Urabá y al sur con el río León.

El clima de la región está determinado por su ubicación en la Zona de Convergencia Intertropical —ZCIT—, con una precipitación media anual que oscila en sentido norte-sur entre 2.100 y 3.800 mm/año, existe una temporada húmeda entre abril y noviembre y una temporada seca entre diciembre y marzo.

• Geología

En la región de Urabá se registran —sobre un basamento más antiguo— rocas sedimentarias del Neógeno, pertenecientes a las formaciones Pavo y Arenas Monas y la formación Corpa, y depósitos aluviales, fluvio-lacustres, fluviomarinos y marinos del Cuaternario.

La formación Pavo (Ngpv), que constituye mediante estructuras sinclinales los cerros más elevados, tiene un espesor variable, entre 4.310 m —cerca al río Turbo— y 9.000 m —en el carreteable Turbo-El Alto-Valencia—. El contacto superior con la formación Corpa es fallado, a través de la falla de Apartadó.

La formación Arenas Monas (Ngam) está constituida de base a tope por limolitas arcillosas de color gris claro que gradan a arenitas de grano muy fino dispuestas en capas medias a gruesas que son suprayacidas por litoarenitas de grano fino que gradan a conglomerados de guijos finos y medios.

La formación Corpa (Ngco) fue dividida por INGEOMINAS en tres subunidades, designadas informalmente como T2A, T2B y T2C. T2A está conformado por areniscas de grano fino a medio; el espesor de este conjunto en el sector de Carepa -El Roble alcanza los 165 m. La subunidad T2B posee capas de arenisca y conglomerado; en el sector de Carepa alcanza espesores de 210 metros. T2C está conformado por lodolitas, intercaladas con capas discontinuas de conglomerados, el espesor de este conjunto en el sector de El Tres - El Alto es de 115 metros.

El Cuaternario en la región de estudio, está representado por terrazas aluviales relacionadas a los ríos Chigorodó, Carepa, Apartadó, Grande y Currulao; a los pequeños abanicos aluviales de los ríos El Tres y Turbo, y a la gran llanura aluvial de Mutatá -Turbo.

• Unidades hidrogeológicas

El sistema hidrogeológico del Eje Bananero comprende un acuífero libre y un sistema confinado de carácter multicapa; este tipo de sistemas está constituido por una serie alternada de capas permeables, semipermeables e impermeables; a esta caracterización se llegó siguiendo criterios de correlación litológica e hidroestratigráfica, en los que se reunió información procedente de 103 registros de perforación y 202 sondeos geofísicos. En la unidad libre predominaría la presencia de material arcilloso, cubriendo el 62 % del total del área, mientras que las arenas finas a medias comprenderían 29 % y las arenas gruesas y gravas el 9 %. El espesor del acuífero libre oscila entre 10 y 40 metros.

Con respecto a la profundidad del basamento se encontró que los menores valores se registran hacia la serranía de Abibe, mientras los sectores con profundidades cercanas a los 200 m se encuentran en el norte, entre los ríos Turbo y Currulao; y hacia el sur, en una franja que cubre la parte central de esta zona, en cercanías al río Carepa.

• Recarga

El balance hídrico por unidad de suelo, para el escenario seco, revela una recarga máxima cercana al 35 % de la precipitación. A partir del balance hídrico distribuido, para el año de 2017, la recarga real total se estima en promedio igual a 553 mm/año representando un 19 % de la precipitación, la recarga potencial directa se estima en promedio igual a 431 mm/año (Bastidas *et al.*, 2021).

Teniendo en cuenta la complejidad del sistema hidrogeológico de la región de Urabá para la delimitación de zonas de recarga se consideró pertinente y necesario hacer una diferenciación entre la recarga directa por percolación de excedentes de lluvia y aquella recarga que involucraría sistemas de flujo regionales y quizás goteo hacia los niveles más profundos desde las capas suprayacentes.

Para el acuífero somero se tuvo en cuenta la variabilidad textural de los niveles de suelo y de esa forma se realizó una priorización (jerarquización) de las zonas de recarga directa, diferenciando unas de mayor importancia y otras de menor importancia.

Para el sistema multicapa se identificaron las zonas donde los niveles profundos del sistema acuífero afloran en superficie (unidad geológica T2B), estas se clasificaron como zonas de recarga directa; para el resto de área se aplicó la metodología desarrollada por la Universidad de Antioquia (Betancur *et al*, 2017 y Escobar *et al* 2017) que tienen en cuenta 5 variables: topografía adecuada, condiciones texturales, capacidad de infiltración, aptitud estructural y presencia de manantiales. De esta forma se establecieron tres categorías de importancia de las zonas de recarga, asociadas a flujos regionales y efectos de goteo desde capas suprayacentes: alta, media y baja. Las zonas de recarga de importancia alta, están asociadas principalmente a las franjas de fracturamiento de las líneas de falla y plegamientos (sinclinales y anticlinales) y a los suelos con textura gruesa. Las zonas de recarga de importancia media se localizan principalmente en las estribaciones de la serranía y hacia el costado sur oriental de la zona de estudio, estas están asociadas principalmente a los suelos con texturas gruesas tipo arenas y gravas y a zonas de baja pendiente. El resto del territorio constituye zona de recarga de importancia baja; dentro de ella se clasifica toda el área suprayacida por el nivel somero del acuífero, y que para este último representa zona de recarga directa.

• Flujo de agua subterránea

Para el acuífero libre se sabe de la existencia de más de 9.000 aljibes, con profundidades que rara vez superan los 10 metros. A partir de información procedentes de medidores digitales de nivel de agua de precisión y campañas ocasionales de nivelación se definió el sistema de flujo, que mueve el agua en sentido Este-Oeste y Este-Noroeste.

Para el sistema confinado opera una red de monitoreo conformada por 90 pozos profundos y 44 piezómetros. La operación de la red de monitoreo hace posible realizar seguimiento de las oscilaciones del nivel piezométrico, tanto en condiciones naturales como por

efecto de la explotación del recurso. En general se puede observar que el flujo de agua va desde la serranía de Abibe hacia el cauce del río León en el centro y sur, y hacia el golfo de Urabá siguiendo una tendencia sureste-noroeste al norte; también se ha logrado identificar una divisoria de aguas subterráneas siguiendo una alineación suroeste-noreste a través de la zona al norte del aeropuerto del municipio de Chigorodó. Esta tendencia direcciona flujos subterráneos hacia el noroeste o hacia el suroeste (Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2014)

• Propiedades hidráulicas

Para el conocimiento de las propiedades hidráulicas del Acuífero Libre del Urabá antioqueño se dispone de los resultados de 10 ensayos *slug test* (Campillo, 2020). El rendimiento específico, calculado por Bastidas *et al.* (2019) presenta una variación entre 1,7 y 8,2% y la conductividad hidráulica registra valores entre 0,06 y 20,36 m/día

Para el sistema confinado se cuenta con información de 158 pruebas de bombeo. A partir de ellas se puede constatar cómo la conductividad hidráulica aumenta en sentido norte-sur, con mayor variabilidad en la zona sur. Los valores oscilan entre 3,4 m/día (norte), 4,2 m/día (centro) y 6,9 m/día (sur).

• Calidad del agua subterránea

Quizá el trabajo más completo en términos de la evaluación de la calidad del agua subterránea en Urabá ha sido el llevado a cabo por Ossa (2017), en el cual aplica una metodología novedosa en el país, consistente en determinar la línea base o el fondo químico natural —NFQ—, que corresponde a las concentraciones de un determinado elemento, especie o sustancia química presente en solución que es derivada de fuentes naturales, bien sean estas geológicas, biológicas o atmosféricas. La identificación de estos rangos se fundamentó en procedimientos estadísticos basados en una comprensión hidrogeoquímica del sistema. Los valores que se encuentran por encima de esas concentraciones de referencia permiten diferenciar entre la calidad natural y la calidad modificada por fuentes antrópicas, detectando procesos de contaminación que se presentan en el sistema.

Los parámetros que en mayor proporción sobrepasan el NFQ fueron potasio, calcio, hierro, sulfatos y nitratos para el nivel somero, y amonio, sulfato, nitratos y fosfato para el acuífero confinado multicapa.

Hay que señalar que en el sistema hidrogeológico de Urabá no se han registrado indicios de intrusión marina.

• Uso, oferta y demanda de agua subterránea

Los datos registrados en CORPOURABA dan cuenta de la existencia de más de 9.000 puntos de agua que captan el acuífero libre y no menos de 200 que extraen agua del acuífero confinado. El agua subterránea se utiliza para satisfacer necesidades de abastecimiento doméstico, servicio público de acueducto y de la agroindustria del banano y otros cultivos. Los volúmenes extraídos anualmente se han estimado en cerca de 24 millones de metros cúbicos (Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA, 2014).

A partir de los cálculos de recarga, para condición hidrológica seca, se puede estimar una disponibilidad anual del orden de 50 millones de metros cúbicos, si se considera un factor de extracción de 0,6 a dicha recarga. La relación entre estas magnitudes determina un nivel de escasez de 50%, valor que corresponde a una presión alta.

Es importante señalar que del seguimiento al monitoreo piezométrico se han identificado sectores en los que se registra disminución en los niveles.

• Hidrogeoquímica e isotopía

El nivel somero del sistema multicapa del Eje Bananero de Urabá, al cual se le ha dado el carácter de acuífero libre, registra un predominio de facies HCO_3^- .

$-\text{Ca}_{2+}-\text{Mg}_{2+}$, en aguas subterráneas con conductividad eléctrica mínimas de $180 \mu\text{S}/\text{cm}$ y promedio de $730 \mu\text{S}/\text{cm}$; la facies $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}_{2+}$ está asociada a conductividades del orden de $1.400 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $1.468 \mu\text{S}/\text{cm}$. Puntualmente se registran conductividades que superan los $2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, asociadas a facies $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$. El orden de evolución marcado por la variación en la conductividad se da desde el piedemonte de la serranía de Abibe hacia el oeste en la zona de humedales del río León.

La caracterización hidrogeoquímica de los niveles más profundos del acuífero cuenta con más de 780 análisis de muestras de agua. La distribución espacial de la CE muestra los mayores valores hacia la parte norte de la zona de estudio, sector hacia el cual se dirigen los flujos regionales y se presentan las menores conductividades hidráulicas, situación que, ante un gradiente hidráulico poco variable, origina un mayor tiempo de residencia del agua en el acuífero, lo que favorece el aumento en concentración de sales disueltas.

Respecto a la proporción relativa de los iones mayoritarios puede observarse que la mayoría de las muestras se encuentran en los grupos de las facies $\text{Ca}_{2+} - \text{Mg}_{2+} - \text{HCO}_3^-$ y $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$. La composición química del agua subterránea puede explicarse, inicialmente, por la combinación de procesos que incluyen disolución de carbonatos, silicatos, sulfuros y CO_2 edáfico, y por intercambio iónico (Ossa Valencia & Universidad de Antioquia, 2017).

Considerando la información de isótopos estables, obtenida de cuatro estaciones de precipitación, se ha obtenido la siguiente relación para describir la línea meteórica local: $\delta^2\text{H} = 8,03 \delta^{18}\text{O} + 10,3$

El agua subterránea presente en el acuífero freático del Golfo de Urabá, mostró en 2013 un valor medio de $-5,93 \text{‰}$ para el $\delta^{18}\text{O}$ y $-38,5 \text{‰}$ para $\delta^2\text{H}$.

El análisis de la naturaleza isotópica del agua subterránea para el acuífero confinado revela un empobrecimiento en el sentido de flujo, insinuando que las aguas almacenadas más lejos de las zonas de recarga llegaron al sistema bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales, lo que sugiere un largo tiempo de residencia en el ámbito subterráneo.

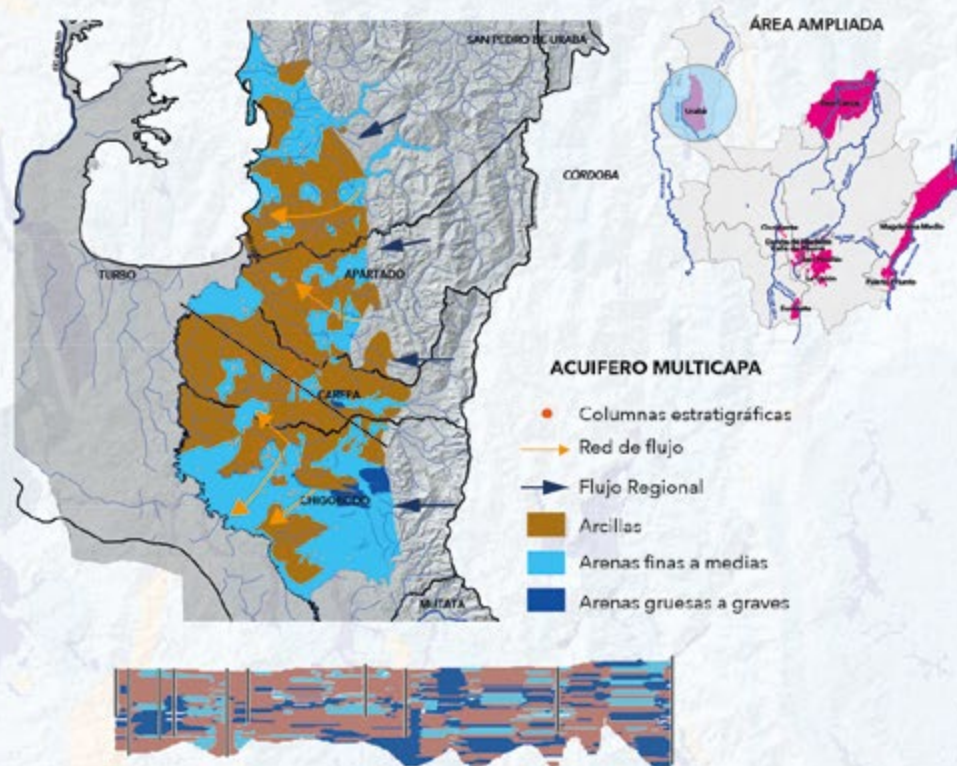
Ambos niveles: libre y confinado, han sido objeto de datación con ^3H y ^{14}C . Como dato relevante cabe señalar que las aguas más antiguas del sistema tendrían hasta 33.000 años. El análisis de 12 muestras para CFC's y SF6 (Campillo, 2020), tomadas al sur donde las concentraciones de ^3H son mayores, permitió validar el modelo conceptual de flujo del acuífero libre, e identificar cuantitativamente los procesos de mezcla.

• Vulnerabilidad, carga contaminante

La aplicación de la metodología DRASTIC para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero libre, arroja como resultado categoría extrema al suroeste del Eje Bananero, hacia el occidente de Chigorodó en cercanías del río León; la categoría alta está presente en diferentes sectores, principalmente en Chigorodó y al norte de Turbo; la valoración media se encuentra en algunos sectores ubicados al este de la zona de estudio en límites con las últimas estribaciones de la serranía de Abibe.

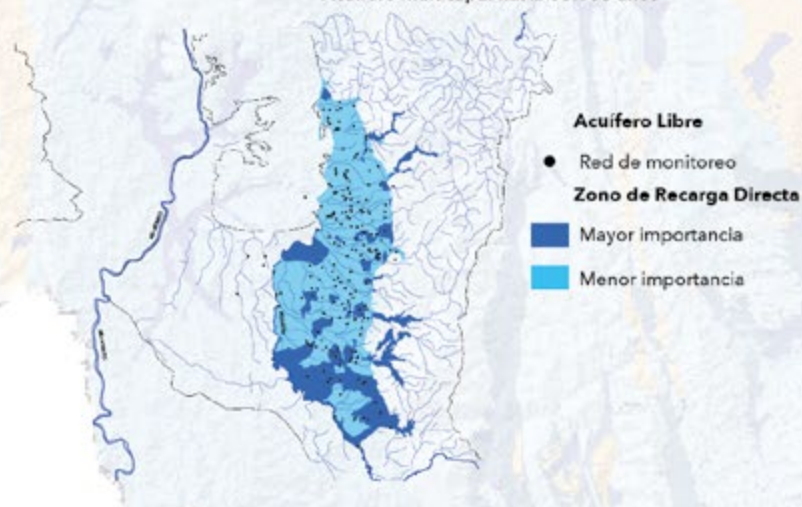
A partir de los resultados que se obtienen al aplicar la metodología GOD, para el acuífero confinado multicapa, se encuentra un grado de vulnerabilidad bajo allí donde el sistema estará cubierto por el acuífero somero y vulnerabilidad extrema en los polígonos donde aflora en superficie, al piedemonte de la serranía de Abibe.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL EJE BANANERO DE URABÁ



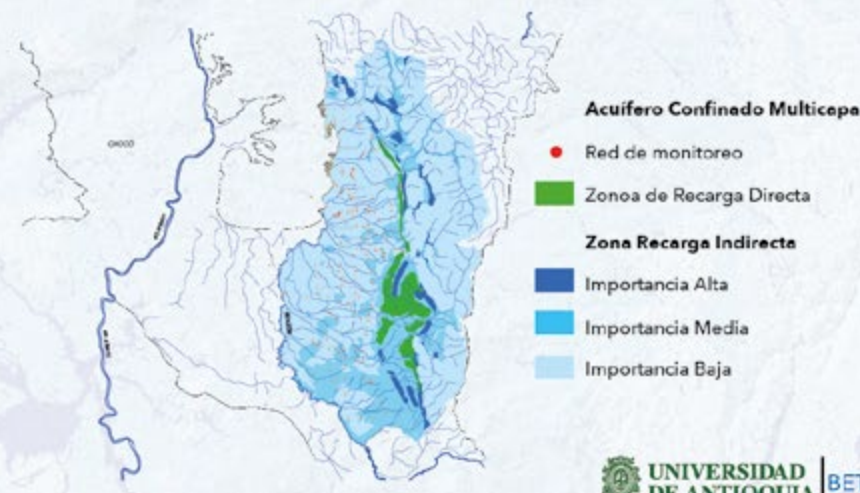
Línea Meteorica Local: $\delta^2H = 8,03\delta^{18}O + 10,3$

EDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA:
Acuífero Libre: Actual a mezcla
Acuífero Multicapa: hasta 33.000 años



Características	Acuífero Libre	Acuífero Confinado Multicapa
Generalidades		
Municipios asociados	Chigorodó, Carepa, Apartado y Turbo	
Geología	Depósitos aluviales, fluvio-lacustres, fluvio-marinos y marinos del Cuaternario.	Formación Cerezo (Ngca), dividida por INGEOMINAS en tres subunidades, designadas informalmente como T2A (arenas de grano fino a medio), T2B (capas de arenas y conglomerados) y T2C (bóditas, intercaladas con capas discontinuas de conglomerados).
Extensión	1.206 km ²	
Puntos de agua	Se estima que hay más de 9.000 pozos artesanales	Se tienen registrados cerca de 200 pozos profundos
Usos	Abastecimiento doméstico, agricultura	Servicio público de acueducto, agroindustria del banano y otros cultivos
Recarga		
Correlación estratigráfica	Se estableció a partir de 101 registros de perforación y 203 sondeos geofísicos. La profundidad del basamento es menor hacia la Serranía de Abibe, sectores con profundidades cercanas a los 200 m se encuentran en el norte, entre los ríos Turbo y Cumalao y hacia el sur, en cercanías al río Carepa.	
Balance hídrico	A partir del balance hídrico distribuido, para el año de 2017, la recarga real total se estima en promedio igual a 553 mm/año representando un 10% de la precipitación.	
Áreas de recarga		
Análisis textural	Variación especial entre limos arcillosos y arenas.	Predominan gravas y arenas.
Puebas de infiltración	Correlacionable con la textura. Varía especialmente de lento a rápido	Subrá.
Geomorfología	Plana	Rocas sedimentarias que han perdido consolidación por efectos estructurales.
Análisis estructural	No aplica (sedimentos blandos).	Las.
Delimitación de Áreas de Recarga	Para el acuífero somero se tuvo en cuenta la variabilidad textural de los niveles de suelo y de esa forma se realizó una priorización (jerarquización) de las zonas de recarga directa, diferenciando unas de mayor importancia y otras de menor importancia	Donde los niveles profundos del sistema acuífero afloran en superficie se delimitan zonas de recarga directa. También se establecieron tres categorías de importancia de las zonas de recarga, asociadas a flujos regionales y efectos de goteo desde capas superacuas: alta, media y baja.
Red de flujo		
Piezometría	A partir de información procedentes de 13 dives de precisión y 28 puntos de medición con sonda se definió el sistema de flujo, que mueve el agua en sentido Este-Oeste y Este-Noroeste	Con datos de 97 pozos y 44 piezómetros, se puede observar que el flujo de agua va desde la Serranía de Abibe hacia el cauce del río León en el centro y sur, y hacia el Golfo de Urabá; una división de aguas subterráneas sigue una alineación Sur-oeste-Noroeste al norte del aeropuerto del municipio de Chigorodó.
Pruebas de bombas	10 Slug test: conductividad hidráulica entre 0,06 y 20, 36 m/día	158 pruebas de bombas: conductividad hidráulica entre 3,4 m/día (norte), 4,2 m/día (centro) y 4,9 m/día (sur)
Hidrogeoquímica e isotopía		
Calidad	Los parámetros que en mayor proporción sobrepasan el NQI fueron potasio, calcio, hierro, sulfatos y nitratos para el nivel somero, y amonio, sulfato, nitrato y fosfato para el acuífero confinado multicapa. No se han registrado índices de intrusión marina.	Más de 780 análisis disponibles, la mayoría de las muestras se encuentran en los grupos de las series Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻ y Na+KCO ₃ .
Hidrogeoquímica	Predominio de facies HCO ₃ -Ca ²⁺ /Mg ²⁺ , puntualmente HCO ₃ -Na ⁺ /Ca ²⁺ localmente Cl ⁻ /Na ⁺	La naturaleza isotópica del agua subterránea para el acuífero confinado revela un empobrecimiento en el sentido de flujo, insinuando que las aguas almacenadas más lejos de las zonas de recarga llegaron al sistema bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales, lo que sugiere un largo tiempo de residencia en el ámbito subterráneo.
Isotopía	En 2013 se registró un valor medio de 5,93‰ para el δ18O y -33,5‰ para el δ2H. Análisis de 11 y 12 muestras para Cl ⁻ y SO ₄ indican edades recientes y procesos de mezcla.	Según interpretaciones a partir de 14C las aguas más enriquecidas del sistema tendrían edades de hasta 33.000 años.
Medidas de Gestión		
Red de monitoreo	Operó entre 2017 y 2019.	CORPOURABÁ opera red de monitoreo.
Oferta y Demanda	Los volúmenes extraídos anualmente se han estimado en cerca de 24 millones de m ³ . Disponibilidad anual estimada de 50 millones de m ³ . Nivel de escasez de 50%, corresponde a una presión alta.	
Medidas de Manejo Zonas de Recarga	Se han delimitado zonas de protección y se han definido medidas de manejo según actividades compatibles o buenas prácticas.	
Vulnerabilidad	Según DRASTIC: categoría extrema al sur y hacia el noroeste de Chigorodó en cercanías del río León; la categoría alta en Chigorodó y al norte de Turbo; la valoración media al este de la zona de estudio en límites con las últimas estratificaciones de la Serranía de Abibe.	Aplicando GOD se accesorio un grado de vulnerabilidad bajo, allí donde el sistema está cubierto por el acuífero somero y vulnerabilidad extrema en los polígonos donde aflora en superficie, el piedemonte de Abibe.
Carga contaminante y riesgo	Se evaluó el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas encontrándose una categoría extrema en los municipios de Turbo (6,1% del área) y Apartado (5,6% del área), categoría moderada en el 45,2% del territorio y el riesgo alto en 48,45%.	
Vulnerabilidad humana	Predominio de la categoría moderada, especialmente en Chigorodó (90% territorial). Vulnerabilidad alta en el municipio de Apartado (19,3% del territorio) y Turbo (10,1% del territorio). Puntualmente vulnerabilidad extrema.	
Fuente y SRH	No hay puntos registrados en el SRH que administra el IDEAM.	
Plan de Manejo Ambiental	Formulado en 2016, adoptado al mismo año. Se ha adelantado la ejecución, según plazos establecidos en la priorización.	

*Información actualizada hasta el año 2021



Teniendo en cuenta la información disponible acerca de vertimientos (industriales y de saneamiento básico), actividades económicas principales, usos del suelo y coberturas vegetales, se determinaron Índices de Carga Contaminante al sistema de aguas subterráneas en Urabá; se encontró que en el 73 % de los casos analizados el ICC es alto.

Aplicando la metodología propuesta por Gaviria (2010), Cardona en 2017 evaluó el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas encontrándose una categoría extrema en los municipios de Turbo (6,1 % del área) y Apartadó (5,6 % del área), categoría moderado en el 49,2 % del territorio y el riesgo alto en 48,45 %.

• Modelo numérico

Luego de que en 1996 (Betancur, 1996) se hubiera realizado la modelación numérica del sistema hidrogeológico de Urabá, a partir del modelo conceptual propuesto por INGEOMINAS (1994), en Duque, 2017 se abordó una nueva tarea de modelación de flujo para el modelo hidrogeológico ajustado (Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2014). En esta ocasión se implementó un modelo numérico multiescala utilizando MODFLOW. Dentro del proceso de calibración, en estado estacionario y transitorio, se logró que el modelo regional proporcionara las condiciones de contorno para el patrón intermedio y la intermedia para el modelo local. Como resultado se obtuvo un modelo de flujo anidado en el que se hicieron evidentes las interacciones agua superficial-subterránea que involucran tanto caudales ascendentes superficiales como profundos. A partir de los balances de masa obtenidos en los tres modelos, se puede concluir que el flujo a través de los límites laterales entre unidades hidrogeológicas alcanza magnitudes mayores a las de la recarga directa.

• Plan de manejo ambiental de acuífero

Como punto de llegada de la fase de diagnóstico, y a partir de la identificación de las amenazas, se estableció que el problema principal que afecta al sistema hidrogeológico del golfo de Urabá es la disminución de la calidad y renovabilidad del agua subterránea; un conjunto de causas relacionadas con todas las amenazas identifica-

das tiene que ver con la falta educación en el manejo de las aguas subterráneas y superficiales, la falta de apropiación social del conocimiento y la débil gobernabilidad y gobernanza; los efectos que de ello se derivan se dan en términos de afectación a la salud humana, aumento en los costos de potabilización del agua, pérdida de la capacidad de adaptación, pérdida de los ecosistemas, disminución de la productividad de la agroindustria y de actividades comerciales, mayor demanda de la gestión pública, cambio en la intensidad y frecuencia de los eventos extremos y disputa por el acceso al agua subterránea y el suelo; lo que traería como consecuencias la disminución en el bienestar humano y la pérdida de los ecosistemas naturales y, con ello, los bienes y servicios que estos ofertan.

Cuatro líneas estratégicas, que corresponden a las grandes áreas temáticas que agrupan acciones que tienen por finalidad hacer frente a la problemática, fueron definidas en la fase de formulación: gestión integral de la oferta hídrica subterránea, reducción de la contaminación, generación y apropiación social del conocimiento y fortalecimiento de la gobernabilidad y la gobernanza. Doce proyectos que hacen parte de diez programas fueron formulados y se vienen ejecutando a partir de la adopción del PMAA, por parte de CORPOURABA.

Como resultado de la ejecución del PMAA se realizó la delimitación de zonas de recarga y se definieron medidas de manejo para las mismas, se caracterizaron las principales actividades contaminantes y se definieron buenas prácticas para mitigar su impacto; se establecieron lineamientos generales para la protección del sistema acuífero, se han adelantado jornadas de formación y capacitación en pro de la apropiación del conocimiento hidrogeológico dirigidos a los actores sociales de la región.

En el marco del PMAA se conformó la Mesa de Trabajo del Acuífero de Urabá —MACURA— que continuó operando y acompañando la ejecución del Plan, convirtiéndose en un caso único en Colombia y en un ejemplo pionero en Latinoamérica para la gestión colectiva del agua subterránea.

Sistema hidrogeológico del Bajo Cauca

El modelo hidrogeológico conceptual del Bajo Cauca antioqueño se sintetizó (Mejía, 2006 y Mejía y Betancur, 2007) como resultado del análisis e interpretación de la información obtenida entre los años 2003 a 2006, mediante trabajos de exploración llevados a cabo en la región por la Universidad de Antioquia en convenio con la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA.

• BAJO CAUCA

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Bajo Cauca Antioqueño. Segunda etapa.</i>	Universidad de Antioquia – CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia.	2014
<i>Modelo hidrológico conceptual para la cuenca del río Man a partir de técnicas hidrológicas, hidrogeoquímicas e isotópicas.</i>	Palacio, P.	Universidad de Antioquia.	2014
<i>Atlas hidrogeológico del Bajo Cauca Antioqueño</i>	Betancur, T.	CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia.	2016
<i>Aguas subterráneas en el Bajo Cauca Antioqueño</i>	Betancur, T.	CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia.	2016
<i>Tesis de maestría: Desarrollo y aplicación de una metodología para evaluar el riesgo a la contaminación de las aguas en un acuífero libre, caso de estudio: cuenca baja del río Man, Bajo Cauca antioqueño.</i>	Gaviria, J.	Universidad de Antioquia.	2010
<i>Tesis de maestría: Generación de un modelo hidrológico conceptual a partir de información secundaria: aplicación a la cuenca del río Man (Bajo Cauca Antioqueño)</i>	Gómez, A.	Universidad de Antioquia.	2010
<i>Tesis de maestría: Modelo conceptual y numérico del sistema hidrológico ciénaga Colombia Bajo Cauca Antioqueño.</i>	Montoya, D.	Universidad de Antioquia.	2010
<i>Tesis de maestría: Identificación de interacciones hidrológicas entre el humedal Ciénaga Colombia y el acuífero libre del Bajo Cauca antioqueño mediante la utilización de técnicas hidroquímicas.</i>	Santa, D.	Universidad de Antioquia.	2009
<i>Tesis de doctorado: Una aproximación al conocimiento de un sistema acuífero tropical. Caso de estudio: el Bajo Cauca Antioqueño</i>	Betancur, T.	Universidad de Antioquia.	2008

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
Trabajo de grado: <i>Caracterización de la cuenca del humedal Ciénaga Colombia a partir de información secundaria y utilizando herramientas geoinformáticas.</i>	Quintero, D.	Universidad de Antioquia.	2008
Tesis de maestría: <i>Identificación de fuente y zonas de recarga a partir de isótopos estables del agua. (Caso de estudio Bajo Cauca Antioqueño).</i>	Palacio, P.	Universidad de Antioquia.	2007
<i>Técnicas geoestadísticas e hidrogeológicas, caso de estudio: el Bajo Cauca Antioqueño</i>	Mejía, O.	Universidad San Buenaventura.	2006
<i>Validación del modelo hidrogeológico de la territorial Panzenú usando técnicas isotópicas.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA.	2006
Tesis de maestría: <i>Aplicación y análisis comparativo entre metodologías de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos y parámetros de calidad del agua subterránea en el Bajo Cauca.</i>	Rueda, O.	Universidad de Antioquia.	2006
<i>Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos en la cuenca del río Cacerí.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA.	2005
Trabajo de grado: <i>Identificación y clasificación de fuentes potenciales de contaminación del acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño.</i>	Gaviria, J.	Universidad de Antioquia.	2005
<i>Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos al norte del municipio de Caucasia.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA.	2004
<i>Evaluación hidrogeológica entre los municipios de Caucasia y Cáceres.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA.	2003

Después de descender desde el dominio montañosos de frentes erosivos de las cordilleras Occidental y Central, en Tarazá y Cáceres, el Bajo Cauca se abre en una zona amplia, de topografía suave, con superficies planas y onduladas, correspondiente a las superficies de erosión Caucasia y Zaragoza-Cáceres y a las superficies aluviales de los ríos Cauca y Nechí (Betancur, 2016).

La localización tropical de la planicie del Bajo Cauca Antioqueño donde se ubica el sistema acuífero de la región, con alturas entre 50 y 200 metros sobre el nivel del mar y las condiciones

climáticas con temperatura promedio anual de 27.8°C con variabilidad no superior a 1°C, precipitación promedio anual multianual de 2.800 milímetros, configuran un conjunto de circunstancias que imprimen a la zona un patrón climático homogéneo al que se le aplican denominaciones tales como tropical lluvioso de selva, cálido, húmedo, húmedo lluvioso o cálido húmedo (Betancur, 2016).

De acuerdo con la información obtenida del IDEAM, la distribución estacional de la precipitación en el Bajo Cauca muestra

un régimen monomodal, con período seco entre diciembre y marzo y condiciones húmedas entre abril y noviembre: situación que está acompañada de la ocurrencia de un gradiente pluviométrico con una disminución de la precipitación en sentido región Andina – región Caribe (CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia, 2014).

• Geología

Las rocas presentes en el Bajo Cauca corresponden a un basamento ígneo y metamórfico sobre el cual reposan unidades litológicas constituidas por rocas y depósitos sedimentarios de edades Terciario y Cuaternario; estas últimas han sido las de mayor interés hidrogeológico.

La formación Cerrito (NgCe), de ambiente marino somero a continental, está dividida en tres miembros: Miembro Superior, arenarcoloso, con niveles de arenitas calcáreas fosilíferas y algunos mantos de carbón, registra espesores de hasta 300 m; Miembro Medio, principalmente limoarcolosos con capas de arenitas calcáreas fosilíferas hacia la parte media, presenta 54 mantos de carbón y espesores que alcanzan 850 m; el Miembro Inferior, conformado por areniscas, conglomerados y calizas, se caracteriza por la ausencia de mantos de carbón y posee un espesor de 400 m. El Grupo Sincelejo (NgQs) aflora al sur de la cuenca del río Man y estaría dispuesto de manera discordante sobre la formación Cerrito; está constituido en la base por arcillolitas de color gris claro, con pequeñas intercalaciones de areniscas de grano medio a grueso, que localmente llegan a ser calcáreas, en la parte media y superior se presentan areniscas de grano medio a grueso, de color amarillo, poco consolidadas, localmente conglomeráticas, con estratificación cruzada; hacia la parte superior se observan lentes de conglomerados cuarzosos, con matriz arcillolimsa. Regionalmente los depósitos aluviales (Qal) de mayor importancia están asociados a las llanuras de inundación de los ríos Cauca, Nechí y Man, y a las terrazas asociadas al río Cauca (6 en total), y a los ríos Nechí y Man (3 niveles en cada uno).

• Unidades hidrogeológicas

El sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño está conformado por tres unidades hidrogeológicas (Betancur, 2008): un acuífero libre, denominado la unidad hidrogeológica U123, un acuitardo, unidad U4, y un acuífero confinado (U5).

La definición de la geometría se realizó empleando técnicas geostatísticas a partir de información de correlación efectuada sobre 87 sondeos eléctricos y 49 registros de perforación.

Unidad hidrogeológica U123: en ella se conjugan, cubiertas por una delgada capa de suelo (U1) los depósitos aluviales (U2) de los ríos Cauca, Man, Nechí y Cacerí y el saprolito poco consolidado de las rocas sedimentarias del Terciario del Miembro Superior de la formación Cerrito (U3). U123 tiene el carácter de acuífero libre y su extensión abarca toda la planicie del área de estudio -1.123 km²- sus mayores espesores (se dan a lo largo de varias franjas longitudinales en sentido N10°-15°E y supera los 90 metros en los sectores de Jardín, río Man y casco urbano de Cauca; entre los ríos Man y Cauca la profundidad de U123 oscila entre 40 y 90 metros; paralelo al curso del río Cacerí y hacia la confluencia de los ríos Nechí y Cauca esta unidad tiene también importantes espesores que alcanzan hasta 60 metros.

Unidad hidrogeológica U4: subyace en toda el área de estudio a la unidad U123, y está constituida por el Miembro Medio de la formación Cerrito. U4 tiene el carácter de acuitardo aunque en ella existen varias captaciones desde las cuales se extrae agua para satisfacer demandas domésticas. Desde Jardín y la vertiente izquierda de la cuenca del río Cacerí, siguiendo un eje en sentido SW-NE, los espesores de U4 disminuyen desde 100 metros, hasta que la unidad desaparece al norte donde aflora U5 o al sur al intersectar el basamento paleozoico.

Unidad hidrogeológica U5: el Miembro Inferior de la formación Cerrito constituye un acuífero confinado regional en el Bajo Cauca Antioqueño. Sus espesores varían entre 10 y más de 100 metros. Esta unidad poco explorada y explotada podría constituir una importante reserva de agua subterránea para la región; al igual que los espesores la profundidad de la base de U5 es incierta, llegando a superar seguramente los 260 metros.

• Recarga

Para la zona de estudio se identificaron tres fuentes de recarga: en principio se tiene una recarga distribuida a lo largo y ancho de la planicie, ocasionada por la infiltración directa del agua lluvia. En segundo lugar se produciría recarga a través de la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficial como lo son los ríos Cauca y Man y desde algunas ciénagas y jagüeyes. Finalmente se daría recarga lateral indirecta desde la roca metamórfica encajante del sistema, tanto hacia el acuífero libre como hacia el acuífero confinado (CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia, 2011).

Los promedios ponderados por unidad de suelo registran una recarga de 1.273 mm para el año medio, 982 mm para el periodo seco y 1.729 mm para un año húmedo. Los máximos valores de recarga se producen en septiembre y las condiciones críticas mínimas se dan en marzo. Durante un año Niño, entre junio y septiembre hay recarga, pero, entre enero y abril cesan los aportes de la precipitación. En un año húmedo, durante el periodo junio a octubre se presentan importantes entradas al acuífero.

• Flujo de agua subterránea

El flujo subterráneo tendría importantes divisorias entre los ríos Man y Cauca, y Cauca y Cacerí, definiéndose áreas donde el agua fluiría desde altos freáticos localizados entre 90 y 140 metros hacia las grandes corrientes superficiales a las cuales aportaría caudal base. También desde el norte, en límites con el departamento de Córdoba, el flujo subterráneo se daría hacia el río Cauca. Al occidente, en la vertiente izquierda del río Man, solo se logra dibujar de manera aproximada un flujo hacia el cauce y tal vez en algunos sitios en sentido opuesto (Betancur, 2016).

• Propiedades hidráulicas

A partir de una serie de datos de conductividad hidráulica para la unidad hidrogeológica U123, obtenida mediante la realización de 26 pruebas de bombeo realizadas con muchas limitaciones técnicas, se obtuvo el modelo de distribución espacial de este parámetro, según el cual, el valor predominante para el mismo alcanza solo el intervalo entre 1 y 2 m/día con zonas en las que se llega a 3 m/día (CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia, 2011).

• Calidad del agua subterránea

La afectación a la calidad del recurso hídrico subterráneo almacenado en el acuífero libre se evidencia en los registros de parámetros que tienen un valor por encima del rango establecido en la resolución número 2115 del 22 de junio de 2007 sobre calidad de agua para consumo humano. Los parámetros con mayor afectación son: color, turbiedad, alcalinidad, el hierro total, pH, DQO, nitritos y coliformes.

• Uso, oferta y demanda de agua subterránea

Hasta 2006 se habían inventariado 1.927 puntos de agua, de ellos 1.837 son aljibes, 70 son pozos y 20 son manantiales. Dada la baja cobertura en el acceso a agua potable, el principal uso es el doméstico, sin embargo, también se registraban usos para suplir necesidades agrícolas y pecuarias.

El estimativo de oferta fue calculado a partir de los valores de recarga obtenidos del balance hídrico por unidad de suelo, aplicando un factor de explotación de 0,3; el resultado fue 883.710.000 m³/año. La demanda fue estimada sumando los registros de concesiones de agua subterránea y aplicando a los puntos inventariados módulos de consumo según el uso; el

valor obtenido fue de 7.137.471 m³/año. Bajo estas circunstancias se tendría que, las condiciones de escasez para la unidad hidrogeológica en cuestión, son poco significativas (CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia, 2011).

• Hidrogeoquímica e isotopía

Existe un modelo hidrogeoquímico e isotópico que permite tener mayor certeza sobre el modelo hidrogeológico conceptual (Betancur, 2008).

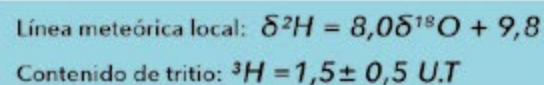
Las aguas someras, de reciente recarga, corresponden a la facies bicarbonatada cálcica a mixtas; a medida que se alcanza mayor profundidad se trasciende a la facies bicarbonatada sódica; puntualmente, en U5, se registran facies sulfatadas. La evolución normal en el sentido establecido por Chevotarev se observa a lo largo del sentido del flujo.

La línea meteórica local, $\delta^2\text{H} = 8,058^{18}\text{O} + 11,7$ se obtuvo a partir de datos isotópicos tomados durante un año en siete estaciones de lluvia ubicadas a diferente altitud. Un dato de tritio en agua lluvia indica la presencia de $1,5 \pm 0,5$ U.T, mientras que en una muestra procedente del límite entre U4 y U5 el valor reportado fue de $0 \pm 0,5$ U.T, lo cual indicaría que el agua allí presente se recargó hace más de 60 años.

La relación establecida entre la variación altitudinal de la lluvia y las características isotópicas del agua subterránea muestran que, por debajo de los 20 metros de profundidad, el agua del acuífero libre estaría ingresando al sistema desde alturas entre 300 y 1.200 metros.

• Vulnerabilidad, carga contaminante

Luego de haber aplicado varias metodologías de evaluación, se estableció que DRASTIC es la que mejor



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021

Características		Acuífero I (Ara - Unidad Hidrogeológica U123)	Acuífero II - Unidad Hidrogeológica U4	Acuífero III (Ara - Unidad Hidrogeológica U5)
Generalidades	Municipios asociados	Cicaco, Casacsa, El Bagro, Natchi, Terao		
	Geología	Cubierta por una delgada capa de suelo (U1) se identifican los depósitos aluviales (U2) de los ríos Cauca, Man, Natchi y Casacsa, subyacente por el saprolite poco consolidado de las rocas sedimentarias del Terciario del Miembro Superior de la Formación Cerro (U3).	Miembro Medio de la Formación Cerro.	Miembro Inferior de la Formación Cerro. Estratigráficamente, por debajo de U5, al norte, rocas sedimentarias (U5) al sur se localiza el basamento del sistema acuífero (U7) formado por rocas metamórficas ígneas de edad Paleozoica del Complejo Cajamarca.
	Extensión	3 140 km ²	3 170 km ²	3 273 km ²
	Puntos de agua	1 727 puntos de agua: 1837 aljibes, 20 pozos y 20 manantiales.		
	Uso	No se encuentra especificado por unidad acuífera. La principal fuente de abastecimiento humano. Se extrae diariamente más de 24.000 m ³ de agua.	Existen varias captaciones desde las cuales se extrae agua para satisfacer demandas domésticas.	Abastecimiento en fincas de la región.
Recarga	Correlación estratigráfica	45 columnas de perforación x 87 SEV S.		
	Balance hídrico	Promedio ponderado de 1.273 mm para el año medio, 982 mm para el período seco y 1.729 mm para un año húmedo. Los máximos valores de recarga se producen en septiembre y las condiciones críticas mínimas se dan en marzo.	Su profundidad en el centro del área, alcanza los 140 m; al norte aproximadamente 20 m, y al sur son inferiores a 10 m. Así, los espesores del acuífero disminuyen desde 100 m, hasta que la unidad desaparece al norte.	Su espesor varía entre 18 y más de 100 m; la profundidad de la base de U5 es incierta, llegando a superar seguramente los 240 m.
	Análisis tectónico	Deposible del IGAC, 1979 y el Ministerio de Agricultura, 2002.	La recarga en esta unidad se da a través de la conexión vertical con las unidades U123, desde la que se producen grietas, y U5, desde la cual podría haber ascensos ocasionales por efecto de flujo piston.	La fuente de recarga para U5 estaría asociada a áreas distantes localizadas en el piedemonte, a alturas entre 300 y 1.000 m.s.n.m., habrían también algunos aportes verticales por grietas desde U4.
	Pruebas de infiltración	Disponibles del IGAC, 1979 y el Ministerio de Agricultura, 2002.	No disponibles.	No se encuentran especificados.
	Geomorfología	Después de descender desde el dominio montañoso de frentes erosivos de las cordilleras Occidental y Central, al Bajo Cauca se abre en una zona amplia, de topografía suave, con superficies planas y onduladas labradas como aluviales, terrazas, valles, bajos y cenagales. Las pendientes promedio están entre 5 y 35°.	No se encuentran registros específicos para esta unidad.	No se encuentran registros específicos para esta unidad.
Áreas de recarga	Análisis estructural	La falla Espino Santo representa el rango tectónico más importante del Bajo Cauca. La falla del Río Terao controla el flanco oriental del anticlinal de Terao.	Las manifestaciones puntuales en superficie de los Miembros Medio e Inferior de la Formación Cerro al occidente, norte y suroriente de la planicie del Bajo Cauca antiguo sugieren la existencia de un ángulo sinclinal con dirección aproximada N40°-60°E.	
	Delimitación de Áreas de Recarga	Zona de recarga directa donde aflora el acuífero.	En los polígonos en que aflora	Recarga directa en sitios de afloramiento; desde flujos regionales provenientes de zonas ubicadas entre 300 y 1.000 m.s.n.m.
	Pluviometría	213 datos de nivel pluviométrico para invierno y 442 para verano. En épocas de lluvia el nivel freático se localiza cerca de la superficie y el flujo subterráneo tendría importantes divisiones entre los ríos Man y Cauca y Cauca y Cacat, corrientes a las cuales aporta caudal base. Desde el norte, en límites con el departamento de Córdoba, el flujo subterráneo se daría hacia el río Cauca. Al occidente en la vertiente izquierda del río Man el flujo se daría desde el río al acuífero.	No se encuentra especificado.	No se encuentra especificado.
	Pruebas de bombeo	26 pruebas hidráulicas. Conductividad hidráulica entre 1,5 y 2,0 m/día con zonas en las que se llega a 2,0 m/día.	No disponible.	Conductividad hidráulica entre 0,5 y 5,0 m/día.
	Cantidad	71 análisis disponibles. No apto para consumo humano.	No disponible.	No disponible.
Hidrogeoclima o isotopía	Hidrogequímica	36 puntos de agua subterráneos y 5 puntos de agua superficial. Facies bicarbonatada sodica y bicarbonatada calcio a bicarbonatada mixta.	Two aljibes y un pozo. Un punto con facies bicarbonatada a clorurada mixta. Tampoco se identifican facies sulfatada.	Facies bicarbonatada mixta al norte, noroccidente y sur, cerca a zonas donde el acuífero aflora en superficie. Hacia el centro, donde la unidad está confinada, facies bicarbonatada sodica.
	Isotopía	Pero "O" y "H": 8 puntos de agua libre (98 muestras), 30 puntos de agua subterránea (54 muestras) y 5 puntos de agua superficial; recolectados entre julio de 2005 y junio de 2006.	De U4 se tomaron muestras de agua subterránea en tres puntos hacia los límites este y oeste de la zona de estudio y hacia el centro, además se tomó una muestra para análisis de "H".	Disponibles datos de "O", "H" y año de "H".
		Además cuatro muestras para análisis de tritio "H" en agua subterránea. Los valores en la precipitación y las muestras de agua superficial, permiten suponer una recarga a partir de la lluvia, previo algún almacenamiento en algunos casos, además los contenidos de "H" coinciden. Hay indicios, insinuados ya desde los balances hídricos, de que esta recarga se produce principalmente entre los meses de julio, agosto y septiembre.		
	Red de monitoreo	Actualmente no se cuenta con una red de monitoreo para esta sistema acuífero, esta integrada a la red Pragua.		
Medidas de Gestión	Medidas de Manejo Zonas de Recarga	No se han formulado.		
	Vulnerabilidad	Según resultados de DRAS/3C el sector noroeste presentaría una vulnerabilidad baja y el resto del sistema una vulnerabilidad media.	No se encuentra especificado.	Según metodología GOD la vulnerabilidad para U5 es baja.
	Carga contaminante y riesgo	Las posibles fuentes potenciales de contaminación: desarrollo urbano, actividad agrícola, actividad pecuaria, actividad minera y accidentes ambientales.	No especificado para esta unidad.	No especificado para esta unidad.
	Vulnerabilidad humana	Se propuso y se aplicó metodología para evaluar vulnerabilidad humana a escala local, registrándose en promedio un vulnerabilidad alta.		
	Fugas y SRIH	No se encuentra información de aguas subterráneas en el SRIH reportado por CORANTIOQUIA, para el año 2020 al IDEAM.		
Plan de Manejo Ambiental	Fernández en 2013, no se ha adoptado. Se han presentado problemas en la realización de la Consulta Previa.			



^aInformación actualizada hasta el año 2014

representa las condiciones de vulnerabilidad intrínseca del sistema hidrogeológico del Bajo Cauca, registrándose grados de susceptibilidad entre alto (más del 80 % del área acuífera) y moderado.

De acuerdo con la información disponible, las principales amenazas a la calidad se asociarían a las actividades de desarrollo urbano y se deben principalmente a las deficiencias en los servicios de saneamiento, tanto en las zonas urbanas como en el área rural. El resurgimiento de la actividad minera y el crecimiento de esta actividad deben ser evaluadas hoy como amenaza latente a la calidad del recurso hídrico subterráneo en la región.

• Modelo numérico

Además de constituir una herramienta de simulación, como normalmente han sido considerados, los modelos numéricos en hidrogeología ofrecen un camino para avanzar en el entendimiento de sistemas acuíferos: los modelos proporcionan una estructura para sistematizar la información de campo y para responder preguntas sobre el funcionamiento de un acuífero. También pueden llamar la atención del modelador en relación con la ocurrencia de fenómenos que no hayan sido considerados antes, y pueden ayudar a identificar áreas donde se requiere información adicional.

El ejercicio de modelación numérica propuesto para el sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño, tiene carácter exploratorio (Betancur, 2008). La información recopilada desde el año 2003, tiempo en que se iniciaron los trabajos de hidrogeología y la construcción de modelos conceptuales parciales para la región, fue sucesivamente incorporada en tareas de modelación numérica nutriendo el modelo conceptual regional con el que hoy se cuenta.

• Plan de manejo ambiental de acuífero

Formulado en 2016, el PMAA para el Bajo Cauca, identificó la insostenibilidad del recurso hídrico subterráneo como el problema central, derivado de las amenazas por contaminación y desabastecimiento y la débil gestión institucional, social y comunitaria. La amenaza por contaminación se da a causa de factores del desarro-

llo, no planificado, de actividades de desarrollo urbano y prácticas económicas que afectan las condiciones naturales del suelo disminuyendo su capacidad de atenuación de transporte de sustancias. El peligro por desabastecimiento, derivado de la disminución en la cantidad de agua disponible, se asocia a la pérdida de la función de recarga y a la extracción intensa de aguas subterráneas, en especial desde el acuífero libre, a la remoción del acuífero por efectos de actividades de minería a cielo abierto y por el impacto hidrológico de Hidroituango. Los riesgos que esto desencadena son el aumento de enfermedades de origen hídrico, la disminución en la cantidad de agua subterránea y su potencial uso, el aumento en costos de potabilización y el deterioro de los ecosistemas acuáticos asociados.

Una vez formulado, el PMMA, se planteó como objetivo central: garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo mediante una gestión integral que incluya los ecosistemas naturales y comunidades asociados a los mismos; para lograrlo se formularon 27 proyectos, parte de 15 programas, asociados a las siguientes líneas estratégicas de acción: apoyo, cooperación y acompañamiento a los municipios en el saneamiento ambiental de sus asentamientos; regulación y control a los vertimientos y uso del agua en las actividades económicas y el desarrollo urbano (Autoridad Ambiental); fomento a la producción más limpia; gestión de la oferta y la demanda del recurso hídrico subterráneo; generación de instrumentos y herramientas para el fortalecimiento institucional y social.

En términos de participación social, el PMAA contó con la presencia de actores sociales durante las fases de diagnóstico y formulación y con jornadas de apropiación del conocimiento, dentro de las cuales se establecieron las bases para generar un lenguaje común en pro de la comprensión del sistema natural de la región; particularmente, mediante un diplomado en hidrogeología y gestión de acuíferos, se certificaron alrededor de 40 habitantes del territorio.

El PMAA del Bajo Cauca no ha sido adoptado por la corporación, en el momento de su formulación no se tenía claridad acerca de la necesidad de realizar consulta previa, y el intento de efectuarla varios años después contó con dificultades que no se pudieron subsanar.

Sistema hidrogeológico del Magdalena Medio

Entre los años 2001 y 2003 se llevaron a cabo las primeras exploraciones hidrogeológicas en el Magdalena Medio, por parte de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), en convenio con CORANTIOQUIA. Estas comprendieron los municipios de Yondó, Puerto Nare y Puerto Berrío; también CORNARE (2011) tuvo una breve presencia en Puerto Triunfo para efectuar una inspección sobre el aprovechamiento del agua subterránea en el municipio.

• MAGDALENA MEDIO

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Magdalena Medio Antioqueño</i>	GOTTA INGENIERÍA S.A.S.	CORANTIOQUIA.	2018
<i>Diagnóstico de los sistemas de abastecimiento de aguas subterráneas de cabecera urbana de Puerto Triunfo, Puerto Perales, Puerto Pita y Santiago Berrío (corregimientos y veredas de Puerto Triunfo).</i>	Instituto del Agua, Universidad Nacional – Sede Medellín.	CORNARE.	2011
<i>Estimación de la recarga en una zona tropical mediante un modelo iterativo.</i>	Vélez, M. V.	CORANTIOQUIA.	2004
<i>Evaluación del potencial acuífero Puerto Berrío y Puerto Nare.</i>	Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.	CORANTIOQUIA & Universidad Nacional – Sede Medellín.	2003
<i>Evaluación del potencial acuífero Yondó.</i>	Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.	CORANTIOQUIA & Universidad Nacional – Sede Medellín.	2001
<i>Prospección geofísica en la mina El Guayacán, Puerto Nare.</i>	SGC.	Servicio Geológico Colombiano.	1991

El Magdalena Medio tiene como eje geográfico la sección media del río Magdalena, en el valle formado por las cordilleras Central y Oriental. La planicie que configura el gran río contiene, naturalmente, un importante sistema de ciénagas y caños conectados con los ríos y quebradas, lo que da lugar a un ecosistema de humedales.

La zona en la que se han realizado estudios sobre aguas subterráneas se ubica entre 140 y 500 metros sobre el nivel del mar; tiene una temperatura promedio de 27°C y un régimen de precipitación bimodal con dos temporadas húmedas (abril a mayo y septiembre a noviembre) y dos temporadas secas (diciembre a marzo y junio a agosto), con valores promedios anuales que oscilan entre 2.000 y 2.500 mm, dando lugar a un clima cálido tropical.

• Geología

La formación Mesa (Ngm), de edad Terciario, y las unidades del Cuaternario, representadas por depósitos aluviales (Qal), torrenciales y fluvioacustres, junto con otras rocas sedimentarias que cubren extensiones menores (formación La Cristalina y Grupo Real), están enmarcadas sobre una litología metamórfica que aflora en la vertiente oriental de la cordillera Central y que comprende unidades de extensión significativa tales como: esquistos cuarzo-feldespáticos (Pznf), neis de San Lucas (PEnsl), cuarcitas (Pzq) y algunos mármoles (Pzm). Estas rocas fueron intruidas por el Batolito de Segovia (Jdse,) y el Batolito Antioqueño (Ksta) y están localmente cubiertas por el volcánico de La Malena (Jvn).

• Unidades hidrogeológicas

El modelo conceptual con que se cuenta posee una descripción de la geometría, modelada a partir de información procedente de 84 sondeos eléctricos localizados en los municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare (Universidad Nacional de Colombia & Corantioquia, 2003), 65 sondeos en el municipio de Yondó (Universidad Nacional de Colombia & Corantioquia, 2001) y 11 más en la vía que comunica Puerto Berrío con Yondó (GOTTA INGENIERÍA SAS & Corantioquia, 2018). No se cuenta con información acerca de registros de perforación en la zona.

Según se reporta en el PMAA, las unidades hidrogeológicas presentes, sin incluir Puerto Triunfo, son:

- El acuífero libre ULAP está caracterizado por depósitos aluviales recientes de gravas y arenas, y unidades poco consolidadas asociadas a la formación Mesa. Los espesores varían entre 12 y 37 m, en el municipio de Puerto Berrío, y entre 15 y 40 m, en el municipio de Yondó.
- El acuífero semiconfinado de alta productividad USCAP se define por rocas pertenecientes a la formación Mesa, compuesto por conglomerados y areniscas de tamaño grueso a fino poco consolidados. Tiene espesores de 100 m en Yondó. Está semiconfinado por un sistema acuitado de sedimentos finos que alcanzan espesores hasta de 40 m.
- Para el acuífero confinado de mediana productividad USCBP se presentan rocas volcano-clásticas pertenecientes a la formación Malena; compuesto por tobas, aglomerados intercalados con niveles volcánicos de riolitas y basaltos. Tiene espesores de hasta 165 m en Puerto Berrío. Su productividad hídrica está limitada por capas de rocas de origen volcánico que impiden o retardan el flujo continuo de agua subterránea.
- El acuitado UAT es definido por arcillolitas y limolitas pertenecientes a la formación Mesa (N2m) y Grupo Real. En Puerto Berrío tiene espesores de 40 m, hacia las llanuras de inundación del río Magdalena.

No se cuenta con descripción de unidades hidroestratigráficas en Puerto Berrío.

• Recarga

El ejercicio de balance hídrico más reciente se realizó durante la formulación del PMAA en el 2018 (GOTTA Ingeniería y CORANTIOQUIA). Considerando la red hidrográfica superficial y la información hidrometeorológica disponible, se construyó el ciclo anual de precipitación y se analizó el comportamiento de las diferentes variables hidrológicas frente al fenómeno climático El Niño - Oscilación del



LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL MAGDALENA MEDIO ANTIOQUEÑO

AREA AMPLIADA



Características	Acuífero Libre ULAP	Acuífero Semiconfinado ASCA	USCAP* Unidad acuífera semi-confinada de mediana productividad	Acuífero UAT	Acuífero Puerto Triunfo
Generalidades	Municipios asociados: Puerto Berrio, Yondó y Puerto Nare. Geología: Depósitos aluviales recientes de gravas y arenas y unidades por consolidadas asociadas a la Formación Mesa. Extensión: 4.000 km². Puntos de agua: En 2013 se tenían registrados 72 pozos, 31 aljibes y 2 manantiales. Usos: Los principales usos son industrial y doméstico. Correlación estratigráfica: 68 sondeos eléctricos en los municipios de Puerto Berrio y Puerto Nare, 65 sondeos en Yondó y 11 más en la vía Puerto Berrio - Yondó. Los sondeos varían entre 12 y 37 m en el municipio de Puerto Berrio, y entre 15 y 40 m en el municipio de Yondó.	Formación Mesa, compuesto por conglomerados y arenas de tamaño grueso a fino poca consolidados. Espesores de 100 m en Yondó.	Rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Malaga, compuestas por lavas, aglomerados intercalados con niveles volcánicos de riolitas y basaltos. Espesores de hasta 165 m.	Formación Mesa y Grupo Real. Espesores de 40 metros en Puerto Berrio.	Puerto Triunfo. Depósitos aluviales y Formación Mesa. Le empresa de acueducto cuenta con dos pozos. Abastecimiento público y actividades económicas en zona rural. No hay información disponible. No hay información disponible.
Recarga	Balace hídrico: Recarga promedio de 495 mm/año.				
Áreas de recarga	Análisis textural: No hay información disponible. Puntos de infiltración: No hay información disponible. Geomorfología: No hay información disponible.				
Red de flujo	Análisis estructural: No hay información disponible. Delimitación de Áreas de Recarga: No hay información disponible. Piezometría: El flujo subterráneo está direccionado hacia el noroeste.	Ócteo desde la unidad libre. Habría conexión con ciénagas, lagos y lagunas.			
Hidrogeología e isotopía	Puntos de bombeo: Conductividad hidráulica de 2,4 m/día. Transmisividad 62,3 m²/día. Coeficiente de almacenamiento 2,5E-2.	Conductividad hidráulica de 0,5 m/día. Transmisividad 23,5 m²/día. Coeficiente de almacenamiento 8,5E-2.			
	Calidad: Si bien se reportan registros de análisis físico-químicos de agua subterránea y se comparan valores de los parámetros con los límites establecidos normativamente para diferentes usos, no se encuentra una calificación clara de las condiciones espaciales o temporales de la variación o evolución en términos de calidad. Hidrogeología: Se registra la existencia de datos hidrogeológicos pero sin elementos suficientes para el análisis.				Buena para consumo humano.
Medidas de Gestión	Isotopía: No hay información disponible. Red de monitoreo: Se toman muestras de agua para análisis físico-químico dentro del programa regional Pregua. Oferta Demanda: Según registro de concesiones, sumara 3,7 millones de m³/año. La reserva de agua subterránea que asciende a 2,1 millones de m³ para ULAP y 16,1 millones de m³ para USCAP.				La explotación de agua subterránea, para abastecimiento público y doméstico, sería del orden de 1,8 millones de m³/año.
	Medidas de Manejo Zonas de Recarga: No hay información disponible. Vulnerabilidad: Según GOD y DRASTIC la vulnerabilidad del sistema está entre media y alta. Carga constante y riesgo: No hay información disponible. Vulnerabilidad humana: No hay información disponible. Fugas y SBRH: No hay información disponible. Plan de Manejo Ambiental: Formulados y adoptados por CORANTIOQUIA en 2017. Se formularon 27 proyectos.				

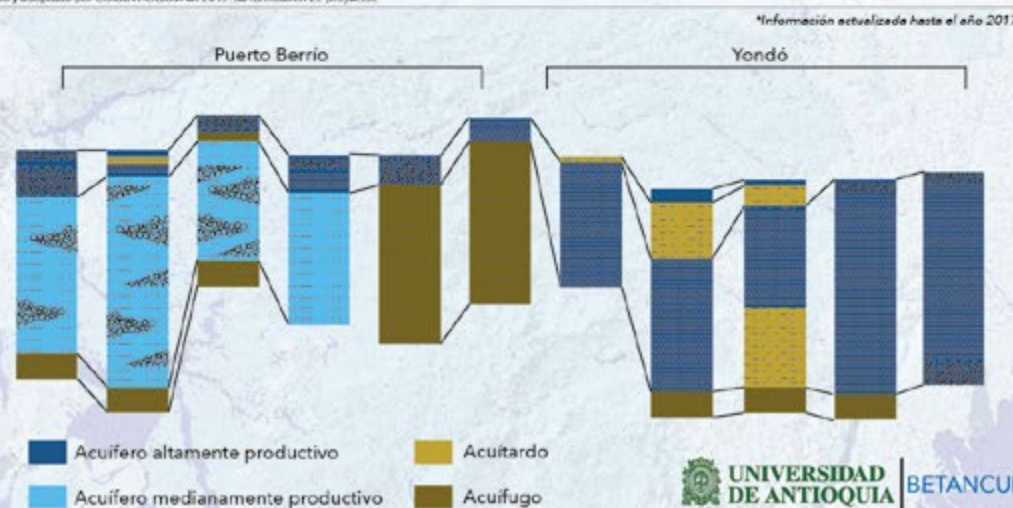
• Sondeo eléctrico

→ Red de flujo

Zonas de recarga

Unidades hidrogeológicas

- Acuífero libre ULAP
- Acuífero semiconfinado USCAP
- Acuífero Puerto Triunfo



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

Sur (ENSO). Como resultado de este estudio se estableció que la recarga del acuífero libre de alta productividad ULAP se da principalmente por precipitación, mientras que para las demás unidades la recarga se da por goteo desde unidades suprayacentes, o por infiltración lateral de acuífugos fracturados al occidente.

Según los resultados, que se obtuvieron de aplicar diferentes métodos de análisis, la recarga promedio anual sería de 495 mm.

• Flujo de agua subterránea

De acuerdo con lo reportado en el PMAA se tiene una superficie piezométrica donde el flujo de aguas subterráneas es hacia el noreste; se señala además que existe flujo subterráneo entre el acuífero libre y el semi-confinado altamente conductivo. Debido a los niveles piezométricos someros se deduce que existe una conexión directa entre el sistema acuífero y las ciénagas, lagos y lagunas de la región.

• Propiedades hidráulicas

A partir de 15 pruebas hidráulicas practicadas al acuífero libre —ULAP— y al semiconfinado de alta productividad —USCAP— se establecieron condiciones promedio de conductividad (2,4 m/día y 0,5 m/día), transmisividad (62,3 m²/día y 23,5 m²/día) y coeficiente de almacenamiento (2,2E-2 y 8,0E-2).

• Calidad del agua subterránea

Si bien se reportan registros de análisis fisicoquímicos de agua subterránea y se comparan valores de los parámetros con los límites establecidos normativamente para diferentes usos, no se encuentra una calificación clara de las condiciones espaciales o temporales de la variación o evolución en términos de calidad.

• Uso, oferta y demanda de agua subterránea

Para el año 2013 se tenían registrados dentro del inventario de puntos de agua, para los municipios de Puerto Berrío, Puerto Nare y Yondó, 72 pozos, 31 aljibes y 2 manantiales. En Puerto Triunfo se reportan 4 pozos.

En Puerto Triunfo, el abastecimiento público de agua para la zona urbana y en los corregimientos de Puerto Perales, y Santiago Berrío se hace a partir de agua subterránea. En Puerto Berrío, Puerto Nare y Yondó, los principales usos son industrial y doméstico y, según registro de concesiones, sumaría 3,7 millones de m³/año. Considerando el número de habitantes en Puerto Triunfo y considerando un índice de consumo de 176 l/habitante/día; se estima que se estarían extrayendo cerca de 1 millón de metros cúbicos al año.

Según extensión superficial, espesores y porosidad promedio se han reportado volúmenes de reserva de agua subterránea que ascienden a 2,1 millones de metros cúbicos para el acuífero libre y 16,1 millones de metros cúbicos para el acuífero semiconfinado de alta productividad.

• Hidrogeoquímica e isotopía

Dentro de los estudios realizados en Yondó, Puerto Berrío y Puerto Nare se encuentran reportes de análisis fisicoquímicos de aguas subterráneas, y si bien algunos de estos registros están asociados a la red de monitoreo regional que opera CORANTIOQUIA en su jurisdicción, no hay claridad acerca de los criterios de selección de los puntos muestreados o de propósito y alcance de monitoreo. Más allá de listar las facies hidrogeoquímicas existentes no puede hacerse ningún análisis interpretativo ya que no se encontraron elementos para establecer una lógica con el modelo conceptual.

• Vulnerabilidad, carga contaminante

Habiéndose aplicado las metodologías GOD y DRASTIC, se establece que la vulnerabilidad del sistema acuífero del Magdalena Medio se encuentra en el rango moderada a alta.

• Plan de manejo ambiental de acuífero

La fase de formulación del *Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Magdalena Medio antioqueño* en jurisdicción de CORANTIOQUIA se realizó bajo el esquema de líneas estratégicas, objetivos, programas y proyectos. Las líneas estratégicas están relacionadas con el plan estratégico de la Corporación y busca la solución a los

problemas identificados durante las fases de aprestamiento, diagnóstico y consulta previa. La formulación de los proyectos se realizó en compañía de los actores involucrados en el proceso y las comunidades presentes en la zona de estudio.

Considerando la necesidad de incluir dentro del PMAA unas medidas de manejo, que definieran determinantes ambientales para el ordenamiento territorial, mediante convenio entre CORANTIOQUIA y la Universalidad de Antioquia se realizó un ajuste y actualización, con la intención de adoptar y ejecutar el Plan a partir de 2023.

Para las aguas subterráneas en Puerto Triunfo no se han establecido medidas de manejo por parte de CORNARE.

Sistema hidrogeológico del Occidente antioqueño

En el año 2004 se llevó a cabo el primer estudio de exploración hidrogeológica en la región de Occidente, evaluando potencialidades en los depósitos aluviales del río Cauca y sus tributarios, en jurisdicción de los municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina (Universidad Nacional y CORANTIOQUIA, 2004); en el 2017 se formuló el PMAA para este sistema hidrogeológico.

• OCCIDENTE ANTIOQUEÑO

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
Formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente antioqueño del sistema acuífero del Occidente antioqueño en la territorial Hevéxicos de Corantioquia	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA.	2017
Diagnóstico para la formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente antioqueño en la territorial Hevéxicos de Corantioquia - Contrato 14-09-241	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA.	2015
Determinación de la recarga con isótopos ambientales en los acuíferos de Santa Fé de Antioquia.	Vélez, M., Rhenals, R.	Universidad Nacional de Colombia.	2008
Tesis de maestría: Validación del modelo hidrogeológico del Occidente antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas.	Rhenals, R.	Universidad Nacional de Colombia.	2007
Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Sopetrán, Olaya y Liborina.	Ortiz, C. y Restrepo, C.	CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia.	2004

En el cañón del río Cauca, a unos 40 km de Medellín, se localiza el llamado Occidente Cercano del departamento de Antioquia. Geográficamente está dentro de la vertiente occidental de la cordillera. La zona pertenece a un área de clima intertropical, donde la cordillera Occidental influye en el comportamiento de la precipitación, pues actúa como barrera para los frentes húmedos procedentes del Chocó, lo que hace que se presenten precipitaciones bajas, del orden promedio de 1.200 mm/año, y una temperatura de 27°C; estas características aunadas a la altitud determinan el Bioma Bosque Seco Tropical (Velas, M. y Rhenals, R., 2008).

El río Cauca es la principal corriente en la región lo cual lo convierte en eje estructural de organización biofísica del territorio; a este desembocan las corrientes de la región que son cortas y de poco caudal.

• Geología

El área de estudio se encuentra ubicada geológicamente en la depresión intramontana de las cordilleras Occidental y Central de los Andes colombianos, a lo largo de la cual se extiende el sistema de fallas Cauca – Romeral.

La cordillera Occidental está compuesta principalmente de rocas de origen oceánico acrecionados desde la margen Oeste de Suramérica durante el Mesozoico y Cenozoico temprano, posteriormente estuvo afectada por intrusiones Terciarias. La cordillera Central está compuesta por un basamento que incluye rocas oceánicas y continentales, intruído por varios plutones mesozoicos y cenozoicos. El marco geológico se cierra con las unidades del Terciario, correspondientes a la formación Amagá (Ngas) y a la formación Combia (Ngc). Sobre este entorno se han depositado durante el Cuaternario depósitos aluviales (Qal) y de vertiente.

Para la prospección de aguas subterráneas, han sido de interés los depósitos cuaternarios y las formaciones sedimentarias por sus características litológicas.

• Unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas identificadas (CORANTIOQUIA y Universidad Nacional de Colombia, 2004) tienen el carácter de acuífero libre y se les han asignado los nombres Tonusco (1C), La Isla (1D), San Jerónimo (1F), Sopetrán (1G), Aurrá (1H) y La Florida (1I); estas unidades fueron definidas con base en la información de 98 sondeos eléctricos y seis tomografías, llevados a cabo sobre depósitos del Cuaternario.

Se les asignó el carácter de acuífero a los segmentos aluviales formados por material arenoso con contenido variable de grava y en algunos casos arenas finas y limos poco compactados y permeables. Sus espesores oscilan entre 30 y 60 metros.

El acuífero más importante se presenta en el sector La Florida con área superficial de 2.769 km² y en pequeñas terrazas al sur de la zona. Tiene espesores variables entre 30 y 40 m; en el sur de la zona existe otro pequeño acuífero aledaño al río Cauca, en cercanías al sector de Cañaveral, en una terraza de 10 a 12 m. de altura respecto al río, con espesores de entre 15 y 20 m.

El acuífero Tonusco, aledaño a ambas márgenes del río, tiene un área superficial de 12.517 km² y niveles piezométricos variables. En la margen derecha se ubica a unos 25 metros de profundidad, tiene espesor variable entre 25 y 55 m. En la margen izquierda los niveles piezométricos varían en su profundidad: desde 8 m en cercanías a Santa Fe de Antioquia, hasta 45 m en la parte más alejada del abanico, donde el espesor del depósito sería del orden de 50 m.

En las terrazas y llanuras de inundación a ambas márgenes del río Aurrá existen franjas de materiales que contienen agua con profundidades que varían entre los 4 y 13 m. respecto a la superficie, espesores de acuífero entre 35 y 50 m, con un área superficial 4.27 km².

En el abanico de la quebrada La Sopetrana se plantean varios acuíferos separados por colinas de la formación Amagá que actúan como barreras impermeables. Presenta niveles piezométricos a profundidades que varían entre 7 m. y 20 m.

Acuíferos de menor extensión se identificaron en los depósitos de la quebrada Juan García, en el casco urbano de Liborina y en San Jerónimo.

• Recarga

En el trabajo realizado anteriormente para CORANTIOQUIA, la Universidad Nacional, sede de Medellín, en el año 2007, a partir de técnicas isotópicas e hidrogeoquímicas, determinó el origen de la recarga y las relaciones entre los diferentes acuíferos y las corrientes de agua superficiales. La comparación de los rasgos isotópicos de la precipitación, aguas superficiales y el agua subterránea indican que la infiltración que da origen a esta última, procede, en su mayor parte, de áreas más elevadas topográficamente, y la infiltración de las zonas más planas corresponde a la precipitación local.

En la zona de estudio pueden identificarse dos zonas de recarga, una alta, por encima de los 1.800 m.s.n.m (1.800 – 2.400 m.s.n.m) correspondiente a las zonas más altas de la ladera y el borde del altiplano, que recarga la mayor parte de las unidades acuíferas; y una más baja, localizada a media ladera entre los 1.100 y 1.400 m.s.n.m., que recarga los acuíferos de la unidad Sopetrán.

A partir de los cálculos de balance hídrico se puede concluir que las zonas de mayor recarga potencial corresponden a los lugares altos de bajas pendientes, además de los sitios con coberturas vegetales de pastos y arbustos (los cuales tienen menor profundidad de raíces), mientras que las zonas de menor potencial se encuentran alrededor de las quebradas donde las pendientes son más pronunciadas. En general, la recarga es de unos 126 mm/año para año seco, estos valores no alcanzan magnitudes que superen el 10% de la precipitación.

• Flujo de agua subterránea

Para cada acuífero se reporta información concerniente a la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea:

- Sector Tonusco: niveles piezométricos variables en ambas márgenes del río; en la margen derecha es constante a 25 m, en la margen izquierda varían desde 8 a 45 m.
- Sector La Florida: el nivel piezométrico promedio es de 25 m, en el acuífero aledaño al río Cauca se presentan niveles entre 8 y 10 m.
- Sector río Aurrá: niveles piezométricos entre los 4 y 13 metros.
- Sector quebrada La Sopetrana: niveles piezométricos que varían desde los 7 a los 20 m.
- Sector San Jerónimo: niveles piezométricos desde los 2 m en la parte oriental hasta los 25 m en el occidente.

En conjunto, se configura una superficie piezométrica que señala la dirección de flujo desde las vertientes hacia el río Cauca.

• Propiedades hidráulicas

Se cuenta con registros de 16 pruebas hidráulicas tipo *Slug Test*; los valores de transmisividad que varían de 22,3 a 829,8 m²/día y valores de coeficiente de almacenamiento entre 0,0052 y 0.0636.

• Calidad del agua subterránea

La caracterización del agua subterránea para 39 muestras tomadas en diferentes campañas en los años 2004, 2007, 2012-2014 indican que la calidad, para consumo humano, es aceptable, sin embargo, en los municipios de Sopetrán, San Jerónimo y Santa Fe de Antioquia debe someterse a desinfección y tratamiento con el fin de disminuir turbiedad, alcalinidad y dureza total. En los aljibes se identificó

presencia de grasa, residuos sólidos, animales muertos, vertimiento de estiércol e insecticidas, cercanía a pozos sépticos y descarga de aguas residuales.

• Uso, oferta y demanda de agua subterránea

En el año 2015 fue actualizado el inventario de puntos de agua encontrándose en total 314 puntos para los municipios asociados, correspondientes a 311 aljibes, 2 pozos y 1 manantial. Las captaciones se clasificaron de acuerdo con los usos, obteniendo que la actividad principal que aprovecha el recurso de agua subterránea es la agrícola (141), seguidos de uso doméstico (12), industrial (4), y pecuario (2). Se registra además, que 106 puntos no cuentan con información, 42 no eran aprovechados y 7 puntos se encontraban secos.

Teniendo en consideración las características intrínsecas del acuífero, la magnitud de la recarga y los caudales renovables, la Universidad Nacional propuso, durante la formulación del PMAA una metodología para definir la oferta de agua subterránea. Los resultados registran las siguientes cifras: acuífero Sopetrán: 560.983 m³/año, acuífero San Jerónimo: 471.470 m³/año, acuífero La Isla: 305.501 m³/año, acuífero Tonusco: 263.987 m³/año, acuífero La Florida: 246.117 m³/año y acuífero Aurrá: 214.869 m³/año.

• Hidrogeoquímica e isotopía

Los análisis hidrogeoquímicos e isotópicos fueron realizados por Renalhs (2007) para validar el modelo hidrogeológico, particularmente los aspectos concernientes a la recarga y el flujo.

En términos hidrogeoquímicos se determinó, para todos los acuíferos, el predominio de la facies bicarbonatada magnésica.

Las relaciones isotópicas del ¹⁸O y ²H, entre agua de lluvia y agua subterránea pone de manifiesto la ocurrencia de recarga lateral y una importante incidencia desde la cuenca del río Chico.

• Vulnerabilidad, carga contaminante

A partir de la aplicación de las metodologías GOD y DRASTIC se concluyó que hay zonas ubicadas en las zonas aledañas a los acuíferos que requieren especial cuidado, concretamente en Tonusco, Sopetrán y San Jerónimo. Para la zona acuífera, DRASTIC revela una categoría de vulnerabilidad entre alta y extrema, GOD entre alta y moderada.

Se han identificado como potenciales fuentes contaminantes las fugas de alcantarillado y las actividades agrícola, pecuaria y minera.

• Plan de manejo ambiental de acuífero

El PMAA formulado en 2017 identificó como problema central el deterioro del recurso hídrico subterráneo, situación ocasionada por la contaminación del mismo, la inadecuada planeación en su uso, la realización de un gran número de actividades económicas sin saneamiento ambiental adecuado, la falta de información, gestión institucional y educación ambiental. Esta problemática conlleva a una disminución en la recarga, y la cantidad de agua subterránea, a un deterioro de su calidad, a que se presenten conflictos por su uso. En consecuencia, el objetivo del PMAA será: garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo mediante una gestión integral que incluya los ecosistemas naturales y las comunidades que habitan el área.

Considerando la necesidad de incluir dentro del PMAA unas medidas de manejo, que definieran determinantes ambientales para el ordenamiento territorial, mediante convenio entre CORANTIOQUIA y la Universalidad de Antioquia se realizó un ajuste y actualización, con la intención de adoptar y ejecutar el Plan a partir de 2023.

Dentro de la formulación del PMAA se contó con la participación de grupos étnicos convocados en el proceso de consulta previa.



LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO



Características	Acuífero Tonusco	Acuífero La Isla	Acuífero San Jerónimo	Acuífero Sopetrán	Acuífero Aurrá	Acuífero La Florida
Municipios asociados	Santa Fe de Antioquia	Santa Fe de Antioquia	San Jerónimo	Sopetrán	Sopetrán	Olaya
Geología	Depósitos aluviales					
Generalidades						
Extensión	12.617 km ²	7,7 Km ²	7,6 km ²	11,3 km ²	4,27 km ²	2.749 km ²
Puntos de agua	En total 314 puntos para los municipios asociados, correspondientes a 311 aljibes, 2 pozos y 1 nacimiento.					
Uso	Agrícola (141), doméstico (12), industrial (4), pecuario (2).					
Correlación estratigráfica	Se cuenta con información de 98 Sondeos Eléctricos y seis tomografías, llevados a cabo sobre depósitos del Cuaternario.					
Recarga	El recarga es baja, del orden de 12% mm/año en promedio, magnitud inferior al 10% de la precipitación media anual.					
Balance hídrico						
Espesas entre 25 y 55 m					Espesas que varían entre los 4 y 12 m.	Espesas entre 30 y 40 m.
Análisis textural	No hay información disponible.					
Pruebas de infiltración	No hay información disponible.					
Geomorfología	No hay información disponible.					
Áreas de recarga	No hay información disponible.					
Análisis estructural	No hay información disponible.					
Delimitación de Áreas de Recarga	En la zona de estudio pueden identificarse dos zonas de recarga, una alta por encima de los 1.800 m.s.n.m. (1.800 - 2.400 m.s.n.m.) correspondientes a las zonas más altas de la ladera y al borde del altiplano, que recarga la mayoría de las unidades acuíferas, y una más baja, localizada a media ladera entre los 1.100 y 1.400 m.s.n.m. que recarga las acuíferas de la unidad Sopetrán.					
Piezometría	Niveles piezométricos variables en ambos márgenes del río, en la margen izquierda es constante a 25 metros, en la margen derecha varían desde 8 a 45 metros.		Niveles piezométricos desde los 3m en la parte oriental hasta los 25 metros en el occidente.	Niveles piezométricos que varían desde los 7 a los 20 metros.	Niveles piezométricos entre los 4 y 13 metros.	El nivel piezométrico promedio es de 25 metros, en el acuífero elástico al río Cauca se presentan niveles entre 8 y 10 metros.
Red de flujo						
Pruebas de bombas	Se cuenta con registros de 16 pruebas hidráulicas tipo Slug Test, los valores de transmisividad que varían de 22,3 a 829,8 m/Vicio y valores de coeficiente de almacenamiento entre 0,0052 y 0,0636.					
Calidad	Aceptable para consumo humano, sin embargo, en los municipios de Sopetrán, San Jerónimo y Santa Fe de Antioquia debe someterse a clausificación y tratamiento con el fin de disminuir turbiedad, alcalinidad y dureza total.					
Hidrogeoquímica e isotopía	En términos hidrogeoquímicos se determinó, para todos los acuíferos, el predominio de la facies bicarbonatada magnésica.					
Isotopía	Las relaciones isotópicas del ¹⁸ O y ² H, entre agua de lluvia y agua subterránea pone de manifiesto la ocurrencia de recarga lateral y una importante incidencia desde la cuenca del río Chico.					
Red de monitoreo	Ha operado coyunturalmente. Algunos puntos de agua subterránea hacen parte del programa Pruebas de CORANTIOQUIA.					
Oferta Demanda	Oferta estimada de 263.987 m ³ /año.	Oferta estimada de 305.501 m ³ /año.	Oferta estimada de 471.470 m ³ /año.	Oferta estimada de 560.983 m ³ /año.	Oferta estimada de 214.868 m ³ /año.	Oferta estimada de 246.117 m ³ /año.
Medidas de Manejo Zonas de Recarga	No se han establecido.					
Vulnerabilidad	Alta o extrema según DRASTIC, Moderada a Alta según GOD.					
Carga contaminante y riesgo	Se han identificado como potenciales fuentes contaminantes las fugas de alcantarillado y las actividades agrícolas, pecuarias y mineras.					
Vulnerabilidad humana	No hay información disponible.					
Fugas y SRI	Sin registros en el SRI.					
Plan de Manejo Ambiental	Formulado y adoptado en 2017, se formularon 20 proyectos.					

*Información actualizada hasta el año 2017

- Sondeos eléctricos
- Red de flujo
- Unidades acuíferas
- La Florida
- Tonusco
- La Isla
- San Jerónimo
- Sopetrán
- Aurrá

- Zonas de recarga
- Zona Ribera Cauca
- Zona Río Chico
- Zona ladera Este
- Zona ladera Oeste

$$\text{Linea Meteorica Local: } \delta^2 H = 7,955\delta^{18} O + 8,3$$



Sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá

En 2002, dentro el estudio de zonas de recarga y acuíferos del Valle de Aburrá (Universidad de Antioquia, Integral y AMVA) se definieron un acuífero libre y uno semiconfinado, como las principales unidades hidrogeológicas; posteriormente (Universidad de Antioquia y AMVA; 2012) dieron a la Dunita de Medellín el carácter de acuífero pseudo-karstico, Patiño *et al.* (2021) asignan a la Dunita de Medellín el carácter de zona de recarga.

• VALLE DE ABURRÁ

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de la Dunita de Medellín, a partir de información secundaria.</i>	Camacho,C.	Universidad EIA.	2020
<i>Preferential Groundwater Flow Directions in a Pseudokarst System in Colombia, South America.</i>	Patiño-Rojas, S. et al.	Universidad EAFIT.	2021
<i>Plan de Manejo ambiental de acuífero para el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2019
<i>Informe final convenio 1050 de 2016 Red de monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2019
<i>Informe final convenio 643 de 2019 Red de monitoreo hidrogeológico del Valle de Aburrá</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2019
<i>Tesis de maestría: Identificación de la presencia de flujos regionales en el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá a partir de un caso de estudio en una zona piloto.</i>	Cano, A.	Universidad de Antioquia.	2015
<i>Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de agua de los circuitos atendidos por fuentes menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y algunos sectores de bombeo representativo Fase II.</i>	Universidad de Antioquia.	Empresas Públicas de Medellín.	2014
<i>Tesis de maestría: Diseño de medidas de manejo y protección para las zonas de recarga del sistema acuífero del Valle de Aburrá</i>	Osorio, A.	Universidad de Antioquia.	2014

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Red de monitoreo ambiental en la cuenca del río Aburrá – Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana, Fase IV.</i>	Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2013
<i>Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá.</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2013
<i>Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el norte del Valle de Aburrá.</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2012
<i>Tesis de maestría: Orígenes de la recarga del acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque geoquímico e isotópico.</i>	Campillo, A.	Universidad de Antioquia, Université Montpellier 2.	2012
<i>Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá – Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana, Fase III.</i>	Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2011
<i>Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de agua de los circuitos atendidos por fuentes menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y algunos sectores de bombeo representativos. Fase I.</i>	Universidad de Antioquia.	Empresas Públicas de Medellín.	2011
<i>Actualización del inventario de captaciones de agua subterránea.</i>	Universidad Nacional de Colombia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2008
<i>Estudio de zonas de recarga y acuíferos del Valle de Aburrá.</i>	Universidad de Antioquia e Integral.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	2002

Dentro del contexto fisiográfico de Antioquia, en medio de la cordillera Central de los Andes, se encuentra la subregión del Valle de Aburrá, cuenca natural del río Aburrá-Medellín ubicada en el centro del departamento. Las montañas y altiplanos que lo limitan alcanzan pendientes, hasta de 75°; el valle tiene una altura promedio de 2.700 m.s.n.m., siendo el punto más alto el cerro del Padre Amaya con 3.100 m.s.n.m. El valle tiene una longitud aproximada de 60 km, se extiende en dos tramos: el primero tiene unos 30 km de longitud y va de sur a norte,

desde Caldas hasta Bello, con un ensanchamiento máximo de unos 7 km a la altura de Medellín. El otro, más estrecho, está orientado hacia el noreste y va de Bello a Barbosa, con unos 35 km de largo.

La temperatura oscila entre los 16 y 29 °C; la humedad relativa es del 70%. La precipitación promedio es de 1.500 mm al año, con máximos de 3.500 mm al año en algunas épocas; el régimen de lluvias es bimodal, con dos épocas de lluvia y dos relativamente secas.

• Geología

El contexto geológico del Valle de Aburrá comprende rocas desde el Paleozóico hasta sedimentos recientes. Este valle de origen combinado, entre tectónico y sedimentario, posee una gran variedad de litologías. La descripción de mayor detalle fue realizada por Integral para el AMVA (2010) dentro del proyecto de microzonificación sísmica:

Retomado lo planteado en el estudio de *Microzonificación sísmica* se describen las siguientes unidades como las que conforman la geología del Valle de Aburrá:

- Grupo Caldas: anfibolitas granatíferas de Caldas (PZagC), esquistos de Caldas (PZeC), Anfibolitas del Alto de Minas (PZaAM).
- Complejo Cajamarca: esquistos de Cajamarca (TReC)
- Grupo El Retiro: anfibolitas de Medellín (TRaM), esquistos anfibólicos de Baldías (TRaB), migmatitas de Puente Peláez (TRm-PP), gneis de la Ceja (TRgLC).
- Intrusivos triásicos: gneis de Palmitas (TRgP), *Stock* de Amagá (TRgA)
- Intrusivo jurásico: milonita de la Iguaná (Jml).
- Complejo ofiolítico de Romeral: gabros de Romeral (JgR), peridotita de Romeral (JuR),
- Complejo ofiolítico de Aburrá: metabasitas del Picacho (JKmbP), dunitas de Medellín (JKuM), gneis milonítico de Sajonia (JKgmS)
- Complejo Quebradagrande: Complejo Quebradagrande - miembro volcánico (KvQG), Complejo Quebradagrande – miembro volcanosedimentario (KvsQG).
- Intrusivos cretácicos: *Stock* de San Diego (KgSD), *Stock* de Alta-vista (KdA), batolito de Ovejas (KtO), *Stock* de Media Luna (Kcd-ML), *Stock* de Las Estancias (KcdE), batolito Antioqueño (KcdA), gabros de Copacabana (KgC).

- Depósitos de vertiente: flujos de escombros y/o lodos (NQFII, NFI, NFpreI), depósitos de deslizamiento (Qd), depósitos de flujo (QFIV)
- Depósitos aluviales (Qal, Qat): depósitos aluviales (Qal), depósitos aluviotorrenciales (Qat), depósitos y llenos antrópicos (QII).

• Unidades hidrogeológicas

El sistema de aguas subterráneas en el Valle de Aburrá está conformado por tres unidades hidrogeológicas: un acuífero libre, un acuífero semiconfinado y el acuífero de la dunita de Medellín.

La definición de la geometría se realizó empleando técnicas geoestadísticas a partir de información de correlación efectuada sobre 192 registros de perforaciones, 82 tomografías y 72 SEV.

Acuífero libre del Valle de Aburrá: asociado a los depósitos aluviales del río Medellín y de sus principales afluentes y a los depósitos de vertiente, especialmente flujos de escombros cuando estos tienen una matriz limoarenosa. Los espesores máximos se registran en Copacabana, alcanzando 150 m.

Acuífero semiconfinado del Valle de Aburrá: comprende los depósitos más antiguos del río Medellín. Está separado del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso; los espesores podrían sobrepasar los 200 m.

Acuífero de la dunita de Medellín: la dunita serpentizada y karsificada soporta grandes volúmenes de agua subterránea desde la recarga, tránsito y descarga.

• Recarga

Para la zona de estudio se identificaron cuatro fuentes de recarga: en principio se tiene una recarga distribuida en los sitios donde aflora el acuífero y aún no se ha intervenido mediante procesos de urbanización; habría recarga a través de la interacción hidráulica que existe entre el río Medellín y el acuífero libre en el sector com-

prendido entre La Aguacatala y el Cerro Nutibara; existe recarga lateral indirecta desde las rocas encajantes del sistema; finalmente, muy seguramente, se presenta recarga accidental por fugas en redes de acueducto y alcantarillado en zonas urbanas.

Las condiciones más críticas para la generación de la recarga se presentan en años hidrológicos secos. Para estos la recarga oscila entre un 7% y un 50% de la precipitación. Sectorizando el Valle en tres segmentos se han estimado (Universidad de Antioquia y AMVA, 2016) volúmenes mínimos de recarga potencial así: sector norte: 18.759.510 m³/año, Sector Centro: 12.344.38 m³/año, sector sur: 4.981.929 m³/año.

• Flujo de agua subterránea

Durante los 10 años de operación de la red de aguas subterráneas, se han logrado realizar, a marzo de 2020, 79 campañas de monitoreo en los diferentes puntos de agua que hacen parte o han hecho parte de la red. De acuerdo con su operación en todos los puntos de agua se mide mensualmente el nivel, ya sea dinámico o estático, situación que permite monitorear continuamente el comportamiento del acuífero libre. De acuerdo con estas mediciones piezométricas, la dirección del flujo subterráneo proviene desde las zonas de recarga hacia el río, siguiendo en términos generales el sentido de la pendiente; es evidente el papel del río Aburrá-Medellín como frontera hidráulica que capta el flujo base. Llama la atención el sector ubicado en inmediaciones de La Aguacatala hasta el Cerro Nutibara, el cual coincide con un tramo en el que el río cambia su curso y describe una curva cóncava hacia el oeste, allí las líneas de flujo subterráneo que tienen su origen en la vertiente oriental del valle trascienden el cauce superficial para luego confluir con las líneas de flujo que provienen del occidente, en un sector alineado subparalelamente al río.

• Propiedades hidráulicas

Para el acuífero libre del Valle de Aburrá se cuenta con información de 207 pruebas de bombeo realizadas al momento de construir las captaciones o piezómetros, o durante el proceso de legalización

adelantado ante la autoridad ambiental, según consta en expedientes del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Corantioquia, Se observa que el valor más bajo de transmisividad se reporta en el municipio de Girardota con un valor de 0.009 m²/día, en Medellín se registra el valor más bajo de permeabilidad de 3.1 x10⁻⁵ m/día. Los valores más altos para la transmisividad y la permeabilidad se registran en el municipio de Medellín, siendo el valor más elevado 1.160,9 m²/día y de permeabilidad de 50 m/día respectivamente. En el acuífero confinado se tiene un registro de transmisividad de 195,5 m²/día.

• Calidad del agua subterránea

Para el acuífero libre del Valle de Aburrá se cuenta con monitoreo periódico de calidad a través de la operación de una red de calidad desde el año 2010. Para conocer la variación de la calidad en el tiempo se aplica índice de calidad general de agua subterránea (ICG-As), propuesto por Vélez (2017). A partir del monitoreo continuo del agua se logra observar, para el uso doméstico, una mejoría en la calidad en el monitoreo de septiembre de 2019. Respecto al uso industrial las condiciones de calidad se han deteriorado en el tiempo y para el uso agrícola se evidencia un mejoramiento de la calidad del agua subterránea (Universidad de Antioquia & AMVA, 2019).

• Uso, oferta y demanda de agua subterránea

De acuerdo con la información disponible en el AMVA, en el año 2019 se tenían registrados 696 aljibes, 47 pozos, 12 manantiales, 4 galerías filtrantes, 2 lagos. Las principales destinaciones que se dan al agua subterránea corresponden a uso industrial, de servicios, doméstico, agrícola, pecuario y recreativo.

El estimativo de oferta fue calculado a partir de los valores de recarga obtenidos del balance hídrico. La demanda fue estimada sumando los registros de concesiones de agua subterránea y aplicando a los puntos inventariados módulos de consumo según el uso; el valor obtenido fue de 7.357.875 m³/año. Bajo estas circunstancias se tendría, en promedio, que las condiciones de escasez de 20% que correspon-

de a unas cifras que están en el rango de demanda que oscila entre baja y considerable.

• Hidrogeoquímica e isotopía

En el Valle de Aburrá, desde el año 2010, opera la Red de Monitoreo Hidrogeoquímico que busca continuamente la validación del modelo hidrogeológico conceptual y el entendimiento de los procesos que ocurren en el acuífero. Se observa espacialmente que los mayores valores de conductividad eléctrica se presentan en el centro sur del Valle de Aburrá, cercanos al cauce del río Medellín; se presentan de manera puntual casos donde las CE son tan elevadas que podrían asociarse a captaciones que pertenecen a diferentes sistemas de flujo o contaminación puntual. Respecto a las facies hidroquímicas, hacia las partes más altas del Valle, se presentan muestras con una menor mineralización y facies del tipo HCO_3 -Ca-Mg y hacia el fondo del Valle se presentan muestras con una mayor mineralización y facies de tipo HCO_3 -Na-Mg que estaría en correspondencia con el sentido del flujo obtenido a partir de la superficie piezométrica. En el fondo del Valle, en algunos puntos, se presentan muestras con una mineralización mucho mayores comparadas con las demás, y una facies del tipo ClNa.

La línea meteórica local, $\text{d}^2\text{H} = 8,26\text{d}^{18}\text{O} + 12,8$ se obtuvo a partir de datos isotópicos tomados, con intermitencia, en cinco estaciones de lluvia ubicadas a diferente altitud.

La relación establecida entre la variación altitudinal de la lluvia y las características isotópicas del agua subterránea, para el agua dispuesta en el acuífero libre, muestra que el agua subterránea ingresa al sistema procedente de flujos regionales; solo localmente

se estaría dando recarga directa. Esta situación tiene sentido si se tiene en cuenta el alto nivel de urbanización que ha limitado la función de recarga al acuífero (Ossa *et al*, 2021).

Datos puntuales de ^3H y ^{14}C obtenidos para el acuífero semiconfinado arrojan resultados de edades de aguas actuales y hasta 9.500 años.

• Vulnerabilidad, carga contaminante

Según el resultado que se obtiene al aplicar la metodología GOD, para el acuífero libre, se presentan tres categorías de vulnerabilidad: media, asociada a los depósitos de vertiente; alta, que se presenta en la parte baja donde el acuífero se encuentra compuesto principalmente por los depósitos aluviales del río Aburrá-Medellín; extrema, en una pequeña porción de los flujos aluviotorrenciales de la quebrada Doña María. La vulnerabilidad del acuífero semiconfinado sería media, y la de la dunita, alta.

Dentro de la fase de diagnóstico del PMAA se definieron las principales amenazas al sistema. Estas estarían asociadas al desarrollo urbano y comprenden: mal manejo de aguas residuales, mal manejo de residuos sólidos, estado de los tanques y manejo de combustibles, la operación inadecuada de los cementerios y el mantenimiento de zonas verdes. Además, se identificaron amenazas asociadas a las actividades agrícola, pecuaria y minera.

También, en el marco del PMAA fueron determinadas las amenazas asociadas al riesgo por agotamiento como las actividades extractivas de agua y de material pétreo dentro del dominio espacial del sistema hidrogeológico. (Universidad de Antioquia & AMVA, 2019c)

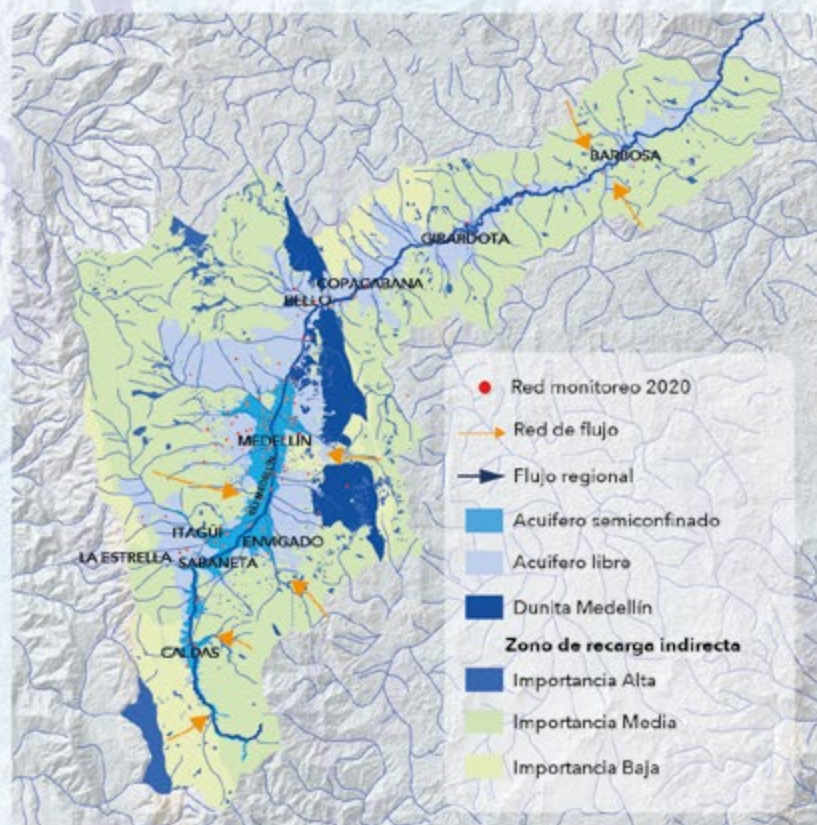
• Plan de manejo ambiental de acuífero

Formulado en 2018, el PMAA para el Valle de Aburrá, define como problema principal, la disminución de la calidad y cantidad de las aguas en el sistema acuífero del Valle de Aburrá. Un conjunto de causas relacionadas con todas las amenazas identificadas tiene que ver con la falta de educación, falta de control y coordinación interinstitucional, débil gestión social y comunitaria, políticas públicas que no tienen en cuenta las aguas subterráneas y desconocimiento del régimen de flujo. Los efectos se traducen en riesgos por contaminación, desabastecimiento y conflictos uso del suelo-agua, lo que traería como consecuencias la disminución en calidad de vida de la población, la afectación a las actividades económicas que depende del agua subterránea y la pérdida de funciones y servicios de los ecosistemas.

Una vez formulado, el PMAA, se planteó como objetivo central: “Reducir los impactos ambientales generados por las actividades socioculturales sobre las aguas subterráneas y mantener sus servicios ecosistémicos”. Con la definición de cinco líneas estratégicas se busca hacer frente a cada una de las problemáticas identificadas relacionadas con el conocimiento, la preservación, conservación y uso sostenible del recurso hídrico subterráneo; estas líneas son: ocupación y uso sostenible del territorio, fortalecimiento del ejercicio de la autoridad ambiental, generación de conocimiento para la gestión de la oferta y la demanda del agua subterránea, gobernanza y gobernabilidad, educación y cultura. La ruta a seguir para alcanzar el propósito del PMAA está trazada en la ejecución de 17 proyectos y en la aplicación de las medidas de manejo a las zonas de recarga.



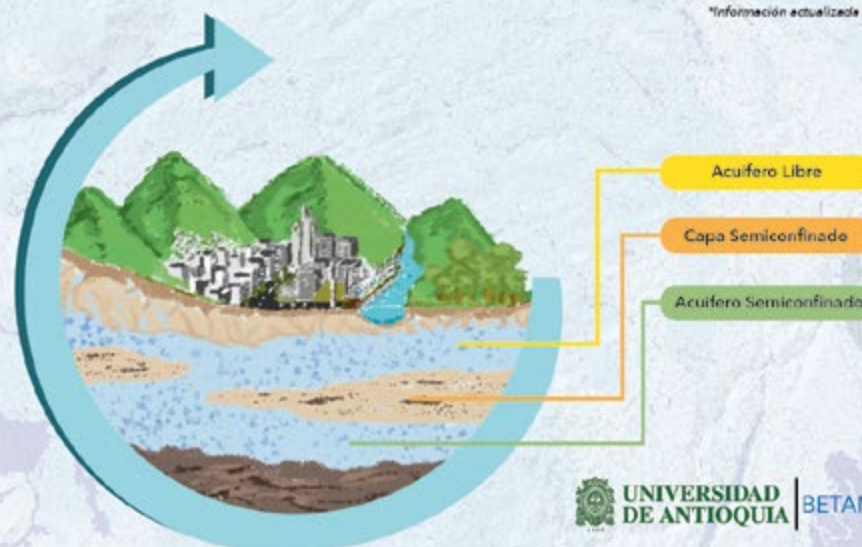
LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL VALLE DE ABURRÁ



Características	Acuífero libre	Acuífero semiconfinado	Dunita de Medellín
Municipios asociados	Caldas, La Estrella, Envigado, Sabaneta, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa	Caldas, La Estrella, Envigado, Sabaneta, Itagüí y Medellín	Envigado, Medellín, Copacabana y Bello
Geología	Depósitos aluviales y depósitos de vertiente, con edades Neógeno a Cuaternario.	Depósitos aluviales.	Dunita
Extensión	238,6 km ²	77,3 km ²	59,7 km ²
Puntos de agua	Según apartantes en el ANVA: 406 son aljibes, 47 pozos, 12 manantiales, 4 galerías filtrantes, 2 lagos.	Industria.	1 aljibe y un manantial.
Uso	Doméstico: 43 captaciones, industrial: 131, lavado de vehículos: 184, riego: 27, agrícola: 6, pecuario: 5, recreativo: 1, preservación de fauna y flora: 1, sin información: 13.		Uso doméstico.
Correlación estratigráfica	192 registros de perforaciones, 82 topografías y 72 SIV. T6 alcanzan el basamento del acuífero libre.	Separado del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso.	Geología de campo.
Recarga	En términos generales se observa que para el año seco -el escenario más crítico para la recarga- los valores oscilan entre 7% y 50% de la precipitación. La magnitud total de recarga potencial se estima en 36,5 millones de m ³ /año.	Podría tener espesores que superen los 200 m.	
Áreas de recarga	Análisis textural: Según características de suelo así: Grava (5), Arena: Grava-arenosa (5), Arena fina, Arena-limosa (5), Limo, limo-arenoso, arcillo-arenoso (3), Arcilla (1). Geomorfología: De fallas aluvias. Análisis estructural: Falles regionales con direcciones predominantes: NS a NNW. Análisis estructural: actitud de la familia de diaclasas según perfil topográfico.	Bloques con diferente escarpa.	Dielastosis y karstificación.
Delimitación de Áreas de Recarga	Zona de recarga directa, en zonas urbanizadas se ha perdido la función de recarga.	Asociada a las rocas duras que estructuran el Valle. Predominan las zonas de recarga indirecta de importancia media, al Norte (Copacabana) y sur (Caldas); importancia baja. No disponible para esta unidad.	La zona de afloramiento corresponde a recarga directa.
Red de Flujo	Piezometría: El flujo subterráneo sigue en términos generales el sentido de la pendiente; entre La Aguacalera hasta el Canto Nuclear las líneas de flujo subterráneo que tienen su origen en la vertiente oriental del valle trascienden al curso del río Medellín para luego confluir con las líneas de flujo que provienen del occidente.		Se monitorea un manantial que registra oscilaciones en su nivel.
Pruebas de bombeo	207 pruebas de bombeo. Transmisiones entre 9.009 m ² /día y 1160,9 m ² /día (L7).	Solo una prueba: transmisividad de 195,5 m ² /día.	
Calidad	Monitoreo permanente aplicando índices de calidad que reportan variaciones temporales entre buena y mala para uso doméstico.	Solo un punto: conductividades eléctricas por encima de los 1500 micro S/cm y nitatos inferiores a 10 mg/L.	Un punto Mg, Ca, HCO ₃ a Mg, HCO ₃ .
Hidrogequímica e isotopía	Hacia las partes más altas del Valle, facies del tipo HCO ₃ -Ca-Mg; hacia el fondo del Valle se presentan mayor mineralización y facies de tipo HCO ₃ -Na-Mg. Toda en correspondencia con el sentido del flujo.	Un punto (Licencia) y uno lejano del tipo Cl-Na.	
Isotopía	9 estaciones de flujo. Para el caso del agua subterránea se cuenta con información de 231 datos y 24 datos de agua superficial.	Muestras de ¹⁸ O y ¹⁸ C, para este nivel acuífero, que arrojan resultados de edades de aguas actuales hasta 9526 años.	Un punto.
Red de monitoreo	A octubre de 2019 estaba conformada por 119 puntos de agua entre aljibes (76), pozos (14), piezómetros (11), manantiales (8), totalizadores de agua lluvia (5) y puntos de agua superficial (5). Se hace seguimiento: piezométrico, hidrogequímico, de calidad e isotópico.		
Oferta y Demanda	Sector norte: Volumen de recarga: 18.719.510 m ³ /año. Capacidad de almacenamiento: 54.799.500 m ³ . Sector Centro: Volumen de recarga: 12.344.380 m ³ . Capacidad de almacenamiento: 151.527.33 m ³ . Sector sur: Volumen de recarga: 4.981.929 m ³ /año. Capacidad de almacenamiento: 3.555.075 m ³ . Demanda para 2016: 7.357.875 m ³ . Índice de escasez de 20% que corresponde a una demanda que oscila entre baja y considerable.		
Medidas de Gestión	Medidas de Manejo Zonas de Recarga: Se encuentran establecidas dentro del PMAA.	Según GOD se registra un grado de vulnerabilidad bajo.	Grado de vulnerabilidad alto.
Vulnerabilidad	Según GOD: Medio en los depósitos de vertiente, alta donde el acuífero se encuentra compuesto principalmente por los depósitos aluviales y extrema, asociada a depósitos aluviales de la quebrada Doña María.		
Carga contaminante y riesgo	Se identificaron amenazas asociadas al desarrollo urbano como: mal manejo de aguas residuales, mal manejo de residuos sólidos, estado de los tanques y manejo de combustibles, la operación inadecuada de los cementos y el mantenimiento de zonas verdes; localmente actividades agrícolas y minería.		
Vulnerabilidad humana	Poca dependencia del agua subterránea por parte de la población.		
Fugas y SIBH	252 registros en el SIBH del IDEAM.		
Plan de Manejo Ambiental	Formulado y adoptado por Comares Conjunta. Se formularon 17 proyectos, se dio inicio a la ejecución.		

*Información actualizada hasta el año 2020

Línea Metpeórica Local: $\delta^2H = 8,26\delta^{18}O + 12,8$



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

Sistema hidrogeológico de Oriente

Entre los años 1997 y 2001 CORNARE dio un impulso a la búsqueda del conocimiento de las aguas subterráneas en su jurisdicción, pero no se sostuvo continuidad a esta iniciativa. Recientemente —de la mano de la Escuela de Ingeniería de Antioquia y Empresas Públicas de Medellín— se ha retomado la idea de lo importante que puede ser este recurso como fuente potencial para abastecer algunas demandas regionales.

• ORIENTE ANTIOQUEÑO

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Actualización del modelo hidrogeológico conceptual en el Valle de San Nicolás.</i>	Grupo de investigación SITE, Universidad EIA.	CORNARE; EPM.	2018
<i>Trabajo de grado: Definición de la red de flujo subterránea de la vega aluvial del río Negro, mediante modelado numérico.</i>	Garcés, D.	Universidad EIA.	2018
<i>"Monitoreo de oferta y calidad del agua en las cuencas de la jurisdicción de Cornare [...]" Fuentes subterráneas – Contrato 477-2016.</i>	Universidad Católica de Oriente.	CORNARE.	2016
<i>Trabajo de grado: Modelo hidrogeológico conceptual de los Valles de San Nicolás y La Unión.</i>	Giraldo, W.	Universidad Nacional – Sede Medellín.	2014
<i>EIA Conexión vial Aburrá-Oriente</i>	Concesión túnel Aburrá-Oriente SA.	Gobernación de Antioquia.	2003
<i>Sistema hidrogeológico del altiplano de Rionegro y del Valle de la Unión en la zona central de Antioquia.</i>	Hoyos, F., Vélez, M., Múnera, J. y Arias, D.	Universidad Nacional – Sede Medellín.	2001
<i>Evaluación hidrogeológica preliminar para los municipios de: El Retiro, La Ceja, Rionegro, El Carmen, Guarne y Marinilla.</i>	Universidad Nacional de Colombia.	CORNARE.	1997

En la cordillera Central, la región geográfica denominada como el altiplano del Oriente antioqueño se puede subdividir, según fronteras hidrológicas y de acuerdo con sus características geográficas y topográficas en varias subregiones. Las cuencas ubicadas en los bordes del altiplano presentan un comportamiento distinto a las ubicadas en el interior, las externas drenan hacia zonas escarpadas como los valles del Cocorná o el río Nare (Giraldo, 2014). Dentro de este territorio a los valles de San Nicolás y de La Unión se les han reconocido propiedades hidrogeológicas de acuíferos.

Dentro de la zona que comprenden los valles de San Nicolás y de La Unión, la precipitación media anual es de 2.150 mm y 2.440 mm, respectivamente. De acuerdo con las condiciones de altura y con una temperatura promedio es de 14.5°C.

• Geología

Las unidades geológicas presentes configuran un basamento rocoso formado por rocas cristalinas fracturadas: granitoides del batolito Antioqueño, serpentinitas, metasedimentos y anfibolitas, a partir de las cuales se ha desarrollado un grueso regolito, cuyo espesor medio es 80 m y en algunos sitios supera los 200 m (Hoyos *et al.*, 2001).

La meteorización de las rocas del Batolito Antioqueño ha dado lugar a un perfil de meteorización en el que se distinguen tres niveles u horizontes: un suelo residual maduro de limos de baja permeabilidad que normalmente tiene varios metros de espesor; una zona saprolítica de espesor variable que puede alcanzar varias decenas de metros de limos arenosos y arenas limosas oxidadas con permeabilidad del orden de 10^{-5} a 10^{-6} m/s, y una zona de gruss que puede tener hasta varias decenas de metros de espesor y una permeabilidad del orden de 10^{-5} m/s.

Los depósitos y las terrazas aluviales ocupan una amplia extensión en la parte central del altiplano de Rionegro, con espesor muy variable que puede ser de unos pocos decímetros hasta varias decenas de metros.

En toda la extensión del área estudiada se encuentra un manto de ceniza volcánica con un espesor medio de 1.3 m que, en algunos sitios llega a los 3 m; la capacidad de infiltración de este material varía entre unos cuantos centímetros por hora hasta 0.5 m/h; la porosidad de este material y su elevada permeabilidad secundaria, su posición en superficie y su espesor hacen de él un elemento clave en el proceso de infiltración (Hoyos *et al.*, 2001).

• Unidades hidrogeológicas

La información disponible para las labores de correlación que se han realizado en Oriente comprende 276 sondeos eléctricos, 19 registros de pozos, la localización de 155 afloramientos rocosos y 390 puntos de agua.

Revisando información de diferentes fuentes (Hoyos *et al.*, 2001, Giraldo, 2014 y EIA, 2018) se resalta la idea integral planteada por Hoyos *et al.* según la cual la totalidad del área tiene potencial hidrogeológico y bien puede considerarse que no existen discontinuidades mayores en sentido horizontal; planteando cuatro categorías de acuíferos:

Acuíferos libres en aluviones: las vegas aluviales y las terrazas bajas de los ríos Negro y Pereira, y de las quebradas La Mosca, Marinilla y Cimarrona forman un cuerpo continuo digitado que tiene su mayor amplitud en el sector de Belén, donde confluyen las quebradas Marinilla y La Mosca con el río Negro. Los depósitos aluviales de esta formación están compuestos predominantemente por arenas y limos y en menor medida por gravas. Los depósitos aluviales pueden alcanzar espesores de 55 m y las terrazas de 45 m (EIA, 2018).

Acuíferos libres en suelos residuales: puede considerarse que en toda la región existen acuíferos libres en los suelos residuales, alcanzando profundidades de hasta 120 m.

Acuíferos libres en rocas fracturadas: en los escarpes rocosos entre las superficies de erosión SI y SII, y en la zona noroccidental del área investigada, donde el regolito es muy somero o inexistente,

pueden encontrarse acuíferos cuya ocurrencia depende principalmente de la intensidad y del patrón de fracturación de la roca.

Acuíferos confinados en rocas fracturadas: los acuíferos confinados en el basamento se encuentran entre los municipios de Guarne y San Vicente y alrededor de los municipios de Rionegro y El Santuario.

• Recarga

Se conocen las características texturales generales, no se han realizado pruebas de infiltración y respecto a las estructuras se han evaluado las características de las principales fallas geológicas. Con base en ello se han identificado fuentes de recarga en la precipitación y procedente de formaciones adyacentes que derivan flujos laterales.

Las unidades aluviales presentan recarga por infiltración directa de la precipitación local y, parcialmente, por aportes desde el altiplano de la Unión para los aluviones de los ríos Negro y Pereira, y las quebradas Cimarrona y Marinilla, y desde el altiplano de Las Palmas - Santa Elena - Piedras Blancas para los aluviones de la quebrada La Mosca (Hoyos *et al.*, 2001). En estas unidades el potencial de recarga es entre muy alto y alto (Garcés, 2018). Para las demás unidades el potencial de recarga se califica como intermedio.

De acuerdo con los cálculos efectuados por el método de balance hídrico, la recarga potencial es del orden de 550 mm/año para el valle de Rionegro y 735 mm/año en el valle de La Unión.

• Flujo de agua subterránea

Aunque se tiene información acerca de niveles piezométricos e información de calidad del agua e

hidrogeoquímica, no se menciona la conformación de una red de monitoreo sistemático. Las superficies piezométricas preliminares con que se cuentan registran un flujo en el sentido de la pendiente topográfica, hacia las fuentes superficiales.

• Propiedades hidráulicas

No se cuenta a la fecha con información acerca de pruebas de bombeo realizadas; en los ejercicios de modelación se han tomado valores de referencia según propiedades texturales.

• Calidad del agua subterránea

En 2016, CORNARE realizó una campaña de caracterización de calidad del agua subterránea a partir del análisis de veinticuatro muestras tomadas en captaciones en los municipios de Rionegro, Guarne y la Ceja. La mayoría de las muestras evidenciaron una naturaleza ácida y poca turbiedad; en la mayoría se presentó contaminación por coliformes totales y/o fecales. Algunos lugares mostraron evidencias de contaminación en parámetros cadmio, sulfatos, sodio, nitratos o hierro.

En algunos aluviones es posible encontrar fuentes saladas.

• Uso, oferta y demanda de agua subterránea

Según inventario de CORNARE para el año 2014, teniéndose registro de unos 427 puntos de agua, se encuentra que las captaciones de aguas subterráneas son aprovechadas mayormente para riego (30%), lo siguen los usos domésticos (26%), industrial (23%), pecuario (16%), comercial (4%) y piscícola (1%). El

municipio con mayor cantidad de puntos de agua es Rionegro con el 63% del total, seguido por El Carmen de Viboral y La Ceja con el 13% y el 12%, Guarne con el 9%, La Unión tiene el 3%, Marinilla, Santuario y El Retiro, cada uno aproximadamente, con el 2%.

• Hidrogeoquímica e isotopía

A partir de un trabajo de caracterización puntual, para 24 muestras de agua subterránea, se identificaron facies hidroquímicas de carácter mixto, algunas de tipo bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas. Dos de las muestras presentaron composición clorurada sódica y una presenta tendencia clorurada cálcica.

El sistema acuífero no presenta todavía información de carácter isotópico.

• Vulnerabilidad, carga contaminante

Se han mencionado factores que podrían determinar causas de vulnerabilidad del acuífero, entre ellos se cita: la conductividad hidráulica, y la interacción con fuentes superficiales. Por lo demás, no hay evaluación clara de la vulnerabilidad y tampoco de carga contaminante o riesgo.

• Modelo numérico

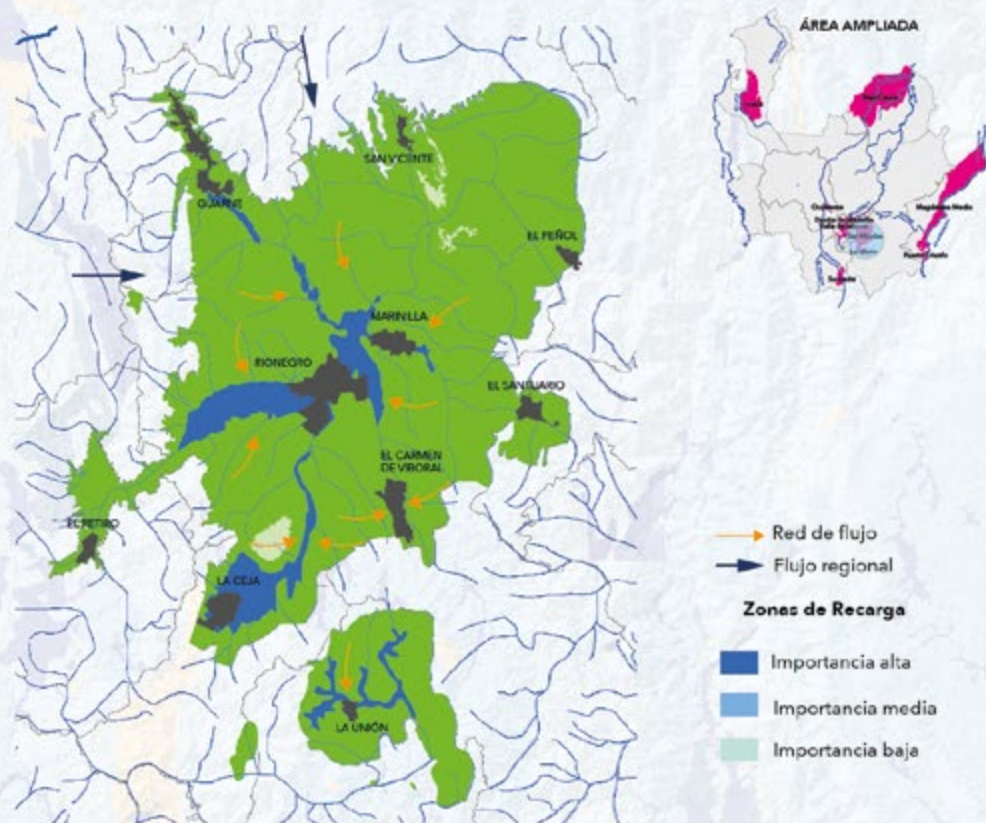
En la actualización del MHC en el valle de San Nicolás (2018) se realizó el modelamiento numérico del flujo subterráneo en régimen permanente usando el modelo MODFLOW 2005.

• Plan de manejo ambiental de acuífero

No se ha formulado un PMAA para el sistema hidrogeológico del Oriente antioqueño.

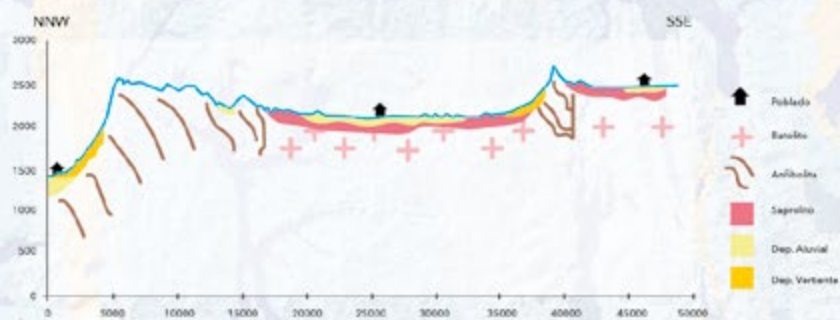


LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ORIENTE ANTIOQUEÑO



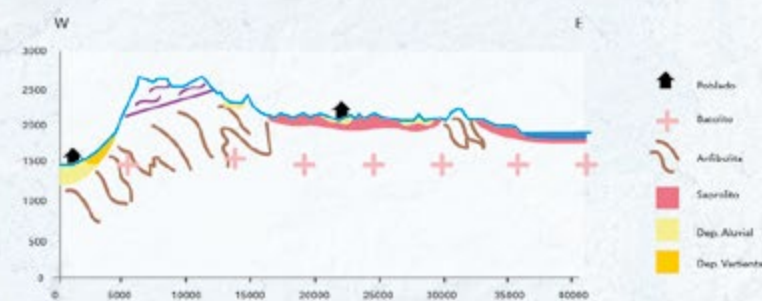
Características	Acuíferos San Nicolás - La Unión
Municipios asociados	Guarne, San Vicente, Macellía, Riosiego, El Carmen, La Ceja, El Retiro y La Unión.
Geología	Rocas cristalinas fracturadas: granitoides del Batolito Antioqueño, serpentinitas, metasedimentos y esfoliolas; depósitos de vertiente, aluviales y una capa de ceniza volcánica que cubre toda la región.
Extensión	250 km ²
Puntos de agua	Según inventario de CORNARE, para el año 2014 se tenía registro 420 puntos de agua.
Usos	Se encuentran que las captaciones de aguas subterráneas son aprovechadas mayormente para riego (30%), le siguen los usos domésticos (26%), industrial (23%), pecuario (16%), comercial (4%) y piscícola (1%).
Correlación estratigráfica	276 sondeos eléctricos, 19 registros de pozos, la localización de 155 afloramientos rocosos y 370 puntos de agua. Se definen cuatro unidades hidrogeológicas: acuíferos libres en aluviales (entre 45 y 55 m de espesor), Acuífero libre en suelos residuales (hasta 100 m de profundidad), acuíferos libres en rocas fracturadas y acuíferos confinados en rocas fracturadas.
Recarga	Balance hídrico: De acuerdo con los cálculos efectuados por el método de balanza hídrica, la recarga potencial es del orden de 550 mm/año para el Valle de Riosiego y 725 mm/año en el Valle de La Unión. Se conocen características texturales de las formaciones superficiales: limo, arenas y gravas.
Áreas de recarga	Pruebas de infiltración: No se han realizado pruebas de infiltración. Geomorfología: Se han efectuado evaluaciones geomorfológicas en el Oriente. Análisis estructural: Se han evaluado las características de las principales fallas geológicas.
Red de flujo	Delimitación de Áreas de Recarga: Las unidades aluviales presentan recarga por infiltración directa de la precipitación local. Se presumen aportes laterales desde el Altiplano de La Unión y desde el Altiplano de Las Palmas - Santa Elena - Pácora Blanca. Piezometría: Las superficies piezométricas, preliminares, con que se cuenta registran un flujo en el sentido de la pendiente topográfica, hacia las fuentes superficiales.
Pruebas de bombeo	No se cuenta a la fecha con información acerca de pruebas de bombeo.
Calidad	Para 24 análisis se encontró que la mayoría de las muestras evidencian una naturaleza ácida y poca turbiedad, se presentó contaminación por coliformas totales y fecales. Algunos lugares muestran evidencias de contaminación en parámetros calcio, sulfato, sodio, nitrato u hierro. Hay evidencias de fuentes salinas.
Hidrogeoquímica e isotopía	Hidrogeoquímica: Para 24 análisis se tiene datos hidroquímicos de carácter mixto, algunas de tipo bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas. Dos de las muestras presentaron composición clorurada sódica y una presenta tendencia clorurada cálcica. Sin evaluación.
Medidas de Gestión	Red de monitoreo: No existe. Oferta Demanda: No existen evaluaciones de oferta y demanda. La disponibilidad puede aproximarse, como primera medida a partir de un factor que se asocie a la recarga promedio anual. Medidas de Manejo Zonas de Recarga: Vulnerabilidad: No se ha evaluado vulnerabilidad; se considera que la conductividad hidráulica y la conexión con fuentes superficiales constituyen factores a considerar como elementos que hacen vulnerable al sistema subterráneo. Carga contaminante y riesgo: No disponible. Vulnerabilidad humana: No se ha evaluado. Fugas y SIBH: Se encuentran 45 captaciones registradas en el SIBH. Plan de Manejo Ambiental: No se ha formulado un PMAA para el sistema hidrogeológico del Oriente antioqueño.

*Información actualizada hasta el año 2018



Perfil geológico de los Valles de Aburrá, San Nicolás y de La Unión en dirección NNW - SSE

FUENTE: GIRALDO, 2014)



Perfil geológico de los Valles de Aburrá, San Nicolás y la superficie de erosión de El Peñol - Guatapé

FUENTE: GIRALDO, 2014)



Sistema hidrogeológico del Suroeste de Antioquia

En el año 2014 se realiza el primer estudio formal acerca del potencial de aguas subterráneas en el Suroeste antioqueño. Este se centra en los municipios de Valparaíso y La Pintada; desde varios años atrás CORANTIOQUIA había venido, interiormente, reuniendo datos y evidencias de la importancia de este bien en esta región.

• SUROESTE DE ANTIOQUIA

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Evaluación hidrogeológica en los municipios de La Pintada y Valparaíso jurisdicción de la Dirección Territorial Cartama de Corantioquia.</i>	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA.	2014

Al sur del departamento de Antioquia, entre las cordilleras Central y Occidental, cruzada por el río Cauca y limitada por los ríos Poblano, Cartama y Arma, se localizan los municipios de Valparaíso y La Pintada, haciendo parte del dominio del bosque seco tropical.

• Geología

Las principales unidades geológicas que sirven de encuadre a esta región del sur de Antioquia se relacionan con formaciones de edad del Terciario e incluyen rocas volcano-sedimentarias, sedimentarias, ígneas plutónicas, pórfidos; parte de estas unidades están cubiertas por depósitos del Cuaternario.

El *Stock* de Támesis (Kitt), de edad del Cretáceo es una roca mineralizada de tipo diorita, con intensa afectación estructural que la hace una unidad permeable.

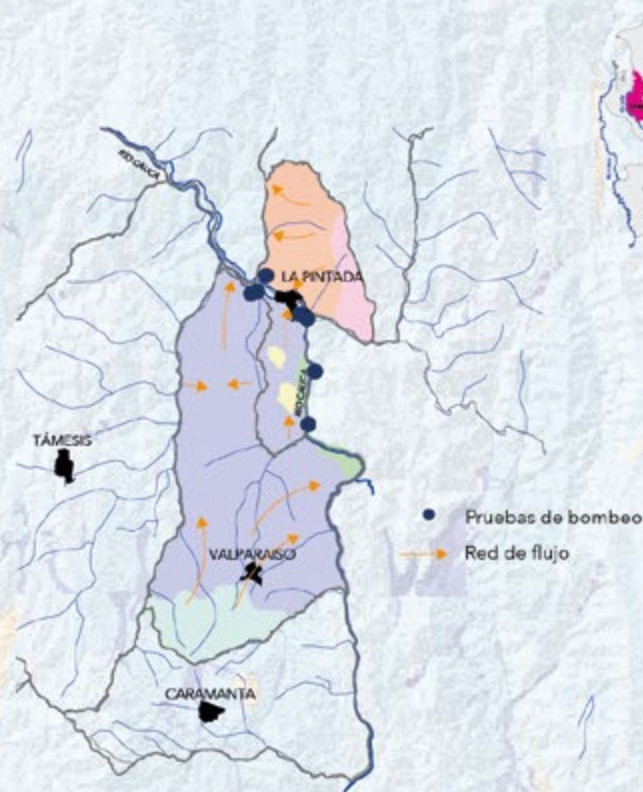
La formación sedimentaria Amagá, acorde con las características litológicas, presencia de mantos o bancos de carbón y posición estratigráfica, ha sido dividida en tres miembros: uno inferior, esencialmente clástico; el medio, caracterizado por la presencia de mantos explotables de carbón, y el superior, sin mantos de carbón y niveles de conglomerados, expone capas con diferente textura y composición.

Los sedimentos de la formación Amagá son suprayacidos por estratos más modernos en dos facies diferentes: un conjunto de estratos esencialmente volcánicos y otro esencialmente de conglomerados; corresponden a la formación Combia (Ngc) de naturaleza volcano-sedimentaria. Asociados a la actividad magmática de Combia se distinguen cuerpos de tipo porfirítico, que en la región se conocen como Los Farallones.

Las formaciones superficiales más recientes y sin consolidación se asocian a la dinámica aluvial.



LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SUROESTE ANTIOQUEÑO



Zonas hidrogeológicas

- ZH1a
- ZH1b
- ZH1c
- ZHII
- ZHIII
- ZHIV
- ZHV



Características	Zonas hidrogeológicas
Municipios asociados	Valparaiso y La Pintada.
Geología	Rocas cristalinas fracturadas, del Stock de Tamesis; Rocas sedimentarias de la Formación Amagá; la unidad volcánico-sedimentaria denominada Formación Combia; cuerpos porfídricos, depósitos de vertiente y aluviales.
Extensión	185 km ²
Puntos de agua	Según inventario realizado en 2014 se encontraron 49 nacimientos, 37 aljibes y 1 pozo.
Usos	El uso principal del agua es el doméstico (58%) seguido del recreativo (13%), el 24% de puntos no registran un uso.
Correlación estratigráfica	10 sondeos eléctricos y 10 tomografías, realizados sobre la Formación Amagá y sobre los Depósitos Aluviales. Se han definido seis unidades hidrogeológicas con diferente condición de porosidad y/o permeabilidad: Formación Amagá -LBB-, Formación Combia La Pintada -LHB-, Formación Combia Valparaiso -LBB-, rocas hipobasales -LBBV-, Stock de Tamesis -LBBV- y Depósitos cuaternarios -LBBV-.
Recarga	Balace hídrico La recarga promedio es de 150 mm/año, correspondiente al 6,5 % de la precipitación media en la zona.
Áreas de recarga	Análisis textural Se han identificado diferentes texturas en los suelos: franco arenoso (FA), franco (F), franco arcilloso (FAR), franco arcilloso arenoso (FARA), arcilloso (AR) y arcilloso arenoso (ARA). Pruebas de infiltración No se registra información. Geomorfología Se han efectuado evaluaciones geomorfológicas en el Suroeste de Antioquia. Análisis estructural A partir del reconocimiento de la geología se identifican rasgos estructurales como diaclasas, con o mayor densidad y abertura. Delimitación de Áreas de Recarga Se realizó una delimitación de zonas potenciales de recarga partiendo del mapa de pendientes y las unidades geomorfológicas.
Red de flujo	Piezometría Existe información de dos campañas de campo, a partir de las cuales se define una piezometría que ilustra la dirección de flujo subterránea a la pendiente del terreno y en dirección a las fuentes superficiales.
Hidrogeoquímica e isotopía	Pruebas de bombeo Seis pruebas hidráulicas realizadas en depósitos de La Pintada, de conductividad entre 0,21 m/día y 3,64 m/día y Transmisividad entre 17,1 m ² /día y 292 m ² /día. Calidad No hay información disponible. Hidrogeoquímica Las facies identificadas, en 20 puntos analizados, corresponden a Ca-HCO ₃ y Mg-HCO ₃ . Con base a la información recolectada se proponen hipótesis de líneas de flujo. Isotopía Sin evaluación.
Medidas de Gestión	Red de monitoreo Algunos puntos hacen parte de la red regional Piragás. Oferta Demanda No hay información disponible. Medidas de Manejo Zonas de Recarga No hay información disponible. Vulnerabilidad Se evaluó la vulnerabilidad en dos situaciones: una a la contaminación por pesticidas y la otra a la contaminación de acuíferos en general. La vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos general es baja y media en la Formación Amagá y alta en los depósitos cuaternarios. Carga contaminante y riesgo No hay información disponible. Vulnerabilidad humana No hay información disponible. Fuentes y SROH No hay información disponible. Plan de Manejo Ambiental No se ha formulado un PMAA para el sistema hidrogeológico del Suroeste antioqueño.

*Información actualizada hasta el año 2014

Potencial de recarga

- Potencial de recarga alto
- Potencial de recarga media
- Potencial de recarga bajo



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

• Unidades hidrogeológicas

Se cuenta con información estratigráfica del subsuelo, procedente de 10 sondeos eléctricos y 10 tomografías, que se han realizado sobre depósitos aluviales y la formación Amagá.

A todas las unidades geológicas se les ha asignado el carácter de unidad hidrogeológica, describiendo sus condiciones de porosidad y permeabilidad: formación Amagá —UHI—, formación Combia La Pintada —UHII—, formación Combia Valparaíso —UHIII—, rocas hipoabisales —UHIV—, *Stock* de Támesis UHV y depósitos cuaternarios —UHVI— (Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S. & Corantioquia, 2014).

La UH I está compuesta por areniscas de grano medio con cementantes arcillosos, ferruginosos y calcáreos. Puede alcanzar espesores mayores a 1.000 m en el sector de la Pintada.

En la UH II predomina el miembro volcánico con intercalaciones de basaltos, areniscas y conglomerados. El espesor es de aproximadamente 600 m.

Para la UH III predomina el miembro sedimentario. El espesor es de aproximadamente 1.000 m. Esta unidad es porosa, pero de permeabilidad muy baja.

La unidad UH IV es un macizo rocoso fracturado pero con permeabilidad primaria nula. El espesor es de aproximadamente 600 m.

En cuanto a la unidad UH V la permeabilidad primaria es nula, se encuentra muy diaclasada pero casi ninguna estructura tiene drenaje.

Los depósitos cuaternarios de la unidad UHVI están asociados a los ríos Cauca, Arma, Poblano y Cartama, y poseen espesor promedio de 5 m, pudiendo ser mayores.

• Recarga

Las características texturales del suelo indican la presencia de condiciones diversas: franco arenoso (FA), franco (F), franco arcilloso (FAr), franco arcilloarenoso (FArA), arcilloso (Ar) y arcilloarenoso (ArA). En cuanto a las condiciones fisiográficas que determinan la posibilidad de detención de lluvia en superficie se cuenta un modelo de elevación con resolución de 30 m. Por otra parte, se han reunido datos estructurales relacionados con los efectos de la afectación tectónica sobre los *stocks* y cuerpo porfídicos. Estos insumos permiten realizar inferencias acerca de las zonas de recarga y de la importancia de la misma.

El valor promedio de la recarga en toda la zona oscila alrededor de los 150 mm/año, correspondiente al 6.5 % de la precipitación media en la zona, aunque existen zonas que bajo los tres escenarios de simulación, alcanzan valores hasta del 40 % de la precipitación media anual. Durante años secos la recarga potencial disminuye hasta valores alrededor de 50 mm/año y durante años húmedos la recarga media aumenta hasta valores del orden de los 180 mm/año, sin embargo, se observa que se conserva el porcentaje de recarga con respecto a la precipitación (6.5 %).

• Flujo de agua subterránea

Existe información de dos campañas de campo, en 29 puntos de agua, a partir de las cuales se define una piezometría que ilustra la dirección de flujo subparalela a la pendiente del terreno y en dirección a las fuentes superficiales. A partir de análisis de facies hidroquímicas se ha ajustado la definición de las direcciones de flujo.

• Propiedades hidráulicas

Se cuenta con registros de siete pruebas hidráulicas realizadas en el municipio de La Pintada. De acuerdo con los valores de conductividad (entre 0,21 m/día y 3,64 m/día) y transmisividad (entre 17, 1 m²/día y 292 m²/día), los depósitos se clasifican en una formación semi-impermeable indicando una permeabilidad inferior a las gravas y arenas más gruesas, pero que de igual forma indica que la formación acuífera es explotable.

• Hidrogeoquímica e isotopía

En 2014 se realizaron campañas de caracterización hidrogeoquímica a muestras tomadas en 20 puntos de agua, incluyendo, además de aguas subterráneas, una laguna y agua lluvia. Las facies identificadas corresponden a Ca-HCO₃ y Mg-HCO₃, con base en la información recolectada se proponen hipótesis de líneas de flujo (Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S. & Corantioquia, 2014)..

• Vulnerabilidad, carga contaminante

Se evaluó la vulnerabilidad en dos situaciones; una a la contaminación por pesticidas y la otra a la contaminación de acuíferos en general. La vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos general es baja y media en la formación Amagá, y alta en los depósitos cuaternarios.

• Plan de manejo ambiental de acuífero

En 2022 se dio inicio a la formulación del PMAA, incluyendo el municipio de Caramanta. Se espera que en 2023 este plan se adopte por parte de CORANTIOQUIA.

Zona de influencia del bosque seco tropical

En el año 2021 CORANTIOQUIA, a través de la Universidad de Antioquia, emprendió la realización de un proyecto regional en torno al bosque seco tropical, abarcando la extensión de las dos vertientes que bordean el río Cauca en las cordilleras Occidental y Central. Dentro de este entorno se encuentran los sistemas acuíferos de Occidente y Suroeste, sobre los cuales la Corporación ya ha adelantado estudios anteriores. El propósito de este estudio ha sido el de identificar la dinámica hidrogeológica que puede incidir sobre el ecosistema de bosque seco, así como definir y priorizar nuevas áreas de interés para ahondar en la exploración hidrogeológica.

• BOSQUE SECO TROPICAL

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Aunar esfuerzos para la exploración del potencial hidrogeológico en zonas de bosque seco en el cañón del río Cauca en la jurisdicción de Corantioquia</i>	Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA.	2021
<i>Estimaciones regionales de recarga potencial de aguas subterráneas en formaciones blandas y rocas duras mediante un balance hídrico distribuido en zona de influencia del bosque seco tropical en el cañón del río Cauca – Antioquia.</i>	Bastidas, B., Ossa, J., Martínez, C., Vela, A., Betancur, T. y Osorio, A.	Universidad de Antioquia.	2021
<i>Potencial hidrogeológico en formaciones blandas y rocas duras evidenciado en un inventario de puntos de agua subterránea. Caso de estudio: Zona de influencia del bosque seco tropical en el cañón del río Cauca, Antioquia, Colombia</i>	Palacio, P., Vela, A., Díaz, R., y Ossa, J.	Universidad de Antioquia.	2021
<i>Evaluación hidrogeológica en los municipios de La Pintada y Valparaíso jurisdicción de la Dirección Territorial Cartama de Corantioquia.</i>	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA.	2014
<i>Formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente Antioqueño del sistema acuífero del Occidente antioqueño en la territorial Hevéxicos de Corantioquia</i>	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA.	2017
<i>Diagnóstico para la formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente antioqueño en la Territorial Hevéxicos de Corantioquia - Contrato 14-09-24.</i>	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA.	2015

Título	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Determinación de la recarga con isótopos ambientales en los acuíferos de Santa Fe de Antioquia.</i>	Vélez, M. y Rhenals, R	Universidad Nacional de Colombia.	2008
<i>Tesis de maestría: Validación del modelo hidrogeológico del Occidente antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas.</i>	Rhenals, R	Universidad Nacional de Colombia.	2007
<i>Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Sopetrán, Olaya y Liborina.</i>	Ortiz, C. y Restrepo, C.	CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia.	2004

Con una extensión de 10.662 km², desde el municipio de Caramanta hasta Ituango, en la zona se registran alturas entre los 171 metros sobre el nivel del mar -m.s.n.m- hasta los 3.609 m.s.n.m; este rango altitudinal determina variaciones hidroclimatológicas que van desde climas secos hasta húmedos, dados los rangos de temperatura y precipitación que ocurren en este vasto territorio.

La región fisiográfica que drena al río Cauca comprende jurisdicción de 55 municipios distribuidos en cinco subregiones del departamento, con mayor representatividad para el Norte, el Occidente y el Suroeste y con alcances menores hacia el Oriente y el Valle de Aburrá.

Al año 2021 se han inventariado 1.172 puntos de agua (incluidos 13 piezómetros). Los usos más frecuentes que se le da al agua subterránea son: doméstico —490 puntos—, agrícola —179 puntos—, abastecimiento público —87 puntos— y agropecuario —58 puntos—; también se reportan otros usos, tales como recreativo, ganadería, geotecnia, industrial, pecuario, minería, riego, jardinería, lavado de vehículos y reserva de agua. De acuerdo con los datos parciales disponibles a la fecha, se puede calcular que en la zona de estudio se estarían extrayendo anualmente más de 8,5 millones de metros cúbicos de agua subterránea.

• Geología

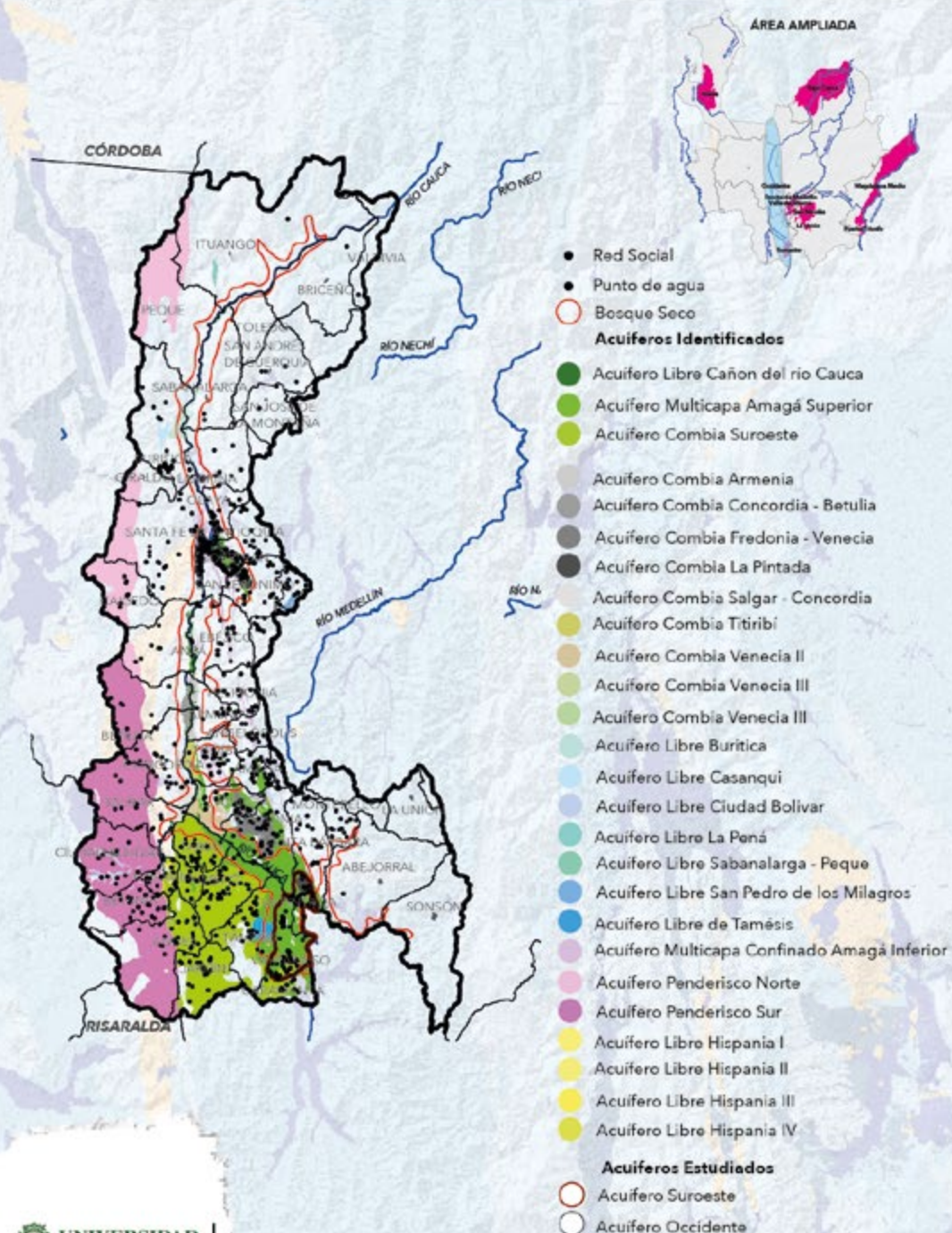
Las unidades más antiguas datan del Proterozoico y el Paleozoico, y corresponden a rocas metamórficas: migmatitas (P_eAmm), neises cuarzo feldespáticos y aluminicos (P_{zn}f, P_{zn}l), rocas del complejo Cajamarca tales como esquisto cuarzo sericítico (P_{zes}), esquistos actinolíticos cloríticos (P_{zev}) y esquistos intercalados (P_{zes}+P_{zev}); también se registra la presencia de anfibolitas (P_{za}). En el flanco occidental de la cordillera Central, aparece una faja alargada tectónicamente, de metamorfitas de media presión, denominadas complejo Arquía (Kica), que por su afectación tectoestructural ha desarrollado permeabilidad secundaria. Ambos flancos de la cordillera Central se caracterizan por la presencia de cuerpos de tamaño variable, alargados en el sentido tectónico regional, de intrusivos sintectónicos de estructura néisica, su edad es Paleozóica y se encuentran en Abejorral y el Alto de Minas (P_{nim}), Pantanillo (P_{nip}) y Río Verde (P_{niv}).

Dentro de las rocas ígneas se encuentran: *stocks* adamelíticos en el flanco occidental de la cordillera Central (*Stock* de la Honda -TraH-, *Stock* de la quebrada Liborina -TradL- y *Stock* del Buey -Trab-), intrusivos jurásicos y cretáceos como el batolito de Segovia, el batolito de Sonsón (Jts) y el batolito Antioqueño (Ksta).

Rocas sedimentarias del Cretácico se encuentran tanto en la cordillera Central, como en la Occidental. De acuerdo con su posición geográfica o tectónica, y edad, para su descripción se definieron las

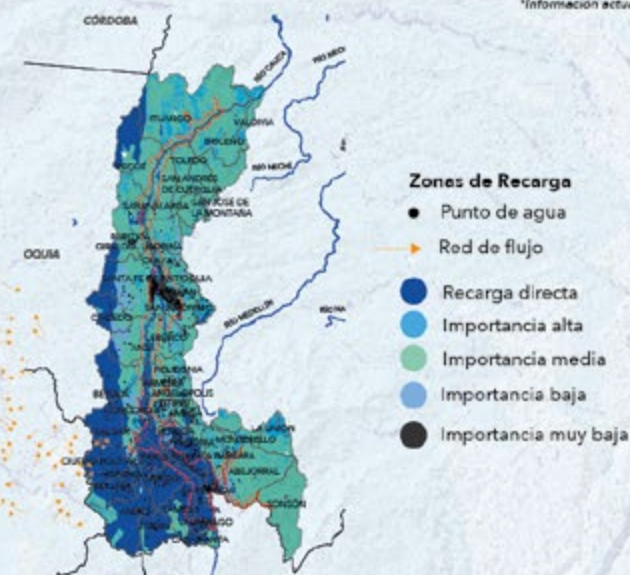


LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONA ASOCIADA AL BOSQUE SECO TROPICAL



Características	Unidades Hidrogeológicas asociadas al Bosque Seco Tropical
Municipios asociados	Todos los municipios asociados a las vertientes oriental y occidental del río Cauca.
Geología	Rocas metamórficas con edades desde el Precámbrico hasta el Cretácico; cuerpos intrusivos de tipo stock y batolitos. Unidades sedimentarias y volcanosedimentarias del Cretácico y del Terciario y depósitos recientes.
Generalidades	
Extensión	10.642 km ²
Puntos de agua	Al año 2021 se han inventariado 1.172 puntos de agua (incluidos 13 piezométricos).
Usos	Doméstico: 490 puntos, agrícola: 179 puntos, abastecimiento público: 87 puntos y agropecuario: 58 puntos; también se reportan otros usos, tales como recreativo, ganadería, geotermia, industria, pecuario, minería, riego, jardinería, lavado de vehículos y reserva de agua.
Correlación estratigráfica	A 2021, se han definido unidades hidrogeológicas según criterios litostrocturales: Formación Alajuela, Sedimentitas del Complejo Quebradagrande, Grupo Cañasgordas, Formación Amagá, Formación Combia y Depósitos aluviales y aluvionocósmicos.
Recarga	
Balace hídrico	Para un periodo hidrológico seco (2015) la recarga potencial anual fue del orden de 176 mm/año (10% de la precipitación).
Análisis textural	Notificado del estudio de suelos de Antioquia (2007) y 30 muestras de campo.
Pruebas de infiltración	31 pruebas. Tasas entre 0,51 mm/h y 50 mm/h.
Áreas de recarga	
Geomorfología	Se realizó mapa de pendientes a partir de Modelo de elevación de resolución 12,5 m.
Análisis estructural	Según disciplinas, foliación, estratificación y cizalla.
Delimitación de Áreas de Recarga	La ponderación espacial de cinco factores (Pendiente, estructuras en la roca, tasa de infiltración, textura y cobertura) permitió modular la distribución de las zonas de recarga.
Red de flujo	
Piezometría	Con datos procedentes de 1.010 puntos de agua, se definió una superficie piezométrica preliminar y el flujo en el sentido de la pendiente y direccionado hacia las principales corrientes superficiales y al Bosque Seco Tropical.
Pruebas de bombeo	Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Sureste.
Calidad	Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Sureste.
Hidrogequímica e isotopía	
Hidrogequímica	Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Sureste.
Isotopía	Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Sureste.
Red de monitoreo	Se ha propuesto la operación de una red social de monitoreo conformada por cinco aljibes, siete manantiales y una galería.
Oferta Demanda	De acuerdo con los datos parciales disponibles a la fecha, se puede calcular que en la zona de estudio se estarían extrayendo anualmente más de 8,5 millones de m ³ de aguas subterráneas.
Medidas de Manejo Zonas de Recarga	No se han evaluado a la fecha.
Vulnerabilidad	Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Sureste.
Carga contaminante y riesgo	No hay información disponible.
Vulnerabilidad humana	No hay información disponible.
Fuentes y SBRH	No hay información disponible.
Plan de Manejo Ambiental	Dentro de la zona de influencia del Bosque Seco Tropical se ha formulado el PMAA para el Acuífero de Occidente.

*Información actualizada hasta el año 2021



unidades siguientes: formación San Pablo, formación La Soledad, formación Abejorral (Kisa), grupo Quebradagrande (Kisqg) y grupo Cañasgordas (Miembro Urrao: Ksu y miembro Cañasgordas: Ksn).

Pertenecientes al Cenozoico se encuentran en el valle del río Cauca, en Antioquia, las principales formaciones blandas (depósitos, rocas sedimentarias clásticas y rocas volcanoclásticas) la acumulación de estos materiales estuvo influenciada por el tectonismo y actividad magmática posterior; se destacan por su magnitud la formación Amagá (Miembro Inferior: Pgai, miembro medio: Pgam y miembro superior: Ngas) y la formación Combia (Ngc).

Los depósitos cuaternarios son principalmente aluviales (Qal, Qat y Qt) y aumentan su extensión hacia las zonas planas del departamento. Depósitos de flujos y coluviales (Qcl), por su extensión, no siempre alcanzan a ser representados en el mapa, aunque localmente puedan ser significativos.

La estructura cortical en el departamento de Antioquia es el resultado de los procesos que se generaron por la unión de las placas de Nazca, Caribe y Suramérica. Las deformaciones en el Neógeno y el Cuaternario se superponen frecuentemente. Varias zonas de falla con desplazamiento cuaternario están localizadas a lo largo de zonas de cizalladura antiguas que constituyen zonas de subducción.

• Unidades hidrogeológicas

Esta es la primera iniciativa que se adelanta en Antioquia con el propósito de definir potencial hidrogeológico a partir de características litoestructurales, aplicando criterios propuestos por Betancur (2022), y complementado con resultados de validación en campo mediante inventario de puntos de agua.

Dentro de las unidades con porosidad primaria se asigna condición de acuífero a las unidades: formación Abejorral, sedimentitas del Complejo Quebradagrande, grupo Cañasgordas, formación Amagá, formación Combia y depósitos aluviales y aluviotorrenciales.

Asociados a depósitos se han adelantado, ya, evaluaciones en Occidente y Suroeste, quedan por evaluar los acuíferos: La Pená (Ituango), Sabanalarga – Peque, Buriticá – Cauca, Casanquí (Buriticá), San Pedro, Cañón del río Cauca (Anzá, Ebéjico, Betulia, Armenia, Concordia, Titiribí, Venecia, Salgar, Tarso, Fredonia, Jericó, Támesis, Santa Barbara, La Pintada y Abejorral), Ciudad Bolívar e Hispania (Hispania I, II, III, y IV).

CORANTIOQUIA ha definido prioridad para profundizar en la exploración de los sistemas: acuífero libre del cañón del río Cauca; el acuífero multicapa Amagá Superior y el acuífero Combia Suroeste.

• Recarga

De acuerdo con los resultados, que se obtuvieron del cálculo mediante balance hídrico distribuido (entre 2013 y 2020), se observa una notable estacionalidad en la Recarga Potencial Directa (RPD) mostrando que durante el periodo enero – marzo se presentan las menores tasas de recarga mensual (<5 mm), mientras que entre mayo y noviembre se presentan dos picos de recarga, el primero en el mes de mayo (con máximo espacial de 370 mm/mes) y el segundo entre octubre y noviembre (con máximo espacial de 220 mm/mes); luego se da una reducción en agosto y en diciembre (entre 0 y 40 mm/mes).

Para un periodo hidrológico seco (2015) la recarga potencial anual fue del orden de 176 mm/año (10% de la precipitación); en el periodo hidrológico húmedo (2018) se calcularon 446 mm/año (20% de la precipitación); en promedio se estimaron 342,2 mm/año (17% de la lluvia media anual).

La ponderación espacial de cinco factores (Pendiente, estructuras en la roca, tasa de infiltración, textura y coberturas) permitió modelar la distribución de las zonas de recarga.

• Flujo de agua subterránea

Se ha modelado una superficie freática preliminar, con datos procedentes de 1.070 puntos de agua, teniendo en cuenta la cota registrada en el modelo de elevación (tamaño de celda 12,5*12,5 m) y la información de que se dispone acerca de la profundidad del agua subterránea. En general, se define un flujo en el sentido de la pendiente y direccionado hacia las principales corrientes superficiales. Este sentido de flujo evidencia la importancia que tienen para la sostenibilidad del bosque seco, los aportes laterales de agua.

• Propiedades hidráulicas

Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Suroeste

• Hidrogeoquímica e isotopía

Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Suroeste.

• Vulnerabilidad, carga contaminante

Se cuenta con la información descrita para los acuíferos de Occidente y Suroeste.

• Plan de manejo ambiental de acuífero

Dentro de la zona de influencia del bosque seco tropical se ha formulado y actualizado el PMAA para el acuífero de Occidente. También se dio inicio a la formulación del PMAA de Caramanta, Valparaíso y La Pintada.

Gestión

LA RESPONSABILIDAD PARA EL CUIDADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

- La institucionalidad y el cuidado del agua subterránea
 - Gestión social y el cuidado del agua subterránea
 - Gestión de aguas subterráneas en Antioquia
-

La gestión integral del recurso hídrico ha sido definida por la *Global Water Partnership* —GWP— como: “un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”. Este concepto exige considerar el agua en todos sus estados dentro de su ciclo natural y la interdependencia de las aguas superficiales, subterráneas y marinas. Así mismo, hace necesario considerar la interacción del recurso hídrico con los demás recursos naturales renovables interdependientes.

Abordar el discurso de la gestión ambiental y, dentro de ella, el de la gestión de las aguas subterráneas, supone un bagaje conceptual que permita elaborar un tejido fino dando el preciso matiz a cada idea y concepto. No siendo ese el propósito de este trabajo, en este capítulo se opta por plasmar algunas ideas en pro del llamado a la responsabilidad por el cuidado ambiental del agua subterránea.

LA INSTITUCIONALIDAD Y EL CUIDADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La gestión ambiental institucional.

La aplicación de los principios de gestión ambiental territorial, hacia la conservación y el manejo de las aguas subterráneas, puede partir del marco constitucional y desembocar en el ordenamiento ambiental territorial, entendiéndolo de la forma en que lo plantean la Ley Ambiental (Ley 99 de 1993) y la Ley de Ordenamiento Territorial (Ley 388 de 1997) colombianas. La orientación de los procesos de uso y ocupación del territorio debe ser evaluada considerando los impactos e implicaciones en los ecosistemas; consecuente con ello, el punto de contacto entre el ordenamiento territorial y el ordenamiento ambiental del territorio es la planificación de su uso. El funcionamiento del sistema hidrológico incide en el equilibrio de muchos más sistemas terrestres; la visión sobre el ámbito de las aguas subterráneas debe llevar implícita la comprensión de que lo que se hace arriba pasa hacia abajo.

Al crear un Sistema Nacional Ambiental —SINA—, la Ley 99 de 1993 le asigna funciones claras y precisas no solo al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como ente rector de la política ambiental del país, sino a las Corporaciones Autónomas Regionales —CAR—, quienes ejercen como autoridad en el manejo, administración y protección de los recursos naturales renovables y del medio ambiente en el área de su jurisdicción; también se definen competencias para los municipios.

Corresponde al Ministerio regular la conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras, y coordinar las actividades de las entidades encargadas de la investigación, protección y manejo del medio marino, de sus recursos vivos, y de las costas y playas; así mismo, le corresponde regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales.

Entre las funciones de las CAR están las referidas a la promoción y ejecución de obras de defensa contra las inundaciones, regulación de cauces y corrientes de agua; recuperación de tierras que sean necesarias para la defensa, protección y adecuado manejo de las cuencas hidrográficas del territorio de su jurisdicción; las asociadas al análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes. En el mismo sentido, se establece la competencia para la administración de las reservas forestales nacionales y para declarar áreas protegidas del nivel regional.

A los municipios se les asignan competencias referidas a la elaboración y adopción de planes, programas y proyectos ambientales; coordinación y dirección de actividades permanentes de control y vigilancia ambiental; así como las asociadas a la expedición de normas de ordenamiento territorial del municipio y las regulaciones sobre el uso del suelo.

Para concretar el enfoque sobre las aguas subterráneas, cabe señalar que en el país se han formulado algunas políticas y programas ambientales, en las cuales ellas han empezado a tener mayor presencia.

La Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico —PGIRH— expedida en el 2010 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, estructuró un modelo espacial para una ordenación coherente de las cuencas hidrográficas, dividiendo el territorio nacional en áreas, zonas y subzonas hidrográficas, dando origen a un



Existen directrices documentadas para orientar el accionar

Los reservorios subterráneos reciben lo que se les ofrece desde la superficie

La Ley 99 de 1993 estableció responsabilidades en materia de la protección del Medio Ambiente mediante la creación del **Sistema Nacional Ambiental**



ORDENAMIENTO AMBIENTAL TERRITORIAL

"La función atribuida al Estado de regular y orientar el proceso de diseño y planificación del uso del territorio y de los recursos naturales renovables de la Nación para garantizar su adecuada explotación y desarrollo sostenible" (Ley 99 de 1993)

“Una función del Estado, encaminada a organizar la estructura político - administrativa de la Nación y proyectar especialmente las políticas sociales, económicas y culturales de la sociedad, propendiendo por un nivel de vida adecuada para la población y la conservación del ambiente” (Ley de Ordenamiento Territorial).

Corporaciones Ambientales,
Departamentos y Municipios

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

marco jurídico desarrollado en el Decreto 1640 de 2012, incorporada en el Decreto Único del Sector de Ambiente y Desarrollo Territorial en su artículo 2.2.3.1.1.1. y siguientes (Decreto 1076 de 2015).

La PNGIRH tiene como objetivo general garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y el uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento, al uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, implementando procesos de participación equitativa e incluyente; propósito que se desarrolla a través de seis objetivos específicos y 19 estrategias.

Con respecto a los recursos hídricos subterráneos, la Política plantea líneas de acción estratégicas que consideran:

- Profundizar en el conocimiento de la oferta (recursos y reservas); priorizar acuíferos para formular e implementar los planes de manejo.
- Realizar inventarios y registros de usuarios del recurso hídrico a nivel de cuenca priorizada en el Plan Hídrico Nacional; implementar programas de ahorro y uso eficiente del agua.
- Reducir los aportes de contaminación puntual y difusa.
- Formular e implementar el Programa Nacional de Monitoreo.
- Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y a la disponibilidad del recurso hídrico en los instrumentos de planificación.
- Generar condiciones para el fortalecimiento institucional.
- Integrar, armonizar y optimizar la normativa asociada al recurso hídrico subterráneo.
- Incrementar la participación de todos los sectores involucrados en su gestión integral.

En coherencia con la PNGIRH, en el 2012 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en conjunto con el IDEAM, y mediante

el acompañamiento de un Comité Técnico Nacional (Ministerios, Corporaciones Autónomas Regionales, universidades, empresas privadas y la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos), formuló el Programa Nacional de Aguas Subterráneas —PNASUB—, en el cual se plantean las acciones y estrategias en los niveles nacional y regional para la gestión y evaluación integrada de las aguas subterráneas en Colombia.

Este programa brinda una posibilidad de articulación interinstitucional para apoyar el diseño y la promoción de las estrategias del nivel nacional y regional que garanticen una adecuada evaluación y gestión del agua subterránea en Colombia.

El horizonte de ejecución de la PNGIRH —año 2022— se ha ampliado hasta 2024. Es el momento de poner en escena los siguientes objetivos específicos y preguntarse por el alcance en el cumplimiento de los mismos:

- Diseñar, promover e implementar estrategias para la ampliación y consolidación del conocimiento hidrogeológico de sistemas acuíferos priorizados y el fomento de la formación permanente a nivel técnico, tecnológico y de posgrado en la temática.
- Implementar estrategias de fortalecimiento institucional para la adecuada gestión del recurso hídrico subterráneo en términos de recurso humano suficiente, capacitado y con dedicación exclusiva, logística adecuada para labores de evaluación, monitoreo, seguimiento y control, y asignación de recursos económicos para financiación de proyectos de conocimiento, evaluación, protección y conservación de sistemas acuíferos de importancia nacional y regional.
- Formular e implementar estrategias para la gestión integrada de las aguas subterráneas soportadas en programas nacionales y regionales de monitoreo de sistemas acuíferos, articulados al SIRH.
- Promover la formulación e implementación de medidas de manejo ambiental de acuíferos con base en mecanismos de participación, educación y resolución de conflictos y en instrumentos de planeación, comando y control, económicos y financieros, entre otros.

Marco normativo

Desde el punto de vista ambiental, Colombia cuenta con dos normas rectoras: el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974) y la Ley 99 de 1993. A través del tiempo transcurrido entre la expedición de uno y otra, y en cumplimiento de las directrices que ellos marcan se han formulado y dictado distintas normas de carácter nacional, muchas de ellas con aplicabilidad directa en materia de protección de las aguas subterráneas. Algunas corporaciones ambientales, por su parte, vienen haciendo eco de ello en el contexto hidrogeológico de sus jurisdicciones y han definido sus propios lineamientos técnicos para la exploración y explotación de las aguas subterráneas.

- REVISIÓN DE LA NORMATIVIDAD: COLOMBIA Y SU APLICACIÓN EN MATERIA DE GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (Elaborado por Universidad de Antioquia para CORPOURABA, 2019)

Instrumento normativo (Constitución, ley, decreto, resolución, norma técnica)	Define
Decreto Ley 2811 de 1974	TÍTULO V DE LOS MODOS DE ADQUIRIR DERECHO A USAR LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE DOMINIO PÚBLICO CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES CAPÍTULO II USOS POR MINISTERIO DE LA LEY CAPÍTULO III PERMISOS CAPÍTULO IV CONCESIONES Artículo 59. Casos en los que se requiere concesión Artículo 60. Duración de la concesión Artículo 61. Contenido del acto administrativo Artículo 62. Causales generales de caducidad de las concesiones.
Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	PARTE III DE LAS AGUAS NO MARÍTIMAS – TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES CAPÍTULO II DEL DOMINIO DE LAS AGUAS Y SUS CAUCES Artículo 83.- Salvo derechos adquiridos por particulares, son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado: (...) f.- Los estratos o depósitos de las aguas subterráneas.

Instrumento normativo (Constitución, ley, decreto, resolución, norma técnica)	Define
	TÍTULO II DE LOS MODOS DE ADQUIRIR DERECHO AL USO DE LAS AGUAS CAPÍTULO I POR MINISTERIO DE LA LEY CAPÍTULO II DE LAS CONCESIONES CAPÍTULO III DE LOS USOS ESPECIALES TÍTULO VII DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Artículo 149. Definición de aguas subterráneas Artículo 151. La concesión se otorgará sin perjuicio del derecho preferente del dueño, tenedor o poseedor del terreno (...) Artículo 153. Las concesiones podrán ser revisadas o modificadas o declararse su caducidad, cuando haya agotamiento de tales aguas. Artículo 154. El titular de concesión de aguas subterráneas está obligado a extraerlas de modo que no se produzcan sobrantes.
Ley 9 de 1979 Por la cual se dictan medidas sanitarias. "Código Sanitario Nacional".	TÍTULO II SUMINISTRO DE AGUA De las aguas subterráneas. Artículo 58. Para evitar la contaminación del agua subterránea (...), se deberán tomar las medidas higiénicas y de vigilancia necesarias para el correcto aprovechamiento de los pozos para agua potable. Artículo 59. Las entidades encargadas de la entrega de agua potable al usuario deberán ejercer control sanitario en la superficie situada sobre el estrato acuífero y sobre las área de recarga para evitar su contaminación. Artículo 60. Todos los pozos deberán sellarse para impedir la infiltración de aguas superficiales y la procedente de formaciones superiores al acuífero que pueda ser de calidad indeseable. Artículo 61. Todo pozo deberá desinfectarse antes de darlo al servicio público, de acuerdo con las normas del Ministerio de Salud. Artículo 62. Todo concesionario de aprovechamiento de aguas subterráneas se sujetará a las normas sanitarias establecidas en el código y su reglamentación.
Constitución Política de Colombia 1991	DE LOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES Artículo 80. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación. CAPÍTULO 3 DE LOS DERECHOS COLECTIVOS Y DEL AMBIENTE Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

Instrumento normativo (Constitución, ley, decreto, resolución, norma técnica)	Define
	CAPÍTULO 5 DE LOS DEBERES Y OBLIGACIONES Artículo 95. (...) Son deberes de la persona y del ciudadano (...) 8. Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano. TÍTULO X DE LOS ORGANISMOS DE CONTROL DEL MINISTERIO PÚBLICO Artículo 277. El Procurador General de la Nación, por sí o por medio de sus delegados y agentes, tendrá las siguientes funciones: (...) 4. Defender los intereses colectivos, en especial el ambiente. CAPÍTULO 3. DEL RÉGIMEN MUNICIPAL Artículo 317. Solo los municipios podrán gravar la propiedad inmueble. Lo anterior no obsta para que otras entidades impongan contribución de valorización. La ley destinará un porcentaje de estos tributos, que no podrá exceder del promedio de las sobretasas existentes, a las entidades encargadas del manejo y conservación del ambiente y de los recursos naturales renovables, de acuerdo con los planes de desarrollo de los municipios del área de su jurisdicción.
Ley 99 de 1993 “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	TÍTULO I FUNDAMENTOS DE LA POLÍTICA AMBIENTAL COLOMBIANA Artículo 1º.- La política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales (...) 4. Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial. TÍTULO II DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL SISTEMA NACIONAL AMBIENTAL Artículo 5. Funciones del Ministerio. Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente: (...) 1. Formular la política nacional en relación con el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y establecer las reglas y criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio y de los mares adyacentes, para asegurar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del medio ambiente. 2. Regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural. TÍTULO V. DEL APOYO CIENTÍFICO Y TÉCNICO DEL MINISTERIO Artículo 17. Créase el Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales, IDEAM, el cual se organizará como un establecimiento público de carácter nacional adscrito al Ministerio del Medio Ambiente, (...) encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio. Parágrafo 4. Trasládense al IDEAM las funciones que en materia de aguas subterráneas tiene asignadas el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química INGEOMINAS, sin perjuicio de las actividades que el INGEOMINAS continuará adelantando dentro de los programas de exploración y evaluación de los recursos de subsuelo.

Instrumento normativo
(Constitución, ley, decreto,
resolución, norma técnica)

Define

TÍTULO VI DE LAS CORPORACIONES AUTÓNOMAS REGIONALES

Artículo 23. **Las Corporaciones Autónomas Regionales** son entes corporativos de carácter público, (...), encargados por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Medio Ambiente.

Artículo 30. Todas las Corporaciones Autónomas Regionales tendrán por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente.

Artículo 31. Las Corporaciones Autónomas Regionales ejercerán las siguientes funciones:

(...) 2. Ejercer la función de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las normas de carácter superior y conforme a los criterios y directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente;

(...) 9. Otorgar concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales requeridas por la ley para el uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables o para el desarrollo de actividades que afecten o puedan afectar el medio ambiente.

(...) 18. Ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción, conforme a las disposiciones superiores y a las políticas nacionales.

Artículo 105. **De las funciones de INGEOMINAS en materia ambiental.** El Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, Ingeominas, establecimiento público de investigación y desarrollo adscrito al Ministerio de Minas y Energía, complementará y apoyará la labor del IDEAM, en las investigaciones y estudios del medio ambiente físico que tengan por objeto conocer la Tierra, su evolución, su dinámica, sus componentes y recursos, el agua subterránea, la exploración y aprovechamiento de los recursos del subsuelo y la evaluación de los riesgos e impactos geológicos y de obras de infraestructura.

En estos aspectos, el Ingeominas orientará su gestión de acuerdo con las políticas y directrices del Ministerio del Medio Ambiente.

Ley 388 de 1997

"Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones"

"Ley de Desarrollo Territorial"

CAPÍTULO I OBJETIVOS Y PRINCIPIOS GENERALES

Artículo 2.- El ordenamiento del territorio se fundamenta en los siguientes principios:

1. La función social y ecológica de la propiedad.
2. La prevalencia del interés general sobre el particular.
3. La distribución equitativa de las cargas y los beneficios.

CAPÍTULO III PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Artículo 10.. En la elaboración y adopción de sus planes de ordenamiento territorial los municipios y distritos deberán tener en cuenta las siguientes determinantes, que constituyen normas de superior jerarquía, en sus propios ámbitos de competencia, de acuerdo con la Constitución y las leyes:

1. Las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales, así:

Instrumento normativo (Constitución, ley, decreto, resolución, norma técnica)	Define
	a) Las directrices, normas y reglamentos expedidos en ejercicio de sus respectivas facultades legales, por las entidades del Sistema Nacional Ambiental, en los aspectos relacionados con el ordenamiento espacial del territorio, (...) tales como las limitaciones derivadas del estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio y las regulaciones nacionales sobre uso del suelo en lo concerniente exclusivamente a sus aspectos ambientales; b) Las regulaciones sobre conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras; las disposiciones producidas por la Corporación Autónoma Regional o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción, en cuanto a la reserva, alindamiento, administración o sustracción de los distritos de manejo integrado, los distritos de conservación de suelos, las reservas forestales y parques naturales de carácter regional; las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas expedidas por la Corporación Autónoma Regional o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción; y las directrices y normas expedidas por las autoridades ambientales para la conservación de las áreas de especial importancia ecosistémica; c) Las disposiciones que reglamentan el uso y funcionamiento de las áreas que integran el sistema de parques nacionales naturales y las reservas forestales nacionales; d) Las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales.
Ley 373 de 1997 “Por la cual se establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua”	Artículo 1. Se entiende por Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua, acciones que deben elaborar y adoptar, los servicios de acueducto, alcantarillado y demás usuarios del recurso hídrico. Artículo 3. Elaboración y presentación del programa. Cada entidad encargada de prestar los servicios de acueducto, alcantarillado, de riego y drenaje, de producción hidroeléctrica, y los demás usuarios del recurso hídrico presentarán para aprobación de las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, el Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua. Estas autoridades ambientales deberán elaborar y presentar al Ministerio del Medio Ambiente un resumen ejecutivo para su información, seguimiento y control, dentro de los seis meses siguientes contados a partir de la aprobación del programa. Artículo 10. De los estudios hidrogeológicos. Para definir la viabilidad del otorgamiento de las concesiones de aguas subterráneas, las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales realizarán los estudios hidrogeológicos, y adelantarán las acciones de protección de las correspondientes zonas de recarga. Los anteriores estudios serán realizados, con el apoyo técnico y científico del IDEAM e Ingeominas.
Ley 1333 de 2009 Por la cual se establece el Procedimiento Sancionatorio Ambiental y se dictan otras Disposiciones.	Artículo 1º. Titularidad de la potestad sancionatoria en materia ambiental. El Estado es el titular de la potestad sancionatoria en materia ambiental y la ejerce sin perjuicio de las competencias legales de otras autoridades a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible, las Unidades Ambientales de los grandes centros urbanos a que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, los establecimientos públicos ambientales a que se refiere el artículo 13 de la Ley 768 de 2002 y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, UAESPNN, de conformidad con las competencias establecidas por la ley y los reglamentos.

Instrumento normativo
(Constitución, ley, decreto,
resolución, norma técnica)

Define

PLANEACIÓN PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

CAPÍTULO 2 ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL SUELO RURAL

Artículo 2.2.2.2.1.3 Categorías de protección en suelo rural. Constituyen suelo de protección en los términos del artículo 35 de la Ley 388 de 1997 y son normas urbanísticas de carácter estructural de conformidad con lo establecido en el artículo 15 de la misma ley:

(...) 1.4. Las áreas de especial importancia ecosistémica, tales como ... zonas de recarga de acuíferos,

INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y GESTIÓN DEL DESARROLLO TERRITORIAL

CAPÍTULO 2 MACROPROYECTOS DE INTERÉS SOCIAL NACIONAL

Artículo 2.2.4.2.2.3.1.1 Análisis de prefactibilidad. El análisis de prefactibilidad tiene por objeto que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio identifique de manera preliminar si existen las condiciones técnicas, jurídicas y financieras que posibiliten el desarrollo de un Macroproyecto.

El análisis ambiental a nivel de prefactibilidad corresponderá a la Corporación Autónoma Regional o de Desarrollo Sostenible correspondiente, y debe evaluar las condiciones de viabilidad ambiental del área de planificación del proyecto en términos de la localización e impacto en su área de planificación preliminar y su correspondiente área de influencia; disponibilidad, demanda y uso de recursos naturales renovables. El pronunciamiento ambiental favorable de la Corporación Autónoma Regional o de Desarrollo Sostenible, será requisito previo para la expedición del acto administrativo de anuncio.

Parágrafo 1. (...)no procederá la localización Macroproyecto de Interés Social Nacional en áreas de ,... especial importancia ecosistémica como... zonas de recarga de acuíferos.

Parágrafo 2. Cuando los componentes del Macroproyecto de Interés Social Nacional -MISN- se pretendan localizar en zonas de recarga de acuíferos, los promotores del mismo deberán realizar estudios de mayor detalle para identificar y delimitar las zonas de recarga potencial del acuífero, entre los que se incluyan los aspectos relacionados con la continuidad de los servicios ecosistémicos.

(...)

Parágrafo 2A Transitorio. Los parámetros para la realización de los estudios de mayor detalle, así como los criterios para definir la localización de los componentes del Macroproyecto respecto a la zona de recarga de acuíferos, se realizarán en un lapso máximo de seis (6) meses a la entrada en vigencia de la presente modificación, de acuerdo con los lineamientos y parámetros que establezca el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, quien contará con el concepto previo no vinculante por parte del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

SERVICIO PÚBLICO DE ASEO

CAPÍTULO 3 DISPOSICIÓN FINAL

Artículo 2.3.2.3.11. Requisitos mínimos para el diseño de nuevos rellenos sanitarios o ampliación de existentes.
(...) 4. Estudio Hidrogeológico: Determinación y evaluación de las condiciones del agua subsuperficial y subterránea en condiciones normales y extremas más probables en el período de diseño de análisis del proyecto, con especial descripción de las características hidráulicas (porosidad, permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento) y niveles freáticos.

Artículo 2.3.2.3.2.2.5. Prohibiciones y restricciones en la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos. en zonas de recarga de acuíferos.

Decreto 1077 de 2015

Único Reglamentario del Sector
Vivienda, Ciudad y Territorio-

(Modificado por el Decreto 1784-
2021)

TÍTULO 3 AGUAS NO MARÍTIMAS

CAPÍTULO 1 INSTRUMENTOS PARA LA PLANIFICACIÓN, ORDENACIÓN Y MANEJO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y ACUÍFEROS

SECCIÓN 1 DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 2.2.3.1.1.3. Definiciones (...) Aguas subterráneas. Las subálveas y las ocultas debajo de la superficie del suelo o del fondo marino que brotan en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento o las que requieren para su alumbramiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares.

SECCIÓN 11 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS

Artículo 2.2.3.1.11.1. Del objeto y la responsabilidad.

Artículo 2.2.3.1.11.2. De la selección y priorización

Artículo 2.2.3.1.11.3. De las fases

Artículo 2.2.3.1.11.4. De la aprobación.

Artículo 2.2.3.1.11.5. De la financiación.

SECCIÓN 13 DISPOSICIONES FINALES

Artículo 2.2.3.1.13.1. De las sanciones

CAPÍTULO 2 USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

SUBSECCIÓN 1 (Subsección adicionada por el Decreto 1090 de 2018, art. 1)

PROGRAMA PARA EL USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA (PUEAA)

Artículo 2.2.3.2.1.1.1. Objeto y ámbito de aplicación.

Artículo 2.2.3.2.1.1.3. El PUEAA es una herramienta enfocada a la optimización del uso del recurso hídrico, conformado por el conjunto de proyectos y acciones que le corresponde elaborar y adoptar a los usuarios que soliciten concesión de aguas, con el propósito de contribuir a la sostenibilidad de este recurso.

SECCIÓN 7 CONCESIONES

Artículo 2.2.3.2.7.1. Disposiciones comunes. Toda persona natural o jurídica, pública o privada, requiere concesión para obtener el derecho al aprovechamiento de las aguas para los siguientes fines:

- a) Abastecimiento doméstico en los casos que requiera derivación;
- b) Riego y silvicultura;
- c) Abastecimiento de abrevaderos cuando se requiera derivación;
- d) Uso industrial;
- e) Generación térmica o nuclear de electricidad;
- f) Explotación minera y tratamiento de minerales;
- g) Explotación petrolera;

- h) Inyección para generación geotérmica;
- i) Generación hidroeléctrica;
- j) Generación cinética directa;
- k) Flotación de maderas;
- l) Transporte de minerales y sustancias tóxicas;
- m) Acuicultura y pesca;
- n) Recreación y deportes;
- o) Usos medicinales, y
- p) Otros usos similares.

Artículo 2.2.3.2.7.4. Término de las concesiones. Las concesiones a que se refieren los artículos anteriores se otorgarán por un término no mayor de diez (10) años, salvo las destinadas a la prestación de servicios públicos o a la construcción de obras de interés público o social, que podrán ser otorgadas por períodos hasta de cincuenta (50) años.

Artículo 2.2.3.2.7.6. Orden de prioridades. Para otorgar concesiones de aguas, se tendrá en cuenta el siguiente orden de prioridades:

- a) Utilización para el consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural;
- b) Utilización para necesidades domésticas individuales;
- c) Usos agropecuarios comunitarios, comprendidas la acuicultura y la pesca;
- d) Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca;
- e) Generación de energía hidroeléctrica;
- f) Usos industriales o manufactureros;
- g) Usos mineros;
- h) Usos recreativos comunitarios,
- i) Usos recreativos individuales.

SECCIÓN 9 PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR CONCESIONES

Artículo 2.2.3.2.9.1. Solicitud de concesión.

Artículo 2.2.3.2.9.9. Acto administrativo. La autoridad ambiental competente consignará en la resolución que otorga concesión de aguas por lo menos los siguientes puntos:

- a) Nombre de la persona natural o jurídica a quien se le otorga;
- b) Nombre y localización de los predios que se beneficiarán con la concesión, descripción y ubicación de los lugares de uso, derivación y retorno de las aguas;
- c) Nombre y ubicación de la fuente de la cual se van a derivar las aguas;
- d) Cantidad de aguas que se otorga, uso que se van a dar a las aguas, modo y oportunidad en que hará el uso;
- e) Término por el cual se otorga la concesión y condiciones para su prórroga;

Decreto 1076 de 2015

Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Territorial

- f) Obras que debe construir el concesionario, tanto para el aprovechamiento de las aguas y restitución de los sobrantes como para su tratamiento y defensa de los demás recursos, con indicación de los estudios, diseños y documentos que debe presentar y el plazo que tiene para ello;
- g) Obligaciones del concesionario relativas al uso de las aguas y a la preservación ambiental, para prevenir el deterioro del recurso hídrico y de los demás recursos relacionados, así como la información a que se refiere el artículo 23 del Decreto - Ley 2811 de 1974.
- h) Garantías que aseguren el cumplimiento de las obligaciones del concesionario.
- i) Cargas pecuniarias;
- j) Régimen de transferencia a la autoridad ambiental competente al término de la concesión, de las obras afectadas al uso de las aguas, incluyendo aquellas que deba construir el concesionario, y obligaciones y garantías sobre su mantenimiento y reversión oportuna;
- k) Requerimientos que se harán al concesionario en caso de incumplimiento de las obligaciones, y
- l) Causales para la imposición de sanciones y para la declaratoria de caducidad de la concesión.

SECCIÓN 14 RESTRICCIONES Y LIMITACIONES AL DOMINIO

Artículo 2.2.3.2.14.5. Servidumbres y aprovechamiento de las aguas subterráneas. Las servidumbres establecidas conforme la ley, gravan también a los predios en los cuales deben ejecutarse obras para el aprovechamiento de las aguas subterráneas y para su conducción.

SECCIÓN 16 RÉGIMEN DE CIERTAS CATEGORÍAS ESPECIALES DE AGUA

Artículo 2.2.3.2.16.4. La prospección y exploración que incluye perforaciones de prueba en busca de agua subterránea requiere permiso de la autoridad ambiental.

Artículo 2.2.3.2.16.5. Requisitos para la obtención del permiso de exploración.

Artículo 2.2.3.2.16.6. Anexos solicitud de permiso de exploración.

Artículo 2.2.3.2.16.7. Trámite del permiso de exploración.

Artículo 2.2.3.2.16.8. Condiciones generales (área y duración) del permiso de exploración.

Artículo 2.2.3.2.16.9. Aspectos para considerar en la exploración

Artículo 2.2.3.2.16.10. Contenido del informe detallado de la perforación realizada por el permisionario y plazo, sesenta (60) días hábiles para presentarlo.

Artículo 2.2.3.2.16.11 Supervisión de la prueba de bombeo por un funcionario designado por la autoridad ambiental

Artículo 2.2.3.2.16.12 Los permisos de exploración de aguas subterráneas no confieren concesión para el aprovechamiento de las aguas.

Artículo 2.2.3.2.16.13. Exigencia de la concesión de la autoridad ambiental competente con excepción de los que utilicen para usos domésticos en propiedad del beneficiario o en predios que este tenga posesión o tenencia.

Artículo 2.2.3.2.16.14 La solicitud de concesión de aguas subterráneas debe reunir los requisitos y trámites establecidos en este Decreto, con copia del permiso de exploración e informe de la perforación.

Artículo 2.2.3.2.16.15. Exoneración permiso y proceso de exploración. Si el pozo u obra para aprovechamiento de aguas subterráneas se encuentra dentro de una cuenca subterránea ya conocido por la autoridad ambiental competente se podrá exonerar del permiso y el proceso de exploración.

Artículo 2.2.3.2.16.16 El propietario después de haber realizado la exploración tendrá dos (2) meses, para solicitar la concesión. Si en un (1) año, no se realiza la solicitud, está podrá ser otorgada a terceros.

Artículo 2.2.3.2.16.17. Concesiones para aguas sobrantes.

Artículo 2.2.3.2.16.18. Concesiones aguas subterráneas en terrenos ajenos al concesionario.

Artículo 2.2.3.2.16.19. Aguas alumbradas en perforaciones mineras o petroleras.

Artículo 2.2.3.2.16.20. Otras disposiciones aplicables a sobrantes en aprovechamiento de aguas subterráneas.

Artículo 2.2.3.2.16.21. Contenido acto administrativo. En las resoluciones de concesión de aguas subterráneas

Artículo 2.2.3.2.16.22. Imposición de uso combinado de aguas superficiales y subterráneas.

SECCIÓN 17

PRESERVACIÓN Y CONTROL

Artículo 2.2.3.2.17.1. La declaración de agotamiento autorizada por los artículos 121 a 123 de este Decreto, es aplicable para las aguas subterráneas por motivos de disponibilidad cuantitativa y cualitativa de las mismas.

Artículo 2.2.3.2.17.4. Término de las concesiones. Las concesiones a que se refieren los artículos anteriores se otorgarán por un término no mayor de diez (10) años, salvo las destinadas a la prestación de servicios públicos o a la construcción de obras de interés público o social, que podrán ser otorgadas por períodos hasta de cincuenta (50) años.

Decreto 1076 de 2015

Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Territorial

Artículo 2.2.3.2.17.5 Régimen de aprovechamiento por concesión de aguas subterráneas de acuerdo con la disponibilidad del recurso y en armonía con la planificación integral del mismo en la zona.

Artículo 2.2.3.2.17.7. Obligación en estudios o explotaciones mineras o petrolíferas. Quien, al realizar estudios o explotaciones mineras o petrolíferas, o con cualquier otro propósito descubriese o alumbrase aguas subterráneas, está obligado a dar aviso por escrito e inmediato a la autoridad ambiental competente y proporcionar la información técnica de que se disponga.

Artículo 2.2.3.2.17.10 Permiso ambiental previo para obturación de pozos. Ambiental competente el cual designará un funcionario que supervise las operaciones de cegamiento

Artículo 2.2.3.2.17.11. Coordinación interinstitucional en la prevención de la contaminación. Con el fin de prevenir la contaminación o deterioro de aguas subterráneas a causa de actividades que no tengan por objeto el aprovechamiento de aguas, tales como explotación de minas y canteras, trabajos de avenamiento, alumbramiento de gases o hidrocarburos, establecimiento de cementerios, depósitos de basuras o de materiales contaminantes, la Autoridad Ambiental competente desarrollará mecanismos de coordinación con las entidades competentes para otorgar concesiones, licencias o permisos relacionados con cada tipo de actividad, de tal suerte que en la respectiva providencia se prevean las obligaciones relacionadas con la preservación del recurso hídrico.

Artículo 2.2.3.2.17.13. Aspectos a contemplar en la investigación de aguas subterráneas. En la investigación de las aguas subterráneas se deberán contemplar, por lo menos, los siguientes aspectos:

1. Estratigrafía general incluyendo configuración profundidades y espesores de los acuíferos o identificación de sus fronteras permeables, impermeables y semi-impermeables.
2. Configuración de elevaciones piezométricos.
3. Configuración de niveles piezométricos referidos al terreno.
4. Evaluaciones piezométricos a través del tiempo.
5. Magnitud y distribución de las infiltraciones y extracciones por medio de pozos, ríos, manantiales y lagunas o zonas pantanosas.
6. Magnitud y distribución de las propiedades hidrodinámicas de los acuíferos deducidos en pruebas de bombeo en régimen transitorio, y
7. Información hidrológica superficial.

La autoridad ambiental competente desarrollará los mecanismos adecuados para coordinar las actividades que adelantan otras entidades en materia de investigación e inventario de las aguas superficiales y subterráneas, tanto desde el punto de vista de su existencia como de su uso actual y potencial.

Artículo 2.2.3.2.17.14. Aguas minerales y termales. La autoridad ambiental competente, tendrá a su cargo la expedición de las autorizaciones para el aprovechamiento de las aguas mineromedicinales

Artículo 2.2.3.2.16.20 Otras disposiciones aplicables a sobrantes en aprovechamiento de aguas subterráneas. Cuando se presenten sobrantes en cualquier aprovechamiento de aguas subterráneas tendrán aplicación las disposiciones de este Decreto relacionadas con aguas superficiales, en cuanto no fueren incompatibles. El titular de la concesión está obligado a extraerlas sin que se produzcan sobrantes. En caso de que esto sea inevitable, deberá conducir a sus expensas dichos sobrantes hasta la fuente más cercana o a facilitar su aprovechamiento para predios vecinos, caso en el cual los beneficiarios contribuirán a sufragar los costos de conducción.

SECCIÓN 20 CONSERVACIÓN Y PRESERVACIÓN DE LAS AGUAS Y SUS CAUCES

SUBSECCIÓN PRINCIPIOS GENERALES

Artículo 2.2.3.2.20.1. Clasificación de las aguas con respecto a los vertimientos. Para efectos de la aplicación del artículo 134 del Decreto-ley 2811 de 1974, se establece la siguiente clasificación de las aguas con respecto a los vertimientos:

Pertenece a la Clase I: 1. Las cabeceras de las fuentes de agua. 2. Las aguas subterráneas.

SECCIÓN 26 REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

Artículo 2.2.3.2.26.2. Mapa general hidrogeológico del país. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) levantará el mapa general hidrogeológico del país con los datos que le suministre en las entidades mencionadas en el artículo anterior. Podrá igualmente utilizar los informes de que trata este Decreto y aquellos que deban aportar otras entidades relacionadas con la ejecución de trabajos para alumbrar aguas subterráneas.

CAPÍTULO 3 ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO Y VERTIMIENTOS

SECCIÓN 2 DE LA DESTINACIÓN GENÉRICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, SUBTERRÁNEAS Y MARINAS

SECCIÓN 3 CRITERIOS DE CALIDAD PARA DESTINACIÓN DEL RECURSO

Artículo 2.2.3.3.3.2. Competencia para definir los criterios de calidad del recurso hídrico. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible definirá los criterios de calidad para el uso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas.

SECCIÓN 4 VERTIMIENTOS

Artículo 2.2.3.3.4.9 Del vertimiento al suelo. El interesado en obtener un permiso de vertimiento al suelo deberá presentar ante la autoridad ambiental competente una solicitud por escrito que contenga, además de la información prevista en el Artículo 2.2.3.3.5.2., la siguiente información
Para aguas residuales no domésticas tratadas: (...) 2. Línea base del agua subterránea (...) 5. Plan de Monitoreo. Estructurar el Plan de Monitoreo para la caracterización del efluente, del suelo y del agua subterránea, acorde con la caracterización fisicoquímica del vertimiento a realizar.

CAPÍTULO 4 REGISTRO DE USUARIOS DEL RECURSO HÍDRICO

SECCIÓN 1 REGISTRO Y CENSO

Artículo 2.2.3.4.1.1. Componentes del registro. La autoridad ambiental competente organizará y llevará al día un registro en el cual se inscribirá: (...) c) Los permisos para exploración y explotación de aguas subterráneas;
Artículo 2.2.3.4.1.7. Inscripción. Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que se dediquen a explorar aguas subterráneas, incluida la

exploración geofísica y el perfilaje eléctrico y quienes se dediquen a perforar pozos o construir cualquiera otra clase de obra conducentes al alumbramiento de aguas subterráneas y a su aprovechamiento, están obligados a inscribirse ante la autoridad ambiental competente como requisito para desarrollar tales actividades. Los ingenieros, geólogos, hidrólogos y otros profesionales vinculados a la exploración de aguas subterráneas también deberán inscribirse ante la autoridad ambiental competente, tanto para actuar individualmente como para dirigir o asesorar empresas de las mencionadas en el inciso anterior.

CAPÍTULO 6 TASAS POR UTILIZACIÓN DEL AGUA

SECCIÓN 1

Artículo 2.2.9.6.1.2. Definiciones. Para los efectos del presente capítulo se adoptan las siguientes definiciones:
(...) Índice de escasez para aguas subterráneas. Es la relación entre la sumatoria de los caudales captados en el acuífero y los caudales explotables del mismo.

Adicionalmente se presenta en la tabla 2, el registro de las principales normas técnicas colombianas relacionadas con las captación de aguas subterráneas a través de pozos profundos.

• TABLA 2. NORMATIVIDAD COLOMBIA RELACIONADA CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Norma Técnica Colombia 3948	Gestión ambiental. Suelo: especificaciones técnicas para la construcción de un pozo de monitoreo para aguas subterráneas. Esta norma establece las especificaciones que se deben cumplir en la construcción de pozos de monitoreo para evaluación de la calidad de las aguas subterráneas.
Norma Técnica Colombia 5539	Pozos profundos de agua. Esta norma establece los requisitos mínimos de construcción de pozos.
Norma Técnica Colombia 4775	Desinfección de pozos. Esta norma cubre los procedimientos de cloración y los ensayos bacteriológicos que se deben aplicar antes de poner en servicio doméstico un pozo nuevo o uno ya existente, que ha sido reparado o que haya recibido mantenimiento.



EL CUIDADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA: NORMAS Y REGLAMENTACIÓN

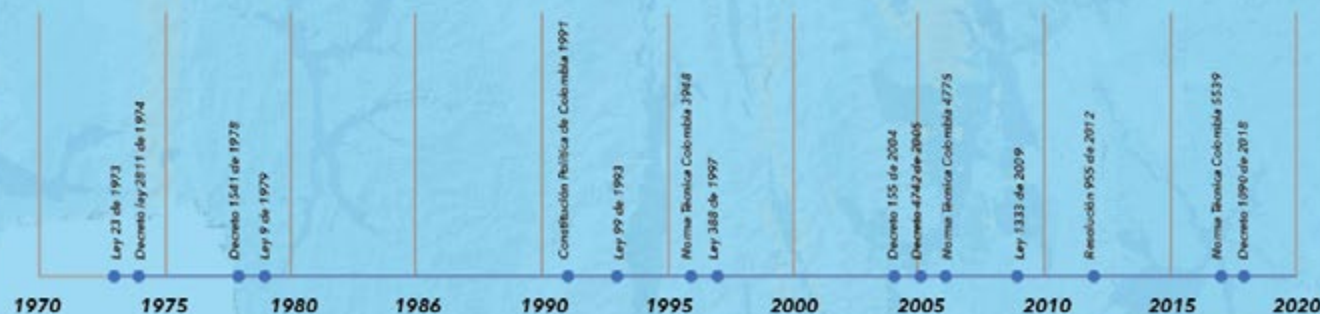
Instrumento Normativo (Constitución, Ley, Decreto, Resolución, Norma Técnica)	Síntesis
Ley 23 de 1973	Facultades al Presidente para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente.
Decreto Ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 1541 de 1978	Contiene articulado referido a los permisos de exploración y pruebas de bombeo en pozos (condicionados al antiguo INDIERENA).
Ley 9 de 1979	Se refiere a la utilización del agua lluvia para consumo humano.
Constitución Política de Colombia 1991	Derecho a un ambiente sano. Participación de la comunidad. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.
Ley 99 de 1993	Crea MINAMBIENTE, CARGS. Declara a las zonas de páramos, subparos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos como áreas de protección especial.
Norma Técnica Colombia 3948	Define especificaciones técnicas para la construcción de un pozo de monitoreo para aguas subterráneas.
Ley 388 de 1997	Establece los determinantes de los Planes de Ordenamiento Territorial.
Decreto 155 de 2004	Reglamenta las tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 4742 de 2005	Modifica las tasas por utilización de aguas.
Norma Técnica Colombia 4775	Cubre los procedimientos de cloración y los ensayos bacteriológicos que se deben aplicar antes de poner en servicio doméstico un pozo nuevo o uno ya existente, que ha sido reparado o que haya recibido mantenimiento.
Ley 1333 de 2009	Establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.
Resolución 955 de 2012	Establece que los aprovechamientos de aguas subterráneas, tanto en predios propios como ajenos, requieren concesión de la Autoridad Ambiental competente. Adopta el RUM.
Norma Técnica Colombia 5539	Establece los requisitos mínimos de construcción de pozos.
Decreto 1090 de 2018	Reglamenta lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua. Concesiones.

REGLAMENTACIÓN SOBRE AGUAS SUBTERRÁNEAS DISPONIBLE EN LOS SITIOS WEB DE LAS CORPORACIONES AMBIENTALES

CORPORACIÓN	DESCRIPCIÓN
CORPOURABA	Lineamientos para la exploración y explotación de las aguas subterráneas en el Eje Bananero de Urabá.
CVC	Lineamientos para la realización de exploración, explotación y cuidado de las aguas subterráneas del departamento del Valle del Cauca.
CAR	Normas para administrar las aguas de uso público en el área de la CAR; Y define la zona crítica de aguas subterráneas y establece los módulos de consumo.
CARDER	Reglamenta el aprovechamiento de las aguas y determinan medidas para su protección.
CORPOBOYACA	Guía para trámites de exploración y prospección y concesión de aguas subterráneas. Procedimiento para obtener permisos para uso y aprovechamiento de aguas.
CORANTIOQUIA	Define tipos de usos del agua que requieren concesión y cuáles con los modos por los cuales se puede dar uso al agua.
CARDIQUE	Lineamientos para exploración y perforación, realización de pruebas de bombeo y mantenimiento y limpieza de captaciones de aguas subterráneas.
AMVA	Procedimiento para un permiso de exploración de aguas subterráneas.
CORPOCESAR	Procedimiento para prospección y exploración y concesión de aguas subterráneas.
CORPORINOQUIA	Reglamenta las actividades relacionadas con el manejo, conservación, uso y aprovechamiento de las aguas subterráneas en Valles de San Nicolás.

Según información disponible en la WEB, 2020

CINCUENTA AÑOS, MOMENTOS CLAVES EN LA NORMA RELACIONADOS CON EL AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA (1970 - 2020)



Adaptado de UdeA y CORPOURABA, 2019

Mapa de las Autoridades Ambientales de Colombia



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

Planes de manejo ambiental de acuíferos

Conforme con la normatividad colombiana, actualmente, se cuenta con diversos instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos. Dichos instrumentos son: los planes estratégicos en las cinco macro-cuencas o áreas hidrográficas; el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico en las zonas hidrográficas; los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas —POMCA— en sub-zonas hidrográficas o de nivel subsiguiente; los Planes de Manejo Ambiental de micro-cuencas en el nivel inferior al subsiguiente y; los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos —PMAA—, todos estos regulados por el Decreto 1640 de 2012 (Retomados en el Decreto 1076 de 2015).

Dentro de las fases de elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica —POMCA— se deben considerar los instrumentos de planificación y/o de manejo de recursos naturales renovables existentes, entre ellos, los planes de manejo de acuíferos. Además, durante la fase de formulación de un POMCA, se deben definir e identificar los recursos naturales renovables que deben ser objeto de implementación de instrumentos de planificación y/o administración por parte de las autoridades ambientales competentes, entre los que pueden encontrarse las aguas subterráneas. De igual forma en caso de que en la cuenca existan acuíferos, las medidas de manejo ambiental para la preservación y restauración, entre otros, harán parte integral del POMCA, y deberán sujetarse a lo establecido en la guía para la formulación de los planes de manejo de los acuíferos. Finalmente queda claro, en la normativa, que en aquellos acuíferos que no hagan parte de un plan de ordenación y manejo de cuenca hidrográfica, la autoridad ambiental competente elaborará el plan de manejo ambiental de acuíferos, previa selección y priorización del mismo.

EL Plan de Manejo Ambiental de Acuífero es un instrumento de planificación que aborda el conocimiento del sistema acuífero. Su evaluación, en términos de la cantidad y calidad del agua almacenada, y la identificación de problemáticas o amenazas asociadas, permite proyectar las medidas de manejo ambiental a través del desarrollo

de procesos participativos con las comunidades y demás actores relacionados con el recurso hídrico subterráneo, con el objetivo de realizar un aprovechamiento sostenible de este valioso bien.

Según el Decreto 1640 de 2012 (ratificado en el Decreto 1076 de 2015) se debe seleccionar y priorizar la formulación de un PMAA en aquellos acuíferos en los que se presenten o se prevean, como mínimo, una de las siguientes condiciones en relación con la oferta, la demanda, la calidad hídrica, el riesgo o la gobernabilidad:

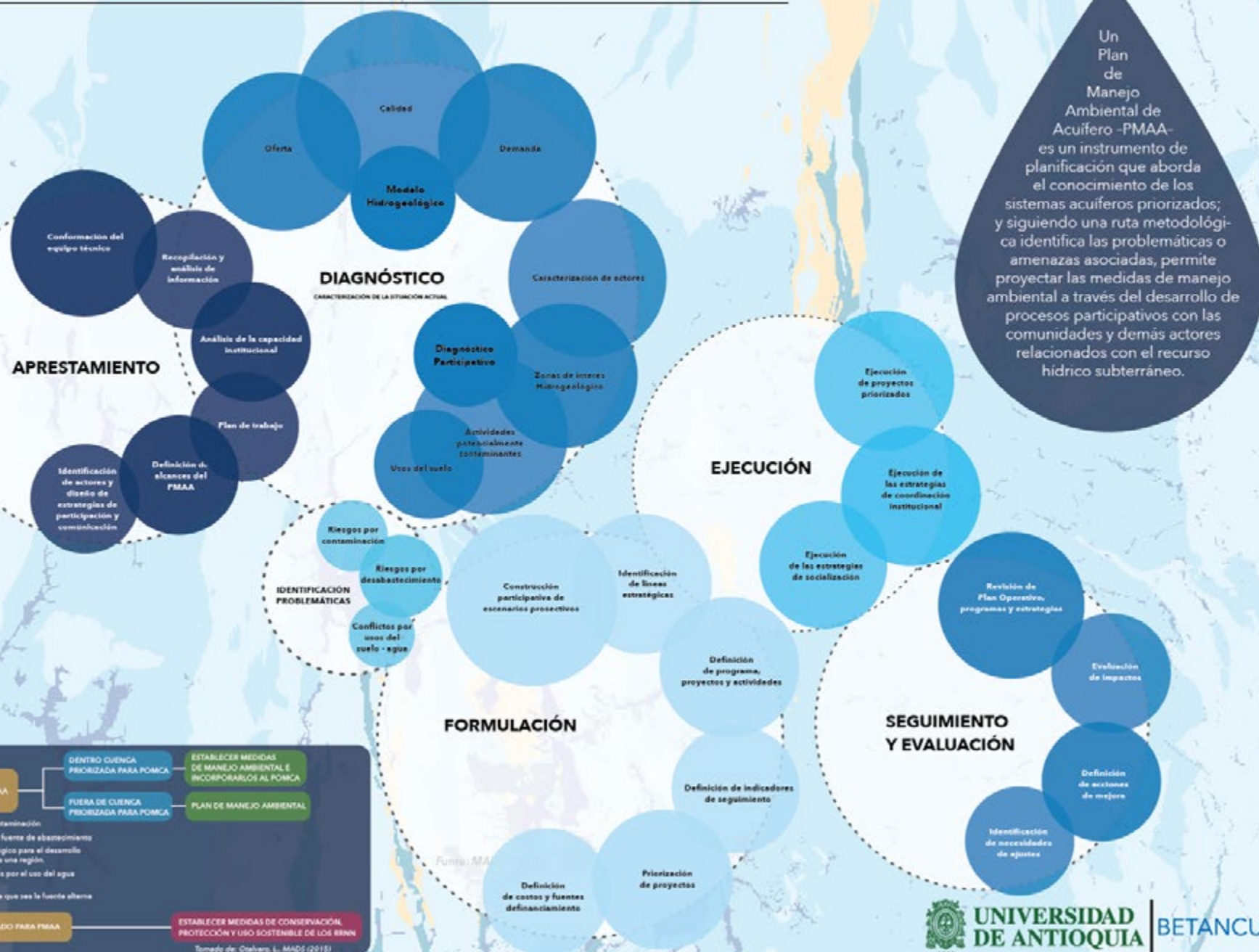
- Agotamiento o contaminación del agua subterránea.
- Cuando el agua subterránea sea la única y/o principal fuente de abastecimiento para consumo humano.
- Cuando, por sus características hidrogeológicas, el acuífero sea estratégico para el desarrollo socioeconómico de una región.
- Existencia de conflictos por el uso del agua subterránea.
- Cuando se requiera que el acuífero sea fuente alterna por desabastecimiento de agua superficial, debido a riesgos antrópicos o naturales.

Para el caso específico de los acuíferos o sistemas acuíferos priorizados por la autoridad ambiental competente, ya sea que se encuentren dentro de una cuenca objeto de POMCA, o que sean objeto de PMAA, se deberá tener en cuenta la guía para la formulación de los planes de manejo de los acuíferos, dentro del proceso de establecimiento de medidas de manejo ambiental para la preservación y restauración (POMCA), o para la formulación del instrumento de planificación (PMAA).

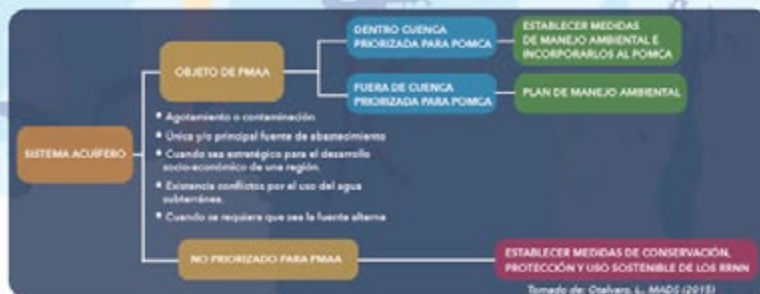
Según el Decreto 1640 de 2012, los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos se deben realizar en las siguientes fases: i) Aprestamiento: en la cual se define el equipo técnico necesario para realizar y acompañar la formulación e implementación del plan, se efectúa una identificación preliminar de actores clave, se plantea la estrategia de socialización, participación y la logística; ii) Diagnóstico: en donde se identifican las problemáticas de cada uno de los componentes del sistema hidrogeológico, considerando tanto la parte físicobiótica como la social, económica y cultural; iii) Formulación: en la cual



EL CIUDADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA: PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS



Un Plan de Manejo Ambiental de Acuífero -PMAA- es un instrumento de planificación que aborda el conocimiento de los sistemas acuíferos priorizados; y siguiendo una ruta metodológica identifica las problemáticas o amenazas asociadas, permite proyectar las medidas de manejo ambiental a través del desarrollo de procesos participativos con las comunidades y demás actores relacionados con el recurso hídrico subterráneo.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

se definen las medidas a implementar, los proyectos y actividades a ejecutar, con el fin de solucionar la problemática identificada en el diagnóstico, estableciendo el cronograma de ejecución, los costos y responsables; iv) Ejecución: donde se realiza el programa de ejecución de acuerdo con el horizonte de planeación establecido y por último v) la fase de Seguimiento y evaluación: en donde se plantea la estrategia para tal fin.

En coherencia con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico —PNGIRH— (2010), y atendiendo al mandato de la Constitución Política de 1991 en la que se afirma que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, en los PMAA el Estado debe proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

GESTIÓN SOCIAL Y EL CUIDADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El derecho al acceso al agua está acompañado de la responsabilidad por su conservación, así está establecido en la Constitución Política de Colombia cuando se promulga que es deber de los ciudadanos: “Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano”.

La responsabilidad individual, nacida de la conciencia y la voluntad puede sumar para, de manera efectiva, lograr la materialización de una estrategia de gestión colectiva, soportada en el derecho a la participación, mediada por la educación y la comunicación.

La participación, educación y comunicación

La PNGIRH, recogiendo los mandatos de la Constitución Política de 1991 sobre la importancia de la participación, señala la necesidad de incluir a los distintos actores y garantizar su participación durante los procesos de planificación del territorio. Esto fundamenta la importancia de pensar responsablemente los mecanismos para la construcción de una estrategia integral de participación, que incluya la educación y la comunicación como eje transversal al proceso participativo y de educación.

El ejercicio de la participación ciudadana se comprende como un entramado de relaciones que se tejen entre las instituciones del estado y la sociedad civil. La participación puede darse tanto en el ámbito particular como en el colectivo y puede concebirse como un proceso social cuyo fin es influir en la toma de decisiones que, de alguna manera, se vinculan con los intereses de los participantes (Rodríguez y Muñoz, 2009). La participación ciudadana puede entenderse, entonces, como una acción colectiva de los actores sociales e institucionales, de integrarse, proponer, controlar y evaluar críticamente los procesos de decisión (Etcheverry, 2008); permitiendo la construcción y recuperación de lo público, mediante la intervención de las organizaciones de la sociedad civil en el diseño e implementación de las políticas públicas que les concierne (Sánchez, 2015).

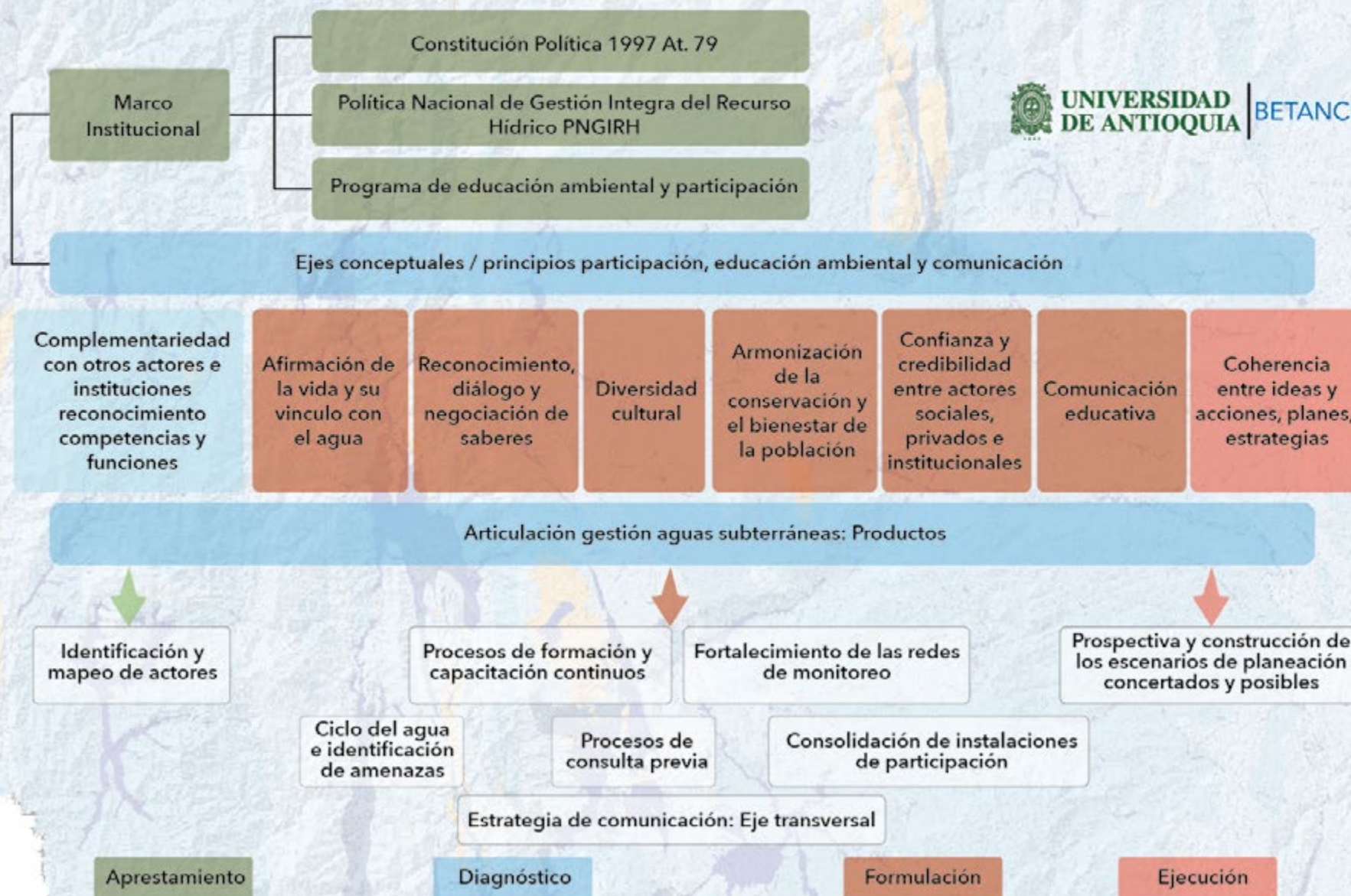
Dentro de los ejercicios de formulación de los PMAA en el Bajo Cauca (Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA, 2014), la Cuenca del río Ranchería (Universidad de Antioquia y CORPOGUAJIRA, 2015), el Valle de Aburrá (Universidad de Antioquia y AMVA, 2019) y Urabá (Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2017), se han aplicado los principios normativos de articulación de participación y educación ambiental para la toma de decisiones. Recogiendo la experiencia ganada en esta práctica se propone una Estrategia de Participación (Social), Educación (Ambiental) y Comunicación (Pública), sustentada en ocho ejes que acogen y adaptan los lineamientos de la PHGIRH y del programa de educación ambiental y



CLAVES PARA EL CUIDADO: PARTICIPACIÓN, EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN

ESTRATEGIA DE PARTICIPACIÓN, EDUCACIÓN AMBIENTAL Y COMUNICACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PMAA

 **UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA** | BETANCUR, 2021



Fuente: Universidad de Antioquia, 2016

participación ciudadana del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estos ejes se resumen así:

- 1. Complementariedad con otros actores e instituciones, reconocimiento competencias y funciones:** incluye una lectura o caracterización del territorio, la identificación, caracterización y mapeo de actores.
- 2. Afirmación de la vida y su vínculo con el agua:** incluye los aspectos del ciclo del agua e identificación y análisis de amenazas construida desde el conocimiento y las prácticas locales, y la interrelación con los diversos actores.
- 3. Reconocimiento, diálogo y negociación de saberes:** aborda los procesos de formación, capacitación continuos e intercambio de saberes a partir de la propuesta y desarrollo de escenarios para el diálogo.
- 4. Diversidad cultural:** articula a la estrategia el desarrollo de los procesos de consulta previa y la inclusión de los grupos étnicos presentes en el territorio.
- 5. Armonización de la conservación y el bienestar de la población:** se refiere al fortalecimiento y acompañamiento de redes de monitoreo con inclusión de usuarios y no usuarios del agua subterránea.
- 6. Confianza y credibilidad entre actores sociales, privados e institucionales:** desarrolla la definición y conformación de una instancia de participación que acompañe las fases de formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de las medidas formuladas en el PMAA.
- 7. Coherencia entre ideas y acciones, planes, estrategias:** aborda el análisis prospectivo y construcción de los escenarios para la planeación estratégica y concertada de las acciones, programas y proyectos para la gestión integral de las aguas subterráneas y la reducción de las amenazas y riesgo sobre el sistema hidrogeológico.
- 8. Comunicación educativa:** es un componente eje transversal y común a lo largo del proceso de participación y educación. Por tanto la estrategia alimenta desde sus resultados y productos el componente de comunicación y viceversa, con el objetivo de lograr información suficiente y oportuna para la toma de decisiones, la apropiación del conocimiento, la transferencia de información, el diálogo de saberes y la gestión integral sobre el agua subterránea. Para este caso, se entenderá la comunicación como un ejercicio

de reproducción del orden social, entendida como un proceso simbólico que produce y reproduce patrones socioculturales compartidos por los sujetos y las comunidades (Vidales Gonzáles, 2015).

Gestión colectiva del agua subterránea

Al plantear como un punto aparte el título de la gestión colectiva, independiente de la idea de participación social o ciudadana tiene una intención, y es la de concluir con un sentido de responsabilidad, si se quiere individual que, partiendo de identificar y señalar el rol del Estado y sus instancias, plantea un llamado individual a la acción y al compromiso.

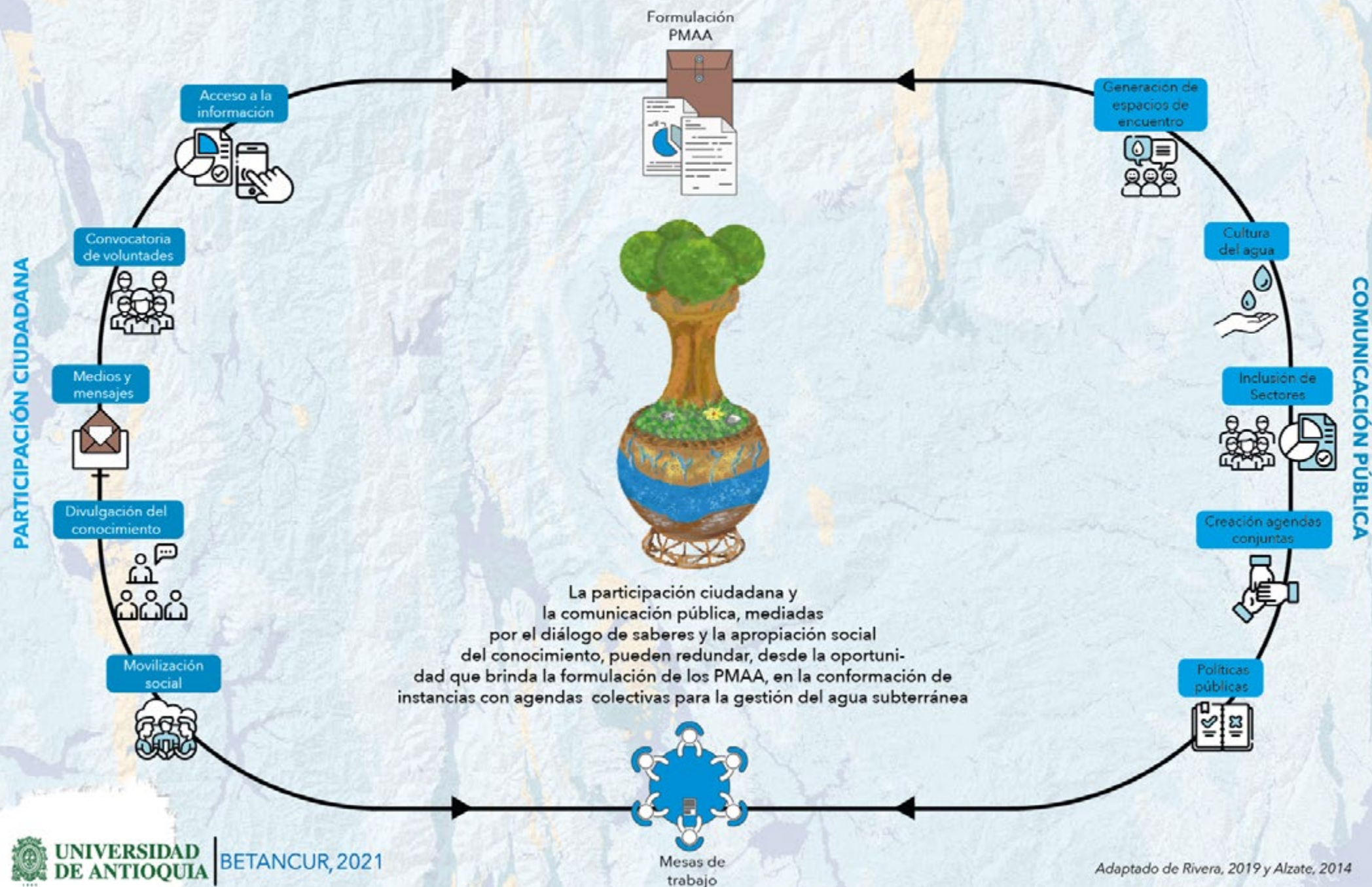
Es importante resaltar que en Colombia se han promovido, bajo el amparo de la normatividad ambiental, espacios de participación a nivel regional y municipal, para el manejo de los recursos naturales y del recurso hídrico para cuencas, tales como: Consejos de Educación Ambiental (CIDEA, CIDEAM), Consejos de Planeación Territorial, Comités de Planes de Ordenamiento Territorial —POT— específicos para el recurso hídrico, Mesas ambientales municipales y regionales y Consejos de cuenca de aguas superficiales. La referencia que en estas páginas se hace pretende enfocarse en el agua subterránea.

Si el agua subterránea representa un recurso común, las implicaciones en su uso y gestión representan acciones conjuntas. Una posibilidad de dar un paso hacia la gestión colectiva se plantea a partir del mismo Decreto, el 1076 de 2015, al señalar que, durante el desarrollo de las fases del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos, “la autoridad ambiental competente podrá conformar mesas de trabajo, como apoyo para el desarrollo de las diferentes fases del plan”.

Mediante experiencias como la del proyecto de Protección Integrada de Aguas Subterráneas —PPIAS— en sus fases I y II (CARSUCRE, 2005) se logró involucrar a diferentes actores sociales en torno a la protección de un bien común y se adelantaron los primeros programas de educación ambiental y de participación de la comunidad en función al agua subterránea; especial mención requiere en este sentido el trabajo realizado por CARSUCRE en el área de su jurisdicción.



EL CUIDADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA: GESTIÓN COLECTIVA



Frente a la gestión del agua subterránea, antes de la expedición de la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuífero, se habían realizado en el país esfuerzos en términos de la planeación y gestión del recurso hídrico subterráneo, entre los cuales se registran las siguientes experiencias: Plan de Gestión del Agua Subterránea en Morroa (CARSUCRE); Plan de Gestión del Agua Subterránea en San Andrés (CORALINA); Plan de Gestión del Agua Subterránea en Valle del Cauca (CVC); Plan de Gestión del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá (CAR); Planes de Gestión del Agua Subterránea en Pereira (CARDER); Planes de Gestión del Agua Subterránea de las cuencas de los ríos grande del Magdalena, río Purnio, río Guarín y Santágueda (CORPOCALDAS). Una vez publicada y puesta a disposición la primera Guía Metodológica, se continuó en el país con la formulación de estos planes de manejo en los acuíferos priorizados según más disposiciones reglamentarias. En Antioquia se han formulado, hasta 2021, planes de manejo ambiental de acuífero para el Bajo Cauca, Occidente antioqueño, Magdalena Medio, Eje Bananero de Urabá y Valle de Aburrá. A partir de ellos el panorama de la gestión colectiva del agua subterránea se presenta como un proceso emergente que ha sido jalonado por la persistencia en mantener las iniciativas de suma de voluntades que se han dado en los procesos de conformación de las mesas de trabajo en torno al agua subterránea que continúan operando después de la formulación y adopción del PMAA.

La Mesa Metropolitana del Acuífero del Valle de Aburrá sostuvo, durante varios meses posteriores a la formulación del PMAA, una dinámica de trabajo dentro de la cual se procuró la integración a una red de usuarios del agua subterránea; la desarticulación al interior de Autoridad Ambiental Metropolitana constituyó el principal factor desmotivador, socavando la confianza de los actores que voluntariamente quisieron, en su momento, soportar esa iniciativa.

La Mesa del Acuífero de Urabá —MACURA— alcanzó a convertirse en ejemplo nacional y referente internacional acerca de lo que puede lograr la articulación de compromisos institucionales e individuales para trabajar en torno a un propósito que redunde en un bienestar común. Hoy las afugias financieras y el impacto de la emergencia sanitaria vivida a causa de la pandemia de COVID tienen a MACURA en un estado de quietud enfrentando un devenir incierto.

GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ANTIOQUIA

Los primeros estudios hidrogeológicos sistemáticos que se realizaron en Antioquia se practicaron por parte del INGEOMINAS en la región de Urabá, posteriormente CORNARE, CORANTIOQUIA y el AMVA fueron concretando tareas de caracterización hidrogeológica en áreas de sus jurisdicciones, involucrando, de forma diferente, aspectos participativos.

Manteniendo la línea descrita en los apartados precedentes, este numeral se enfoca en la gestión que tiene sustento en el contexto de la PNGIRH y desde la perspectiva de los Planes de Manejo Ambiental de Acuífero. De esta forma se tiene que en el departamento, desde 2014 y hasta 2021 se han formulado PMAAs para los acuíferos: Bajo Cauca antioqueño, Magdalena Medio, Occidente Cercano, Urabá y Valle de Aburrá. Dentro de las estrategias de participación se ha realizado consulta previa en Occidente, Magdalena Medio y el Valle de Aburrá; para el Eje Bananero de Urabá la consulta con grupos étnicos había sido cubierta dentro de la formulación de los POMCA de los ríos León, Turbo y Currulao. La imposibilidad de llevar a cabo la consulta previa en el Bajo Cauca hace que, a la fecha, el PMAA de los acuíferos de esta zona de Antioquia no se haya adoptado. Por otra parte los PMAA de Occidente y Magdalena Medio están siendo actualizados.

Partiendo del conocimiento hidrogeológico y apoyado en procesos participativos se establece, dentro de la fase de diagnóstico, la problemática que afecta a cada sistema de aguas subterráneas para proceder, luego, a la definición de objetivos, y con ellos a la definición de líneas estratégicas de acción con sus programas y proyectos. El horizonte de planeación se proyecta entre 10 y 12 años, definiendo acciones a ejecutar en el corto, mediano y largo plazo.

Los entornos geográficos de las zonas en las que se ha adelantado la formulación de planes de manejo de acuíferos, revisten importantes diferencias. No obstante, y de cara a la gestión de las aguas subterráneas las problemáticas presentan aspectos comunes, llevando ello a establecer líneas estratégicas y a formular proyectos que abordan objetivos, métodos y alcances similares en diferentes regiones.

Corriendo los riesgos en los que se incurre al generalizar, se puede decir que son líneas estratégicas comunes: i) reducción de la contaminación y conservación de la calidad, ii) fortalecimiento institucional, iii) gestión de la oferta y la demanda, iv) generación y apropiación del conocimiento, v) fortalecimiento, gobernabilidad y gobernanza, vi) educación y cultura para la sostenibilidad del recurso hídrico, y vii) gestión integral del cambio climático. En el mismo orden de ideas, se encuentra coincidencia en la formulación de proyectos relacionados con: i) delimitación de zonas de recarga y definición de medidas para su manejo, ii) educación y comunicación enfocados hacia la apropiación o democratización del conocimiento, iii) consolidación del conocimiento mediante investigación hidrogeológica, iv) articulación interinstitucional y entre instrumentos de planificación, v) fortalecimiento institucional mediante la definición de medidas claras para la gestión de las aguas subterráneas, vi) diseño e implementación de redes de monitoreo hidrogeológico, vii) valoración y recuperación de elementos culturales y ancestrales en torno al agua, viii) gestión de la oferta y la demanda, ix) consolidación de instancias de participación, x) estructuración de bases de datos, sistemas de información e implementación de modelos numéricos, xi) evaluación de riesgos ambientales y por cambio climático.

Plan de manejo ambiental de acuífero para el Bajo Cauca antioqueño

“Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo de la Dirección Territorial Panzenú mediante una gestión integral que incluya los ecosistemas naturales y comunidades asociados al mismo”.

Horizonte de planeación: año 2023

Acto administrativo que lo adopta: sin adoptar

- Formulado mediante convenios interadministrativos con la Universidad de Antioquia.
- Durante la fase de formulación se llevó a cabo un proceso de formación social con diferentes actores, mediante la realización de un Diplomado en Hidrogeología y Gestión de Aguas Subterráneas.
- No se adelantó consulta previa.
- Se formularon 27 proyectos.

Objetivo específico	Disminuir el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas del acuífero del Bajo Cauca antioqueño mediante el control de las fuentes de contaminación originadas por el desarrollo urbano y actividades económicas.	
Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
	Programas	Proyectos
Apoyo, cooperación y acompañamiento a los municipios en el saneamiento ambiental de sus asentamientos.	Saneamiento básico urbano.	Proyecto 1. Cooperación y articulación en la ejecución de los instrumentos de planificación para el manejo de aguas residuales (Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado, Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos y Plan Departamental de Aguas).
		Proyecto 2. Cooperación y apoyo a los municipios de la Territorial Panzenú en la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, peligrosos y especiales.
	Plan de saneamiento básico rural.	Proyecto 3: Construcción de unidades individuales de tratamiento de aguas residuales con énfasis en las zonas de recarga acuífero.
		Proyecto 4: Programa para el manejo adecuado de los Residuos Sólidos en las zonas rurales de la Territorial Panzenú.
Regulación y control a los vertimientos y uso del agua en las actividades económicas y el desarrollo urbano (Autoridad ambiental).	Programa de control y seguimiento a las fuentes de contaminación identificadas.	Proyecto 5. Creación de un grupo interdisciplinario e interinstitucional para el control y seguimiento a las fuentes de contaminación generados por las diferentes actividades económicas.
		Proyecto 6. Seguimiento y control a los vertimientos de las cabeceras urbanas y centros poblados (Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos y Tasas Retributivas)
	Control de captaciones activas y abandonadas.	Proyecto 7. Inventario, seguimiento y control a la construcción de captaciones y capacitación en el manejo de las existentes.
Fomento producción más limpia.	Inclusión de prácticas sostenibles en los procesos productivos.	Proyecto 8. Inclusión de prácticas sostenibles en la producción agropecuaria e incentivos.
		Proyecto 9. Legalización y organización de la pequeña y mediana minería e inclusión de prácticas sostenibles.
		Proyecto 10. Capacitación en el manejo y almacenamiento de combustibles y aceites.

Objetivo específico	Disminuir el riesgo por desabastecimiento a partir del control a las amenazas que afectan la oferta.	
Líneas estratégica de acción	Acciones de manejo	
	Programas	Proyectos
Gestión de la oferta del recurso hídrico subterráneo.	Protección de las zonas de recarga.	Proyecto 11. Delimitación de las zonas de recarga del acuífero, reglamentación de sus usos y definición de las medidas de manejo.
	Protección ecosistemas asociados y dependientes al sistema de acuíferos.	Proyecto 12. Evaluación de la interacción humedales y agua subterránea, incluyendo escenarios de cambio ambiental.
		Proyecto 13. Evaluación de la interacción ríos y agua subterránea, incluyendo escenarios de cambio ambiental.
Objetivo específico	Caracterizar, cuantificar y gestionar la demanda como acciones encaminadas a prevenir efectos del cambio global.	
Líneas estratégica de acción	Acciones de manejo	
	Programas	Proyectos
Gestión de la demanda del recurso hídrico subterráneo.	Estudio de la relación oferta demanda.	Proyecto 14. Caracterización e inventario demanda, estimación oferta y balance oferta – demanda.
	Manejo integral de la demanda.	Proyecto 15. Reglamentación de los usos del agua (legalización captaciones) y seguimiento a los consumos del agua en los diferentes usos.
		Proyecto 16. Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua.
	Manejo del riesgo por el cambio global.	Proyecto 17. Evaluación de riesgo por cambio ambiental y definición de las medidas de adaptación al mismo.

Objetivo específico	Fortalecer la gestión institucional y social del recurso hídrico subterráneo.	
Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
	Programas	Proyectos
Generación de instrumentos y herramientas para el fortalecimiento institucional	Cooperación y coordinación interinstitucional.	Proyecto 18. Conformación y consolidación de la mesa ambiental para la ejecución, control, seguimientos y ajustes al PMAA.
		Proyecto 19. Articulación PMAA con los instrumentos de planificación del orden regional y local.
	Investigación como soporte de la gestión del recurso.	Proyecto 20. Identificación y valoración de las funciones, bienes y servicios ambientales de las aguas subterráneas del Bajo Cauca antioqueño.
		Proyecto 21. Actualización y ajustes al modelo conceptual del sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño.
Generación de instrumentos y herramientas para el fortalecimiento social.	Fortalecimiento Institucional.	Proyecto 22. Creación de una unidad técnica para la gestión del recurso hídrico subterráneo en la Territorial Panzenú.
	Educación ambiental: hacia una cultura del agua.	Proyecto 23. Educación para el manejo y uso adecuado del recurso y difusión del conocimiento.
		Proyecto 24. Fortalecimiento de los PRAES de las instituciones educativas con el tema del agua subterránea.
	Fortalecimiento a las organizaciones comunitarias para la buena gestión del agua subterránea.	Proyecto 25. Capacitación y cualificación de las organizaciones comunitarias y líderes sociales para la buena gestión del agua subterránea.
		Proyecto 26. Fortalecimiento a la Veeduría ambiental en gestión de las aguas subterráneas.
		Proyecto 27. Consolidación de una red de organizaciones ambientales en torno a la gestión de las aguas subterráneas.

Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para el Occidente antioqueño

Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo mediante una gestión integral que incluya los ecosistemas naturales y las comunidades que habitan el área.

Horizonte de planeación: 10 años

Acto administrativo que lo adopta: en proceso de actualización.

- Fue presentado a CORANTIOQUIA por Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S. en el año 2017.
- Se realizó consulta previa.
- Fueron definidos 20 proyectos para atender líneas estratégicas y fueron priorizados 16 para ser ejecutados en el corto plazo y 4 para ser ejecutados en el largo plazo.

Objetivos específicos	Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
		Programas	Proyectos
Garantizar la protección y conservación del acuífero de Occidente.	Acciones de protección y conservación del recurso hídrico subterráneo.	Protección y conservación de acuíferos.	Proyecto 1. Refinar y reglamentar las zonas de recarga mediante distintas metodologías.
			Proyecto 2. Análisis de riesgo (contaminación – agotamiento) del acuífero de occidente.
			Proyecto 3. Determinar riesgo de incendio en zonas de recarga.
Mejorar la calidad y la sostenibilidad del agua subterránea.	Garantizar la calidad y la cantidad del recurso hídrico subterráneo.	Control y seguimiento de captaciones.	Proyecto 1. Legalización de los usuarios del recurso hídrico subterráneo.
			Proyecto 2. Monitoreo de niveles y calidad en aljibes, pozos y piezómetros.
			Proyecto 3. Definición de perímetros de protección de pozos.
Velar por la sostenibilidad del recurso subterráneo.	Gestión integral del cambio climático.	Adaptación al cambio climático.	Proyecto 1. Instrumentación de un proyecto piloto, mediante instalación de pluviómetros, mediciones de caudales y niveles de agua superficial y subterránea.

Objetivos específicos	Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
		Programas	Proyectos
Fortalecer la gestión institucional y social del recurso hídrico subterráneo.	Conocimiento y planificación del recurso hídrico subterráneo.	Estimación de oferta y demanda de agua subterránea y superficial.	Proyecto 1. Estimación de oferta y demanda de agua subterráneas, incluyendo demanda por minería, turismo, obras de infraestructura, condominios, parcelaciones y fincas. Proyecto 2. Regulación del consumo de agua subterránea.
Mejorar la información disponible para una adecuada planificación del recurso hídrico.	Apropiación de memoria y tradición del recurso hídrico superficial y subterráneo.	Inventario y recuperación de acequias.	Proyecto 1. Inventario y recuperación de acequias – tecnologías tradicionales.
Garantizar el suministro del recurso hídrico.	Accesibilidad al recurso hídrico subterráneo.	Agua subterránea como fuente alterna de abastecimiento con sistemas de energía no convencional.	Proyecto 1. Posicionamiento y construcción de un pozo comunitario de energía solar (Prueba piloto).
Divulgar el conocimiento del potencial acuífero del Occidente antioqueño, su uso racional, riesgos y protección a la mayor cantidad de personas posible.	Educación y cultura para la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo.	Educación ambiental.	Proyecto 1. Comunicación con énfasis educativo - Generación y divulgación de material educativo relacionado con agua subterránea. Proyecto 2. Recuperación y fortalecimiento de la memoria y tradición en torno al agua subterránea en territorio de los consejos comunitarios de Sopetrán. Proyecto 3. Iniciativas.
Mejoramiento de la capacidad de gestión de las instituciones relacionadas con el acuífero de Occidente.	Gestión del recurso hídrico subterráneo.	Gestión.	Proyecto 1. Modelo numérico para el acuífero de occidente. Proyecto 2. Valoración socio-cultural servicios ecosistémicos sistema acuífero occidente.
Fortalecer la gobernanza y gobernabilidad para aguas subterráneas contribuyendo a la transformación de prácticas con relación al agua - cultura del agua.	Fortalecimiento institucional para incrementar el conocimiento del entorno y mejorar las destrezas de los actores involucrados con el recurso hídrico subterráneo.	Fortalecimiento de la capacidad institucional.	Proyecto 1. Actualización de base de datos de los usuarios del recurso hídrico subterránea. Proyecto 2. Capacitación a funcionarios públicos en el tema del agua subterránea (diplomado). Proyecto 3. Consolidación de la mesa de trabajo. Proyecto 4. Capacitación a líderes comunitarios, instituciones educativas y comunidad en general jóvenes y adultos en el tema del agua subterránea.

Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para el Magdalena Medio antioqueño

Resolver la problemática identificada durante el diagnóstico.

Horizonte de planeación: 10 años

Acto administrativo que lo adopta: en proceso de actualización.

- Fue realizado a través de un contrato de consultoría (N° 110-CNT1706-46 de 2017) con la empresa GOTTA INGENIERÍA S.A.S.
- Se realizó consulta previa.

Líneas estratégica de acción	Acciones de manejo	
	Programas	Proyectos
Oferta.	Protección y Conservación de Acuíferos.	Proyecto 1: Refinar la delimitación de zonas de recarga.
		Proyecto 2: Generar lineamientos de uso del suelo en zonas de recarga.
		Proyecto 3: Reforestación en rondas hídricas, ciénagas y caños.
	Monitoreo hidrogeológico.	Proyecto 4: Instalación y operación de piezómetros para monitoreo hidrogeológico.
Demanda del recurso hídrico subterráneo.	Modelación hidrogeológica.	Proyecto 5: Construcción de modelo numérico para sistema acuífero del Magdalena Medio.
		Proyecto 6: Prospección y modelación hidrogeológica conceptual en profundidad.
	Legalización de usuarios.	Proyecto 7: Reglamentación de usos y usuarios del agua subterránea.
	Uso eficiente y ahorro del agua.	Proyecto 8: Regulación del consumo de agua subterránea.
Calidad del agua subterránea.	Monitoreo hidrogeológico.	Proyecto 9: Aplicar la red de monitoreo y calidad de agua subterránea PIRAGUA.
	Reducción de la contaminación.	Proyecto 10: Definición y establecimiento de perímetros de protección de pozos.

Líneas estratégica de acción	Acciones de manejo	
	Programas	Proyectos
Riesgos.	Reducción del riesgo por desabastecimiento.	Proyecto 11: Implementación de modelo numérico como herramienta para la concesión de aguas subterráneas.
	Reducción del riesgo por contaminación.	Proyecto 12: Elaborar mapa de riesgos.
Articulación institucional.	Articulación institucional y social para la implementación del PMAA.	Proyecto 13: Conformación y fortalecimiento de mesa de trabajo para el PMAA.
		Proyecto 14: Alianzas estratégicas con CONEGAN y vinculación con propietarios de fincas para la socialización del PMAA y generación de estrategia en torno a la planeación, manejo y conservación del acuífero.
	Articulación del PMAA con instrumentos de planificación y gestión a escala regional y local.	Proyecto 15: Gestión para la incorporación del PMAA a los Planes de Ordenamiento y Planes de Acción de los municipios de Yondó, Puerto Nare y Puerto Berrío.
		Proyecto 16: Articulación del PMAA a los Planes de en Desarrollo, Planes de Vida, Planes de Manejo Forestal Comunitario de las Comunidades Étnicas presentes en el Acuífero.
Gobernanza.	Participación ciudadana en torno a la planificación y manejo ambiental.	Proyecto 17: Implementación de iniciativas ambientales para el uso, manejo y conocimiento del recurso hídrico subterráneo.
		Proyecto 18: Foro permanente para la gestión y planificación de acuíferos.
		Proyecto 19: Recuperación y fortalecimiento de la memoria y tradición en torno al agua subterránea en el territorio.
	Educación ambiental para la construcción de una cultura en torno a la gestión, planificación y administración del recurso hídrico subterráneo.	Proyecto 20: Diseñar y ejecutar una estrategia para la incorporación de los procesos de educación ambiental de aguas subterráneas en los CIDEAM y en los PRAEs.
		Proyecto 21: Diseñar, preparar e implementar una estrategia de comunicación participativa para la gestión y apropiación del PMAA.
		Proyecto 22: Diplomado en Gestión en Manejo de Agua Subterránea.

Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para el Urabá Antioqueño

Resolver la problemática identificada durante el diagnóstico.

Horizonte de planeación: 10 años

Acto administrativo que lo adopta: Resolución de Consejo Directivo.

- Formulado mediante convenio interadministrativo entre La Universidad de Antioquia y CORPOURABA.
- A partir de la línea base y las amenazas identificadas, se plantearon los objetivos y líneas estratégicas a abordar en la formulación de programas, proyectos y actividades de manejo, recuperación, conservación y gestión.
- Se sentaron las bases para la conformación de la Mesa de Trabajo —MACURA— que acompañará la ejecución y el seguimiento al PMAA.

- Como resultado tangible del desarrollo de la estrategia de comunicación se consolidó, a partir de entregas periódicas en tres fascículos, una memoria técnica del proceso de formulación del PMAA; también se desarrolló un micrositio enlazado a la página web de CORPOURABA en la que se dispuso una información preliminar y en el que se pueden seguir actualizando avances que adelante la Corporación en materia de aguas subterráneas.
- A 2021 se han ejecutado tres proyectos, están en ejecución seis más y tres están planteados para el largo plazo.

Objetivos específicos	Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
		Programas	Proyectos
Disminuir el riesgo por agotamiento de las aguas disponibles en los acuíferos a partir del control a las amenazas que afectan la oferta.	1. Gestión integral de la oferta hídrica subterránea.	Manejo de las zonas de interés hidrogeológico.	Proyecto 1. Delimitar las zonas de recarga del acuífero del golfo de Urabá.
		Gestión del riesgo.	Proyecto 2. Construir la línea base de los efectos del cambio climático sobre las aguas subterráneas del Golfo de Urabá.
			Proyecto 3. Desarrollar una propuesta metodológica para integrar los riesgos asociados al agua subterránea del acuífero del golfo de Urabá en el marco de su gestión.
		Legalización de usuarios.	Proyecto 4. Acompañar a las comunidades rurales en la legalización de captaciones de agua subterránea.

Objetivos específicos	Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
		Programas	Proyectos
Disminuir la contaminación de las aguas subterráneas en el acuífero Golfo de Urabá.	2. Reducción de la contaminación del recurso hídrico subterráneo.	Gestión de los vertimientos de las actividades urbanas y económicas.	Proyecto 5. Definir medidas para la exploración y explotación de las aguas subterráneas y prevención y corrección de la contaminación derivada de actividades antrópicas.
		Monitoreo y seguimiento a la calidad y cantidad de las aguas subterráneas.	Proyecto 6. Diseñar y construir una red de piezómetros para el monitoreo de calidad y cantidad de las aguas subterráneas en el Golfo de Urabá.
Generar conocimiento que permita a los diferentes actores sociales el entendimiento de las dinámicas naturales del acuífero del Golfo de Urabá y una mejor gestión del mismo.	3. Generación y apropiación social del conocimiento.	Generación de conocimiento.	Proyecto 7. Avanzar en el conocimiento de las dinámicas del sistema acuífero del Golfo de Urabá.
		Divulgación de la información y el conocimiento.	Proyecto 8. Diseñar y ejecutar una estrategia de comunicación del conocimiento que se tiene del acuífero y del PMAA. Proyecto 9. Realizar un diplomado en hidrogeología y gestión de las aguas subterráneas con los actores sociales del acuífero del Golfo de Urabá.
		Educación Ambiental.	Proyecto 10. Diseñar y ejecutar una estrategia para Inclusión de la temática de las aguas subterráneas en el CIDEAM y los PRAES.
Desarrollar acciones tendientes a fortalecer la gobernabilidad y la gobernanza para la gestión integral del recurso hídrico subterráneo.	4. Fortalecimiento gobernabilidad y gobernanza.	Participación ciudadana.	Proyecto 11. Consolidación de una red de organizaciones ambientales entorno a la gestión de las aguas subterráneas y Fortalecimiento de mesa de trabajo para el PMAA.
		Articulación institucional.	Proyecto 12. Definir y consolidar una estrategia de coordinación interinstitucional e intersectorial para la gestión de las aguas subterráneas.

Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá

“Reducir los impactos ambientales generados por las actividades socioculturales sobre las aguas subterráneas y mantener sus servicios ecosistémicos”

Horizonte de planeación: año 2030

Acto administrativo que lo adopta: Resolución Comisión Conjunta.

- Fue formulado mediante el convenio 1050 de 2016, entre la Universidad de Antioquia y el AMVA.

- Se realizó consulta previa.
- Se avanzó en la conformación de una mesa de trabajo con participación de actores pertenecientes a diferentes sectores sociales.
- En total se formularon 17 proyectos para ser ejecutados (8) en el corto plazo, (6) en el mediano plazo y (3) en el largo plazo.
- El AMVA elaboró un documento en el que establece unas medidas de manejo para zonas de recarga.

Objetivos específicos	Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
		Programas	Proyectos
Desarrollar medidas de manejo para la protección de las zonas de recarga directas e indirectas del Valle Aburrá.	Ocupación y uso sostenible del territorio.	Manejo de las zonas de interés hidrogeológico.	Proyecto 1. Protección de las zonas de recarga del acuífero del Valle de Aburrá.
			Proyecto 2. Diseño de estrategias que promuevan el uso de Sistemas Urbanos de Desarrollo Sostenible –SUDS– en los desarrollos urbanísticos e infraestructura en el Valle de Aburrá.
			Proyecto 3. Desarrollo de estrategias para el uso del agua subterránea en zonas de amenaza por movimiento en masa en el Valle de Aburrá.
Fortalecer capacidades de las autoridades ambientales para mejorar control y monitoreo del recurso subterráneo y el relacionamiento con los actores de los sectores económicos.	Fortalecimiento del ejercicio de la autoridad ambiental.	Control a la contaminación generada por las actividades económicas.	Proyecto 4. Fortalecimiento en control y relacionamiento con los usuarios de las aguas subterráneas del Valle de Aburrá.
		Generación de herramientas de apoyo para la gestión de las aguas subterráneas.	Proyecto 5. Diseño y ejecución de un programa para el manejo de las captaciones activas, inactivas y abandonadas en el Valle de Aburrá.
			Proyecto 6. Construcción y operación de un sistema de información sobre el recurso hidrogeológico del Valle de Aburrá.

Objetivos específicos	Líneas estratégicas de acción	Acciones de manejo	
		Programas	Proyectos
Generar conocimiento que permita a los diferentes actores sociales y en especial a las autoridades ambientales competentes realizar una mejor gestión del recurso hídrico subterráneo.	Generación de conocimiento para la gestión de la oferta y la demanda.	Investigación.	Proyecto 7. Actualización del inventario de puntos de agua, de abatimiento y de la demanda del agua subterránea en el Valle de Aburrá.
		Seguimiento y monitoreo a la cantidad y calidad del agua subterránea.	Proyecto 8. Estudio del acuífero semiconfinado y de la dunita de Medellín y extensión de zonas de recarga indirecta (delimitación de cuenca hidrogeológica).
			Proyecto 9. Fortalecimiento social y operación de la Red de Monitoreo del Agua Subterránea del Valle de Aburrá.
Desarrollar acciones tendientes a fortalecer la gobernabilidad y la gobernanza para la gestión integral del recurso hídrico subterráneo del Valle de Aburrá.	Gobernanza y gobernabilidad.	Fortalecimiento para la gestión social y comunitaria.	Proyecto 10. Consolidación y fortalecimiento de la instancia de participación para la gestión de las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá.
			Proyecto 11. Fortalecimiento de capacidades para la gestión socioambiental de la comunidad afrodescendiente de la vereda San Andrés, municipio de Girardota.
			Proyecto 12. Conformación de una instancia de coordinación, apoyo y articulación entre el sector institucional estratégico con los demás actores del sector institucional para la gestión de las aguas subterráneas del Valle de Aburrá.
Generar conciencia y el conocimiento sobre la importancia de conservar, proteger y hacer uso sostenible del agua subterránea.	Educación y cultura.	Difusión para la apropiación del conocimiento.	Proyecto 13. Diseño y ejecución de un programa de educación, comunicación y medios para la información y difusión del conocimiento de las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá.
		Educación para la protección de las aguas subterráneas.	Proyecto 14. Capacitación e implementación de prácticas para el manejo y disposición adecuada de los residuos sólidos y las aguas residuales en las zonas de recarga directa e indirectas de las zonas rurales del Valle de Aburrá.
			Proyecto 15. Vinculación de Proyectos Ambientales Escolares PRAES, los PROCEDAS y las Mesas Ambientales con la gestión del agua subterránea en el Valle de Aburrá.
		Cultura para el cuidado del agua subterránea.	Proyecto 16. Recuperación y reconstrucción de la memoria histórica y elementos simbólicos del relacionamiento con el agua subterránea en el Valle de Aburrá.
			Proyecto 17. Recuperación y mantenimiento de las prácticas ancestrales amigables con el medio ambiente, en el manejo de cultivos del Consejo Comunitario de la vereda San Andrés.

Actores sociales para una gestión colectiva

Sector institucional

- Administraciones municipales
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Servicio Geológico Colombiano (SGC)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
- Gobernación de Antioquia
- Policía Ambiental
- Corporaciones Autónomas Ambientales
- Autoridades Ambientales Urbanas
- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Antioquia DAGRAN
- Concejos Municipales
- Consejos Territoriales de Planeación
- Comité Interinstitucional de Educación Ambiental (CIDEAM)

Sector comunitario

- Juntas de Acción Comunal
- Juntas Administradoras de Acueductos Comunitarios
- Mesas ambientales
- ONG's y Organizaciones ambientales
- Consejos de Cuenca
- Consejos Territoriales de Planeación

- Organizaciones comunitarias (mujeres, jóvenes, adultos mayores)
- Fundaciones
- Medios de comunicación
- Líderes y lideresas ambientales

Sector minorías étnicas

- Consejos Comunitarios Afrodescendientes
- Resguardos Indígenas
- Pueblo Rrom

Sector productivo

- Empresas mineras
- Asociaciones de agricultores
- Asociaciones de pescadores
- Empresas productoras de alimentos y bebidas
- Empresas de químicos y agroquímicos
- Empresas forestales
- Empresas avícolas
- Empresas porcicultoras
- Empresas ganaderas
- Empresas manufactureras

Sector Educativo

- Instituciones educativas básica y secundaria
- Instituciones de educación superior
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia
- Museos
- Bibliotecas

Sector comercial y de servicios

- Lavaderos de vehículos
- Estaciones de servicio
- Empresas Públicas de Medellín
- Parqueaderos
- Hoteles y moteles
- Cementerios
- Talleres mecánicos
- Lavanderías
- Centros comerciales
- Parques recreativos
- Empresas prestadoras de servicios de acueducto
- Empresas prestadoras de servicios de saneamiento básico
- Entidades prestadoras de servicios de salud
- Empresas consultoras
- Empresas perforadoras



POR UNA RESPONSABILIDAD INTEGRAL Y EL CUIDADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ANTIOQUIA

OBJETIVO: Reconocer el agua subterránea como bien natural, estratégico para la sostenibilidad de la funcionalidad ecosistémica y portador de servicios para el hombre.

LÍNEAS ESTRATÉGICAS

- Reducción de la contaminación y conservación de la calidad
- Fortalecimiento institucional
- Gestión de la oferta y la demanda
- Generación y apropiación del conocimiento
- Fortalecimiento gobernabilidad y gobernanza
- Educación y cultura para la sostenibilidad del recurso hídrico
- Gestión integral del cambio climático

INICIATIVAS DE PROYECTOS

- Delimitación de zonas de recarga y definición de medidas para su manejo
- Educación y comunicación enfocados hacia la apropiación o democratización del conocimiento
- Consolidación del conocimiento mediante investigación hidrogeológica
- Articulación interinstitucional y entre instrumentos de planificación
- Fortalecimiento institucional mediante la definición de medidas claras para la gestión de las aguas subterráneas
- Diseño e implementación de redes de monitoreo hidrogeológico
- Valoración y recuperación de elementos culturales y ancestrales en torno al agua
- Gestión de la oferta y la demanda
- Consolidación de instancias de participación
- Estructuración de bases de datos, sistemas de información e implementación de modelos numéricos
- Evaluación de riesgos ambientales y por cambio climático

MAPA DE ACTORES

Sector educativo

- Instituciones educativas básica y secundaria
- Instituciones de educación superior
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia
- Museos
- Bibliotecas

Sector minorías étnicas

- Consejos comunitarios
- Afrodescendientes
- Resguardos indígenas
- Pueblo Rrom

Sector productivo

- Empresas mineras
- Asociaciones de agricultores
- Asociaciones de pescadores
- Empresas productoras de alimentos y bebidas
- Empresas de químicos y agroquímicos
- Empresas forestales
- Empresas avícolas
- Empresas porcícolas
- Empresas ganaderas
- Empresas manufactureras

Sector institucional

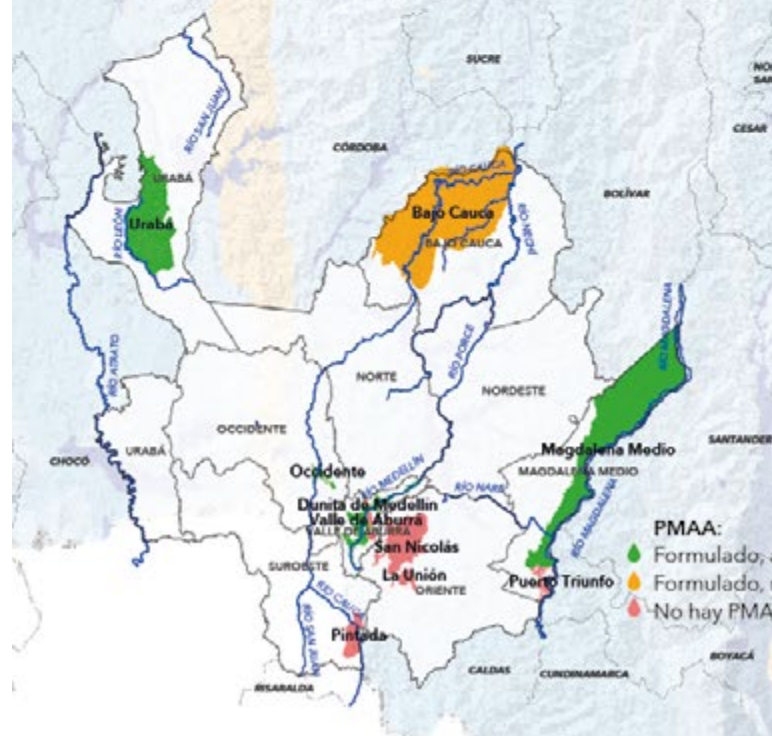
- Administraciones municipales
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Servicio Geológico Colombiano (SGC)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
- Gobernación de Antioquia
- Policía Ambiental
- Corporaciones Autónomas Ambientales
- Autoridades Ambientales Urbanas
- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Antioquia DAGRAN
- Concejos municipales
- Consejos Territoriales de Planeación
- Comité Interinstitucional de Educación Ambiental (CIDEAM)

Sector comercial y de servicios

- Lavaderos de vehículos
- Estaciones de Servicio
- Empresas Públicas de Medellín
- Parqueaderos
- Hoteles y Moteles
- Cementerios
- Talleres Mecánicos
- Lavanderías
- Centros Comerciales
- Parques Recreativos
- Empresas Prestadoras de Servicios de Acueducto
- Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento Básico
- Entidades prestadoras de servicios de salud
- Empresas consultoras
- Empresas perforadoras

Sector comunitario

- Juntas de Acción Comunal
- Juntas Administradoras de Acueductos comunitarios
- Mesas ambientales
- ONG's y Organizaciones ambientales
- Consejos de Cuenca
- Consejos Territoriales de Planeación
- Organizaciones comunitarias (mujeres, jóvenes, adultos mayores)
- Fundaciones
- Medios de comunicación
- Líderes y líderes ambientales



PMAA:
 ● Formulado, adoptado y en ejecución
 ● Formulado, no adoptado
 ● No hay PMAA



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

Parte II

SUBREGIONES

- Bajo Cauca antioqueño
- Urabá antioqueño
- Valle de Aburrá
- Oriente de Antioquia
- Magdalena Medio antioqueño
- Occidente de Antioquia
- Suroeste antioqueño
- Norte de Antioquia
- Nordeste de Antioquia



SUBREGIÓN

BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

La subregión del Bajo Cauca se ubica en las estribaciones de la cordillera Central y parte de la Occidental, al nororiente del departamento de Antioquia, entre las serranías de Ayapel y San Lucas, y sobre la cuenca de los ríos Cauca y Nechí. Con una extensión de 8.485 km², equivale al 13,5% del área total del departamento. Está conformada por los municipios de Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, Tarazá y Zaragoza (FAO & ADR, 2019).

La localización limítrofe, los procesos de interacción sociocultural entre los territorios antioqueño y caribeño, la actividad minera determinante en los procesos de poblamiento y en la dinámica demográfica, las formas de apropiación de la tierra y de los recursos naturales, la diversidad étnica y cultural, constituyen los elementos históricos relevantes que han definido la configuración de esta subregión (Gobernación de Antioquia, 2011).

Las principales actividades económicas son la ganadería y la minería. Todos los municipios de esta subregión son productores de oro y plata; en tanto que El Bagre y Zaragoza producen platino. La actividad minera se desarrolla en tres niveles distintos de explotación: (1) a gran escala y con alta tecnificación por parte de empresas trasnacionales; (2) otra a mediana escala, por empresas de tamaño intermedio; y (3) a pequeña escala, equivalente a minería artesanal, que es el modo de sustento de una gran cantidad de familias (FAO & ADR, 2019); también existen entables de minería ilegal.

La ganadería representa la segunda actividad económica de la subregión, principalmente en Caucasia, Nechí y Cáceres,

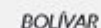
predominando la ganadería extensiva, principalmente la de doble propósito, seguida por la de leche y por la de carne, siendo los rendimientos unos de los más bajos del departamento (FAO & ADR, 2019).

Otras actividades relevantes son la producción piscícola y la agricultura. La subregión posee un potencial en recursos naturales, ecoturismo, producción agrícola, pecuaria, agroforestal, forestal y acuícola por su diversidad de clima y suelo, potencial que no se ha dinamizado por el fuerte desarrollo de la actividad minera (FAO & ADR, 2019).

Se presentan dos formas de producción agrícola: una conformada por una agricultura de pequeñas unidades económicas campesinas en las que se produce yuca, plátano, maíz, arroz tradicional, cacao, ñame y sorgo de sereno (Caucasia), y otra basada principalmente en el cultivo de arroz mecanizado, siendo una producción mucho más tecnificada y comercialmente más importante (FAO & ADR, 2019).

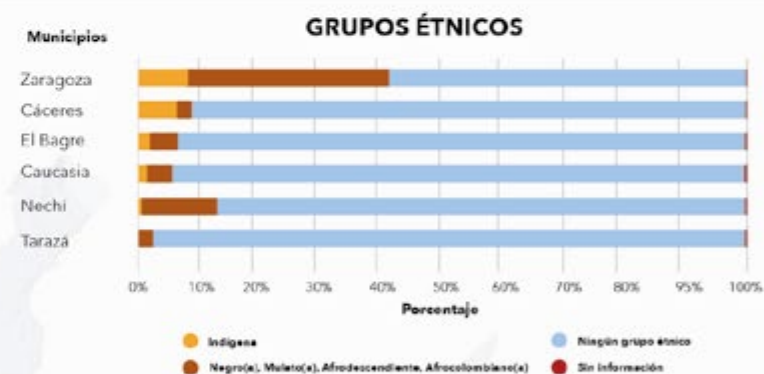
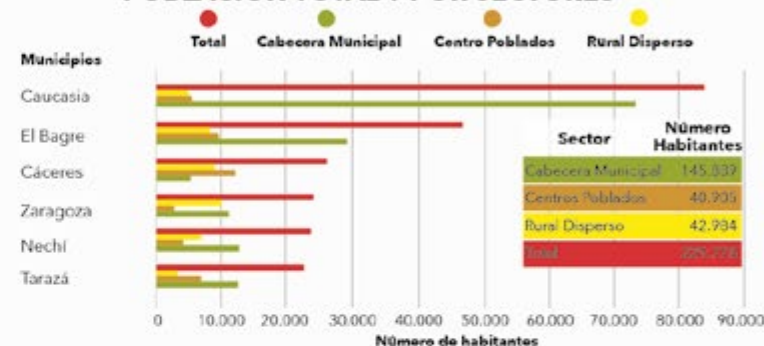
POBLACIÓN

En 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda –CNPV–, la población total de la subregión era de 229.778 habitantes, que conformaban 67.817 hogares distribuidos en 65.572 viviendas, con una densidad poblacional para la subregión de 27 hab/km². Caucasia con una densidad de 59 hab/km² y El Bagre con 31 hab/km² son los municipios que presentaban una mayor densidad poblacional, mientras que Cáceres con 14 hab/km² es el de menor densidad (DANE, 2018).



Está conformada por los municipios de Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, Tarazá y Zaragoza.

Todos los municipios de esta subregión practican la minería de oro y playa; también en el Bagre y Zaragoza se extrae platino. La actividad minera se desarrolla en tres niveles distintos de explotación: (1) a gran escala y con alta tecnificación por parte de empresas trasnacionales; (2) otra a mediana escala, por empresas de tamaño intermedio; y (3) a pequeña escala, equivalente a minería artesanal, que es el modo de sustento de una gran cantidad de familias. La ganadería representa la segunda actividad económica de la subregión, principalmente en Caucasia, Nechí y Cáceres. Otras actividades relevantes son la producción piscícola y la agricultura.



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

Aproximadamente el 63,5 % (145.889 habitantes) de la población de la subregión, en 2018, se encontraba en las cabeceras urbanas y el 36,5 % (83.889 habitantes) restante en el sector rural, comprendido por centros poblados y rural disperso. En esta subregión la población se concentra en la cabecera urbana y centros poblados, con municipios con un alto grado de urbanización como Caucaasia, donde este es del 88 %. Por su parte Cáceres presentaba un mayor porcentaje de su población en sus centros poblados (46 %, 12.100 habitantes), con el corregimiento de El Jardín que presenta una población similar a la de la cabecera urbana del municipio (DANE, 2018).

La población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, sumaba 23.353, que corresponde al 10,2 % del total; entre estos negros, mulatos, afrodescendientes y afrocolombianos suman 17.557 habitantes, y se encuentran en los municipios de Zaragoza y Nechí, donde se localizan varios Consejos Comunitarios. Zaragoza también es el municipio con mayor población indígena de la subregión con dos resguardos de la etnia Zenú (Gobernación de Antioquia, 2019).

Otro factor que cabe mencionar en términos poblacionales es el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir, y que para todos los municipios es superior al 8 %; alcanzando en Cáceres y Tarazá 17,21 % y 15,31 % respectivamente, entre 12 % y 13 % en El Bagre, Nechí y Zaragoza y en Caucaasia 8,34 %.

ACCESO AL AGUA

En general, en la zona rural, las coberturas tanto de alcantarillado como de acueducto son bajas en todos los municipios, siendo Nechí y Zaragoza, los que presentan las cifras más bajas en ambos servicios. En el municipio de Nechí la cobertura de alcantarillado en la cabecera municipal solo alcanza el 9,4 % y en El Bagre el 64,2 %. (DANE, 2018).

Según el Anuario Estadístico de Antioquia (2017), las coberturas del acueducto y agua potable están por encima del 85 % en las cabeceras urbanas. No obstante, en la zona rural, las coberturas de acueducto son bajas y de agua potable son cero (Gobernación de Antioquia, 2018).

Por otra parte, el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes de los sistemas de acueductos urbanos, que presentaban en 2017 los municipios de El Bagre y Zaragoza pone en riesgo el abastecimiento de agua de su población (Gobernación de Antioquia, 2018). Por su parte, el Estudio Nacional del Agua –ENA– (IDEAM, 2019), reporta problemas de desabastecimiento en el municipio de Tarazá por reducción de caudales, déficit de precipitación y deficiencia en el sistema de acueducto.

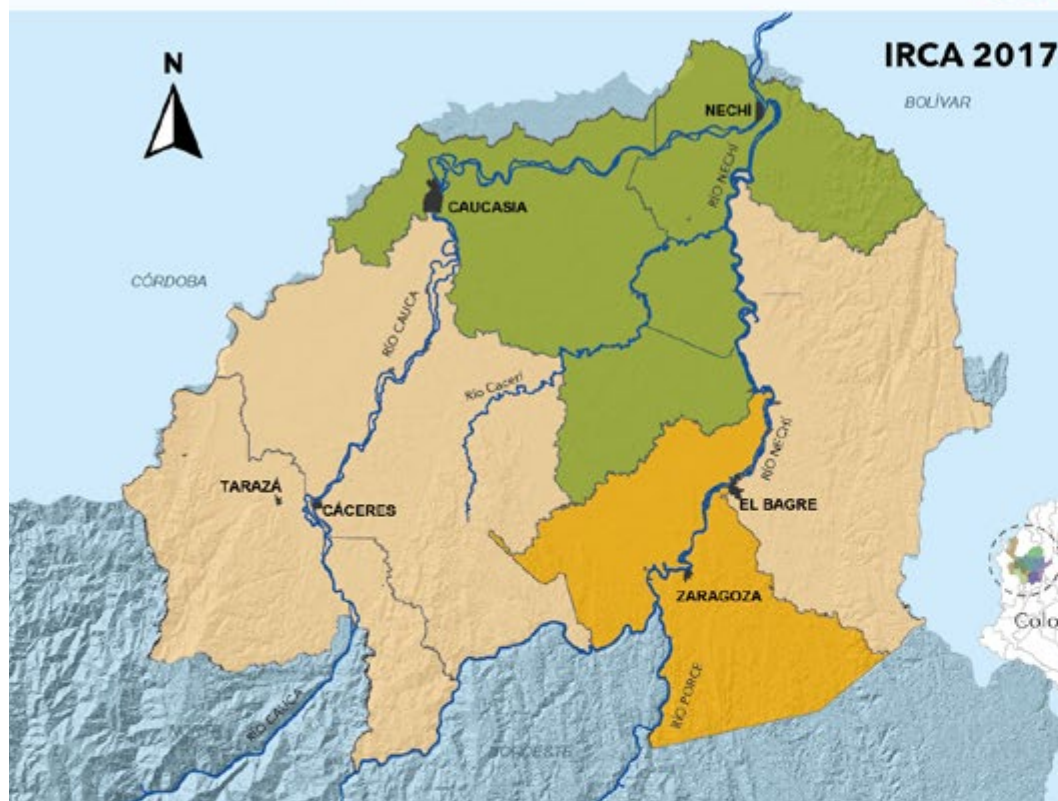
CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población, reflejada en las de Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, todos los municipios de la subregión (excepto Tarazá), presentaban en 2018 condiciones de pobreza y miseria por encima del promedio departamental y nacional. Las condiciones de pobreza y miseria por sector, para cada uno de los municipios que conforman la subregión, reflejan la brecha existente entre las condiciones de vida de la población urbana y rural. El municipio con mayor porcentaje de población en pobreza y miseria total era Nechí, con el 54,20 % y el 20,54 %, respectivamente; Tarazá presentaba el menor porcentaje en miseria con el 1,98 % y Caucaasia el menor porcentaje en pobreza con el 22,05 % (DANE, 2018).

El Índice de Pobreza Multidimensional –IPM–, estimado con los datos del CNPV 2018, presentaba una situación aún más crítica de la calidad de vida que aquella que se reflejaba en las NBI; todos los municipios del Bajo Cauca exhiben cifras por encima de los promedios nacional y departamental; Cáceres posee un 66,4 % de su población en pobreza y Caucaasia el 36,0 %.

BAJO CAUCA

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable - IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Cáceres	2,0	58,0	21,0
Caucasia	0,0	97,0	6,0
El Bagre	5,0	86,0	19,0
Nechí	0,0	SD	0,0
Tarazá	8,0	67,0	25,0
Zaragoza	21,0	95,0	48,0

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

IRCA

Clasificación Nivel de Riesgo

80,1 - 100	Inviabilizable
35,1 - 80	Sanitariamente
14,5 - 35	Alto
5,1 - 14	Medio
0 - 5	Bajo
Sin Datos	SD

Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua - IRABA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Cáceres	32,6	88,2	45,4
Caucasia	11,5	94,3	14,1
El Bagre	25,1	93,1	28,3
Nechí	25,2	SD	25,2
Tarazá	22,7	75,2	26,8
Zaragoza	65,4	77,7	59,6

El IRABA es la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

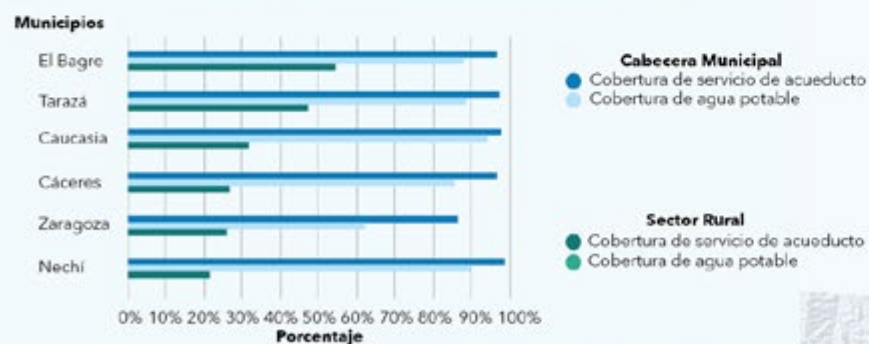
IRABA

Clasificación Nivel de Riesgo

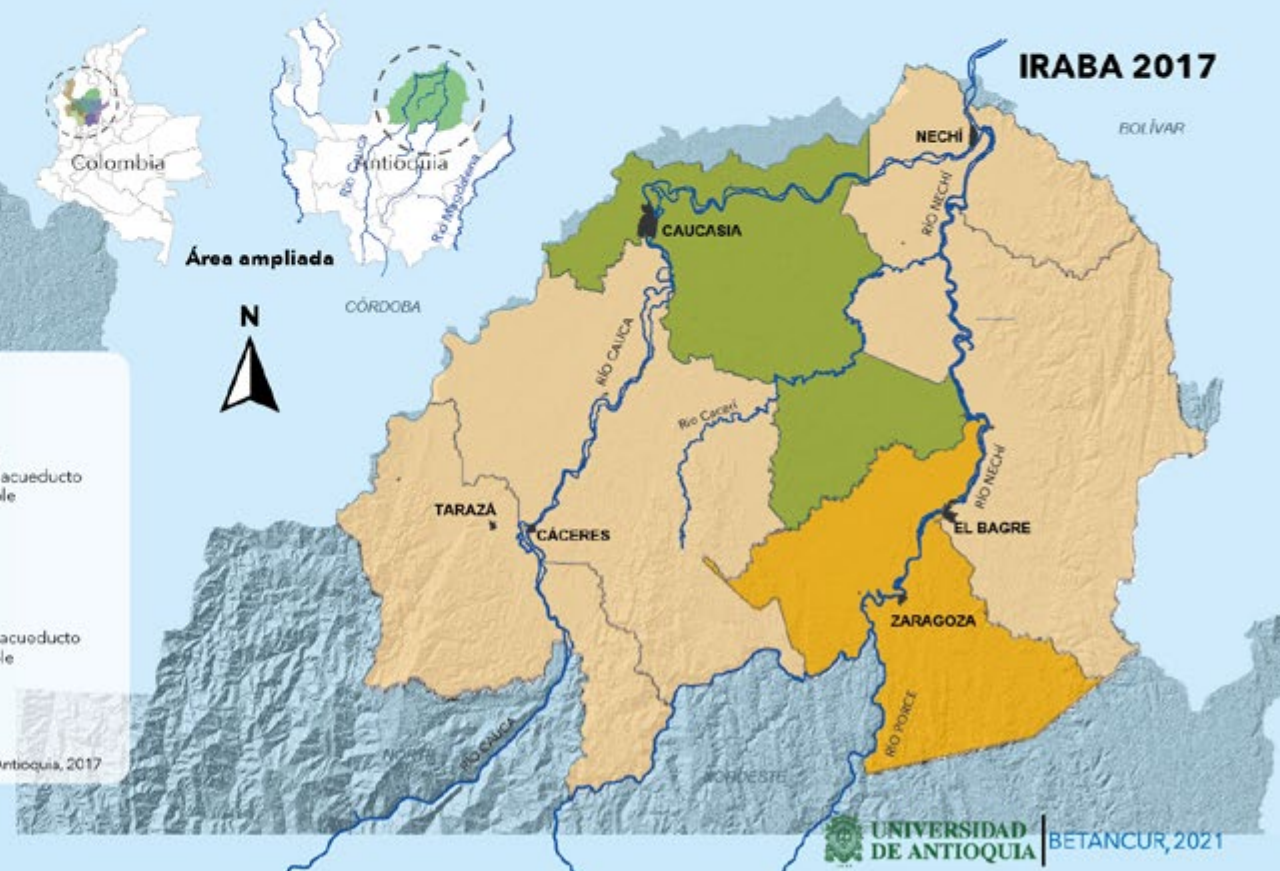
70,1 - 100	Muy Alto
40,1 - 70	Alto
25,1 - 40	Medio
10,1 - 25	Bajo
0 - 10	Sin Riesgo
Sin Datos	SD

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019

SERVICIO DE ACUEDUCTO Y AGUA POTABLE

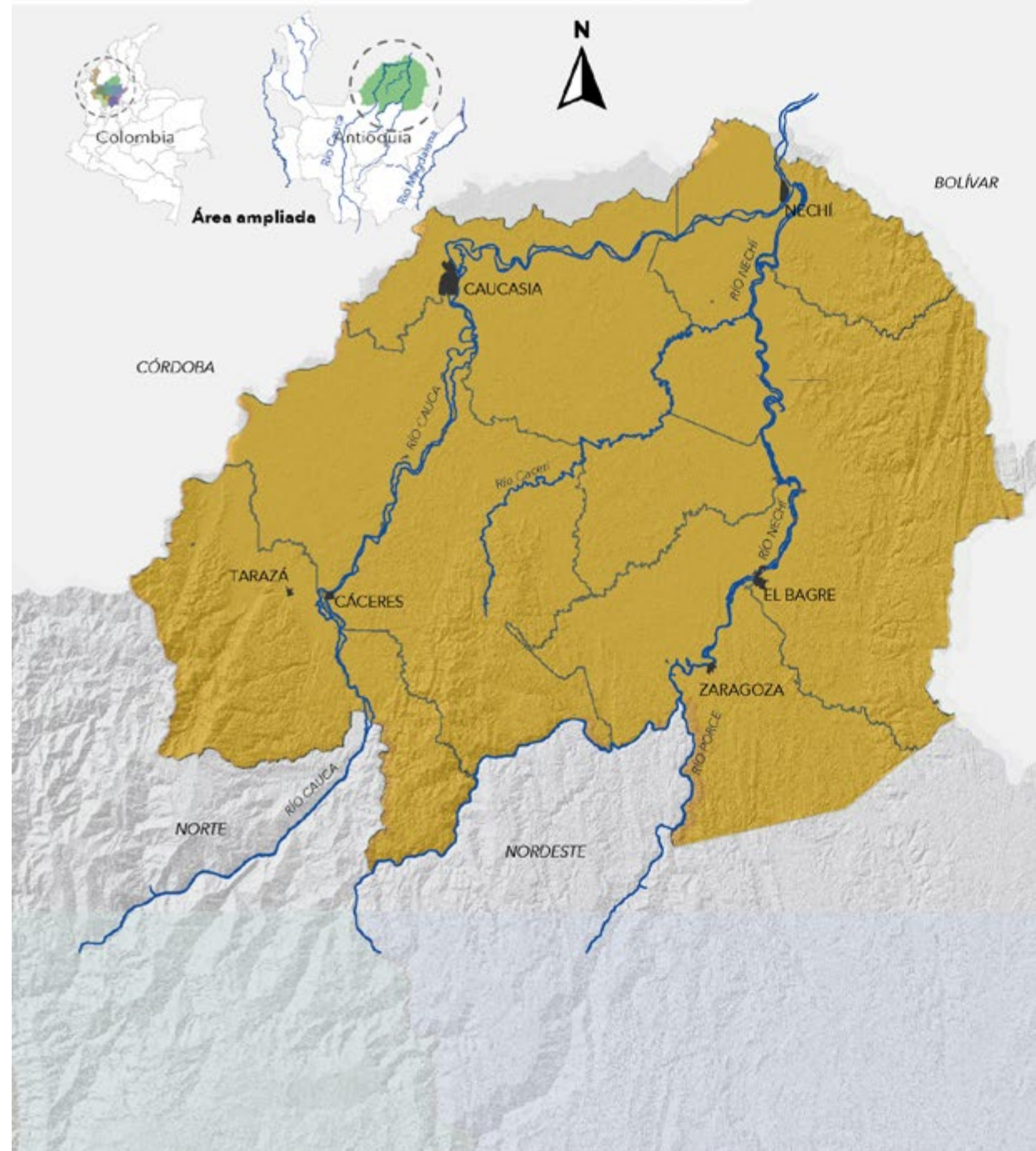


Fuente: DANE Censo Nacional, 2018 y Anuario Estadístico de Antioquia, 2017



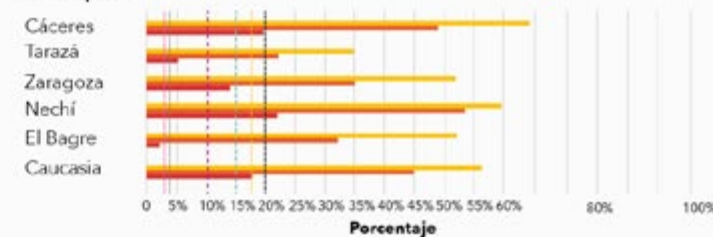
BAJO CAUCA

CALIDAD DE VIDA



	Promedio Nacional	Promedio Departamental
1 Índice de pobreza multidimensional	19,60 %	17,10 %
2 Proporción de personas en pobreza	14,13 %	10,67 %
3 Proporción de personas en miseria	3,74 %	2,48 %

Municipios



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Cáceres	13,14%	18,28%	17,21%
Tarazá	13,41%	17,74%	15,35%
Zaragoza	8,98%	17,99%	13,68%
Nechí	9,92%	13,43%	12,81%
El Bagre	8,65%	19,00%	12,43%
Cauca	7,26%	16,68%	8,34%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Según los resultados obtenidos en el ENA 2014, el Índice de Aridez —IA— en la subregión Bajo Cauca varía de altos excedentes de agua a moderados, incrementándose de occidente a oriente y de sur a norte, siendo más extenso el territorio que presenta altos excedentes de agua (IDEAM, 2015), el cual coincide con la cuenca del río Nechí y su confluencia con el río Cauca. Según los resultados obtenidos en el Estudio Regional del Agua —ERA— de 2016 (Corantioquia & Gotta, 2017), este índice presenta altos excedentes de agua en toda la subregión, la diferencia en los resultados puede estar dada por la escala de trabajo de estos estudios.

Según el ENA 2018, el Índice de Regulación Hídrica —IRH— presenta una capacidad de retención y regulación de alta a baja, incrementándose de occidente a oriente, siendo alta en la cuenca del río Nechí.

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial a través de las diferentes intervenciones antrópicas se determinan a través de los índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

La subregión del Bajo Cauca en la mayor parte de su territorio presenta una oferta hídrica importante

que supera la demanda de la misma; el Índice de Uso del Agua, que refleja la relación entre la oferta y demanda del recurso, varía entre bajo y muy bajo para el año medio y bajo a

moderado para el año seco, indicando la poca presión que se presenta sobre este recurso.

Si bien la oferta hídrica de las cuencas del Bajo Cauca presenta un acelerado proceso de degradación, debido principalmente a la actividad minera que contamina el agua, esta situación no se ve reflejada en el IACAL, tanto en el estimado en el Estudio Regional del Agua 2016 (Corantioquia & Gotta, 2017) como en el del ENA 2018, según estos la alteración potencial del agua por actividades económicas es baja.

Riesgo al desabastecimiento de agua

El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los siguientes índices de Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

Según los resultados obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019) el Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico —IVH—, en la subregión del Bajo Cauca, se incrementa de oriente a occidente para los dos escenarios hidrológicos: años medio y seco, presentando la zona occidental la situación más crítica, en la categoría de medio a seco; de esta forma los municipios que se localizan en esta zona presentan

un mayor riesgo al desabastecimiento al ser el sistema hídrico superficial más frágil para mantener su oferta.

Si bien desde la oferta hídrica y la demanda de agua se genera un riesgo bajo al desabastecimiento en la mayor parte del territorio de la subregión, la contaminación del agua por la baja cobertura de los alcantarillados y las actividades económicas que la contaminan pone en riesgo el abastecimiento de agua potable en el sector rural de todos los municipios, esto se refleja en los resultados obtenidos para el Índice Riesgo Calidad del Agua Potable —IRCA— para este sector (Gobernación de Antioquia, 2019); los municipios de: Cauca, El Bagre y Zaragoza son inviables sanitariamente por la calidad de las aguas que abastece a su población rural; el resto de municipios presentan un riesgo alto. Las cabeceras municipales de los municipios de Cáceres, Cauca, El Bagre y Nechí no presentan riesgo, mientras que en Tarazá el riesgo es bajo y en Zaragoza es medio. Lo anterior se debe a que estos municipios cuentan con planta de tratamiento de agua potable.

Respecto al Índice de Riesgo de Abastecimiento Municipal —IRABA—, que incluye además del tratamiento del agua, la continuidad y distribución, todos los municipios de la subregión en la ruralidad presentan un riesgo muy alto; en las cabeceras municipales este varía de bajo a alto. Cabe señalar que en 2017, todos los municipios presentaron racionamiento, siendo más crítico en El Bagre y Zaragoza con 18 horas al día.

Otro factor que afecta el abastecimiento de agua potable es el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes de los sistemas de acueductos urbanos, que presentaban en 2017 los municipios de El Bagre y Zaragoza (Gobernación de Antioquia, 2018).

BAJO CAUCA

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO,
POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRRH)*	Índice de Aridez (IA)*	Índice de Uso de Agua (IUA) - Condición Normal*	Índice de Uso de Agua (IUA) - Condición Seca*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) - Condición Normal*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) - Condición Seca*	Índice de Vulnerabilidad por Desembestimiento (IVD) - Condición Normal*	Índice de Vulnerabilidad por Desembestimiento (IVD) - Condición Seca*	Índice de Riesgo por Cambio Climático (IRCC)**
Cúcuta	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJA	BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	0,13
Caucasia	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	MUY BAJA	BAJA	0,17
El Bagre	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	0,16
Nechí	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJA	BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	0,24
Tarazá	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJA	BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	0,19
Zaragoza	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	0,25

< 0,5 MUY BAJA	> 0,5 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	> 50,0 MUY ALTO	4,5 a 5,0 MUY ALTA	MUY ALTA	0,43 - 1 MUY ALTO
0,5 a 0,95 BAJA	0,52 - 0,59 DEFICITARIO DE AGUA	20,01 a 50,0 ALTO	3,5 a 4,5 ALTA	ALTA	0,25 - 0,42 ALTO
0,95 a 0,99 MODERADA	0,60 - 0,69 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10,01 a 20,0 MODERADO	2,5 a 3,5 MEDIA ALTA	MEDIA	0,19 - 0,24 MEDIO
0,75 a 0,95 ALTA	0,73 - 0,79 MODERADO	1,0 a 10,0 BAJO	1,5 a 2,5 MODERADA	BAJA	0,11 - 0,18 BAJO
< 0,55 MUY ALTA	< 0,55 MODERADO A ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	< 1,0 MUY BAJO	1,0 a 1,5 BAJA	MUY BAJA	< 0,16 MUY BAJO
	0,51 - 0,59 EXCEDENTES DE AGUA				
	< 0,15 ALTOS EXCEDENTES DE AGUA				

Bocatoma de Agua

Fuentes:
*IDEAM, 2019
**IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELERÍA, 2017.



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021

SANTANDER

Por su parte, el Estudio Nacional del Agua —ENA— 2018, reporta problemas de desabastecimiento en el municipio de Tarazá por reducción de caudales, déficit de precipitación y deficiencia en el sistema de acueducto.

Como información complementaria se reportan, según el Tercer Informe sobre Cambio Climático realizado por el IDEAM en 2017, los valores de riesgo para los municipios de la subregión. De acuerdo con estos registros, el Bajo Cauca antioqueño comporta un nivel de riesgo entre alto y muy bajo.

SUBREGIÓN BAJO CAUCA		
Municipios	Sumatoria	Posición
Cáceres	0,34834	12
Zaragoza	0,32141	15
Tarazá	0,27260	44
Nechí	0,22213	71
El Bagre	0,22141	72
Caucasia	0,16487	113

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; es así como la mayor prioridad se registra para Cáceres y la menor para Caucasia.

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

En esta subregión se han desarrollado diversos estudios entre los que se destacan varios convenios interadministrativos entre CORANTIOQUIA y la Universidad de Antioquia, varios proyectos de investigación a nivel de posgrado y pregrado; se ha formulado un Plan de Manejo Ambiental de Acuífero.

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN BAJO CAUCA

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Bajo Cauca Antioqueño. Segunda etapa.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA	2014
<i>Tesis de maestría: Desarrollo y aplicación de una metodología para evaluar el riesgo a la contaminación de las aguas en un acuífero libre, caso de estudio: cuenca baja del río Man, Bajo Cauca antioqueño.</i>	Gaviria, J. I.	Universidad de Antioquia	2010
<i>Tesis de maestría: Generación de un modelo hidrológico conceptual a partir de información secundaria: aplicación a la cuenca del río Man (Bajo Cauca antioqueño)</i>	Gómez, A.	Universidad de Antioquia	2010
<i>Tesis de maestría: Modelo conceptual y numérico del Sistema Hidrológico Ciénaga Colombia Bajo Cauca antioqueño.</i>	Montoya, D. M.	Universidad de Antioquia	2010
<i>Tesis de maestría: Identificación de interacciones hidrológicas entre el humedal Ciénaga Colombia y el acuífero libre del Bajo Cauca antioqueño mediante la utilización de técnicas hidroquímicas.</i>	Santa, D. P.	Universidad de Antioquia	2009
<i>Tesis de doctorado: Una aproximación al conocimiento de un sistema acuífero tropical. Caso de estudio: el Bajo Cauca antioqueño</i>	Betancur, T.	Universidad de Antioquia	2008
<i>Trabajo de grado: Caracterización de la cuenca del humedal Ciénaga Colombia a partir de información secundaria y utilizando herramientas geoinformáticas.</i>	Quintero, D.	Universidad de Antioquia	2008
<i>Tesis de maestría: Identificación de fuente y zonas de recarga a partir de isótopos estables del agua. (Caso de estudio Bajo Cauca antioqueño).</i>	Palacio, P.A.	Universidad de Antioquia	2007
<i>Validación del modelo hidrogeológico de la territorial Panzenú usando técnicas isotópicas.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA	2006
<i>Tesis de maestría: Aplicación y análisis comparativo entre metodologías de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos y parámetros de calidad del agua subterránea en el Bajo Cauca.</i>	Rueda, O. M.	Universidad de Antioquia	2006
<i>Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos en la cuenca del río Cacerí.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA	2005
<i>Trabajo de grado: Identificación y clasificación de fuentes potenciales de contaminación del acuífero libre del Bajo Cauca antioqueño.</i>	Gaviria, J. I.	Universidad de Antioquia	2005
<i>Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos al norte del municipio de Caucasia.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA	2004
<i>Evaluación hidrogeológica entre los municipios de Caucasia y Cáceres.</i>	Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA.	CORANTIOQUIA	2003

• SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE SUBREGIÓN BAJO CAUCA

Según el modelo hidrogeológico conceptual del Bajo Cauca antioqueño, en la región se han identificado un acuífero libre, asociado a los depósitos aluviales del Cuaternario y al miembro superior de la formación Cerritos, y un acuífero confinado relacionado con el miembro inferior de la misma formación. El miembro medio de Cerritos cumpliría las veces de acuitardo, aunque localmente se hace aprovechamiento de agua subterránea de algunas de sus capas que tienen mejor conductividad.

Aplicando los criterios establecidos por el IDEAM (2013), para determinar el nivel de conocimiento de los sistemas hidrogeológicos de Colombia, se pudo establecer que para el acuífero libre del Bajo Cauca el nivel de conocimiento es suficiente, pero para el acuífero confinado es insuficiente.

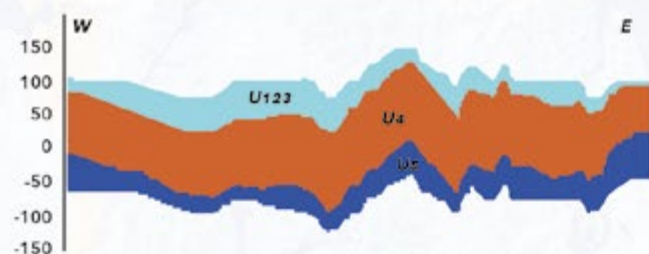
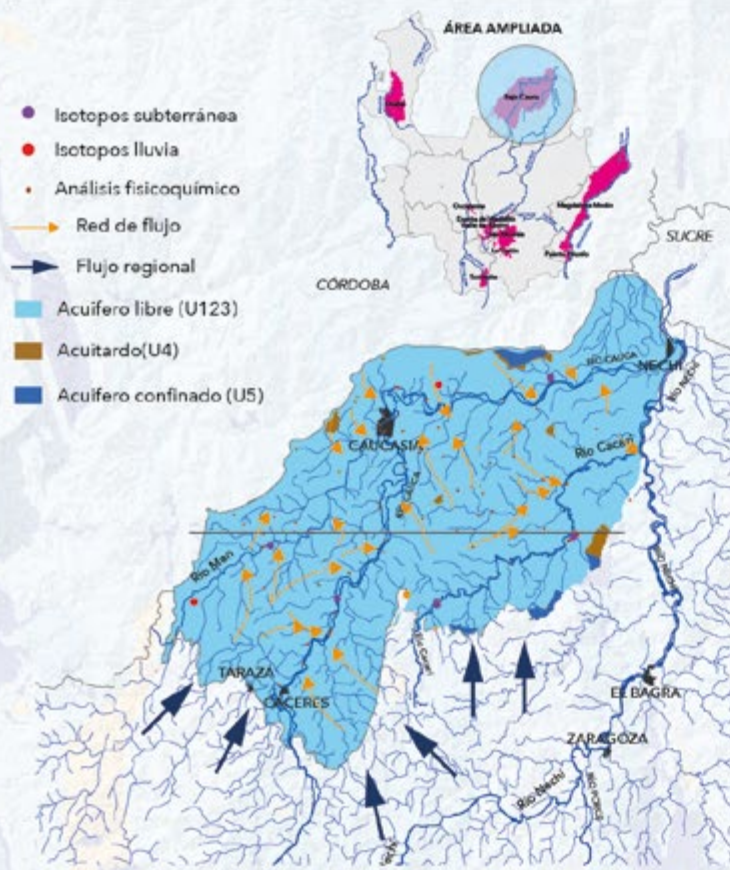
Información		Unidades hidrogeológicas identificadas		
Ítem	Subítem	Acuífero libre del Bajo Cauca Unidad hidrogeológica U123	Acuitardo Unidad hidrogeológica U4	Acuífero Confinado Panzenú Unidad hidrogeológica U5
Municipios asociados		Cáceres, Cauca, El Bagre, Nechí, Tarazá	Cáceres, Cauca, El Bagre, Nechí, Tarazá	Cáceres, Cauca
Geometría	Geología	✓	✓	✓
	Registros de perforación	✓	X	X
	Geofísica	✓	X	X
	Correlación hidroestratigráfica	✓	✓	✓
Áreas, fuentes y magnitud de recarga	Análisis textural	✓	✓	X
	Pruebas de infiltración	✓	NA	NA
	Geomorfología	✓	✓	X
	Análisis estructural	✓	X	✓
	Balance hídrico	✓	✓	✓
	Inventario de puntos de agua	✓	X	X
Red de flujo	Red de monitoreo	X	X	X
	Funias y SiRti	✓	✓	✓
	Usos del agua	✓	✓	✓
	Piezometría	✓	X	X
Propiedades hidráulicas	Pruebas de bombeo	✓	✓	✓
Calidad del recurso	Calidad	✓	✓	✓
	Hidrogeoquímica	✓	✓	✓
	Isotopía	✓	✓	✓
Vulnerabilidad		✓	X	✓
Carga contaminante y riesgo		✓	X	X
Plan de Manejo Ambiental		✓	✓	✓

• NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES ACUÍFERAS SUBREGIÓN BAJO CAUCA.

Parámetro / Unidad identificada	Acuífero libre del Bajo Cauca: U123	Acuitardo: U4	Acuífero Confinado Panzenú: U5
¿Se tiene definida la geometría del acuífero?	3	1	1
¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)?	3	1	1
¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos?	3	1	1
¿Cuenta con monitoreo sistemático?	3	1	1
¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca?	3	1	1
¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuífero?	3	3	3
Calificación	18 = Suficiente	8 = Insuficiente	8 = Insuficiente



LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO



Línea meteórica local: $\delta^2H = 8,05^{18}O + 9,8$
 Contenido de tritio: $^3H = 1,5 \pm 0,5 \text{ U.T.}$

Contenido de tritio: $^3H = 0,0 \pm 0,5 \text{ U.T.}$

Características	Acuífero Libre - Unidad Hidrogeológica U123	Acuífero - Unidad Hidrogeológica U4	Acuífero confinado - Unidad Hidrogeológica U5
Generalidades	Municipios asociados: Ciénega, Cúcuta, El Bagre, Nechí, Tarazá Geología: Cubierta por una delgada capa de suelo (U1) se identifican los depósitos aluviales (U2) de los ríos Cauca, Man, Nechí y Cauca, subyacente por el saprolito poco consolidado de las rocas sedimentarias del Terciario del Miembro Superior de la Formación Cerinto (U3). Extensión: 3.140 km² Puntos de agua: 1.927 puntos de agua: 1837 aljibes, 70 pozos y 20 manantiales. Usos: No se encuentra especificado por unidad acuífera. La principal fuente de abastecimiento humano. Se extraen diariamente más de 26.000 m³ de agua. Correlación estratigráfica: 47 columnas de perforación y 87 SEV's. La profundidad varía entre 10 m, hacia el norte y occidental y 90 m en Jardín. El volumen de la unidad sería de 100 km³.	Miembro Medio de la Formación Cerinto. Extensión: 3.170 km². Usos: Existen varias captaciones desde las cuales se extrae agua para satisfacer demandas domésticas. Correlación estratigráfica: Su profundidad en el centro del área, alcanza los 150 m; al norte aproximadamente 20 m, y al sur son inferiores a 10 m. Así, los espesores del acuífero disminuyen desde 100 m, hasta que la unidad desaparece al norte.	Miembro Inferior de la Formación Cerinto. Estratigráficamente, por debajo de U5, al norte, rocas sedimentarias (U3); al sur se localiza el basamento del sistema acuífero (U7) formado por rocas metamórficas frías de edad Paleozoica del Complejo Cajamarca. Extensión: 3.273 km². Usos: Abastecimiento en fincas de la región. Correlación estratigráfica: Su espesor varía entre 10 y más de 100 m; la profundidad de la base de U5 es incierta, llegando a superar seguramente los 200 m.
Recarga	Estimación hidrológica: Promedio ponderado de 1.273 mm para el año medio, 502 mm para el período seco y 1.727 mm para un año húmedo. Los máximos valores de recarga se producen en septiembre y las condiciones críticas mínimas se dan en marzo. Análisis textual: Disponible del IGAC, 1979 y el Ministerio de Agricultura, 2002. Pruebas de infiltración: Disponible del IGAC, 1979 y el Ministerio de Agricultura, 2002. Geomorfología: Después de descender desde el domo montañoso de frentes erosivos de las cordilleras Occidental y Central, el Bajo Cauca se abre en una zona amplia, de topografía suave, con superficies planas y onduladas labradas como aluviales, terrazas, valles, bajos y ciénegas. Las pendientes promedio están entre 5 y 25°. Análisis estructural: La falla Espíritu Santo representa el rasgo tectónico más importante del Bajo Cauca. La falla del Río Tarazá controla el flanco oriental del sinclinal de Tarazá.	Estimación hidrológica: La recarga en esta unidad se da a través de la conexión vertical con las unidades U123, desde la que se producen geyseres, y U5, desde la cual podría haber ascensos ocasionales, por efecto de flujo piston. Análisis textual: No se encuentran registros específicos para esta unidad. No aplica para esta unidad. Pruebas de infiltración: No se encuentran registros específicos para esta unidad. No aplica para esta unidad. Geomorfología: Las manifestaciones puntuales en superficie de los Miembros Medio e Inferior de la Formación Cerinto al occidente, norte y suroeste de la planicie del Bajo Cauca evidencian la existencia de un amplio sinclinal con dirección aproximada N40°-60°E.	Estimación hidrológica: La fuente de recarga para U5 estaría asociada a áreas distantes localizadas en el piedemonte, a alturas entre 300 y 1.000 m.s.n.m., habrían también algunos aportes verticales por geyser desde U4. Análisis textual: No se encuentra especificado. Pruebas de infiltración: No se encuentran registros específicos para esta unidad. No aplica para esta unidad. Geomorfología: No se encuentran registros específicos para esta unidad. No aplica para esta unidad.
Red de flujo	Estimación de Áreas de Recarga: Zona de recarga directa donde aflora el acuífero. Fisimetría: 213 datos de nivel piezométrico para invierno y 442 para verano. En épocas de lluvia el nivel freático se localiza cerca de la superficie y el flujo subterráneo tendría importantes divisiones entre los ríos Man y Cauca y Cauca y Cauca y Cauca, con ríos que aportan a caudal base. Desde el norte, en límites con el departamento de Córdoba, el flujo subterráneo se dirige hacia el río Cauca. Al occidente en la vertiente izquierda del río Man el flujo se daría desde el río al acuífero.	Estimación de Áreas de Recarga: En los pozo en que aflora. Fisimetría: No se encuentra especificado.	Estimación de Áreas de Recarga: Recarga directa en sitios de afloramiento; desde flujos regionales provenientes de zonas ubicadas entre 200 y 1.000 m.s.n.m. Fisimetría: No se encuentra especificado.
Hidrogeoquímica e isotopía	Pruebas de bombeo: 24 pruebas hidráulicas. Conductividad hidráulica entre 1,0 y 2,0 m/día con zonas en las que se llega a 3,0 m/día. Calidad: 71 ensayos disponibles. No apto para consumo humano. Hidrogeoquímica: 30 puntos de agua subterránea y 5 puntos de agua superficial. Facies bicarbonatada sódica y bicarbonatada cálcica a bicarbonatada mixta. Isotopía: Para ¹⁸O y ²H: 8 puntos de agua lluvia (10 muestras), 30 puntos de agua subterránea (54 muestras) y 5 puntos de agua superficial, recolectadas entre julio de 2005 y junio de 2006. Además cuatro muestras para análisis de tritio ³H en agua subterránea. Los valores en la precipitación y las muestras de agua superficial, permiten suponer una recarga a partir de la lluvia, previo algo de evaporación en algunos casos, además los contenidos de ³H coinciden. Hay indicios, inconsistentes ya desde los balances hídricos, de que esta recarga se produce principalmente entre los meses de julio, agosto y septiembre.	Pruebas de bombeo: No disponible. Calidad: No disponible. Hidrogeoquímica: Entre aljibes y un pozo. Un punto con facies bicarbonatada a clorurada mixta. También se identifican facies sulfatada. Isotopía: De U4 se tomaron muestras de agua subterránea en tres puntos hacia los límites este y oeste de la zona de estudio y hacia el centro, además se tomó una muestra para análisis de ³H.	Pruebas de bombeo: Conductividad hidráulica entre 0,5 y 5,0 m/día. Calidad: No disponible. Hidrogeoquímica: Facies bicarbonatada mixta al norte, noroccidental y sur, cerca a zonas donde el acuífero aflora en superficie. Hacia el centro, donde la unidad está confinada, facies bicarbonatada sódica. Isotopía: Disponibles datos de ¹⁸O-, ²H y uso de ³H.
Medidas de Gestión	Red de monitoreo: Actualmente no se cuenta con una red de monitoreo para este sistema acuífero, esta integrada a la red Piragües. Medidas de Manejo Zonas de Recarga: No se ha formulado. Vulnerabilidad: Según resultados de DRASTIC el centro noroeste presentaría una vulnerabilidad baja y al resto del sistema una vulnerabilidad media. Carga contaminante y riesgo: Las posibles fuentes potenciales de contaminación: desarrollo urbano, actividad agrícola, actividad pesquera, actividad minera y accidentes ambientales. Vulnerabilidad humana: Se propuso y se aplicó metodología para evaluar vulnerabilidad humana a escala local, registrándose en promedio una vulnerabilidad alta. Fuentes y SRI: No se encuentra información de aguas subterráneas en el SRI reportado por CORANTIOQUIA, para el año 2020 al IDEAM. Plan de Manejo Ambiental: Formulado en 2013, no se ha adoptado. Se han presentado problemas en la realización de la Consulta Previa.	Red de monitoreo: No se encuentra especificado. Medidas de Manejo Zonas de Recarga: No se encuentra especificado. Vulnerabilidad: No especificado para esta unidad. Carga contaminante y riesgo: No especificado para esta unidad. Vulnerabilidad humana: No especificado para esta unidad. Fuentes y SRI: No especificado para esta unidad. Plan de Manejo Ambiental: No especificado para esta unidad.	Red de monitoreo: No se encuentra especificado. Medidas de Manejo Zonas de Recarga: Según metodología GOD la vulnerabilidad para U5 es baja. Vulnerabilidad: No especificado para esta unidad. Carga contaminante y riesgo: No especificado para esta unidad. Vulnerabilidad humana: No especificado para esta unidad. Fuentes y SRI: No especificado para esta unidad. Plan de Manejo Ambiental: No especificado para esta unidad.

*Información actualizada hasta el año 2014

Vulnerabilidad intrínseca



POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. A través de diálogo con habitantes del territorio se recogen sus percepciones en relación con este bien natural.

Teniendo en cuenta las características litológicas y estructurales, se presenta a continuación la evaluación del carácter hidrogeológico que podrían tener las rocas duras –metamórficas e ígneas– y las formaciones blandas –rocas sedimentarias y depósitos detríticos– que tienen ocurrencia en la subregión Bajo Cauca de Antioquia.

Rocas duras

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pzev	Esquistos actinolíticos y cloríticos	Zaragoza y Tarazá	47,10	Las rocas tipo esquisto están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria. Se reporta en González (2001) para Pzev la presencia de una esquistocidad paralela a la estratificación original, con dirección N 10 ° – 15 ° E y fuerte buzamiento hacia el este. Los esquistos cuarzo sericiticos tienen estructura esquistosa finamente laminada, intensamente replegados; el rumbo de la esquistocidad es N 10 ° E a N 20 ° W, buzando hacia el este. El diaclasamiento paralelo a la esquistosidad que en ocasiones puede ser vertical y la existencia de zonas de cizalla le conferirían una permeabilidad media. En conjunto su potencial acuífero es bajo a medio.
Pzes	Esquistos cuarzo sericiticos	Tarazá, Cáceres, Zaragoza y El Bagre	630,49	
Pz (ev+es)	Intercalaciones de actinolíticos cloríticos con cuarzo sericiticos	Tarazá y Cáceres	60,32	
Pza	Anfibolitas	Zaragoza.	10,18	Las rocas tipo anfibolita están afectadas por fallamiento. Su foliación es inclinada o vertical. Se han registrado en ellas diaclasas inclinadas. Son resistentes a la meteorización. Aun cuando se les puede atribuir porosidad secundaria, su potencial acuífero sería bajo.
PEap	Anfibolitas de Puquí	Tarazá	53,27	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pzq	Cuarcitas	Cáceres y zaragoza	116,91	Las rocas tipo gneis tienen porosidad secundaria por diaclasamiento, la presencia y disposición reportadas para las diaclasas es variable, determinando con esto condiciones de permeabilidad media. El potencial acuífero para las unidades sería bajo.
PEnsI	Gneis de San Lucas	Bagre, Zaragoza y Nechí	816,82	
Pznf	Gneis cuarzo feldespático	Cáceres, Zaragoza, El Bagre y Nechí	329,26	
Pzurén	Intrusivos Gneisicos	Tarazá, Cáceres y Zaragoza	241,50	
PEnp	Gneis micaceo de Puquí	Tarazá	0,83	

• ROCAS ÍGNEAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Jdse	Batolito de Segovia	Cáceres, Bagre, Nechí y Zaragoza	728,70	Porosidad secundaria por diaclasamiento puntual y en consecuencia muy baja permeabilidad. Potencial acuífero bajo.
Ksts	Batolito de Sabanalarga	Tarazá	5,37	
Ksg	Gabro	Tarazá,	1,60	Se registra en todos ellos porosidad secundaria por fracturamiento pero el registro de diaclasas indica que la permeabilidad secundaria sería baja. El potencial hidrogeológico como acuífero es bajo.
PEmpt	Complejo Puquí	Tarazá	1.413,00	Permeabilidad muy baja y en consecuencia bajo potencial acuífero.
Ks	Serpentinitas	Tarazá	0,05	Porosidad por fracturamiento con permeabilidad baja. Bajo potencial hidrogeológico.
Ku	Complejo básico ulyrabasioc de Uré	Tarazá	35,52	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Kat	Tonalita felsica	Tarazá	17,32	Con algo de porosidad secundaria y permeabilidad muy baja. Se consideran unidades sin potencial acuífero.
Jdt	Stock La Tinta	Cáceres	20,17	
Kivs	Volcánico de Segovia	Zaragoza y El Bagre	63,20	Con algo de porosidad secundaria y permeabilidad muy baja. Se consideran unidades sin potencial acuífero.
Kivb	Volcánico barroso	Tarazá	77,74	

Formaciones blandas

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial Hidrogeológico
Ngce	Formación Cerrito	En todos los municipios	3.035,60	Porosidad primaria y permeabilidad alta, en ella se emplazan los acuíferos del Bajo Cauca.
NgQs	Grupo Sincelejo	Cáceres, Tarazá, Caucasia y Nechí	74,89	Porosidad primaria y permeabilidad alta, buen potencial acuífero.
Taa	Areniscas y arcillolitas	Cáceres	0,57	La presencia de conglomerados y areniscas le confieren permeabilidad adecuada para ser potenciales acuíferos.
Kiss	Sedimentitas de Segovia	Saragoza y El Bagre.	209,32	
Qal	Depósitos aluviales	Asociados a los ríos Man, Cauca, caserín Nechí, entre otros. Presentes en todo los municipios	1.038,78	Porosidad y permeabilidad primaria alta. Potencial acuífero muy alto. En los depósitos de vertiente, cuando la matriz sea limoarcillosa, el potencial puede disminuir.
Qt	Terazas aluviales	Tarazá, Cáceres, Caucasia, Nechí y El Bagre	91,56	
Tal	Aluvion terciario	Tarazá	0,27	
Q6	Depósitos de vertiente	Nechí	0,35	

PERCEPCIONES



BAJO CAUCA

Extensión 8.485 km²

Está sobre la cuenca de los ríos Cauca y Nechí.

La localización limítrofe, los procesos socio-culturales entre los territorios antioqueño y caribeño, la actividad minera determinante en la dinámica demográfica, la apropiación de la tierra y de los recursos naturales, la diversidad étnica y cultural, constituyen los elementos históricos relevantes que han definido la configuración de esta subregión.

Desde sus ancestros, los Zenúes, los pobladores de este espacio de la geografía colombiana han navegado por los ríos de su territorio, han sido pescadores, han sorteado las inclemencias de las inundaciones; extraen desde pozos y aljibes el bien que consumen y garantiza su supervivencia cada día. En Caucasia cada casa tiene su propio aljibe, mientras la empresa de acueducto busca soluciones claras para garantizar el servicio a la comunidad.

Como herencia de circunstancias y conflictos sociales, en la zona rural se tienen una mínima sensibilidad por el agua del subsuelo; es claro que no se concibe la relación de los humedales con el agua subterránea, peor aún, subsiste la idea de que los humedales son "pantanos que hay que secar" para aumentar la productividad de la tierra destinada al cultivo de pastos para la ganadería y zonas para la extracción minera.

El ejercicio de formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero, impulsado por CORANTIOQUIA, generó espacios de diálogo para hacer visible el agua subterránea en este territorio.

Actividades económicas más importantes



MINERÍA



GANADERÍA



PISCICULTURA



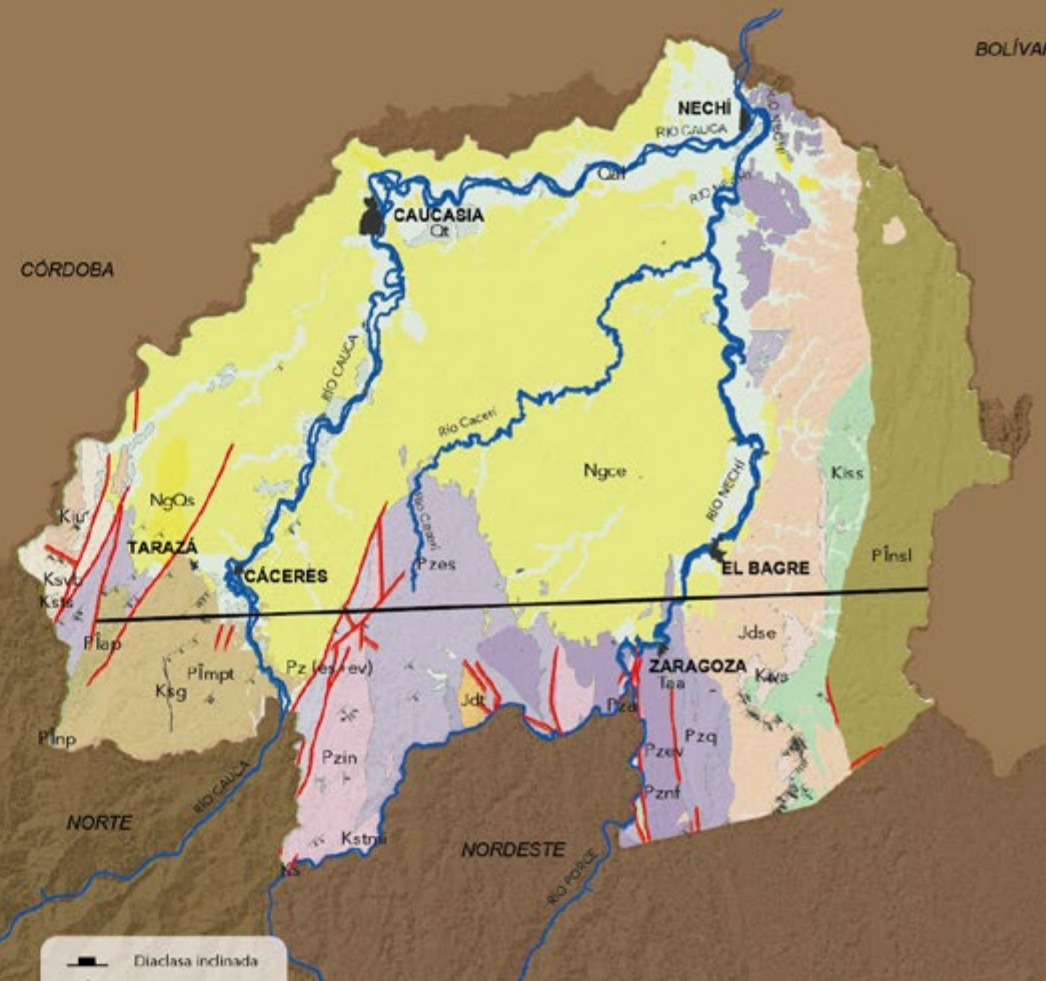
AGRICULTURA



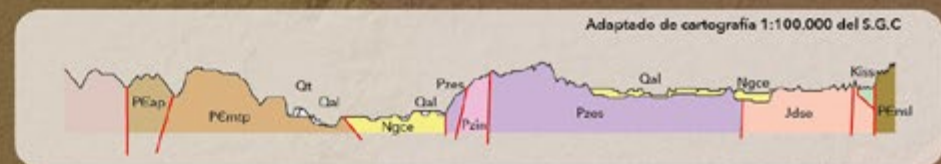
"Uno sabe que rompen, hacen la perforación y que encuentran el agua abajo, pero uno no sabe de dónde puede venir"
Don Cresencio (Bajo Cauca)



BAJO CAUCA GEOLOGÍA



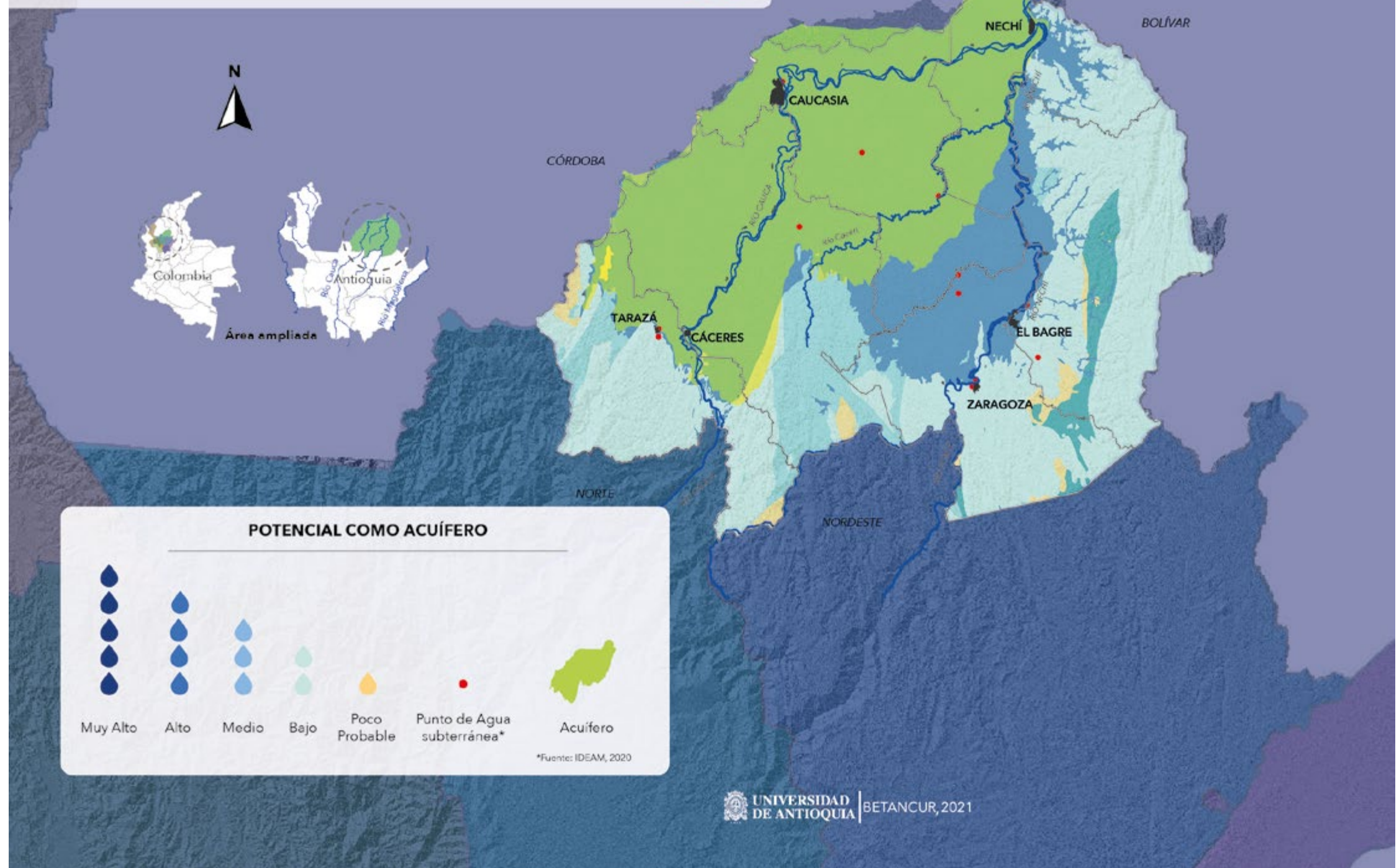
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021



	SEDIMENTARIAS	IGNEAS	METAMÓRFICAS
Cuaternario	Qt Qal		
	Terrazas aluviales		
	Aluviones Recientes		
	Taa		
	Tal		
Cretácico	Ngr		
	Ngce		
	Ngce		
	Ngce		
Jurásico	Kss		
	Sedimentitas al este de Segovia		
Triásico			
Paleógeno			
Mesozoico			
Paleozoico			
Precámbrico			

BAJO CAUCA

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA





SUBREGIÓN

URABÁ ANTIOQUEÑO

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

La subregión de Urabá se localiza en la parte noroccidental del departamento, tiene una extensión de 11.664 km², que equivale al 18,6% del área total del mismo, siendo la más grande de Antioquia. Está conformada por 11 municipios, distribuidos en tres zonas: (i) Norte: comprende los municipios de Arboletes, Necoclí, San Juan de Urabá y San Pedro de Urabá; (ii) Centro: integrada por Turbo, Apartadó, Carepa, Chigorodó y Mutatá; y (iii) Atrato Medio: que comprende las poblaciones de Murindó y Vigía del Fuerte.

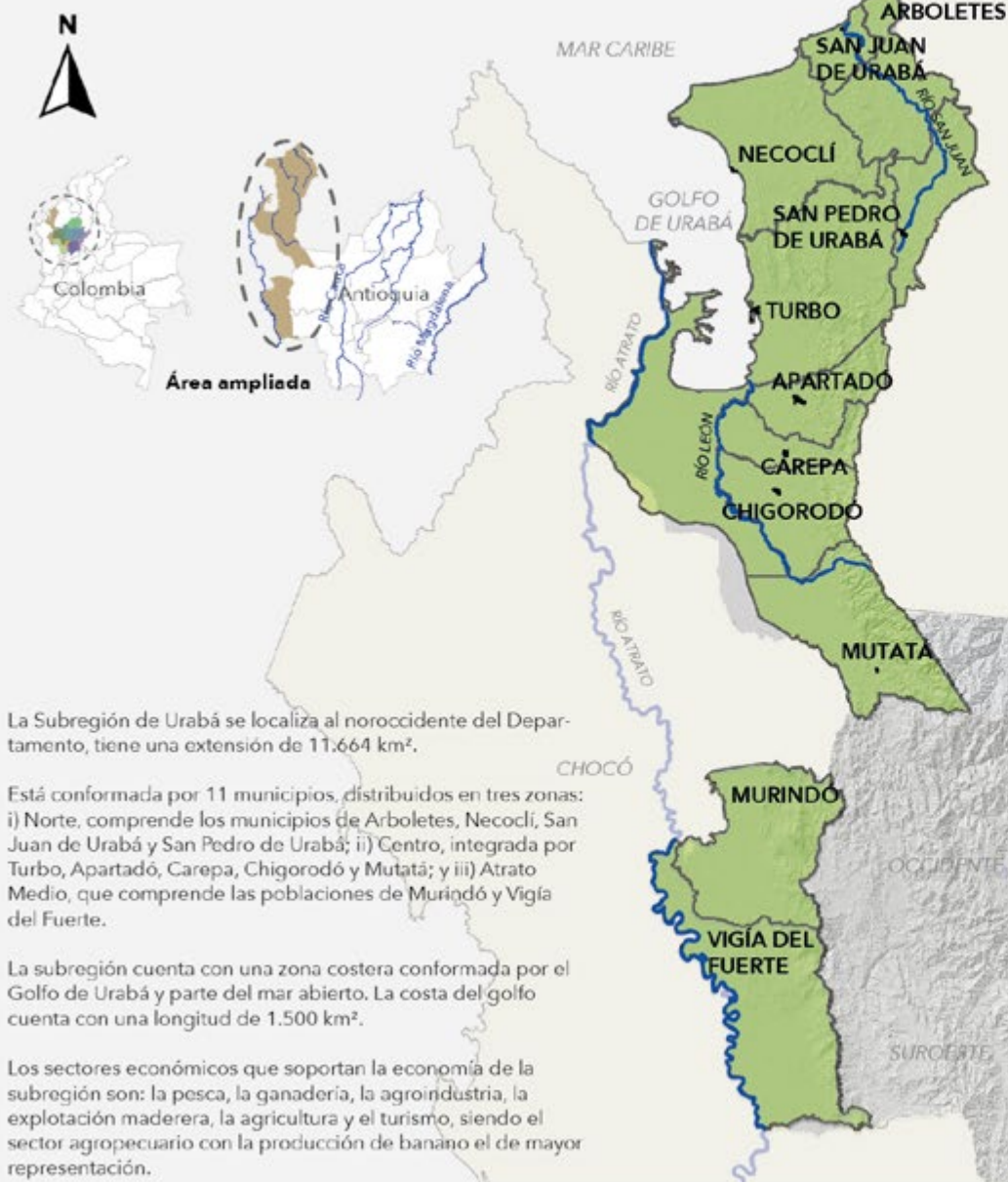
La subregión cuenta con una zona costera conformada por el golfo de Urabá y parte del mar abierto frente a los municipios de Arboletes, San Juan de Urabá y Necoclí (FAO & ADR, 2019). El golfo de Urabá con una extensión de 1.500 km, ubicado sobre el mar Caribe, es un accidente geográfico de suma importancia para el departamento y el país (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

Los sectores económicos que soportan la economía de la subregión son: la pesca, la ganadería, la agroin-

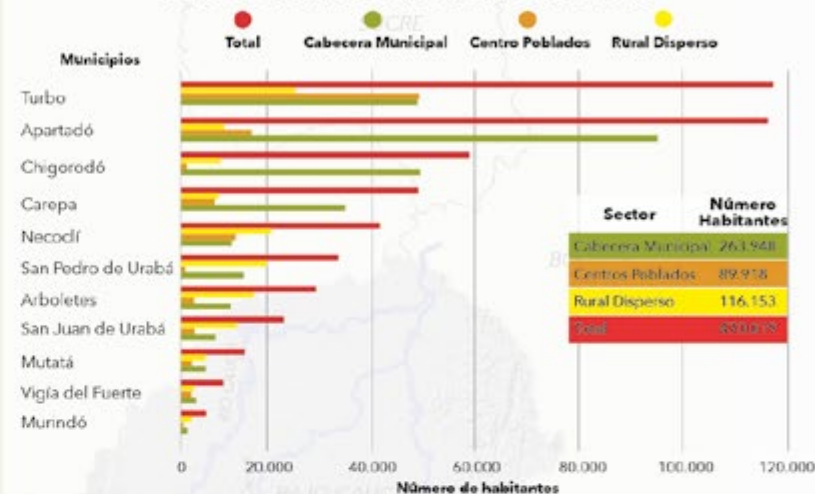
dustria, la explotación maderera, la agricultura y el turismo, siendo el sector agropecuario el de mayor representación. La subregión de Urabá aporta el 62,5% de la producción departamental de cultivos anuales y permanentes, y el 5,7% de cultivos transitorios. El área total establecida en cultivos agrícolas, para 2019, fue de 104.136,8 ha, destacándose la producción de banano de exportación, con el 33% del área agrícola de la subregión, siendo Carepa, Turbo, Apartadó y Chigorodó los principales productores. Siguen en orden de importancia el plátano, maíz tradicional, arroz, cacao, palma de aceite, yuca, ñame, caucho y piña (FAO & ADR, 2019). También se destaca en el sector agropecuario, la ganadería de carne y doble propósito, principalmente en los municipios de Turbo, Necoclí y Arboletes, donde esta actividad ocupa grandes extensiones (FAO & ADR, 2019).

Urabá, como puente de enlace de Colombia con el mundo, tiene planeada la construcción de puertos de gran calado para movilizar el mercado y comercio internacional del país.

URABÁ POBLACIÓN



POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



POBLACIÓN

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV), en el 2018, la población total de la subregión Urabá ascendía a 470.019 habitantes, que conformaban 139.853 hogares y habitaban en 134.952 viviendas, con una densidad poblacional de 40 hab/km², siendo Apartadó (212 hab/km²) y Carepa (119 hab/km²) los municipios con mayor densidad, y Murindó y Vigía del Fuerte los de menor densidad (DANE, 2018). Los municipios con mayor número de habitantes son Turbo y Apartadó, y los de menor población son Murindó y Vigía del Fuerte.

La población en la subregión de Urabá, en 2018, se concentraba en las cabeceras urbanas con un total de 263.948 habitantes, mientras que en los centros poblados la población era de 89.918 habitantes y en las zonas rurales de 116.115 habitantes. Los municipios que presentaban un mayor grado de urbanización fueron: Apartadó y Chigorodó con más del 80 % de su población localizada en las cabeceras urbanas. Turbo presentaba un porcentaje importante de población en centros poblados de aproximadamente el 40 % (DANE, 2018), donde el corregimiento de Currulao, que se incluye en este sector de población, contaba con un número de habitantes que supera la población de algunas cabeceras municipales de la subregión. Lo anterior es coherente con el acelerado crecimiento de las cabeceras urbanas, centros poblados y corregimientos que viene dándose en los últimos años en la zona centro de la subregión, en contraste con los municipios de Arboletes, Murindó, San Pedro de Urabá y San Juan de Urabá donde predomina la población rural dispersa.

Por otra parte, la población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, sumaba 214.332 personas, cifra que corresponde al 45,6% del total de la población, siendo los negros, mulatos, afrodescendientes y afrocolombianos los de más alta representación con 200.471 personas (42,65%), la cual mayoritariamente se encontraba en el municipio de Turbo. Los indígenas son el segundo grupo étnico con mayor población en la subregión con 13.727 personas que representan el 2,92 % del total de la población. En esta subregión se encuentran asentados diferentes etnias como: embera-chamí-senú, senú, embera-katio, embera-katio-tulé y embera-dóbida.

Estas comunidades representan la mayor población en Murindó y Vigía del Fuerte. En San Pedro de Urabá, Mutatá, Carepa, Arboletes y Apartadó la mayor parte de la población no pertenece a ninguna etnia.

Otro factor que cabe mencionar, para caracterizar la población, tiene que ver con el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir y que para el caso de Murindó alcanza el 22 %, para Mutatá el 16 % y para Vigía del Fuerte, San Pedro, San Juan de Urabá, Necoclí y Arboletes está por encima de 10 %.

URABÁ

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable - IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Apartadó	2,0	2,0	4,0
Arboletes	1,0	100,0	41,0
Carepa	0,0	85,0	19,0
Chigorodó	0,0	53,0	7,0
Murindó	SD	SD	SD
Mutata	15,0	28,0	23,0
Necoclí	4,0	56,0	29,0
San Juan de Urabá	27,0	100,0	60,0
San Pedro de Urabá	0,0	43,0	5,0
Turbo	0,0	10,0	10,0
Vigía del Fuerte	SD	SD	SD

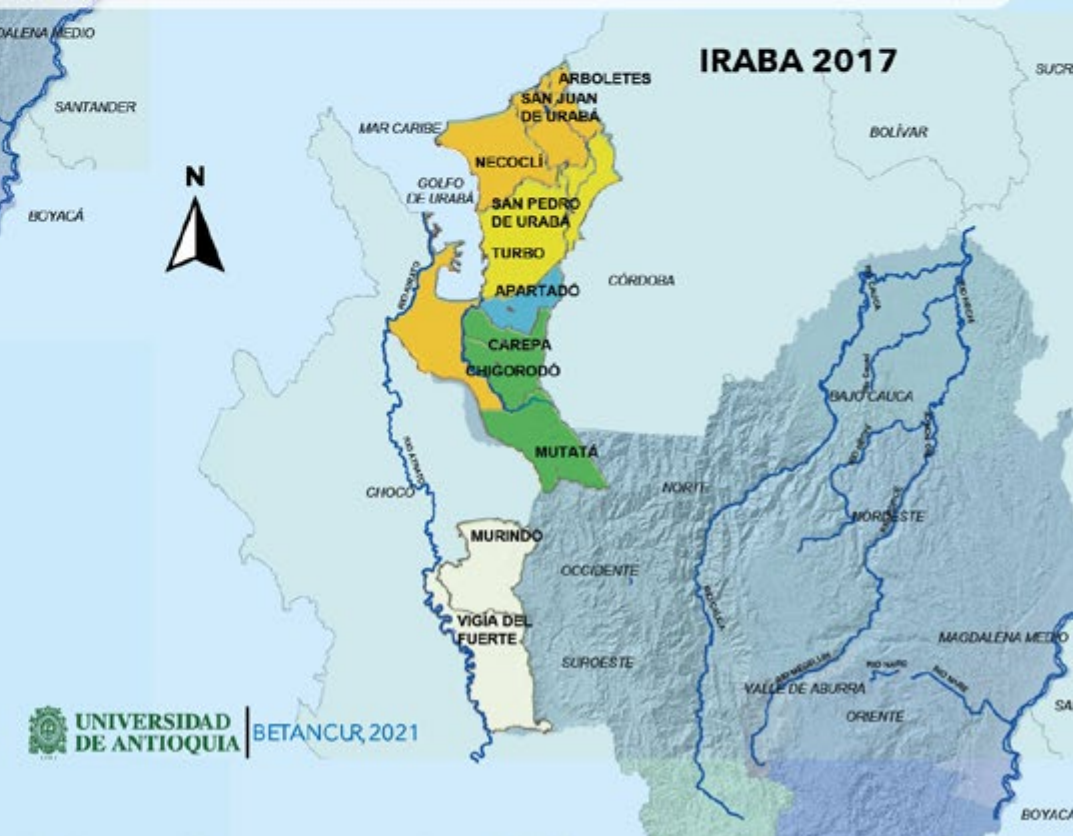
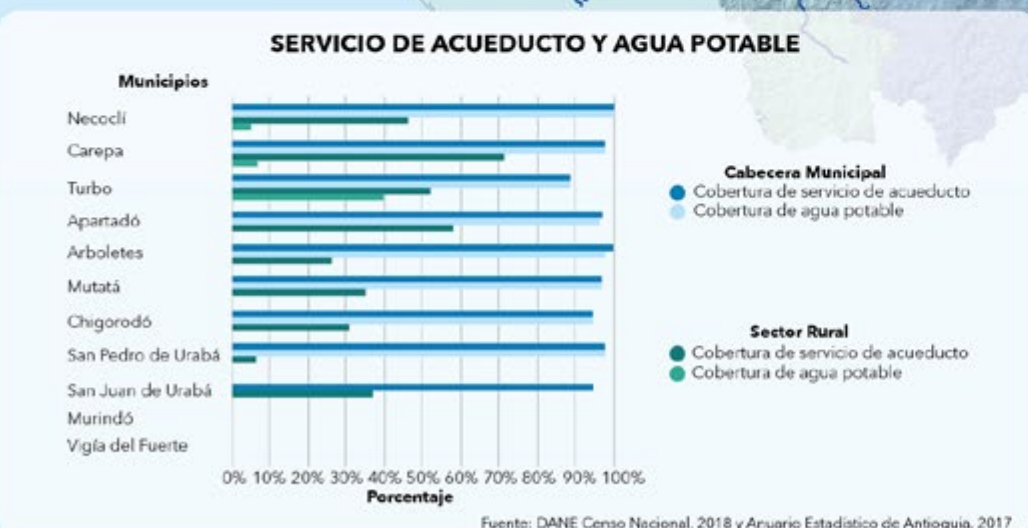
Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua - IRABA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Apartadó	7,9	5,4	9,3
Arboletes	28,7	86,2	41,9
Carepa	17,2	84,8	21,6
Chigorodó	19,4	80,0	19,5
Murindó	SD	SD	SD
Mutata	28,9	39,2	21,1
Necoclí	28,1	79,6	43,3
San Juan de Urabá	45,7	89,6	56,2
San Pedro de Urabá	35,1	86,9	38,3
Turbo	39,3	44,2	30,8
Vigía del Fuerte	SD	SD	SD

IRABA

Clasificación	Nivel de Riesgo
70,1 - 100	Muy Alto
40,1 - 70	Alto
25,1 - 40	Medio
10,1 - 25	Bajo
0 - 10	Sin Riesgo
Sin dato	SD

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019



ACCESO AL AGUA

Según el CNPV de 2018 las coberturas de acueducto, en los municipios de Murindó y Vigía del Fuerte es mínima: 3,64 % y 6,72 % respectivamente, presentando diferencias significativas entre las coberturas urbanas y rurales, bajando drásticamente en el sector rural.

Según el Anuario Estadístico de Antioquia 2017, la cobertura de servicio de acueducto y agua potable en las cabeceras urbanas de los municipios de la subregión Urabá superan el 80 %, excepto en Murindó y Vigía del Fuerte que en ese entonces no contaban con sistema de acueducto. No obstante, en la zona rural la situación es crítica, las coberturas del sistema de acueducto son más bajas, en general no superan el 60 %, y en la mayoría de los casos esta agua no es potable, con coberturas del 0,0 % en la mayoría de los municipios, con excepción de Turbo que presenta una cobertura del 38,7 %, Carepa 6,7 % y Necoclí del 3,9 % (Gobernación de Antioquia, 2018).

Con respecto a las coberturas de alcantarillado, en las cabeceras urbanas de los municipios de Murindó y Vigía del Fuerte son tan solo de un 2,7 % y 3,7 % respectivamente, en Turbo es de 49,8 %. Los demás municipios presentan coberturas por encima del 80 % (DANE, 2018). Para los centros poblados y el territorio rural disperso, las coberturas son aún más bajas, existiendo municipios donde esta se encuentra por debajo del 10 %, como Arboletes (0,9 %), Murindó (0 %), Mutatá (7,7 %), Necoclí (0,9 %), San Juan de Urabá (1,2 %), San Pedro de Urabá (0,6 %) y Vigía del Fuerte (0,2 %) (DANE, 2018).

CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población, reflejada en las Necesidades Básicas Insatisfechas —NBI— se dan condiciones críticas con grandes diferencias entre municipios, pero con valores por encima del promedio nacional y departamental, excepto Apartadó, donde la proporción de población en miseria está por encima del promedio departamental pero por debajo del nacional; Murindó y Vigía del Fuerte presentan un porcentaje de población alrededor del 80 % en pobreza y del 30 % en miseria, muy por encima del promedio nacional que es del 14,13 % en pobreza y del 3,74 % en miseria. Los municipios que presentan menos población en pobreza y miseria son los pertenecientes a la zona centro de la subregión, donde Apartadó —con el 14,44 % de población en pobreza y el 2,99 % en miseria (DANE, 2018)— es el municipio con menor valor en estos indicadores.

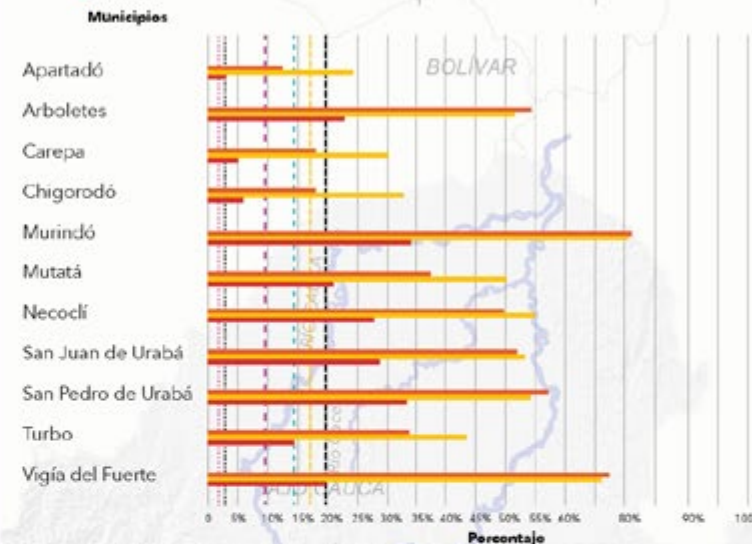
Este índice de pobreza multidimensional corrobora la crítica situación de calidad de vida de la población del Urabá, donde su valor para todos los municipios supera el promedio nacional, que es de 19,6 % y departamental del 17,1 %. Apartadó registra el menor valor del índice con 28,0 %, mientras Murindó —con el 81,5 %— y Vigía del Fuerte —con el 76,1 %— son los municipios con mayores carencias.

URABÁ

Calidad de Vida



	Promedio Nacional	Promedio Departamental
● Índice de pobreza multidimensional	19,60 %	17,10 %
● Proporción de personas en pobreza	14,13 %	10,67 %
● Proporción de personas en miseria	3,74 %	2,48 %



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Murindó	7,97%	32,49%	22,69%
Mutatá	10,50%	20,58%	16,39%
Vigía del Fuerte	7,57%	19,41%	14,57%
Arboletes	8,64%	15,85%	13,07%
Necoclí	5,89%	15,49%	12,81%
San Pedro de Urabá	8,71%	15,39%	12,66%
San Juan de Urabá	8,28%	14,61%	12,40%
Chigorodó	8,12%	17,58%	9,54%
Turbo	5,18%	11,27%	8,78%
Carepa	6,52%	10,72%	7,74%
Apartadó	4,72%	8,57%	5,44%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Para evaluar la oferta hídrica superficial se emplearon el Índice de Regulación Hídrica —IRH— y el Índice de Aridez —IA—.

En cuanto al IA, la subregión presenta un decrecimiento de excedentes de agua en sentido sur-norte, presentando altos excedentes en las zonas del Atrato Medio y Centro, mientras que, en los municipios de la zona norte, varía a la categoría de moderados, siendo San Juan de Urabá, Necoclí y el norte de Turbo, los que presentan la situación más crítica. El IRH se comporta de forma similar al IA; disminuye la capacidad de regulación de sur a norte, siendo alta y muy alta en límites con Chocó y en límite con la subregión Occidente pasa a ser moderada en la zona Centro, y baja en la zona Norte.

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial, a través de las diferentes intervenciones antrópicas, se determinan a través de los Índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

El IUA en la subregión de Urabá se incrementa de sur a norte, indicando que en el sur la demanda del agua es muy baja con respecto a la oferta, mientras en la zona Centro el IUA es bajo y en la zona Norte varía

de medio a alto, las condiciones son más críticas en época seca (IDEAM, 2019). Por otro lado, la aplicación del IACAL da una calificación baja en las zonas

del Atrato Medio y Centro, mientras que la situación se hace más crítica en la zona Norte siendo muy alto para el año seco al norte.

Riesgo al desabastecimiento de agua

El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los índices de Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

Según los resultados obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019), el IVH en la subregión de Urabá, se incrementa de sur a norte para los dos escenarios hidrológicos, años medio y seco, presentando la zona norte la situación más crítica, durante el año seco. Arboletes y San Juan de Urabá —en los años 2019 y 2020— registraron situaciones de emergencia por esta causa.

Por otra parte, los problemas de sequía y reducción de caudales que se presentan en algunas fuentes de abastecimiento de las cabeceras urbanas, al igual que el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes de sus sistemas de acueductos urbanos, son factores que ponen en riesgo el abastecimiento de agua de la población de algunos de los municipios de

la subregión, es así como Turbo y Carepa, para 2017, presentaban problemas de continuidad en el servicio de acueducto (Gobernación de Antioquia, 2018); mientras Carepa registró desabastecimiento por reducción de caudales en sus fuentes de abastecimiento, Arboletes, Necoclí, San Pedro de Urabá, San Juan de Urabá y Turbo lo tuvieron por déficit de precipitación (IDEAM, 2019). La situación más crítica se registró en el municipio de Arboletes que fue declarado en calamidad pública por desabastecimiento en febrero de 2020.

Por otro lado, según el IRABA, San Juan de Urabá presenta un riesgo alto al desabastecimiento en su cabecera urbana y muy alto en el resto del municipio, solo Apartadó no presenta este riesgo.

Según el IRCA, el suministro y la calidad del agua es un aspecto crítico en el sector rural de algunos municipios de Urabá, debido a la escasa cobertura de agua potable y a la contaminación por el uso de agroquímicos en los cultivos de banano y plátano, y por materia orgánica y sólidos suspendidos dado las bajas coberturas de alcantarillado, lo que afecta la salud de la población. Los municipios que presentan la situación más crítica son: Arboletes, Carepa y San Juan de Urabá, los cuales son inviables sanitariamente por la calidad de agua que abastece su población (Gobernación de Antioquia, 2019).

Como información complementaria se reportan, según el tercer informe sobre cambio climático realizado por el IDEAM en 2017, los valores de riesgo para los municipios de la subregión. De acuerdo con estos resultados el mayor nivel de riesgo se registra en San Juan de Urabá y el menor en Arboletes.

URABÁ

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO,
POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) ¹	Índice de Áridos (IA) ²	Índice de Uso de Agua (IUA) Condición Normal ³	Índice de Uso de Agua (IUA) Condición Saca ³	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) Condición Normal ³	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) Condición Saca ³	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVM) Condición Normal ³	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVM) Condición Saca ³	Índice de Riesgo por Cambio Climático (IRCC) ^{1*}
Apartadó	MODERADA	SIN DATOS	MODERADO	ALTO	SIN DATOS	SIN DATOS	MODERADA	ALTA	0.16
Arboletes	ALTA	MODERADO A DEFICIENTE DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	SIN DATOS	SIN DATOS	MODERADA	MODERADA	0.19
Carepa	MODERADA	SIN DATOS	ALTO	MUY ALTO	SIN DATOS	SIN DATOS	MODERADA	ALTA	0.19
Chigorodó	MODERADA	MODERADO A DEFICIENTE DE AGUA	BAJO	MODERADO	SIN DATOS	SIN DATOS	BAJA	MODERADA	SIN DATOS
Murindó	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	0.21
Mutató	ALTA	SIN DATOS	MODERADO	BAJO	SIN DATOS	SIN DATOS	MODERADA	BAJA	0.20
Necoclí	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	0.25
San Juan de Urabá	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	0.24
San Pedro de Urabá	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	0.13
Turbo	BAJA	MODERADO A DEFICIENTE DE AGUA	MODERADO	MUY ALTO	SIN DATOS	SIN DATOS	ALTA	ALTA	0.17
Vigía del Fuerte	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	0.19

< 0.5 MUY BAJA	> 0.5 ALTAMENTE DEFICIENTE DE AGUA	> 60.0 MUY ALTO	4.5 a 5.0 MUY ALTA	MUY ALTA	0.43 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.64 BAJA	0.65 - 0.99 DEFICIENTE DE AGUA	20.01 a 60.0 ALTO	3.5 a 4.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0.42 ALTO
0.65 a 0.75 MODERADA	0.40 - 0.49 MODERADO A DEFICIENTE DE AGUA	10.01 a 20.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MODERADA	MODERADA	0.19 - 0.24 MEDIO
0.75 a 0.99 ALTA	0.30 - 0.39 MODERADO	1.0 a 10.0 BAJO	1.5 a 2.5 MODERADA	BAJA	0.11 - 0.18 BAJO
0.99 MUY ALTA	0.1 a 0.29 MODERADO A DEFICIENTE DE AGUA	0.01 a 1.0 MUY BAJO	0.5 a 1.5 BAJA	MUY BAJA	0.01 a 0.10 MUY BAJO
0.1 a 0.29 MODERADO A DEFICIENTE DE AGUA					
< 0.15 ALTOS EXCIDENTES DE AGUA					



Bocatoma de Agua

Fuentes:
*IDEAM, 2019
**IDEAM, PNUO, MADS, DNE, CANCELERÍA, 2017.

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; es así como la mayor prioridad, tanto en la subregión como a nivel departamental, se registra para San Juan de Urabá; la menor sensibilidad, y una de las más bajas en el departamento, se daría en Apartadó.

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

El sistema hidrogeológico del Eje Bananero de Urabá, que comprende los municipios de Chigorodó, Carepa, Apartadó y Turbo, ha sido objeto de estudio desde el año 1994, cuando se realizó el primer convenio de exploración entre la Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá – CORPOURABA y el Instituto de Investigaciones en Geología y Minería – INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano – SGC). Entre los estudios llevados a cabo se destacan convenios interadministrativos entre universidades y CORPOURABA, proyectos de investigación a nivel de doctorado, maestría y pregrado, proyectos de investigación en alianzas con entidades nacionales e internacionales como UNESCO, Colciencias y el IAEA. Además, se ha formulado y adoptado el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para las unidades identificadas.

• SUBREGIÓN URABÁ		
Municipios	Sumatoria	Posición
San Juan de Urabá	0,50898	1
Arboletes	0,47500	2
Necoclí	0,47326	3
Vigía del Fuerte	0,46988	4
San Pedro de Urabá	0,46905	5
Turbo	0,42089	6
Murindó	0,42015	7
Mutatá	0,20354	86
Carepa	0,17246	107
Chigorodó	0,17153	109
Apartadó	0,12965	124

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN URABÁ

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
Informe proyecto Evidency4Police	Universidad de Antioquia.	Universidad de Antioquia, UNESCO IHE	2021
Tesis de doctorado: <i>Usando múltiples trazadores para comprender el funcionamiento de acuíferos freáticos heterogéneos en zonas húmedas tropicales: caso del golfo de Urabá, Colombia.</i>	Campillo Pérez, A.	Universidad de Antioquia	2020
<i>Plan de Manejo Ambiental de Acuífero Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA	2019
<i>Definición de medidas para la explotación, y control de la contaminación de las aguas subterráneas en el sistema acuífero del golfo de Urabá. Convenio de cooperación Número 200-10-01-02-0126-2018.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA	2019
Tesis de maestría: <i>Modelo conceptual de la recarga de aguas subterráneas en el nivel somero del sistema hidrogeológico golfo de Urabá, evaluando su magnitud y variabilidad espacio-temporal.</i>	Bastidas Osejo, B.	Universidad de Antioquia	2019
<i>Delimitación de las zonas de recarga del sistema acuífero y fortalecimiento de la mesa de trabajo –MACURA–.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA	2018
<i>Modelo conceptual de funcionamiento hidrológico del sistema acuífero-humedal.</i>	García Giraldo, D.	Universidad de Antioquia	2018
Tesis de maestría: <i>Nivel de fondo natural para un sistema acuífero. Caso de estudio: Urabá antioqueño.</i>	Ossa Valencia, J.	Universidad de Antioquia	2017
<i>Evaluación de servicios ecosistémicos en sistemas de transición acuífero-humedal, incorporando los efectos de procesos de alteración a su dinámica natural.</i>	Universidad de Antioquia.	Universidad de Antioquia, CORPOURABA, COLCIENCIAS	2017
Tesis de maestría: <i>Modelación multi-escala del flujo de aguas subterráneas en medios hidrogeológicos complejos. Sistema acuífero del Eje Bananero del Urabá antioqueño.</i>	Duque, J. C.	Universidad de Antioquia	2017
Tesis de maestría: <i>Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.</i>	Pineda Zapata, L.	Universidad de Antioquia	2017

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Tesis de maestría: Propuesta metodológica para la caracterización de conflictos uso del suelo-agua subterránea orientada al manejo ambiental de sistemas acuíferos y su aplicación a un caso de estudio.</i>	Cardona Pérez, A. J.	Universidad de Antioquia	2017
<i>Estudio isotópico de los acuíferos del golfo Morrosquillo y el golfo de Urabá, Colombia.</i>	Universidad de Antioquia.	Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), CORPOURABA, CARSUCRE	2014
<i>Actualización del modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero del Urabá antioqueño.</i>	Universidad de Antioquia.	CORPOURABA	2014
<i>Estudios hidrológicos y modelación hidráulica de los ríos Chigorodó y Currulao. Delimitación de la ronda hídrica.</i>	Universidad Nacional de Colombia.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, CORPOURABA	2014
<i>Diagnóstico participativo de los humedales asociados al río León y la Ciénaga de Tumaradó.</i>		INER, CORPOURABA	2014
<i>Planes Municipales Integrales Sistema Urbano Central.</i>	Universidad EAFIT.	Gobernación de Antioquia	2014
<i>Assessing the hydrochemistry of the Urabá Aquifer, Colombia by principal component analysis.</i>	Villegas, P.P., Paredes, V., Betancur, T., Ribeiro, L.		2013
<i>Definición de criterios de actuación estratégica para el desarrollo territorial de Urabá (Fase II) – Informe final.</i>	Universidad EAFIT.	Gobernación de Antioquia	2013
<i>Investigación aplicada sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para la gestión de territorio en el Urabá antioqueño.</i>	Universidad de Antioquia.	Instituto para el Desarrollo de Antioquia -IDEA & Instituto Humboldt	2013
<i>Tesis de maestría: Caracterización isotópica del acuífero del golfo de Urabá, utilizando 2 H, 18 O, 14 C Y 13 C.</i>	Villegas Yepes, P. P.	Universidad de Antioquia	2013
<i>Consultoría para delimitar los humedales asociados al río León en el área de influencia de los municipios de Apartadó, Carepa, Chigorodó y Turbo, a través de técnicas que permitan modelar la función, estructura y composición de los humedales y evaluar la magnitud del daño generado por las modificaciones en el paisaje y en el cambio de uso del suelo a una escala 1:25.000.</i>	Universidad de Medellín.	CORPOURABA	2012
<i>Proyecto Integral Regional para el Desarrollo de Urabá. - Urabá: Un Mar de Oportunidades.</i>		Gobernación de Antioquia	2012

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Evaluación del peligro potencial de contaminación de las aguas subterráneas por agroquímicos.</i>	Vargas, M.C.	CORPOURABA	2011
<i>Evaluación hidrogeoquímica del acuífero del golfo de Urabá.</i>	Universidad de Antioquia.	Universidad de Antioquia, CORPOURABÁ	2010
<i>Susceptibilidad a la contaminación salina del acuífero costero del eje bananero de Urabá (golfo de Urabá) con técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas.</i>	Paredes, V.	Universidad de Costa Rica	2010
<i>Modelación del comportamiento hidrológico de tres cuencas en el Urabá antioqueño.</i>	Amaya, G. Restrepo, C. Vélez, M.V. Vélez, J.I. Álvarez, O.D.		2009
<i>Planes de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca –POMCA– de los ríos Apartadó (2005), Carepa (2009), Chigorodó (2009) y Turbo (2009).</i>		CORPOURABA	2009
<i>Construcción de la red de piezómetros para el monitoreo de la cuña salina como apoyo al proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas.</i>	Jarma, T.	CORPOURABA	2007
<i>Realización de sondeos eléctricos verticales en la zona costera del acuífero del Eje Bananero.</i>	Cárdenas, E.	CORPOURABA	2006
<i>Aplicación y comparación de las metodologías GOD y DRASTIC para la evaluación de la vulnerabilidad en el acuífero libre de Urabá.</i>	Orozco, A. y Betancur, T.	Universidad de Antioquia	2003
<i>Tesis de maestría: Aplicación y comparación de las metodologías God y Drastic para la evaluación de la vulnerabilidad en el acuífero libre de la región de Urabá, utilizando Sistemas de Información Geográfica.</i>	Orozco, A. M.	Universidad de Antioquia	2003
<i>Caracterización hidroquímica y bacteriológica de las aguas y actualización del inventario de pozos profundos.</i>		Alcaldía de Apartadó, CORPOURABA	2002
<i>Monitoreo de los niveles freáticos estacionales y de la calidad físico-química de las aguas subterráneas en el Urabá antioqueño.</i>	Naranjo, L.C.	CORPOURABA	1998
<i>Tesis de maestría: Modelamiento de acuíferos para la zona de Urabá utilizando Sistemas de Información Geográficos.</i>	Betancur, T.	Universidad Nacional Sede Medellín	1996
<i>Evaluación hidrogeológica en el Urabá antioqueño.</i>		INGEOMINAS	1995

El refinamiento del modelo hidrogeológico conceptual en 2014, llevó a caracterizar el sistema hidrogeológico del Eje Bananero de Urabá, como un sistema multicapa constituido por una serie alternada de capas permeables, semipermeables e impermeables; en ocasiones afloran a la superficie constituyendo el acuífero libre, pero en algunas zonas son separados de la superficie por espesores arcillosos que le dan el carácter de confinado o semiconfinado multicapa.

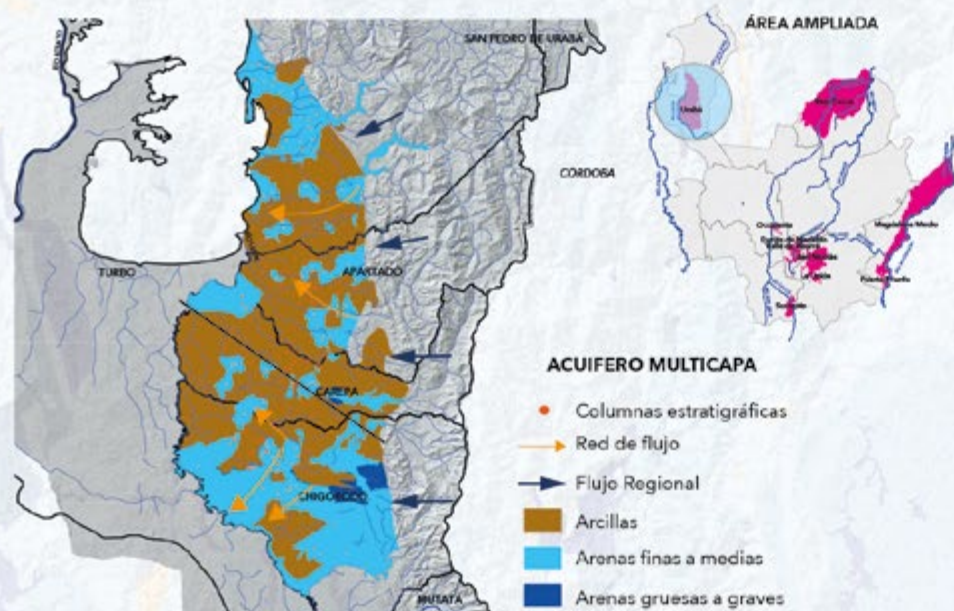
Para ambos niveles del sistema de Urabá se han definido las características geométricas, las áreas y magnitud de la recarga; también se han modelado superficies piezométricas que permiten identificar las direcciones de flujo del agua subterránea, se cuenta con evaluación de propiedades hidráulicas y con análisis de calidad. Se ha trascendido a la evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y se formuló y está implementando el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero. Bajo esta perspectiva, considerando los criterios establecidos por el IDEAM (2013) para calificar el nivel de conocimiento acuífero, se presenta la valoración para el sistema hidrogeológico del Eje Bananero de Urabá, obteniéndose una calificación suficiente.

Información		Unidades hidrogeológicas identificadas	
Ítem	Subítem	Acuífero multicapa	Acuífero libre del Urabá Antioqueño
Municipios asociados		Chigorodó, Carepa, Apartadó, Turbo	Chigorodó, Carepa, Apartadó, Turbo
Geometría	Geología	✓	✓
	Registros de perforación	✓	✓
	Geofísica	✓	✓
	Correlación hidroestratigráfica	✓	✓
Áreas, fuentes y magnitud de recarga	Análisis textural	✓	✓
	Pruebas de infiltración	✓	✓
	Geomorfología	✓	✓
	Análisis estructural	✓	---
	Balance hídrico	✓	✓
Red de flujo	Inventario de puntos de agua	✓	✓
	Red de monitoreo	✓	X
	Funias y SIRH	✓	X
	Usos del agua	✓	✓
	Piezometría	✓	✓
Propiedades hidráulicas	Pruebas de bombeo	✓	✓
Calidad del recurso	Calidad	✓	✓
	Hidrogeoquímica	✓	✓
	Isotopía	✓	✓
Vulnerabilidad		✓	✓
Carga contaminante y riesgo		✓	✓
Plan de Manejo Ambiental		✓	✓

• NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES ACUÍFERAS SUBREGIÓN URABÁ

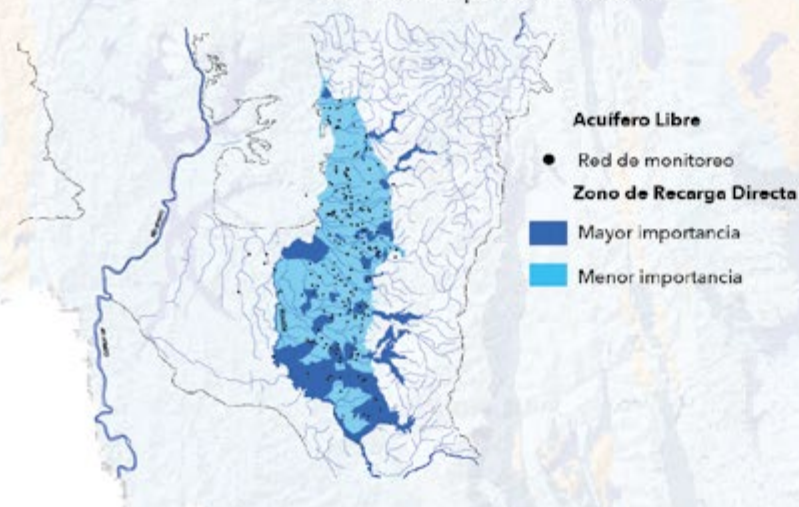
Parámetro / Unidad identificada	Acuífero multicapa	Acuífero libre
¿Se tiene definida la geometría del acuífero?	3	2
¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)?	3	3
¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos?	3	2
¿Cuenta con monitoreo sistemático?	3	1
¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca?	3	3
¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuífero?	3	3
Calificación	18 = Suficiente	14 = Suficiente

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL EJE BANANERO DE URABÁ



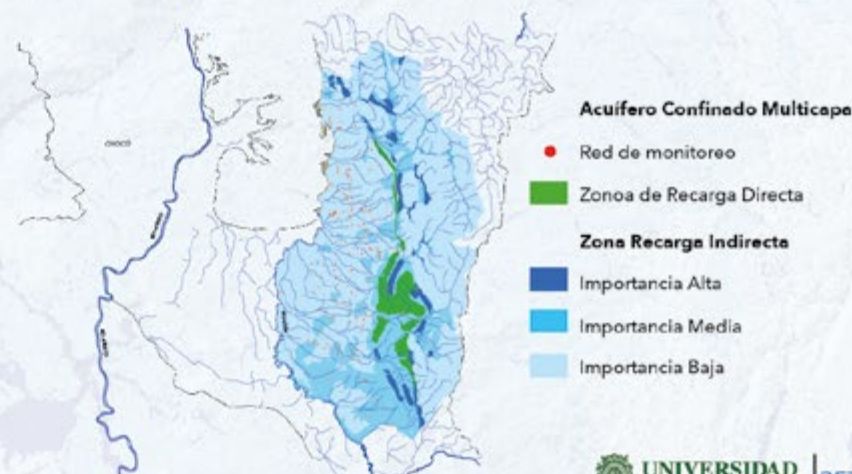
Línea Meteorica Local: $\delta^2H = 8,03\delta^{18}O + 10,3$

EDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA:
Acuífero Libre: Actual a mezcla
Acuífero Multicapa: hasta 33.000 años



Características	Acuífero Libre	Acuífero Confinado Multicapa
Generalidades		
Municipios asociados	Chigorodó, Carepa, Apartadó y Turbo	
Geología	Depositos aluviales, fluvio-lacustres, fluvio-marinos y marinos del Cuaternario.	Formación Corpa (Negro), dividida por INGEOMINAS en tres subunidades, designadas informalmente como T2A (arenas de grano fino a medio), T2B (capas de arena y conglomerado) y T2C (lodolitas, intercaladas con capas discontinuas de conglomerados).
Extensión	1.236 km ²	
Puntos de agua	Se estima que hay más de 9.500 pozos artesanales.	Se tienen registros cerca de 200 pozos profundos.
Usos	Abastecimiento doméstico, agricultura.	Servicio público de escuelas, agroindustria del banano y otros cultivos.
Correlación estratigráfica	Se estableció a partir de 183 registros de perforación y 202 sondajes pasivos. La profundidad del basamento es menor hacia la Serranía de Abibe, sectores con profundidades cercanas a los 200 m se encuentran en el norte, entre los ríos Turbo y Currituco y hacia el sur, en cercanías al río Carepa.	
Balace hidro	A partir del balance hídrico distribuido, para el año de 2017, la recarga real total se estima en promedio igual a 553 mm/año representando un 10% de la precipitación.	
Áreas de recarga		
Análisis textural	Variación espacial entre limo arcilloso y arenas.	Predominan gravas y arenas.
Pruebas de infiltración	Correlacionable con la textura. Varía especialmente de lento a rápido.	
Geomorfología	Plana.	Suave.
Análisis estructural	No aplica (sedimentos blandos).	Rocas sedimentarias que han perdido consolidación por efectos estructurales.
Delimitación de Áreas de Recarga	Para el acuífero se tuvo en cuenta la variabilidad textural de los niveles de sustrato y de esa forma se realizó una priorización (jerarquización) de las zonas de recarga directa, diferenciando unas de mayor importancia y otras de menor importancia.	Donde los niveles profundos del sistema acuífero afloran en superficie se delimitan zonas de recarga directa. También se establecieron tres categorías de importancia de las zonas de recarga, asociadas a flujos regionales y efectos de gran escala: alta, media y baja.
Red de flujo		
Piezometría	A partir de información procedente de 13 diáfrags de presión y 28 puntos de medición con sonda se definió el sistema de flujo, que mueve el agua en sentido Este-Oeste y Este-Noroeste.	Con datos de 90 pozos y 44 piezómetros, se puede observar que el flujo de agua se dirige la Serranía de Abibe hacia el centro del río Tadó en el centro y sur, y hacia el Golfo de Urabá, una división de aguas subterráneas sigue una alineación Suroeste-Noreste al norte del acuífero del municipio de Chigorodó.
Pruebas de bombeo	10 Slug test: conductividad hidráulica entre 0,56 y 20,36 m/día	158 pruebas de bombeo: conductividad hidráulica entre 2,4 m/día (norte), 4,2 m/día (centro) y 5,9 m/día (sur).
Hidrogequímica e isotopía		
Calidad	Los parámetros que en mayor proporción sobrepasan el NTC fueron: potasio, calcio, hierro, sulfatos y nitratos para el nivel superior, y amonio, sulfato, nitrato y sodio para el acuífero confinado multicapa. No se han registrado indicios de intrusión marina.	Más de 780 análisis disponibles, la mayoría de las muestras se encuentran en los grupos de las facies Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻ y Na ⁺ + HCO ₃ ⁻ . La naturalización isotópica del agua subterránea para el acuífero confinado multicapa revela un embarricamiento en el sentido de flujo, indicando que las aguas almacenadas más lejos de las zonas de recarga llegan al sistema bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales, lo que sugiere un largo tiempo de residencia en el ámbito subterráneo.
Hidrogequímica	Predominio de facies HCO ₃ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ , puntualmente HCO ₃ -Na ⁺ -Ca ²⁺ localmente Cl ⁻ -Na ⁺ .	Según interpretaciones a partir de 14C las aguas más antiguas del sistema tienen edades de hasta 32.000 años.
Isotopía	En 2013 se registró un valor medio de -5,93‰ para el δ18O y -38,3‰ para el δ2H. Análisis de 34 y 12 muestras para CFC's y SF6 indican edades recientes y procesos de mezcla.	COBPOURARA muestra sal de muestras.
Medidas de Gestión		
Red de monitoreo	Creada entre 2017 y 2018.	
Oferta y Demanda	Los volúmenes extraídos anualmente se han estimado en cerca de 24 millones de m ³ . Disponibilidad anual estimada de 50 millones de m ³ . Nivel de escasez de 26%, correspondiente a una reacción alta.	
Medidas de Manejo Zonas de Recarga	Se han delimitado zonas de protección y se han definido medidas de manejo según actividades compatibles o incompatibles.	
Vulnerabilidad	Según DRASTIC: categoría extrema al suroeste hacia el occidente de Chigorodó en cercanías del río Lachi; la categoría alta en Chigorodó y al norte de Turbo; la vulnerabilidad media al este de la zona de estudio en límites con las urbanizaciones de la Serranía de Abibe.	Aplicando GOD se encontró un grado de vulnerabilidad bajo, allí donde el sistema está cubierto por el acuífero semiergo y vulnerabilidad extrema en los polígonos donde aflora en superficie, el piedemonte de Abibe.
Carga contaminante y riesgo	Se evaluó el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas encontrándose una categoría extrema en los municipios de Turbo (4,1% del área) y Apartadó (5,6% del área), categoría moderada en el 49,2% del territorio y el riesgo alto en 49,45%.	
Vulnerabilidad humana	Predominio de la categoría moderada, especialmente en Chigorodó (90% territorio). Vulnerabilidad alta en el municipio de Apartadó (15,8% del territorio) y Turbo (10,9% del territorio). Puntualmente vulnerabilidad extrema.	
Fuentes y SRI	No hay puntos registrados en el SRI que administre el IDEAM.	
Plan de Manejo Ambiental	Formulado en 2014, adoptado al mismo año. Se ha adelantado la ejecución, según plazos establecidos en la priorización.	

*Información actualizada hasta el año 2021



POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. A través de los diálogos adelantados durante los procesos participativos de formulación y ejecución del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero, se han recogido percepciones en relación con este bien natural.

Considerando las características litológicas y estructurales de las unidades geológicas se presenta a continuación la evaluación del potencial hidrogeológico que podrían tener las rocas duras —meta-mórficas e ígneas— y las formaciones blandas —rocas sedimentarias y depósitos— que tienen ocurrencia en la subregión del Urabá antioqueño.

Rocas duras

Se describen solo rocas ígneas, ya que no existen unidades metamórficas al noroccidente de Colombia.

• ROCAS ÍGNEAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial Hidrogeológico
Kum	Ultramaficos de la cordillera Occidental	Mutatá	44,14	La baja afectación tectónica implica una muy baja porosidad y permeabilidad. No tienen potencial acuífero
Pggm	Batolito de Mandé	Murindó y Vigía del Fuerte	219,80	No se registra presencia de diaclasas con disposición que determinen porosidad o permeabilidad secundaria. No tienen potencial acuífero
Ksvx	Complejo Santa Cecilia La Equis	Mutatá, Chigorodó, Carepa y Apartadó	1211,57	Porosidad secundaria por fracturamiento y permeabilidad muy baja. Bajo potencial como acuífero.

Formaciones blandas

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial Hidrogeológico
Ngco	Formación Corpa (T2)	Al pie de monte de la serranía de Abibe en: Chigorodó, Carepa, Apartadó, Turbo y Mutatá. Al Noreste en San Pedro de Urabá y Arboletes.	746,46	La formación Corpa mantendría, regionalmente, el carácter de acuífero multicapa. Probablemente las formaciones Arenas Monas y Pavo mantendrán el carácter de acuitardo determinado en el Eje Bananero, aunque, teniendo en cuenta la afectación estructural y la pérdida de consolidación podrían ser un acuífero con potencial medio
Ng(pv + am)	Formaciones Pavo y Arenas Monas	Carepa, Chigorodó, Apartadó, Turbo, San Pedro de Urabá, Necoclí, Arboletes y San Juan de Urabá	3.277,78	
N2qb	Formación Quibdó	Vigía del Fuerte	334,44	
Pgs	Formación Salaquí	Cuerpo alargado en Vigía del Fuerte y Murindó	193,84	La secuencia sedimentaria sugiere la posibilidad de niveles con porosidad y permeabilidad primaria que posibilitan la condición acuífera y la presencia de espesores acuitardos. Podría ser un acuífero multicapa
Pgu	Formación Uva	En Vigía del Fuerte	17,64	
Ksn	Miembro Nutibara	Cuerpo en sentido NW en Mutatá	115,14	El miembro Nitubara, de la formación Penderisco, se manifiesta en una franja larga y angosta que atraviesa de sur a norte el municipio de Urrao, conformado por calizas, limolitas y shales, su condición acuífera debe ser muy baja, Valdría la pena mirar el espesor de las capas calcáreas para evaluar disolución
Pgsd	Sedimentos sin diferenciar	Al este de Mutatá	11,06	Porosidad y permeabilidad primaria alta. Potencial acuífero muy alto.
Qal	Depósitos aluviales	Asociados a los ríos Atrato, León, Mulatos y San Juan	5.154,00	
Qt	Terrazas aluviales	Turbo, Chigorodó, Murindó y Vigía del fuerte	145,17	
Qd	Depósitos de vertiente	Arboletes y Necoclí.	6,10	
Q2fl, Q2l	Depósitos lacustres y fluviolacustres	Murindó y Vigía del Fuerte	114,75	

PERCEPCIONES



URABÁ

Extensión 11.664 km²

Golfo de Urabá: extensión 1.500 km

11 Municipios distribuidos en tres zonas:
Norte, Centro y Atrato Medio

Desde el páramo hasta la costa, se mueve el agua en Urabá. Y es en la región de El Eje Bananero donde el agua subterránea se ha constituido en un recurso fundamental, tanto para suministro humano como para el soporte de la actividad agroindustrial que mueve la economía de la región.

Podría decirse que el tránsito del agua subterránea, desde la Serranía de Abibe, a través del subsuelo de toda la planicie y hasta las ciénagas del río León o el Golfo de Urabá, es evidente para los habitantes de la región.

En el Eje bananero se ha trabajado en torno a la evolución de una cultura del agua que reconozca el valor que a ella daban las comunidades ancestrales y que entienda las necesidades del momento actual.

El impulso dado por CORPOURABA para la formulación y ejecución del Plan de Manejo Ambiental generó la conformación de la Mesa de trabajo del Acuífero de Urabá MACURA; en ella con la idea de trabajar juntos (significado de Macura en lengua Emberá), se cuenta con una instancia única en Colombia que materializa la idea de gestión colectiva del agua subterránea.

Actividades económicas más importantes



PESCA



GANADERÍA



AGRICULTURA



AGROINDUSTRIA



EXPLOTACIÓN MADERERA

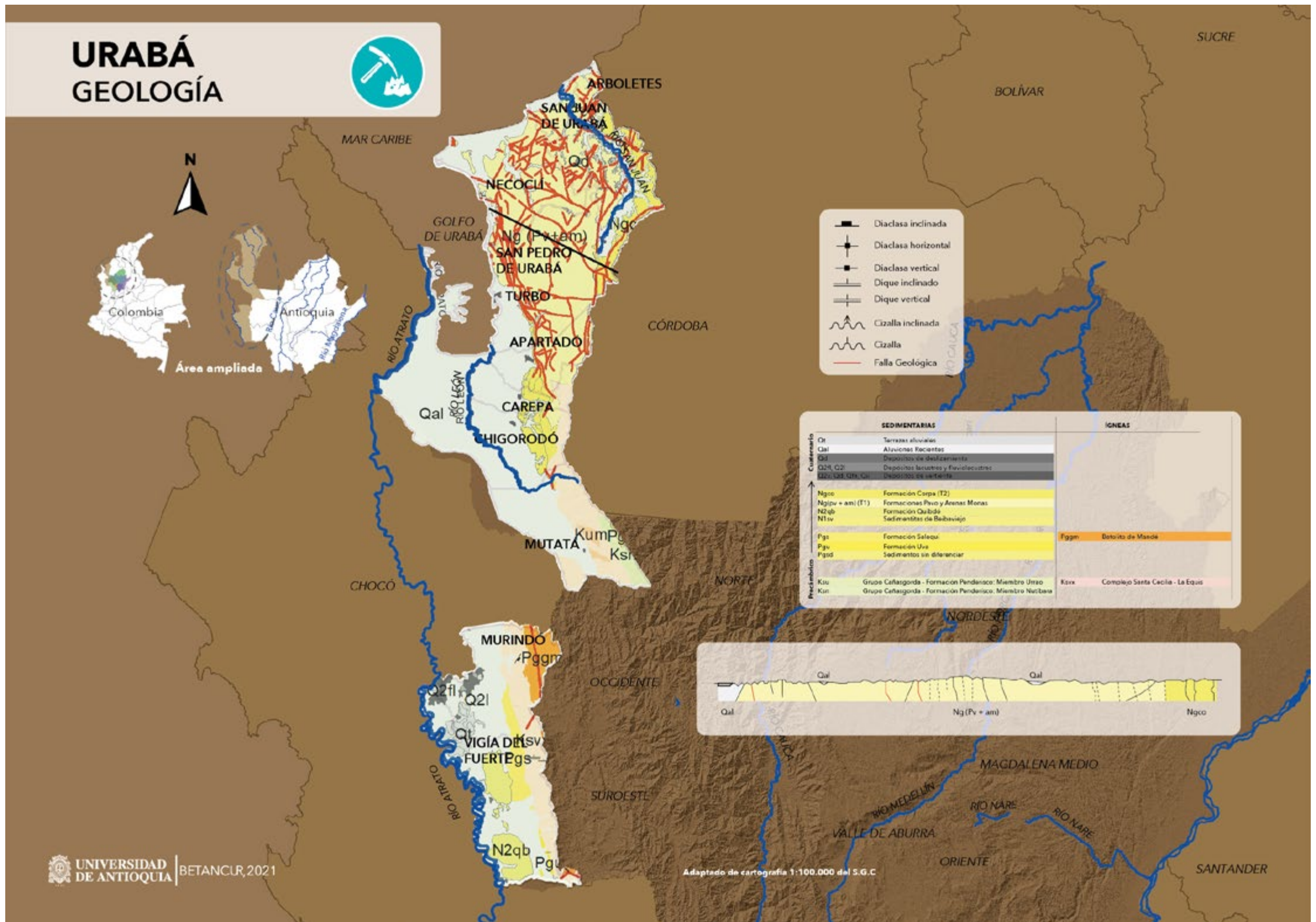


TURISMO



"El agua tiene poder, tiene espíritu, los ríos tienen sus dueños y se hace necesario cuidar el agua y la tierra"
Luz Marina Morombia (Indígena Emberá del resguardo La Palma del municipio de Apartadó, participante del PMAA del Golfo de Urabá)

URABÁ GEOLOGÍA



URABÁ
POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA



POTENCIAL COMO ACUÍFERO





SUBREGIÓN

VALLE DE ABURRÁ

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

La subregión del Valle de Aburrá está ubicada en el centro-sur del departamento de Antioquia, en medio de la cordillera Central de los Andes. Tiene una extensión de 1.165,5 km² (FAO y ADR, 2019). Es la subregión más poblada del departamento y la más pequeña en extensión.

El Valle de Aburrá se forma en una depresión interandina de la cordillera Central, a 1.500 m.s.n.m. y está definido por el río Aburrá-Medellín, que discurre en sentido sur-norte, entre 2.800 m.s.n.m. en el alto de San Miguel, municipio de Caldas, lugar de su nacimiento, y 1.100 m.s.n.m. en el municipio de Barbosa, donde continúa su curso con el nombre de río Porce. Las montañas circundantes del Valle de Aburrá cuentan con alturas que superan los 3.000 m.s.n.m. A lo largo de sus vertientes corren aproximadamente 200 afluentes directos que se caracterizan por su torrencialidad (Agudelo, 2010 citado en Gobernación de Antioquia, sf).

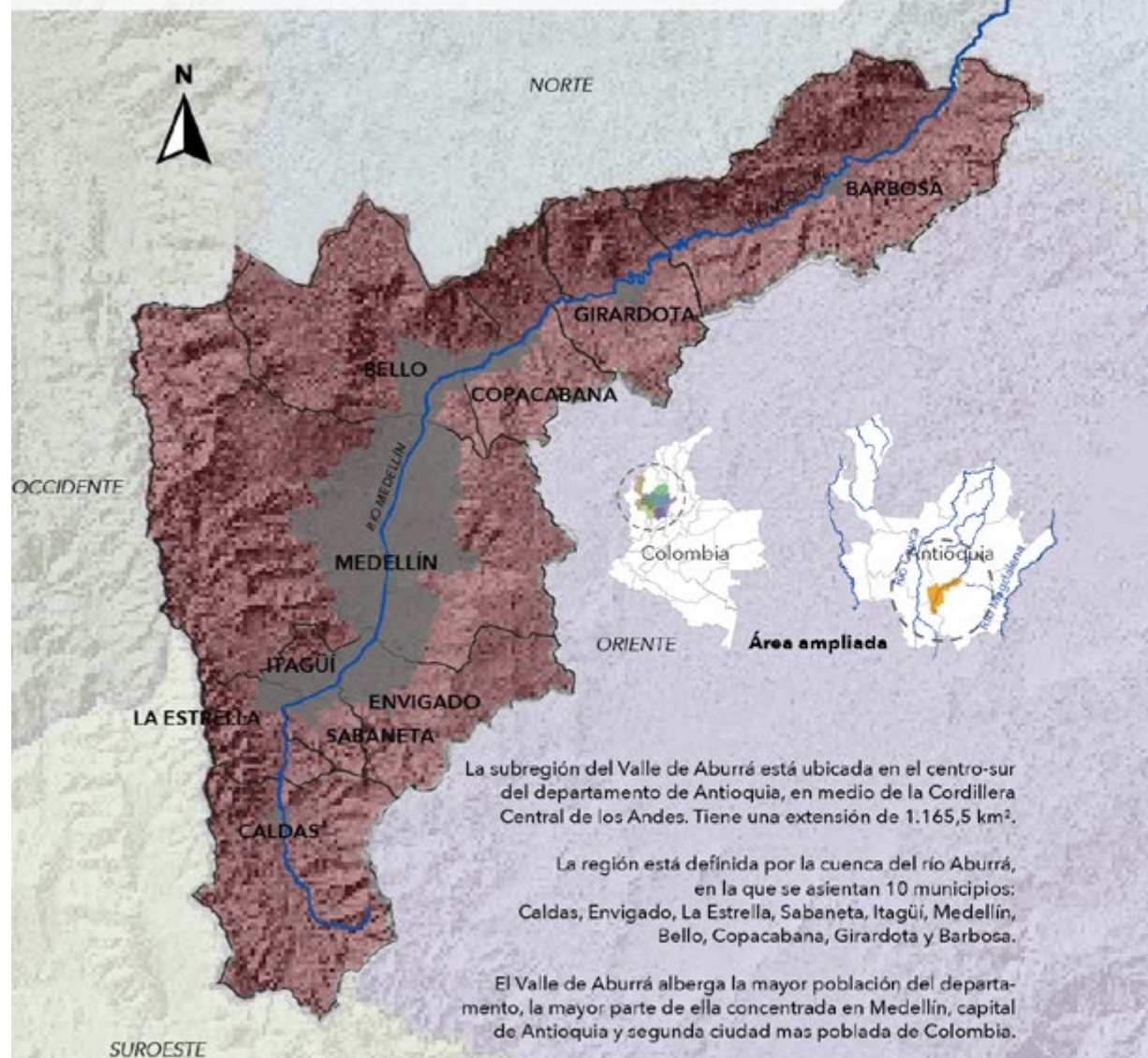
Las principales actividades económicas son la industria manufacturera y los servicios financieros, empresariales, inmobiliarios y de alquiler; tiene una muy baja participación en la generación de valor del sector agropecuario y minero (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

POBLACIÓN

En 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda –CNPV–, la población total de la subregión era de 3.726.219 habitantes, que conformaban 1.269.612 hogares distribuidos en 1.239.729 viviendas, con una densidad poblacional para la subregión de 3.197 hab/km², donde Medellín e Itagüí son los municipios con mayor densidad en la subregión con 6.329 hab/km², seguido por Sabaneta con 5.166 hab/km²; mientras que Barbosa con 218 hab/km² es el municipio de menor densidad poblacional. Con respecto a la población, Medellín ocupa el primer lugar en población total (2.372.330 habitantes) y urbana (2.332.487 habitantes), seguido por el municipio de Bello con una población total de 481.901 habitantes y urbana de 461.138 habitantes. Por su parte, Girardota con 49.045 habitantes y Barbosa con 44.757 habitantes son los municipios con menos población.

VALLE DE ABURRÁ

POBLACIÓN



La subregión del Valle de Aburrá está ubicada en el centro-sur del departamento de Antioquia, en medio de la Cordillera Central de los Andes. Tiene una extensión de 1.165,5 km².

La región está definida por la cuenca del río Aburrá, en la que se asientan 10 municipios: Caldas, Envigado, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa.

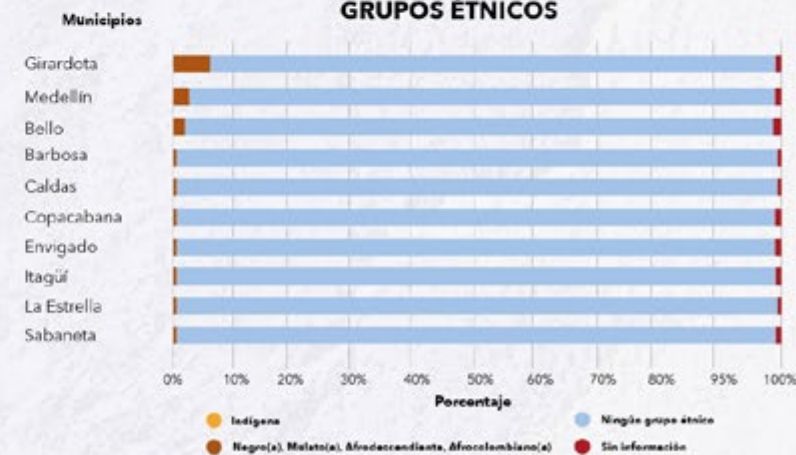
El Valle de Aburrá alberga la mayor población del departamento, la mayor parte de ella concentrada en Medellín, capital de Antioquia y segunda ciudad más poblada de Colombia.

Las principales actividades económicas son industria manufacturera y servicios financieros, empresariales, inmobiliarios y de alquiler; y tiene una muy baja participación en la generación de valor del sector agropecuario y minero.

POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



En 2018, el 94,9% (3.534.843 habitantes) de la población de la subregión se concentraba en las cabeceras urbanas, el 2,4% (91.098 habitantes) en centros poblados y el 2,7% (100.278 habitantes) en el sector rural. Esta subregión presentaba una marcada tendencia de concentración de la población en las cabeceras urbanas, con grados de urbanización que superan el 80% en todos los municipios, exceptuando Barbosa donde el porcentaje de población urbana es del 48,2% (21.579 habitantes) y Girardota que es de 57,4% (28.163 habitantes) (DANE, 2018).

En relación a la población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, sumaba 80.302 personas, que corresponde al 2,2% del total de la población de la subregión, siendo la población del grupo étnico correspondiente a negros, mulatos, afrodescendientes y afrocolombianos, la que tenía una mayor representación con 76.794 (2,1%) personas, las cuales se encontraban principalmente en el municipio de Medellín (DANE, 2018); sin embargo, es en la zona rural de Girardota donde se reconoce un territorio étnico, representado por el consejo comunitario afrodescendiente de la vereda San Andrés.

ACCESO AL AGUA

Según el DANE (2018), las coberturas del servicio de acueducto en las cabeceras municipales superan el 95%, mientras que en las áreas rurales estaban por encima del 40%. Los municipios Copacabana (44,31%) y Medellín (53,61) fueron los municipios con menor cobertura en su ruralidad (centros poblados y rural disperso). Con respecto a la cobertura de agua potable, en el sector rural, esta no superaba el 40% en 2018, Bello con el 2,8%, La Estrella con el 5,5%, Itagüí con el 5,9%, Caldas con el 7,1% y Barbosa con el 8,9%. Solo Sabaneta reporta una cobertura de agua potable del 100% en sector rural (Goberna-

ción de Antioquia, 2018). En las cabeceras urbanas de la subregión, las coberturas de agua potable están ligeramente por debajo de las del servicio de acueducto, siendo los municipios de Caldas (91,9%), Copacabana (97,3%) y Barbosa (97,4%), los que presentaban las coberturas más bajas.

En las zonas rurales de siete (7) de los municipios del Valle de Aburrá, la cobertura de alcantarillado no superaba el 50%, mientras que en las cabeceras municipales estaban por encima del 90%. Barbosa presentaba la menor cobertura de alcantarillado en el sector rural con el 19,5% y Sabaneta con 98,2%, la mayor cobertura (DANE, 2018).

CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población, reflejada en las Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, todos los municipios presentaban proporciones de población en pobreza y miseria por debajo del promedio nacional y departamental, indicando que la mayoría de la población tiene condiciones de vida aceptable, siendo Sabaneta y Envigado los municipios con menor proporción de población en pobreza y miseria.

El Índice de Pobreza Multidimensional –IPM–, estimado con los datos del CNPV de 2018 muestra una situación similar a la reflejada con el NBI, ya que en los municipios de Valle de Aburrá los valores obtenidos para este índice están por debajo de los promedios nacional y departamental, excepto en el municipio de Barbosa donde el 22,2% de su población se encontraba en situación de pobreza multidimensional.

Otro factor que cabe mencionar, si bien es el más bajo a nivel de subregiones en Antioquia, y tiene que ver con el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir; el porcentaje oscila entre 0,88% en Envigado y 5,63% en Barbosa.

VALLE DE ABURRÁ

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



IRCA 2017

Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Barbosa	0,0	64,0	34,0
Bello	1,0	19,0	1,0
Caldas	2,0	39,0	12,0
Copacabana	1,0	2,0	0,0
Envigado	0,0	10,0	1,0
Girardota	0,0	23,0	10,0
Itagüí	3,0	SD	3,0
La Estrella	3,0	35,0	16,0
Medellín	1,0	3,0	1,0
Sabaneta	2,0	4,0	0,0

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

IRCA	Nivel de Riesgo
80,1 - 100	Inviabil Sanitario
35,1 - 80	Alto
14,5 - 35	Medio
5,1 - 14	Bajo
0 - 5	Sin Riesgo
Sin Datos	SD

Índice de Riesgo por Abastecimiento Municipal IRABA 2017

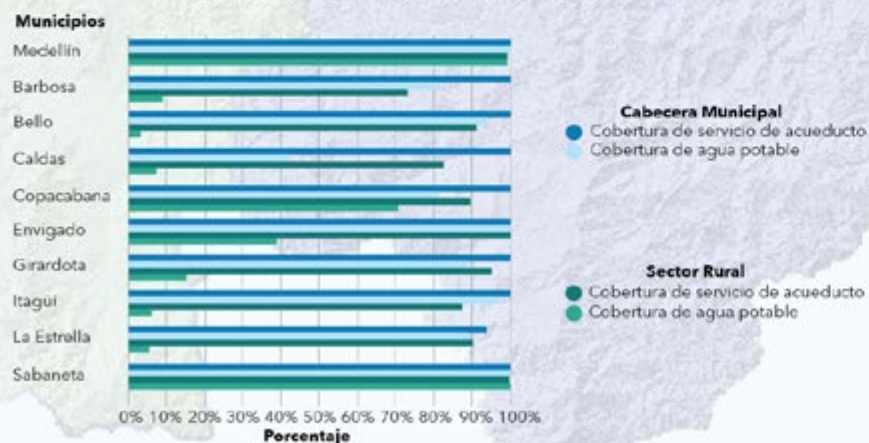
Municipios	Urbana	Rural	Total
Barbosa	23,0	62,0	28,1
Bello	1,6	48,8	1,2
Caldas	12,0	55,2	8,9
Copacabana	10,4	44,6	5,5
Envigado	2,7	44,0	16,0
Girardota	18,3	40,0	10,7
Itagüí	3,3	SD	3,3
La Estrella	17,9	53,0	19,7
Medellín	24,5	25,9	24,6
Sabaneta	4,7	41,3	1,5

El IRABA es la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

IRABA	Nivel de Riesgo
70,1 - 100	Muy Alto
40,1 - 70	Alto
25,1 - 40	Medio
10,1 - 25	Bajo
0 - 10	Sin Riesgo
Sin Datos	SD

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019

SERVICIO DE ACUEDUCTO Y AGUA POTABLE

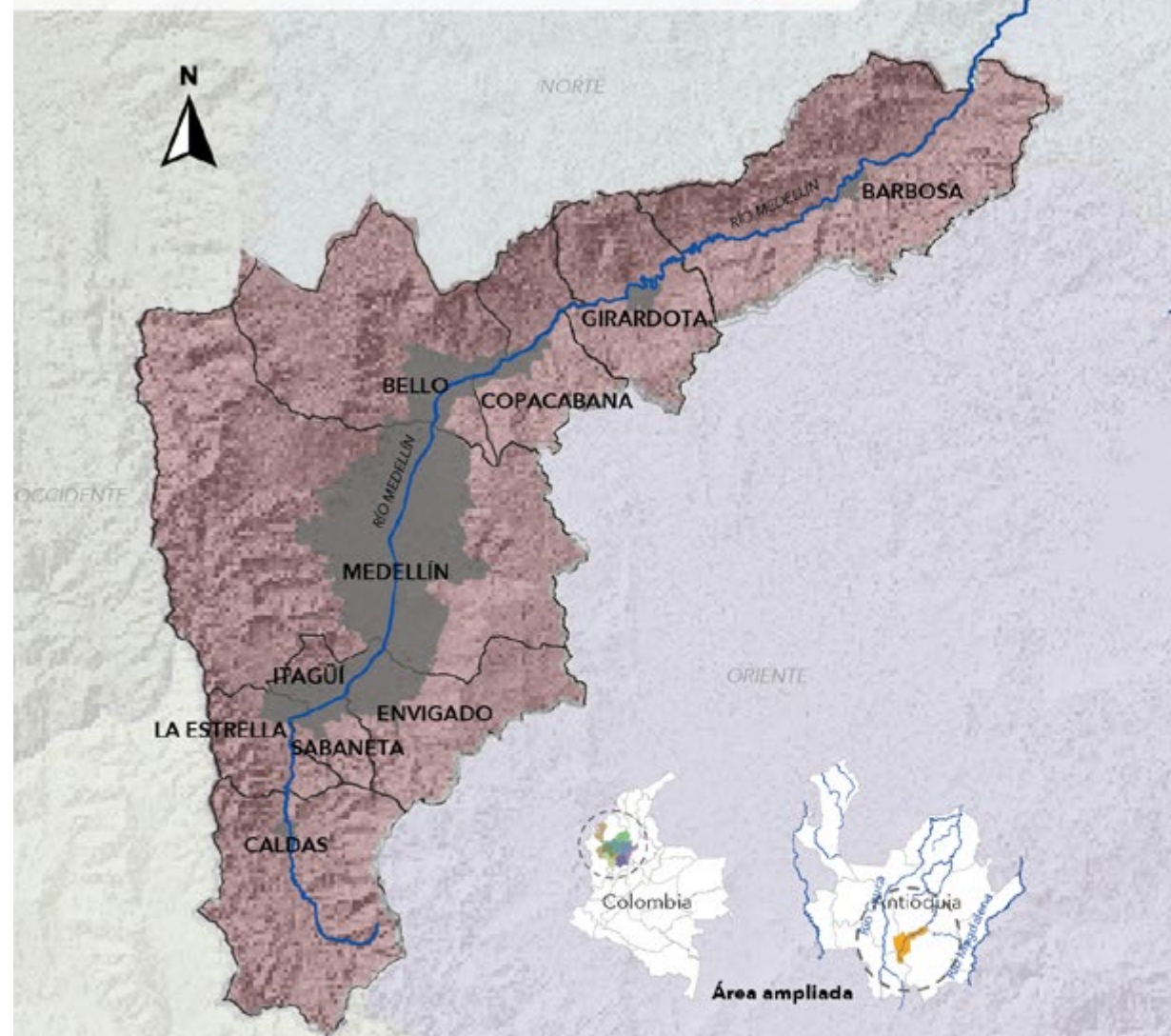


Fuente: DANE Censo Nacional, 2018 y Anuario Estadístico de Antioquia, 2017

IRABA 2017

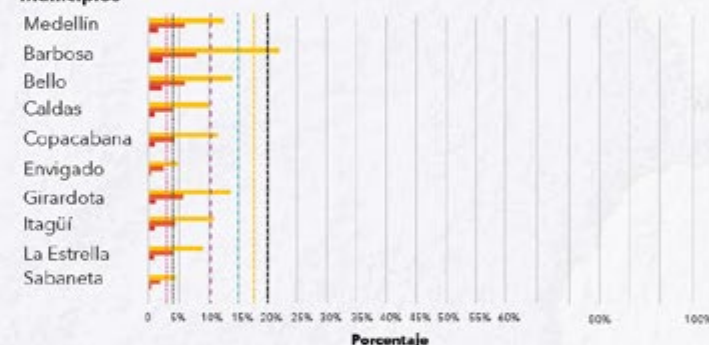
VALLE DE ABURRÁ

CALIDAD DE VIDA



	Promedio Nacional	Promedio Departamental
Índice de pobreza multidimensional	19,60 %	17,10 %
Proporción de personas en pobreza	14,13 %	10,67 %
Proporción de personas en miseria	3,74 %	2,48 %

Municipios



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Barbosa	3,75%	7,39%	5,63%
Girardota	2,21%	5,03%	3,40%
Caldas	2,06%	6,36%	2,87%
Copacabana	4,86%	2,01%	2,54%
Medellín	2,31%	6,13%	2,37%
La Estrella	2,06%	4,18%	2,37%
Bello	1,90%	6,16%	2,06%
Itagüí	1,58%	3,98%	1,81%
Sabaneta	0,75%	2,95%	1,06%
Envigado	0,85%	1,46%	0,88%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

La oferta hídrica intrínseca del Valle de Aburrá está asentada sobre la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín, al cual tributan más de 200 quebradas (AMVA & Universidad de Antioquia, 2016), entre las que se destacan las quebradas: La Clara, La Salada, La Valeria, La Doctora, La Ayurá, Doña María, La Aguacatala, Altavista, La Presidenta, La Picacha, Santa Elena, La Hueso, La Iguaná, El Molino, Malpaso, La Bermejala, La Quintana, La Rosa, La Madera, La Loca, El Hato y La García.

Para determinar de manera indirecta la oferta hídrica se utilizan el Índice de Aridez —IA— y el Índice de Regulación Hídrica —IRH—.

Según el ENA 2018 (IDEAM, 2019), la subregión presenta de moderados a excedentes de agua para el IA en el centro y norte de su territorio; en el sur, en el municipio de Caldas y parte de Envigado, Itagüí y Medellín presenta altos excedentes. Según las estimaciones realizadas en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá —POMCA—, a diferencia de las del ENA 2018 (IDEAM, 2019), indican una suficiencia en la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas naturales, ya que el IA en la mayor parte del territorio presenta excedentes y altos excedentes de agua (MADS, CORANTIOQUIA, AMVA & CORNARE, 2018). El IRH estimado en el ENA 2018

es alto para toda la subregión, en el POMCA este varía de muy alto a alto. Estos indicadores muestran que se presenta una

oferta hídrica importante desde la cantidad de agua en la subregión.

Presiones antrópicas sobre el recurso hídrico

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial a través de las diferentes intervenciones antrópicas se determinan a través de los índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

En el Valle de Aburrá, en relación con la oferta y demanda del recurso hídrico, el IUA registrado en el ENA 2018 (IDEAM, 2019), refleja una alta presión en la mayor parte de la subregión en año medio, para año seco las condiciones cambian a una categoría de muy alto, indicando que por la disminución de la oferta hídrica en este periodo hidrológico se incrementa la presión. Según los resultados obtenidos en el POMCA del río Aburrá, el IUA es variable a lo largo de la subregión, desde muy bajo a muy alto pasando por bajo, medio y alto (MADS, CORANTIOQUIA, AMVA & CORNARE, 2018). Para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua de la población del Valle de Aburrá, se requieren más de 400 millones de litros de agua diarios, de este volumen más del 70% proviene de cuencas hidrográficas externas a la subregión (FAO y ADR, 2019).

Para la subregión Valle de Aburrá, el IACAL, según el ENA 2018, varía de medio a muy alto para el año me-

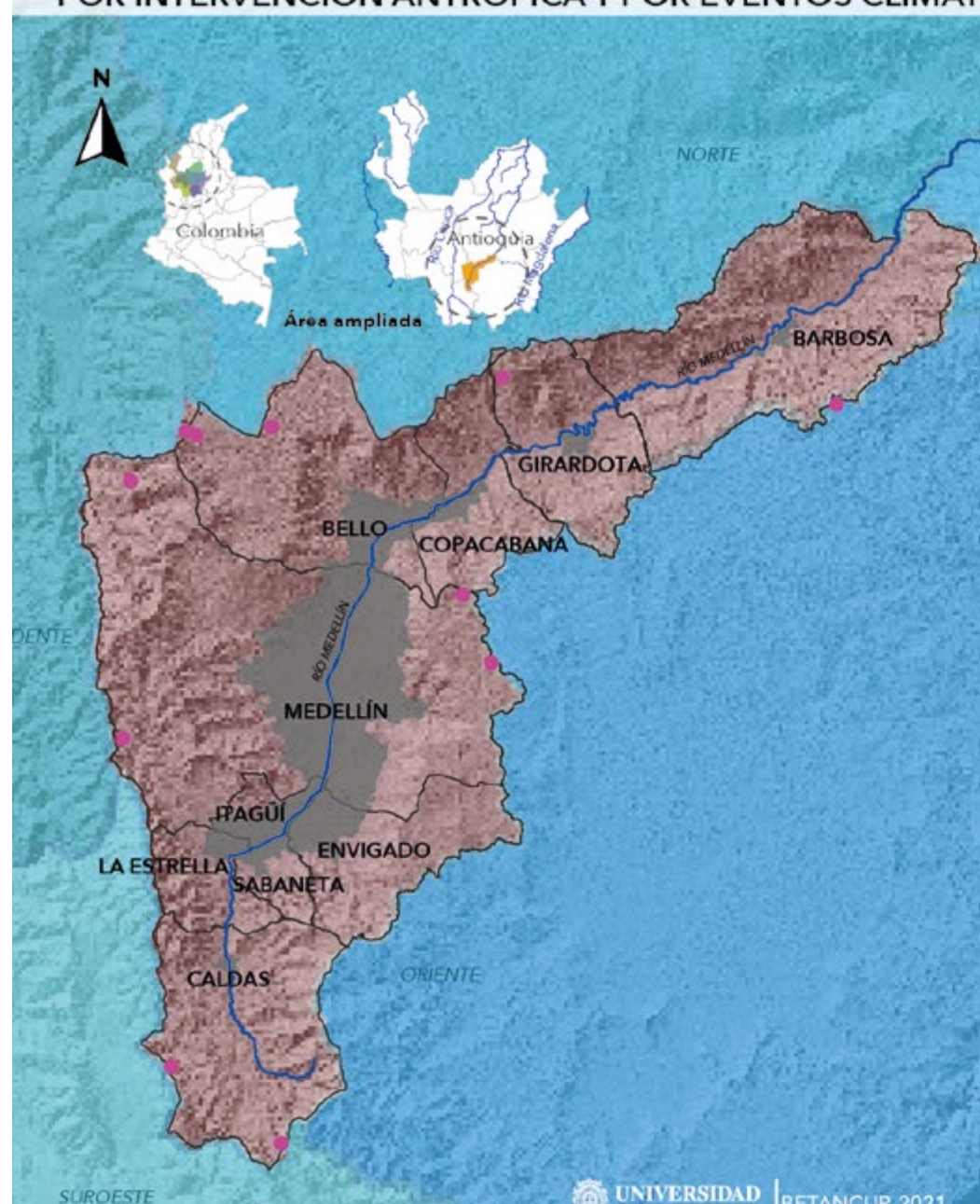
dio y de alto a muy alto para el año seco. Lo anterior indica la alta presión que ejercen sobre la calidad del agua las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la subregión. Según las estimaciones realizadas en la actualización del POMCA del río Aburrá, el IACAL varía de muy alto a alto para condiciones hidrológicas secas, con un comportamiento espacial diferente al obtenido en el ENA 2018, siendo las zonas centro y medio del Valle donde las condiciones son más críticas (MADS, CORANTIOQUIA, AMVA & CORNARE, 2018). Lo anterior se debe a la contaminación del río Medellín y sus afluentes por aguas residuales domésticas e industriales. En la subregión se generan diariamente 50 millones de litros de aguas residuales, de los cuales solamente al 20% se le hace tratamiento descontaminante. Adicionalmente, se tienen más de 120 mil viviendas que están sin conexión a redes de alcantarillado y no se dispone de un control de la calidad del vertimiento; lo anterior genera deterioro del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo; así se ha evidenciado en los resultados arrojados por la Red de Monitoreo Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá-Medellín (RedRío) (FAO y ADR, 2019).

Riesgo al desabastecimiento de agua

El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los siguientes índices: de Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

VALLE DE ABURRÁ

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO,
POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)*	Índice de Aridez (IA)*	Índice de Uso de Agua (IUA) Condición Normal*	Índice de Uso de Agua (IUA) Condición Seca*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) Condición Normal*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) Condición Seca*	Índice de Vulnerabilidad por Desembalsamiento (IVH) Condición Normal*	Índice de Vulnerabilidad por Desembalsamiento (IVH) Condición Seca*	Índice de Riesgo por Cambio Climático (IRCC)**
Medellín	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.21
Barbosa	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	MUY ALTA	MUY ALTA	BAJA	BAJA	0.21
Bello	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.17
Caldas	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.19
Copacabana	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.22
Envigado	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.23
Girardota	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.19
Itagüí	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.25
La Estrella	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.19
Sabaneta	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MUY ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.31

MACDAMENA MÉTRIC

< 0.5 MUY BAJA	> 0.5 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	> 50.0 MUY ALTO	4.5 a 5.0 MUY ALTA	MUY ALTA	0.45 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.8 BAJA	0.50 - 0.59 DEFICITARIO DE AGUA	20.01 a 50.0 ALTO	3.5 a 4.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0.42 ALTO
0.85 a 0.95 MODERADA	0.40 - 0.49 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 20.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MEDIA ALTA	MEDIA	0.19 - 0.24 MEDIO
0.75 a 0.85 ALTA	0.30 - 0.39 MODERADO	5.0 a 10.0 BAJO	1.5 a 2.5 MODERADA	BAJA	0.17 - 0.18 BAJO
0.65 MUY ALTA	0.20 a 0.29 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	< 5.0 MUY BAJO	0.5 a 1.5 BAJA	MUY BAJA	0.16 MUY BAJO
	0.10 - 0.19 DEFICITARIO DE AGUA				
	< 0.10 ALTOS EXCEDENTES DE AGUA				



Bocatoma de Agua

Fuentes:
*IDEAM, 2019
**IDEAM, PNUD, MAIS, ONR, CANCELIERIA, 2017.



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021

A pesar de contar con una oferta hídrica por los excedentes de agua, la presión que se hace al recurso a través de la demanda hace que exista una moderada vulnerabilidad al desabastecimiento en condiciones hidrológicas medias y secas (IDEAM, 2019). Los resultados que muestra el POMCA de la cuenca del río Aburrá son menos críticos, ya que este presenta zonas de la subregión donde este indicador es bajo y muy bajo. En los resultados obtenidos por el IDEAM (2019) puede estar influyendo la demanda por generación de energía que se presenta en esta subzona hidrográfica del río Porce, a la cual pertenece la cuenca del río Aburrá.

La condición del IRCA, reportada en la ficha municipal de 2019 por la Gobernación de Antioquia, indica que los municipios de Barbosa y Caldas presentan un riesgo alto en su sector rural. Los municipios de Bello, Girardota y La Estrella presentan un riesgo medio. En las cabeceras municipales no se presenta este riesgo.

Con respecto al IRABA, los municipios de: Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, La Estrella y Sabaneta presentan un alto riesgo de abastecimiento en sus sectores rurales. En las cabeceras municipales este riesgo varía de bajo a sin riesgo (Gobernación de Antioquia, 2019).

Según se presenta en el tercer informe sobre Cambio Climático realizado por el IDEAM en 2017, el Valle de Aburrá comporta el mayor nivel de Riesgo en Sabaneta e Itagüí y el menor riesgo en Bello.

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; es así como, considerando los 125 municipios, a nivel departamental Medellín se ubica en el puesto 11, mientras La Estrella, Caldas, Itagüí, Copacabana y Sabaneta están por encima del puesto 100.

SUBREGIÓN VALLE DE ABURRÁ		
Municipios	Sumatoria	Posición
Medellín	0.36563	11
Barbosa	0.23161	64
Envigado	0.18974	95
Girardota	0.18782	97
Bello	0.18498	98
La Estrella	0.18057	101
Caldas	0.17654	102
Itagüí	0.17358	106
Copacabana	0.17025	110
Sabaneta	0.13741	122

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

En esta subregión se han desarrollado varios estudios hidrogeológicos entre los que se destacan los asociados a convenios interadministrativos entre la Universidad de Antioquia y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá; la mayoría de ellos en el marco del programa RedRio. CORANTIOQUIA también ha participado de la construcción de este conocimiento; Empresas Públicas de Medellín ha tenido interés en el potencial acuífero de la región; también se han realizado algunos proyectos de investigación a nivel de maestría y pregrado. Para el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá se ha formulado y adoptado el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero.

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN VALLE DE ABURRÁ

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
Preferential groundwater flow directions in a pseudokarst system in Colombia, South America.	Patiño-Rojas, S. M., Jaramillo, M., Espinosa-Espinosa, C. A. y Arias-López, M. F.	Universidad EAFIT	2021
<i>Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para el Sistema Hidrogeológico del Valle de Aburrá.</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2019
<i>Informe final convenio 1050 de 2016 Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá.</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2019
<i>Informe final convenio 643 de 2019 Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá.</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2019
Tesis de maestría: <i>Identificación de la presencia de flujos regionales en el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá a partir de un caso de estudio en una zona piloto.</i>	Cano Torres, A. F.	Universidad de Antioquia	2015
<i>Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de agua de los circuitos atendidos por fuentes menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y algunos sectores de bombeo representativo Fase II.</i>	Universidad de Antioquia.	Empresas Públicas de Medellín	2014
Tesis de maestría: <i>Diseño de medidas de manejo y protección para las zonas de recarga del sistema acuífero del Valle de Aburrá</i>	Osorio Restrepo, A.	Universidad de Antioquia	2014
<i>Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca del río Aburrá – Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana, Fase IV</i>	Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2013
<i>Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2013
<i>Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el Norte del Valle de Aburrá</i>	Universidad de Antioquia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2012
Tesis de maestría: <i>Orígenes de la recarga del acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque geoquímico e isotópico.</i>	Campillo, A. K.	Universidad de Antioquia, Université Montpellier 2	2012
<i>Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá - Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana, Fase III</i>	Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2011
<i>Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de agua de los circuitos atendidos por fuentes menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y algunos sectores de bombeo representativos. Fase I</i>	Universidad de Antioquia.	Empresas Públicas de Medellín	2011
<i>Actualización del inventario de captaciones de agua subterránea</i>	Universidad Nacional de Colombia.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2008
<i>Estudio de zonas de recarga y acuíferos del Valle de Aburrá</i>	Universidad de Antioquia e Integral.	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2002

Según el modelo hidrogeológico del Valle de Aburrá, se han identificado tres unidades de mayor interés hidrogeológico: el acuífero libre del Valle de Aburrá, el acuífero semiconfinado y el acuífero de la dunita de Medellín.

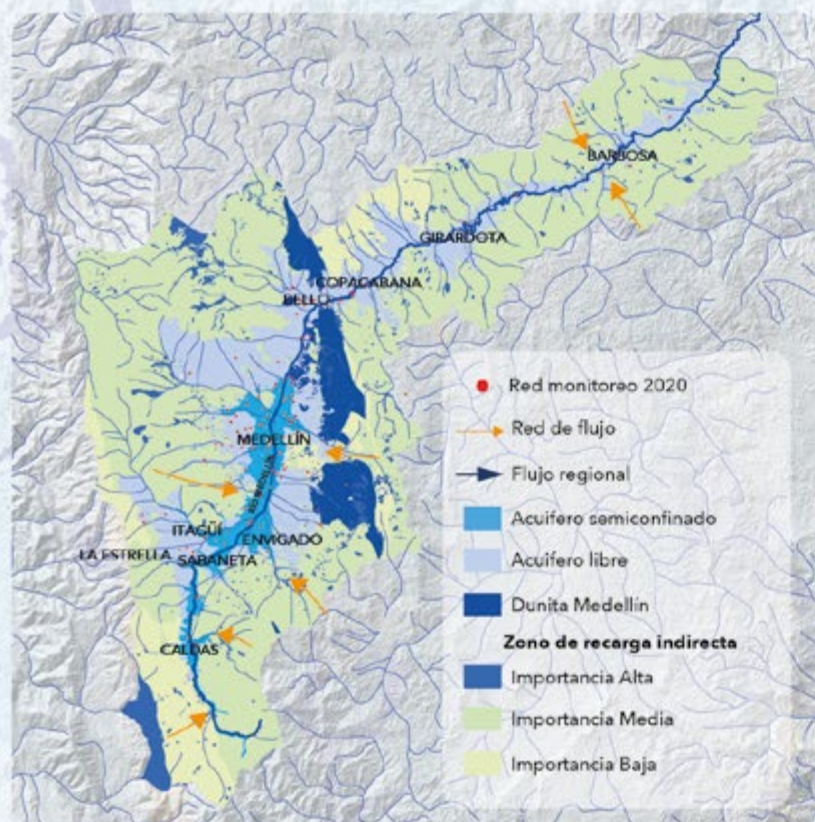
Teniendo en cuenta los criterios establecidos por el IDEAM (2013) se establece la calificación del nivel de conocimiento de cada uno de los acuíferos presentes en esta subregión. Tal como está establecido en el PMAA del Valle de Aburrá, se recomienda avanzar en los estudios para conocer el acuífero semiconfinado y la dunita de Medellín. Esta exploración cobra relevancia ante las hipótesis, que, como zona de recarga, plantean Patiño *et al.*, (2021) sobre esta unidad geológica.

• SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE SUBREGIÓN VALLE DE ABURRÁ

Información		Unidades hidrogeológicas identificadas	Unidades hidrogeológicas identificadas	Unidades hidrogeológicas identificadas
Ítem	Subítem	Acuífero Libre	Acuífero Semiconfinado	Acuífero Dunita de Medellín
Municipios asociados		Caldas, Itagüí, La Estrella, Sabaneta, Envigado, Medellín, Bello, Girardota, Copacabana, Barbosa	Medellín, Itagüí, Envigado, La Estrella, Sabaneta, Caldas	Medellín, Bello y Envigado
Geometría	Geología	✓	✓	✓
	Registros de perforación	✓	✓	✗
	Geofísica	✓	✓	✗
	Correlación hidroestratigráfica	✓	✓	✗
Áreas, fuentes y magnitud de recarga	Análisis textural	✓	✓	✓
	Pruebas de infiltración	✓	~	✗
	Geomorfología	✓	✓	✓
	Análisis estructural	✓	✓	✓
	Balances hídricos	✓	✓	✓
Red de flujo	Inventario de puntos de agua	✓	✓	✗
	Red de monitoreo	✓	✓	✓
	Funías y SPRH	✓	~	~
	Usos del agua	✓	✓	✗
	Piezometría	✓	✗	✗
Propiedades hidráulicas	Pruebas de bombeo	✓	✓	✗
Calidad del recurso	Calidad	✓	✓	✓
	Hidrogeoquímica	✓	✓	✓
	Isotopía	✓	✓	✓
Vulnerabilidad	Vulnerabilidad	✓	✓	✓
Carga contaminante y riesgo	Carga contaminante y riesgo	✓	✓	✓
PMAA	PMAA	✓	✓	✓
Zonas de recarga	Delimitación	✓	✓	✓
	Calificación según su importancia	✓	✓	✓
	Metodología de calificación	✓	✓	✓
	Parámetros considerados para su delimitación	✓	✓	✓



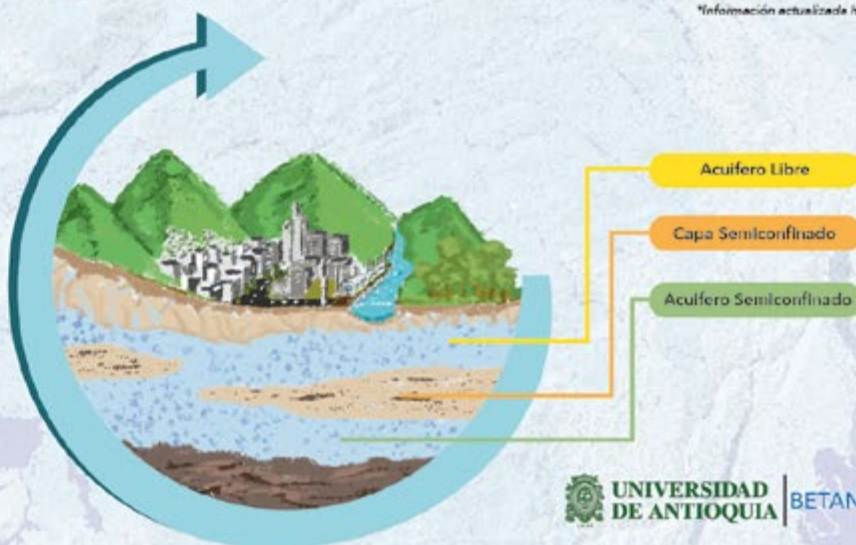
LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL VALLE DE ABURRÁ



Línea Metpeórica Local: $\delta^2H = 8,26\delta^{18}O + 12,8$

Características	Acuífero libre	Acuífero semiconfinado	Dunita de Medellín
Municipios asociados	Caldas, La Estrella, Envigado, Sabaneta, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa.	Caldas, La Estrella, Envigado, Sabaneta, Itagüí y Medellín.	Envigado, Medellín, Copacabana y Bello.
Geología	Depósitos aluviales y depósitos de vertiente, con edades Neógeno o Cuaternario.	Depósitos aluviales.	Dunita.
Extensión	238,6 km ²	77,3 km ²	59,7 km ²
Puntos de agua	Según expedientes en el AMVA: 695 son aljibes, 47 pozos, 12 manantiales, 4 galerías filtrantes, 2 lagos.	Industria.	1 aljibe y un manantial.
Uso	Doméstico: 43 captaciones; Industrial: 138; lavado de vehículos: 184; riego: 27; agrícola: 6; pecuario: 5; recreativo: 1; preservación de fauna y flora: 1; sin información: 12.	Industrial.	Uso doméstico.
Correlación estratigráfica	192 registros de perforaciones, 82 topografías y 72 SEV, 70 alcanzan el basamento del acuífero libre.	Superficie del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso. Podría tener espesores que superen los 200 m.	Geología de campo.
Balaceo	En términos generales se observa que para el año seco -el escenario más crítico para la recarga- los valores oscilan entre 7% y 50% de la precipitación. La magnitud total de recarga potencial se estima en 28,5 millones de m ³ /año.		
Áreas de recarga	Análisis textural: Pruebas de infiltración: Geomorfología: Análisis estructural: Según características del suelo así: Grava (5), Arena, Grava-arenosa (5), Arena fina, Arena-limosa (5), Limo-limo-arenoso, arcillo-arenoso (3), Arcilla (1). 5 conjeturas se asignaron las calificaciones 0-0,004 Impermeable (1), 0,004 a 1,52 lento (3), 1,52 a 5,08 Moderado (5), 5,08 a 50,8 Rápido (5), y >50,8 Muy rápido (5). De valle aluvial. Fallas regionales con direcciones predominantes: NS a NNW. Análisis estructural: actitud de la familia de diaclasas según perfil topográfico; densidad por metro lineal y apertura.		Diaclasas y karstificación.
Delimitación de Áreas de Recarga	Zona de recarga directa, en zonas urbanizadas se ha perdido la función de recarga.	Asociada a las rocas duras que estructuran al Valle. Predominan las zonas de recarga indirecta de importancia media; al Norte (Copacabana) y sur (Caldas) importancia baja. No disponible para esta unidad.	La zona de afloramiento corresponde a recarga directa.
Red de flujo	Piezometría: El flujo subterráneo sigue en términos generales el sentido de la pendiente; entre La Aguacatala hasta el Cerro Nubla las líneas de flujo subterráneo que tienen su origen en la vertiente oriental del valle trascienden al cauce del río Medellín para luego confluir con las líneas de flujo que provienen del occidente.		Se manifiesta un manantial que registra oscilaciones en su nivel.
Pruebas de bombeo	207 pruebas de bombeo. Transmividades entre 0,009 m ² /día y 1.160,0 m ² /día (1,7).	Solo una prueba: transmisividad de 195,5 m ² /día.	
Calidad	Monitoreo permanente aplicando índices de calidad que reportan variaciones temporales entre buena y mala para uso doméstico.	Solo un punto: conductividades eléctricas por encima de los 1500 micro S/cm y nitritos inferiores a 10 mg/L.	Un punto: Mg-Ca-HCO ₃ a Mg-HCO ₃ .
Hidrogeoquímica e isotopía	Hidrogeoquímica: Hace las partes más altas del Valle, facies del tipo HCO ₃ -Ca-Mg; hacia el fondo del Valle se presentan mayor mineralización y facies de tipo HCO ₃ -Na-Mg. Todo en correspondencia con el sentido del flujo. Isotopía: 9 estaciones de flujo. Para el caso del agua subterránea se cuenta con información de 231 datos y 34 datos de agua superficial.	Un punto (Leónisa) y una facies del tipo Cl-Na.	
Red de monitoreo	A octubre de 2019 existe confirmada por 119 puntos de agua entre aljibes (76), pozos (14), piezómetros (11), manantiales (8), totalizadores de aguas lluvias (5) y puntos de agua superficial (5). Se hace seguimiento: piezométrico, hidrogeoquímico, de calidad e isotópico.	Muestras de 50 y 140 para este nivel acuífero, que arrojan resultados de edades de aguas actuales hasta 9526 años.	Un punto.
Oferta y Demanda	Sector norte: Volumen de recarga: 18.759.510 m ³ /año. Capacidad de almacenamiento: 54.799.500 m ³ . Sector Centro: Volumen de recarga: 12.344.380 m ³ . Capacidad de almacenamiento: 151.527.33 m ³ . Sector sur: Volumen de recarga: 4.981.929 m ³ /año. Capacidad de almacenamiento: 3.565.975 m ³ . Demanda por 2016: 7.357.875 m ³ . Índice de estrés de 29% que corresponde a una demanda que oscila entre baja y considerable.		
Medidas de Gestión	Medidas de Manejo Zonas de Recarga: Vulnerabilidad: Según COD: Media en los depósitos de vertiente, alta donde el acuífero se encuentra compuesto principalmente por los depósitos aluviales y extrema, asociada a depósitos aluvionómicos de la quebrada Santa María. Carga contaminante y riesgo: Se identificaron amenazas asociadas al desarrollo urbano como: mal manejo de aguas residuales, mal manejo de residuos sólidos, estado de los tanques y manejo de combustibles, la operación inadecuada de los cementerios y el mantenimiento de zonas verdes; localmente actividades agrícolas y minería. Vulnerabilidad humana: Poca dependencia del agua subterránea por parte de la población. Fugas y ERI: 252 registros en el SRRH del IDEAM. Plan de Manejo Ambiental: Formulado y adoptado por Comisión Conjunta. Se formularon 17 proyectos: se dio inicio a la ejecución.	Según COD se registra un grado de vulnerabilidad bajo.	Grado de vulnerabilidad alto.

*Información actualizada hasta el año 2020



• NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES ACUÍFERAS EN EL VALLE DE ABURRÁ.

Parámetro / Unidad identificada	Acuífero libre	Acuífero semiconfinado	Acuífero dunita de Medellín
¿Se tiene definida la geometría del acuífero?	3	1	1
¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)?	3	1	1
¿Se cuenta con modelo hidrogeológico conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos?	3	1	1
¿Cuenta con monitoreo sistemático?	3	1	1
¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca?	3	1	1
¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuífero?	3	3	3
Calificación	18 = Suficiente	8 = Insuficiente	8 = Insuficiente

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. A través de los diálogos adelantados durante los procesos participativos de formulación y ejecución del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero, se han recogido percepciones en relación con este bien natural.

La naturaleza y distribución de acuíferos y acuitardos en un sistema geológico están controlados por la litología, estratigrafía y estructuras de los depósitos y las formaciones geológicas. La litología es

la estructura física, incluyendo la composición mineral, el tamaño de granos, el empaquetamiento de los granos, de los sedimentos y rocas que constituyen el sistema geológico. La estratigrafía describe la geometría y las relaciones de edad entre varios lentes, capas y formaciones en los sistemas de origen sedimentario. Las características estructurales tales como clivajes, fracturas, pliegues y fallas son las propiedades geométricas del sistema geológico producidas por deformación después de la depositación o cristalización. En los depósitos no consolidados, la litología y la estratigrafía constituyen los controles más importantes. En el Valle de Aburrá se contó con cartografía geológica a escala 1:10.000 para efectuar este análisis.

Rocas duras

• ROCAS METAMÓRFICAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial Hidrogeológico
TrgLC	Gneis de La Ceja	Cuerpos aislados en Barbosa, Copacabana y Medellín	15,10	Para los gneis intrusivos se registra porosidad secundaria por diaclasamiento con permeabilidad media. De acuerdo con esto su potencial hidrogeológico como acuífero sería bajo. Los gneises, propiamente también poseen porosidad secundaria por diaclasamiento con una permeabilidad media a baja. Su potencial hidrogeológico sería bajo.
Pznf	Gneis milinitico de Sajonia feldespático y aluminico	Cuerpos alargados en sentido SN en Envigado, Medellín y Bello	9,01	
Pgnp	Granito Gneisico de Palmitas	Medellín	9,04	
PzagC	Anfibolita granatífera de Caldas	Caldas	3,43	Las rocas tipo anfibolita están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria, la permeabilidad es media. En conjunto su potencial acuífero es bajo.
Pzam	Anfibolita del Alto de Minas	Caldas	22,14	
Pram	Anfibolitas de Medellín	Envigado, Medellín, Bello, Copacabana y Girardota	101,82	
TreAB	Esquistos Anfibólicos de Baldías	Bello	5,79	Las rocas tipo esquisto están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria, no obstante la permeabilidad sería media. En conjunto su potencial acuífero es bajo.
Pzes	Esquistos cuarzo cerisiticos	Bello, Medellín y Barbosa.	84,92	
PzeC	Esquistos de Caldas	La Estrella y Caldas	14,14	
TRmPP	Migmatitas de Puente Pelaez	Caldas, Sabaneta, Envigado y Medellín.	41,23	Presenta porosidad secundaria por diaclasamiento y una permeabilidad media. Potencial acuífero de condición baja.
Jml	Milonita de La Iguañá	Medellín.	2,04	Presenta porosidad secundaria por diaclasamiento y una permeabilidad baja.
JkmbP	Metabasitas del Picacho	Bello y Medellín	12,84	Potencial acuífero de condición muy baja.
TReC	Esquistos de Cajamarca	Caldas, Envigado, Sabaneta y La Estrella	36,8	Presenta porosidad secundaria por diaclasamiento y una permeabilidad baja.
Pbsd	Rocas de muy bajo grado de metamorfismo	Caldas	0,01	Potencial acuífero de condición muy baja.

• ROCAS ÍGNEAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial Hidrogeológico
Ksta	Batolito antioqueño	Barbosa, Girardota y Copacabana	207,23	La porosidad secundaria por diaclasamiento, estaría relacionada con las fallas que afectan este cuerpo ígneo en sentido NS, NW y eventualmente EW. La cantidad de puntos en los que se han registrado diaclasa, según registros cartográficos 1:100.000, determinan una permeabilidad muy baja. Y así, un potencial acuífero muy bajo. El saprolito meteorizado podría poseer un potencial acuífero medio.
Kida	Stock de Altavista	Medellín e Itaguí	79,17	
KgSD	Stock de San Diego	Medellín	6,20	
Trga	Stock de Amagá	Caldas	12,44	
KcdE	Stock de Las Estancias	Medellín	98,0	
KcdMI	Stock de Medialuna	Medellín	3,29	
Ksto	Batolito de Ovejas	Bello	54,95	Se registra en todos ellos porosidad secundaria por fracturamiento con pocos sitios en los que se han registrado diaclasa, lo que representaría una permeabilidad baja y así un bajo potencial hidrogeológico como acuífero.
Kigr	Gabro de Romeral	Medellín y La Estrella	14,40	
Kigc	Gabro de Copacabana	Copacabana	1,05	
Kium	Dunita de Medellín	Medellín, Envigado y Bello. Remanente en Caldas	59,70	Su condición de porosidad secundaria relacionada a fracturamiento y posterior disolución hacen de esta unidad un pseudokarts, con permeabilidad muy alta y buen potencial como acuífero.
JuR	Peridotita de Romeral	La Estrella y Medellín	1,46	Porosidad y permeabilidad secundaria muy bajas. Sin potencial hidrogeológico

Formaciones blandas

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial Hidrogeológico
Kivqg	Formación Quebrada Grande (Volcánico)	Caldas, La Estrella y Medellín	88,28	Si bien tiene porosidad primaria, en general los productos de meteorización son de naturaleza arcillosa, es decir que tiene una baja permeabilidad y no posee potencial acuífero.
Qal	Depositos aluviales	En todos los municipios	53,06	
Qt	Terrazas aluviales	En todos los municipios	16,98	
Qd	Depositos de vertiente	En todos los municipios	7,30	
NFI	Depósitos de flujos de escombros	En todos los municipios	190,37	
QII	Llenos antropicos	En todos los municipios	3,68	

PERCEPCIONES



VALLE DE ABURRÁ

Extensión 1.165 km²

Constituida administrativamente como un Área Metropolitana con más de 3,7 millones de habitantes



Actividades económicas más importantes



INDUSTRIA
MANUFACTURERA



SERVICIOS
FINANCIEROS



SERVICIOS
INMOBILIARIOS

En esta región, hoy fundamentalmente urbana, el agua subterránea está ligado a la historia del poblamiento del valle, tuvo un papel preponderante en su desarrollo industrial y continúa siendo fuente de abastecimiento para actividades de servicios. Hoy sin embargo, las aguas subterráneas no hacen parte del imaginario colectivo llegando a confundirse, incluso, con las aguas residuales.

A la generación de una cultura del agua subterránea que retorne el valor a este precioso bien, ha contribuido el trabajo impulsado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La existencia de una red de monitoreo de aguas subterráneas, desde 2010, la formulación participativa del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero, el ejercicio de Consulta Previa con la Comunidad Afrodescendiente de San Andrés, en Girardota; han sido actividades que han propiciado un diálogo de saberes que pone en escena el mundo de las aguas subterráneas en la región.

No obstante la presión de la urbanización amenaza la extinción del acuífero si no se implementen efectivas medidas para la protección de las zonas de recarga.

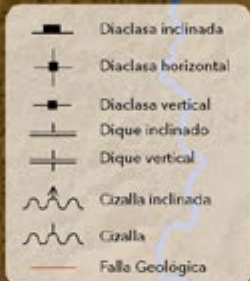


"Yo creo en la importancia de venir creando una cultura en el manejo del agua; hay que sensibilizar y educar a las conciencias de la gente para que le den importancia al agua como realmente lo merece".
Octavio Vásquez Montoya (Participante PMAA del Valle de Aburrá)



VALLE DE ABURRÁ

GEOLOGÍA



SEDIMENTARIAS	IGNEAS	METAMÓRFICAS
Quaternario Qr Qa Qd, Qd, Qd, Qd Qd Qd Qd NFI	Pgnp Kta Kta KgSD KdE KdML Kum Kgr Kvsg Kda KgC JUR TRga	Jnt JmP JKmS TRaM TRgC TRaB TRaC TRvPP Pzms Pze PZaM PZagC PzeC PEgr
Tenazas aluviales Aluviones recientes Depósitos de vertiente Depósitos de deslizamiento Llanos Aluviales Depósitos de Flujos de Escombros	Granito basáltico de Fombia Batolito Antioqueño Batolito de Ovejas Stock de San Diego Stock de Las Estrellas Stock de Medellín Damita de Medellín Gabro de Romeral Vulcanitas del Complejo Oasbradagrande Stock de Altavista Gabro de Copacabana Peridotita de Romeral Stock de Anaga	Metasomático de La Iguala Metasomático del Pícaro Neis de Sajonia Antibolitas de Medellín Neis de La Ceja Esquistos Antioqueños de Bellos Esquistos de Cajamarca Migmatitas de puente Palaz Metasedimentarias de Sisla Complejo Cajamarca: Esquistos cuarzo sericiticos Antibolitas del Alto de Minas Antibolita granatífera de Caldas Esquistos de Caldas Granulitos y Migmatitas de El Retiro

OCCIDENTE

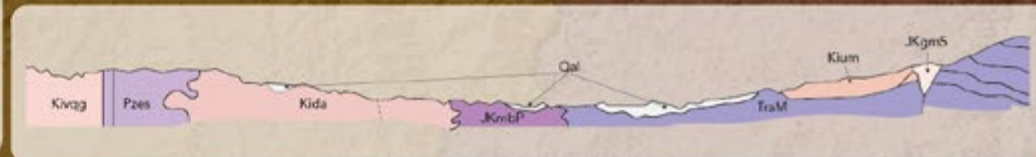
NORTE

ORIENTE

SUROESTE

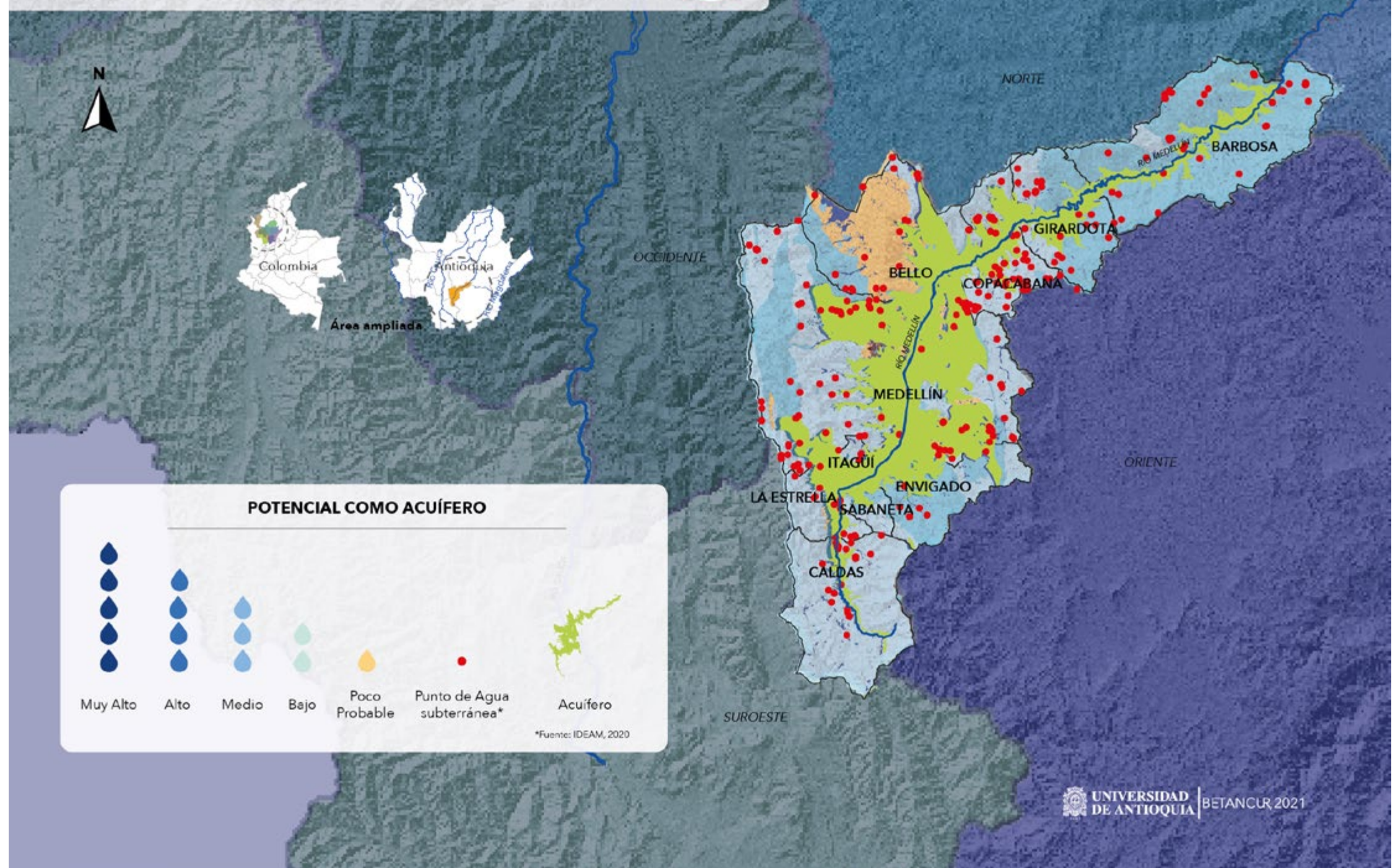
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCLUR 2021

Adaptado de cartografía 1:100.000 del S.G.C



VALLE DE ABURRÁ

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA





SUBREGIÓN

ORIENTE DE ANTIOQUIA

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

La subregión Oriente de Antioquia tiene una extensión territorial de 7.021 km², que representa el 11,2 % del área total del departamento y está dividida en las siguientes zonas biogeográficas: i) Valle de San Nicolás que está conformada por los municipios de El Carmen de Viboral, Rionegro, La Ceja del Tambo, La Unión, El Retiro, Guarne, Marinilla, El Santuario y San Vicente Ferrer; ii) Embalses, integrada por los municipios de El Peñol, Guatapé, Granada, Concepción, Alejandría, San Carlos y San Rafael; iii) Bosques, de la que hacen parte los municipios de San Francisco, San Luis y Cocorná; y iv) Páramo, conformada por Sonsón, Argelia, Nariño y Abejorral (FAO y ADR, 2019).

Durante el 2016, el Oriente antioqueño se constituyó en la segunda economía más importante del departamento con una participación en la producción departamental del 9,6 %, después del Valle de Aburrá, con el 66,20 %. La producción de la subregión duplica en valor la del Urabá y triplica la del Suroeste; su infraestructura de servicios, vías y transporte le otorga competitividad en los ámbitos regional y nacional. El Oriente es la subregión que ha logrado generar una mejor conexión con la dinámica económica del Valle de Aburrá, realidad que ha redundado en una mayor capacidad de generación de valor a partir del desarrollo de servicios de apoyo a la producción y desarrollo inmobiliario (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

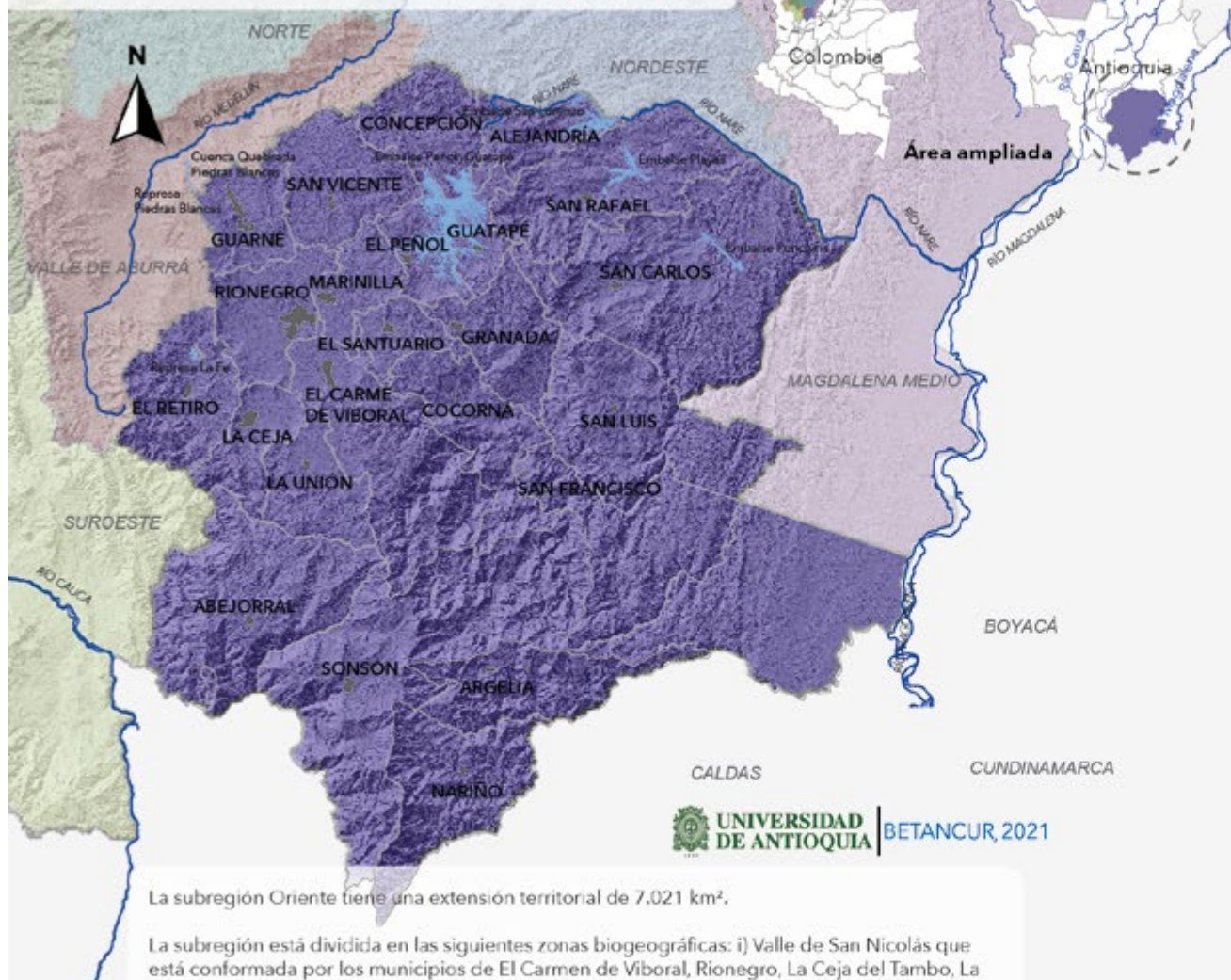
Las actividades económicas más importantes de la subregión son la industria, el comercio, la explotación de hatos leche-

ros, la agricultura y la floricultura. Las formas de producción tecnificadas corresponden a los cultivos y producción pecuaria de la zona del altiplano o Valle de San Nicolás, con cultivos de flores, frijol y hortalizas, que utilizan la mecanización del suelo (tractor) y algunos sistemas de riego y cultivos bajo condiciones protegidas. La zona de embalses, por sus características biofísicas y riqueza hídrica, tiene como principal actividad económica la generación de energía y el establecimiento de cultivos de caña, café, cacao, aguacate y frijol arbustivo principalmente. La zona de páramo produce café, caña, plátano, aguacate y ganadería tipo leche y doble propósito (FAO & ADR, 2019).

La subregión del Oriente cuenta con minería de productos no metálicos y metálicos, en la que se reportan las canteras de las empresas Argos, Río Claro y Nare. Los municipios de La Unión y El Carmen de Viboral son reconocidos por la explotación de arcilla, como materia prima de diversos productos y para producción de lozas como artesanía, estas últimas fabricadas en el Carmen de Viboral (FAO & ADR, 2019).

La Subregión posee numerosos ríos en su territorio: Rionegro, Nare, Samaná Norte, Samaná Sur, Arma, Porce, Claro-Cocorná Sur, los cuales son aprovechados en un sistema interconectado de embalses para la generación hidroeléctrica (El Peñol-Guatapé, Santa Rita, San Lorenzo, Jaguas, Punchiná y San Carlos), que alcanzó a generar el 23 % de la energía hidroeléctrica del país (Gobernación de Antioquia, 2009).

ORIENTE POBLACIÓN

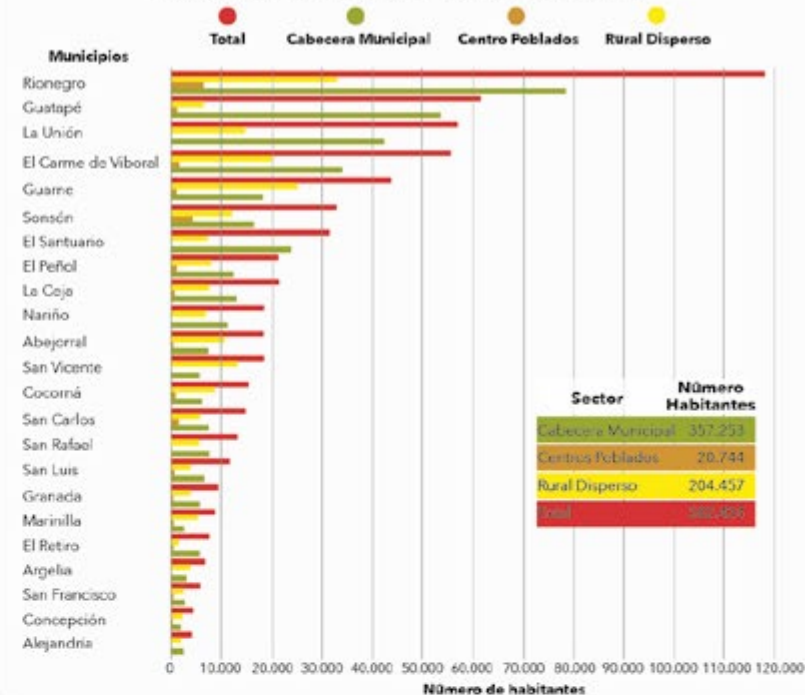


La subregión Oriente tiene una extensión territorial de 7.021 km².

La subregión está dividida en las siguientes zonas biogeográficas: i) Valle de San Nicolás que está conformada por los municipios de El Carmen de Viboral, Rionegro, La Ceja del Tambo, La Unión, El Retiro, Guarne, Marinilla, El Santuario y San Vicente Ferrer; ii) Embalses, integrada por los municipios de El Peñol, Guatapé, Granada, Concepción, Alejandría, San Carlos y San Rafael; iii) Bosques, de la que hacen parte los municipios de San Francisco, San Luis y Cocorná; y iv) Páramo, conformada por Sonson, Argelia, Nariño y Abejorral.

Las actividades económicas más importantes de la subregión son la industria, el comercio, la explotación de hatos lecheros, la agricultura y la floricultura. Durante el 2016, la subregión Oriente se constituyó en la segunda economía más importante del departamento. El Oriente es la subregión que ha logrado generar una mejor conexión con la dinámica económica del Valle de Aburrá, realidad que ha redundado en una mayor capacidad de generación de valor a partir del desarrollo de servicios de apoyo a la producción y desarrollo inmobiliario.

POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

POBLACIÓN

Para 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda –CNPV–, la población total de la subregión ascendía a 582.424 habitantes, que conformaban 190.586 hogares distribuidos en 184.748 viviendas, con una densidad poblacional de 83 hab/km². Siendo Rionegro con 116.400 habitantes, La Ceja con 59.386 habitantes, Marinilla con 55.230 habitantes y El Carmen de Vibora con 53.949 habitantes, los municipios con mayor población total. Lo anterior permite evidenciar que es en la zona Valle de San Nicolás donde se encuentra concentrada la mayor parte de la población de la subregión. Con respecto a la densidad poblacional, Rionegro (594 hab/km²), Marinilla (480,8 hab/km²) y La Ceja (447,5 hab/km²) tienen los mayores valores, mientras que San Francisco (15,1 hab/km²), Concepción (19,5 hab/km²) y San Carlos (20,2 hab/km²), son los que registran las cifras más bajas (DANE, 2018).

Para el 2018, el 61,3% (357.253 habitantes) de la población de la subregión se encontraba en las cabeceras urbanas, el 3,6% en los centros poblados y el 35,1% (204.457 habitantes) restante en el sector rural disperso. Aunque el mayor porcentaje de la población se localizaba en las cabeceras urbanas, no es una tendencia generalizada, si bien municipios como La Ceja, El Santuario, Guatapé y Marinilla presentaban un grado de urbanización superior al 70% en los municipios de Nariño y San Vicente de Ferrer se daba un claro predominio de la población rural, mayor al 60% del total (DANE, 2018).

En relación a la población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, sumaba 2.852 habitantes, que corresponde al 0,5% del total de la población, siendo los indígenas el grupo étnico con mayor representa-

ción (332 personas). Sin embargo, no se registran resguardos indígenas ni títulos colectivos de Consejos Comunitarios.

ACCESO AL AGUA

Según los datos CNPV de 2018, el servicio de acueducto en las cabeceras municipales presenta una cobertura por encima del 90%. En el sector rural, aunque varios municipios presentaban coberturas del 80% o mayores, en especial los municipios localizados en la zona del Valle de San Nicolás, se registran casos como Concepción, San Luis y Nariño, que no superan el 20%.

Según el Anuario Estadístico de Antioquia 2017, la cobertura del acueducto y agua potable está por encima del 98% en casi todas las cabeceras municipales, excepto en Nariño y Argelia donde es cero. En las zonas rurales, esta cobertura disminuye notablemente, alcanzando a lo sumo el 50% y siendo cero en Abejorral, Argelia, Granada, San Francisco, San Luis y San Rafael (Gobernación de Antioquia, 2018). Bajo este panorama, el riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano se incrementa en el sector rural.

En el sector rural las coberturas de alcantarillado, según el CNPV 2018, estaban por debajo del 40%, con municipios donde estas no superaban el 5%, como: Alejandría, Argelia, El Peñol, San Vicente de Ferrer, San Rafael, Concepción y Cocorná. Por su parte, las coberturas del alcantarillado en las cabeceras urbanas oscilaban entre el 86% y 100%, siendo la Unión el municipio con la mayor cobertura con el 99,7% y Argelia con el 86%, el de menor cobertura.

CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población reflejada en las Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, los municipios Argelia, Cocorná, Nariño y San Francisco presentan condiciones de pobreza por encima del promedio departamental y nacional; adicionalmente San Francisco presentaba condiciones de miseria por encima de ambos promedios. San Francisco es el municipio de la subregión con la mayor proporción de población en condiciones de pobreza y miseria, mientras que la Ceja presenta el menor porcentaje.

El Índice de Pobreza Multidimensional —IPM—, estimado con los datos del CNPV 2018, reflejaba una situación más crítica que la presentaba el NBI, en este caso, la mayoría de los municipios (15) tenían valores superiores a los promedios departamental y nacional, con San Francisco y Argelia como los municipios con los mayores índices de pobreza. Rionegro, El Retiro, Guatapé y La Ceja registran los menores porcentajes.

En general, los municipios que presentan mejores condiciones de vida, son aquellos que concentran una mayor población en las cabeceras municipales, especialmente los que se localizan en el Valle de San Nicolás, ya que en estos hay un mayor desarrollo de actividades económicas que generan empleo y una mejor cobertura de servicios públicos domiciliarios. Igualmente, es notorio en la subregión la brecha que se presenta entre los municipios más alejados del Valle de Aburrá, y entre las cabeceras urbanas y las zonas rurales, donde las condiciones de calidad de vida son menos favorables.

Otro factor que cabe mencionar tiene que ver con el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir y que para los municipios San Francisco, Nariño, Abejorral y Cocorná supera el 10%.

ORIENTE

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable - IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Abejorral	88,0	37,0	62,5
Alejandro	61,0	19,0	40,0
Argelia	66,0	32,0	49,0
El Carmen de Viboral	7,0	7,0	7,0
Cocorná	55,0	24,0	39,5
Concepción	72,0	10,0	41,0
Granada	96,0	22,0	59,0
Guarne	5,0	5,0	5,0
Guatapé	34,0	12,0	23,0
La Ceja	23,0	1,0	12,0
La Unión	48,0	1,0	24,5
Marinilla	8,0	8,0	8,0
Nariño	33,0	10,0	21,5
El Peñol	3,0	3,0	3,0
El Retiro	50,0	17,0	33,5
Rionegro	2,0	2,0	2,0
San Carlos	19,0	2,0	10,5
San Francisco	87,0	25,0	56,0
San Rafael	89,0	21,0	55,0
San Luis	97,0	1,0	49,0
San Vicente	6,0	0,0	3,0
El Santuario	44,0	1,0	22,5
Sonsón	56,0	19,0	37,5

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

IRCA	Nivel de Riesgo
80,1 - 100	Inhabilitado
35,1 - 80	Alto
14,5 - 35	Medio
5,1 - 14	Bajo
0 - 5	No Riesgo

Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua - IRABA 2017

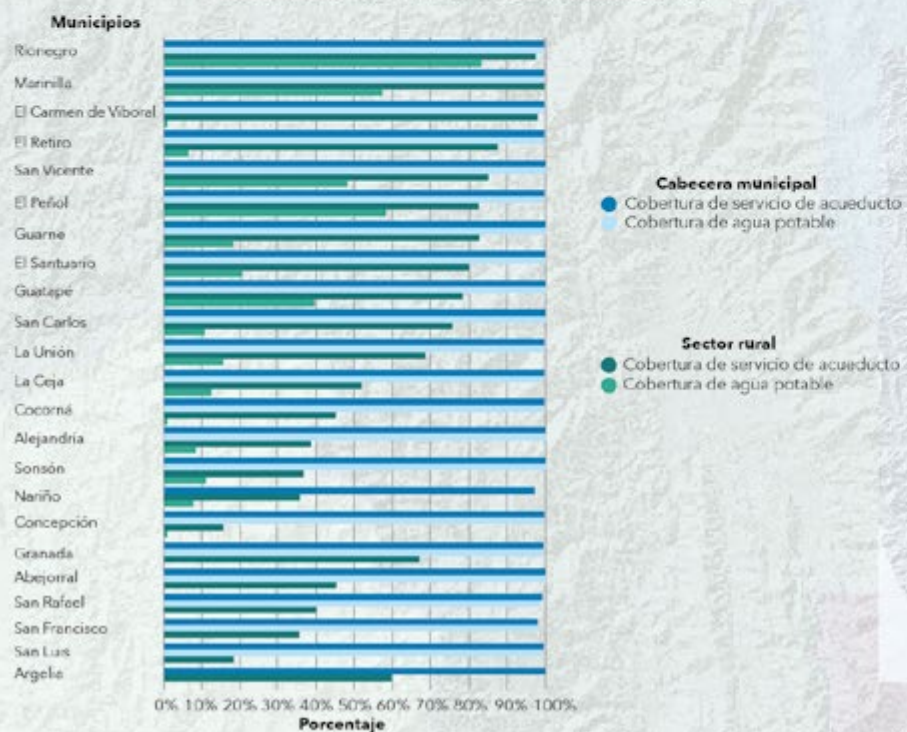
Municipios	Urbana	Rural	Total
Abejorral	43,2	71,2	44,4
Alejandro	25,0	25,2	25,1
Argelia	73,5	67,6	70,5
El Carmen de Viboral	29,1	2,7	15,9
Cocorná	27,9	33,2	30,5
Concepción	29,8	33,8	31,8
Granada	89,2	27,9	58,5
Guarne	27,6	30,6	29,1
Guatapé	57,4	12,2	34,8
La Ceja	58,2	1,3	29,7
La Unión	27,1	57,1	42,1
Marinilla	47,2	10,0	28,6
Nariño	61,5	59,6	60,5
El Peñol	29,5	3,3	16,4
El Retiro	47,8	19,1	33,4
Rionegro	31,1	1,3	16,2
San Carlos	44,3	35,9	40,1
San Francisco	29,5	35,3	32,4
San Luis	86,5	25,7	56,1
San Rafael	80,7	44,2	62,4
San Vicente	25,9	1,3	13,6
El Santuario	54,1	19,0	36,5
Sonsón	58,8	19,0	38,9

El IRABA, la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

IRABA	Nivel de Riesgo
70,1 - 100	Muy Alto
40,1 - 70	Alto
25,1 - 40	Medio
10,1 - 25	Bajo
0 - 10	No Riesgo

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019

SERVICIO DE ACUEDUCTO Y AGUA POTABLE

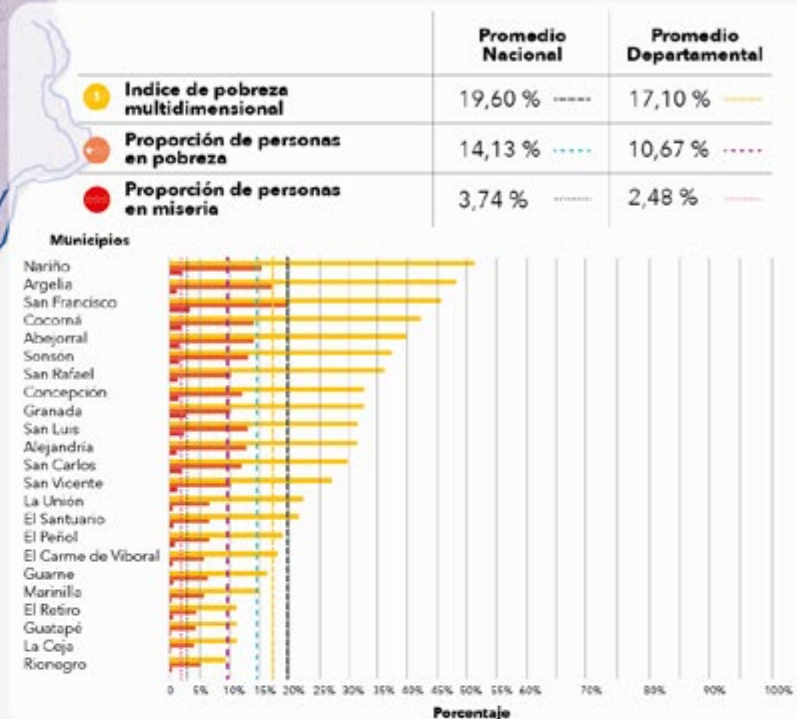
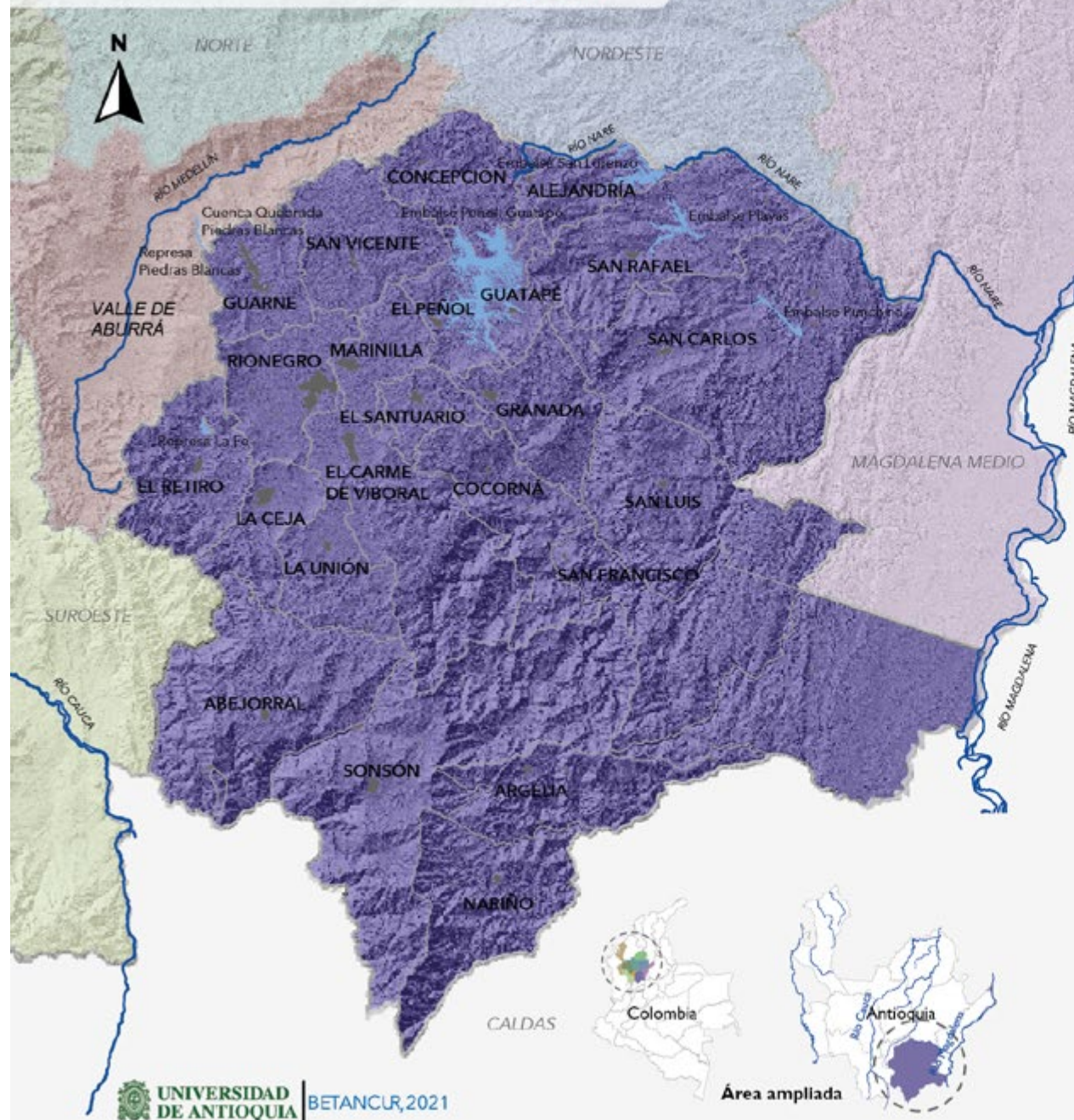


Fuente: DANE, Censo Nacional, 2018 y Anuario Estadístico de Antioquia, 2017



ORIENTE

Calidad de Vida



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
San Francisco	14,58%	18,91%	16,94%
Nariño	8,92%	15,20%	13,17%
Cocorná	7,55%	12,17%	10,37%
Abejorral	8,76%	11,10%	10,15%
Argelia	7,55%	12,00%	9,98%
San Rafael	5,90%	12,37%	8,64%
Alejandría	6,22%	12,06%	8,63%
San Carlos	7,671%	9,46%	8,58%
Granada	7,13%	9,58%	8,17%
San Luis	6,48%	9,97%	7,88%
Sonsón	5,43%	10,26%	7,75%
Concepción	5,24%	9,49%	7,56%
San Vicente	2,81%	7,80%	6,33%
La Unión	3,58%	6,99%	4,89%
El Carme de Viboral	3,08%	7,23%	4,65%
El Santuario	3,79%	6,73%	4,46%
El Peñol	1,86%	6,59%	3,72%
Guarne	1,61%	4,74%	3,45%
El Retiro	2,22%	4,50%	3,14%
Marinilla	1,58%	5,19%	2,71%
La Ceja	4,76%	2,06%	2,54%
Guatapé	1,67%	4,24%	2,35%
Rionegro	1,39%	3,33%	2,04%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Para evaluar la oferta hídrica superficial se utilizaron el Índice de Aridez —IA— y el Índice de Regulación Hídrica —IRH—. Según los resultados del ENA 2014 (IDEAM, 2015), en la subregión Oriente de Antioquia el IA registra altos excedentes de agua en la zona occidental del territorio, y moderados entre los municipios de Rionegro, Guarne y San Vicente. Según los resultados de los Planes de Ordenamiento y Cuencas Hidrográficas —POMCAs— de los ríos Negro (2308-01), Nare (2308-04), Samaná Norte (2308-03) y Samaná Sur (2305-01), las cuencas abastecedoras de los acueductos de la subregión presentan altos excedentes de agua. Por su parte, el IRH es alto para toda la subregión, indicando alta capacidad del sistema hídrico para mantener su régimen de caudales.

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial a través de las diferentes intervenciones antrópicas se determinan mediante los índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

La oferta hídrica total de la subregión de Oriente se estima en 12,24 km³/año que corresponde a 19.855 m³ anuales por habitante. Así mismo se estima que luego de aplicar una reducción por calidad y estiaje,

la disponibilidad es del orden de 9.927 m³/habitante/año (Cornare, 2016 citado en FAO y ADR, 2019). Según el IUA estimado en el ENA 2018, sobre esta oferta hídrica superficial

se hace una presión moderada en el año medio, en la mayor parte del territorio de la subregión, que pasa a alta en el año seco, presentándose la condición más crítica en el municipio de San Vicente, al noroccidente de la subregión. Los POMCAs de las cuencas hidrográficas de los ríos Negro (2308-01), Nare (2308-04), Samaná Norte (2308-03) y Samaná Sur (2305-01) presentan para las cuencas abastecedoras una situación más crítica de presión, registrándose para la mayoría de las cuencas abastecedoras de acueducto de los municipios un IUA entre muy alto y alto para el año seco. Es de anotar que la mayor parte de la demanda se da en el sector de generación de energía eléctrica (78,1 % del total) (FAO y ADR, 2019).

El IACAL obtenido en el ENA 2018, para el periodo hidrológico medio, en la subregión del Oriente presenta niveles de alteración bajos al suroriente, moderado al suroccidente, alto en el centro del territorio, y muy altos en el extremo noroccidental, en jurisdicción de los municipios de San Vicente y Guarne. Estos valores se incrementan para el año seco, pasando al siguiente nivel en las zonas antes descritas. Lo anterior indica una alta presión sobre la calidad del recurso hídrico superficial debido a las actividades socioeconómicas, siendo los municipios más alejados del Valle de Aburrá, los que muestran una menor presión.

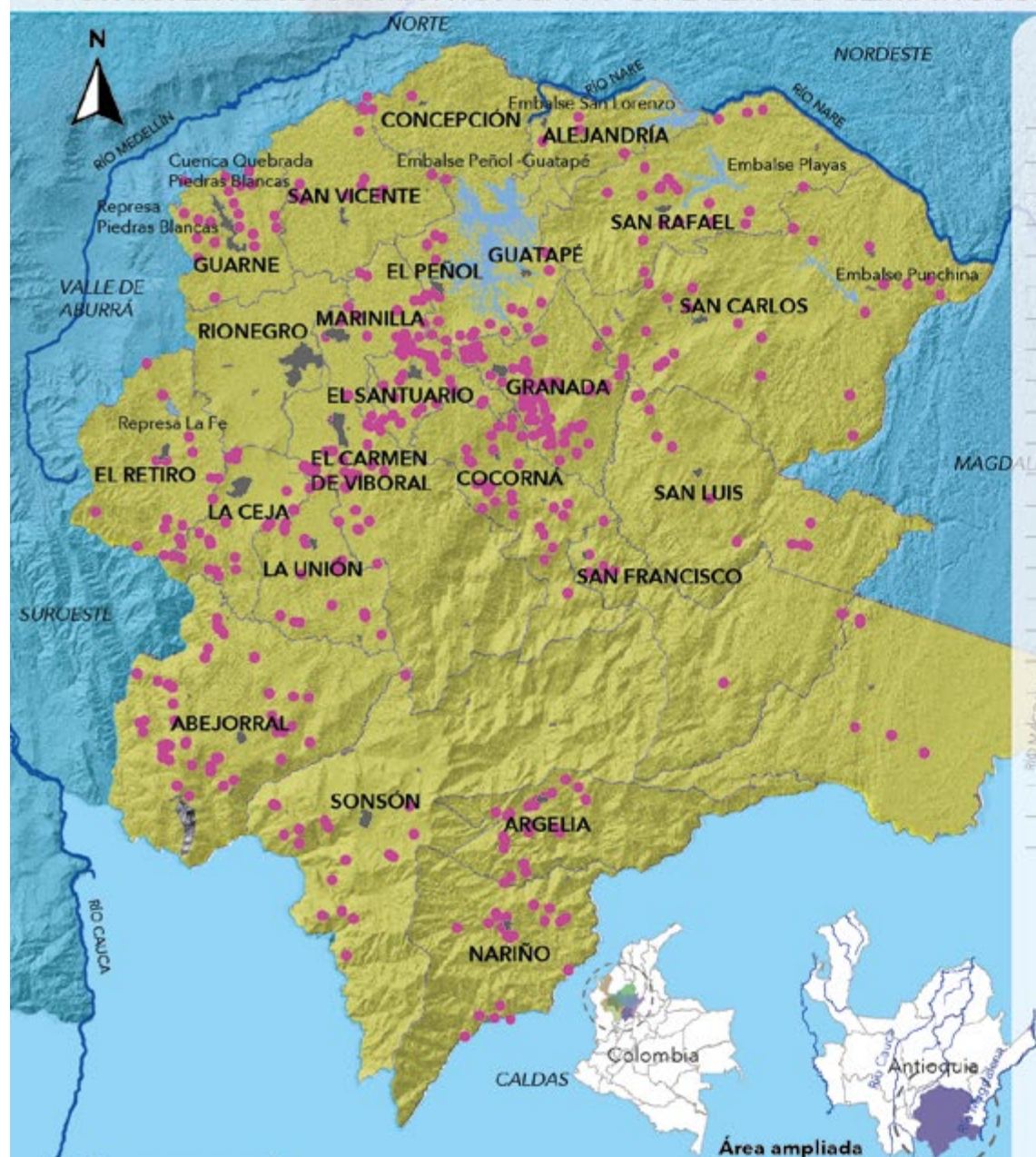
Riesgo al desabastecimiento de agua

Según los resultados obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019), el Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico —IVH—, en la subregión del Oriente, se incrementa de oriente a occidente para los dos escenarios hidrológicos, años medio y seco, presentándose en la categoría de medio en la mayor parte de la subregión, tanto para el año medio como para el seco. Lo anterior indica que se da un grado de fragilidad medio del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua.

Los resultados obtenidos para el Índice Riesgo Calidad del Agua Potable —IRCA—, que presenta la Gobernación de Antioquia en la Ficha Municipal, versión 2019, evidencia que los municipios de Abejorral, Granada, San Francisco, San Luis y San Rafael son inviables sanitariamente por la calidad de las aguas que abastece a su población rural. Por su parte, los municipios de Alejandría, Argelia, Cocorná, Concepción, La Unión, El Retiro, El Santuario y Sonsón presentan un riesgo alto. Con respecto a las cabeceras municipales, Argelia presenta un riesgo alto, Cocorná bajo, y el resto de municipios no presentan riesgo.

Por otro lado, según el Índice Riesgo de Abastecimiento Municipal —IRABA—, el municipio de Argelia presenta un riesgo muy alto al desabastecimiento en su cabecera urbana, y los municipios de Abejorral, Nariño y San Carlos un riesgo alto (Gobernación de Antioquia, 2019). En el sector rural, la situación se hace crítica, donde el riesgo varía de medio a muy alto, siendo los municipios de Abejorral, Alejandría, Argelia, Cocorná, Concepción, Granada, Nariño, San Francisco, San Luis y San Rafael, los que presentan riesgo muy alto.

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO, POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



< 0.5 MUY BAJA	> 0.5 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	> 50.0 MUY ALTO	4.5 a 5.0 MUY ALTA	MUY ALTA	0.43 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.45 BAJA	0.50 - 0.59 DEFICITARIO DE AGUA	20.01 a 50.0 ALTO	3.5 a 4.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0 ALTO
0.65 a 0.75 MODERADA	0.40 - 0.49 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 20.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MEDIA ALTA	MEDIA	0.19 - 0.24 MEDIO
0.75 a 0.85 ALTA	0.30 - 0.39 MODERADO	1.0 a 10.0 BAJO	1.5 a 2.5 MODERADA	BAJA	0.11 - 0.18 BAJO
> 0.95 MUY ALTA	> 0.20 - 0.29 DEFICITARIO A ALTAMENTE DEFICITARIO	> 0.01 MUY BAJO	1.0 a 1.5 BAJA	MUY BAJA	> 0.9 MUY BAJO
	0.20 - 0.19 DEFICITARIO DE AGUA				
	< 0.1% ALTOS EXCEDENTES DE AGUA				

Fuentes:
*IDEAM, 2019
**IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELERÍA, 2017

El Estudio Nacional del Agua –ENA– 2018, reporta problemas de desabastecimiento por reducción de caudales y déficit de precipitación en las microcuencas que abastecen los acueductos de los municipios de El Carmen, Cocorná, Concepción, La Ceja, La Unión, Nariño y San Francisco. En esta subregión, en 2017, no se reportaron problemas en la continuidad del servicio de acueducto, pero sí problemas en el estado y funcionamiento de dos o más componentes de la infraestructura del sistema de acueducto en los municipios de San Carlos, San Luis y San Rafael.

Como información complementaria se reportan, según el tercer Informe sobre Cambio Climático realizado por el IDEAM en 2017, los valores de riesgo para los municipios de la subregión, estando Rionegro, Sonsón y El Retiro en la situación más desfavorable, con los puestos 3, 9 y 12 en el departamento.

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; considerando los 125 municipios de Antioquia, entre los que registran mayor urgencia de atención están: Argelia (puesto 9), Nariño (Puesto 10) y Abejorral (Puesto 18); seguidos de San Rafael, San Francisco y Cocorná.

• PRIORIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA SUBREGIÓN ORIENTE DE ANTIOQUIA EN RELACIÓN A CONDICIONES DE RIESGO POR FACTORES HÍDRICOS

SUBREGIÓN ORIENTE		
Municipios	Sumatoria	Posición
Argelia	0.38844	9
Nariño	0.36884	10
Abejorral	0.31720	18
San Rafael	0.30016	26
San Francisco	0.28689	34
Cocorná	0.27589	41
San Carlos	0.26880	48
Concepción	0.26246	52
Granada	0.24544	60
San Luis	0.23740	62
Alejandro	0.23471	63
La Unión	0.21983	73
Guarne	0.20598	82
Marinilla	0.19900	90
San Vicente de Ferrer	0.19731	92
Sonsón	0.18409	99
Guatapé	0.18154	100
El Santuario	0.17641	103
El Retiro	0.17358	105
El Peñol	0.16453	114
La Ceja	0.15381	117
El Carmen de Viboral	0.14834	118
Rionegro	0.14775	119

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

En el Oriente antioqueño se han desarrollado diversos estudios sobre aguas subterráneas, entre los que se destacan aquellos que se derivan de convenios interadministrativos entre la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín) y la Escuela de Ingeniería de Antioquia —EIA— con la Corporación Autónoma Regional del Río Nare —CORNARE—. También se han llevado a cabo algunos estudios de impacto ambiental.

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN ORIENTE

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Actualización del modelo hidrogeológico conceptual en el Valle de San Nicolás.</i>	Grupo de investigación SITE, Universidad EIA.	CORNARE; EPM	2018
<i>Trabajo de grado: Definición de la red de flujo subterránea de la vega aluvial del río Negro, mediante modelado numérico.</i>	Garcés, D.	Universidad EIA	2018
<i>"Monitoreo de oferta y calidad del agua en las cuencas de la jurisdicción de Cornare [...] Fuentes subterráneas – Contrato 477-2016.</i>	Universidad Católica de Oriente.	CORNARE	2016
<i>Trabajo de grado: Modelo hidrogeológico conceptual de los Valles de San Nicolás y La Unión.</i>	Giraldo, W. E.	Universidad Nacional – Sede Medellín	2014
<i>EIA Conexión vial Aburrá-Oriente</i>	Concesión Túnel Aburrá-Oriente SA.	Gobernación de Antioquia	2003
<i>Sistema Hidrogeológico del altiplano de Rionegro y del Valle de la Unión en la Zona Central de Antioquia.</i>	Hoyos, F., Vélez, M. V., Múnera, J. C., & Arias, D. E.	Universidad Nacional – Sede Medellín	2001
<i>Evaluación hidrogeológica preliminar para los municipios de: El Retiro, La Ceja, Rionegro, El Carmen, Guarne y Marinilla.</i>	Universidad Nacional de Colombia.	CORNARE	1997

De acuerdo con la última actualización del Modelo Hidrogeológico Conceptual, en el Valle de San Nicolás se tienen identificadas tres unidades acuíferas: i) planicie aluvial, ii) terraza aluvial y iii) superficie de erosión del río Negro; estos están asociadas a los municipios de El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro y San Vicente (Universidad EIA, CORNARE, & Empresas Públicas de Medellín - EPM, 2018).

Del *Estudio de Impacto Ambiental* (EIA) del Túnel Aburrá-Oriente, se cuenta con la información hidrogeológica disponible en el área de influencia del proyecto que se extiende en los municipios del Valle de Aburrá, Guarne y Rionegro (Gobernación de Antioquia & SA, 2003).

• SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE SUBREGIÓN ORIENTE

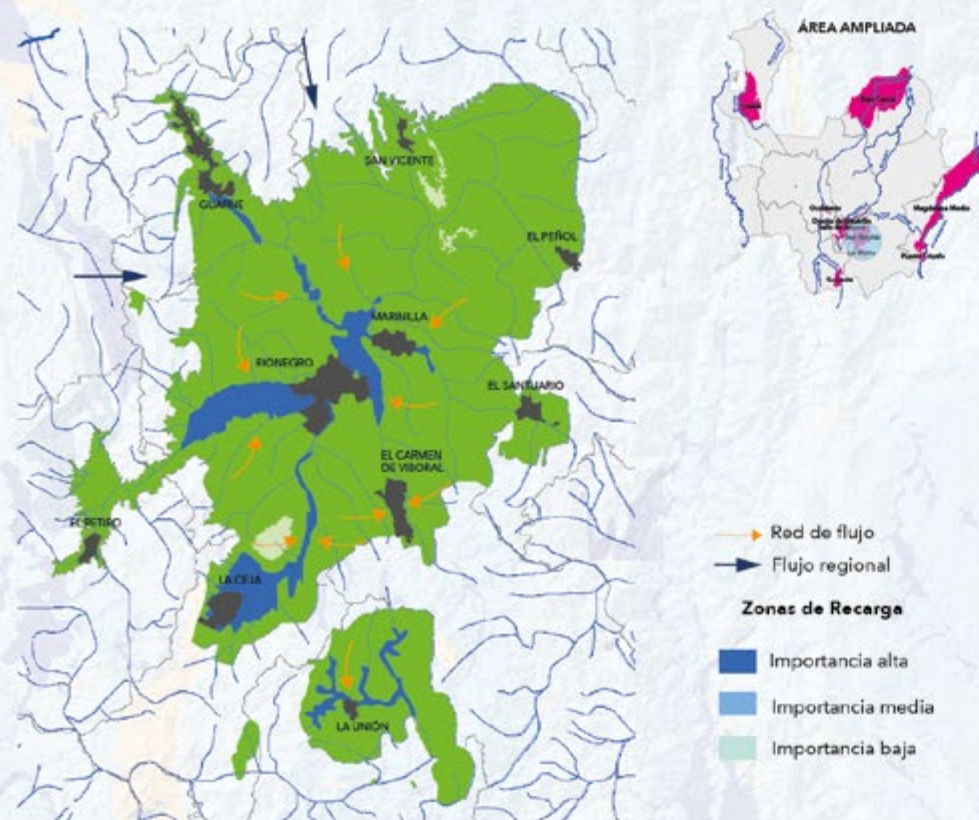
Información		Unidades hidrogeológicas identificadas
Ítem	Subítem	Acuífero de la planicie aluvial Acuífero de terraza aluvial Acuífero en superficie de erosión II de Río Negro
Municipios asociados		El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro, San Vicente
Geometría	Geología	✓
	Registros de perforación	✓
	Geofísica	✓
	Correlación hidroestratigráfica	✓
Áreas, fuentes y magnitud de recarga	Análisis textural	✓
	Pruebas de infiltración	✗
	Geomorfología	✓
	Análisis estructural	✓
Red de flujo	Balance hídrico	✓
	Inventario de puntos de agua	✓
	Red de monitoreo	~
	Funías y SIRH	✓
Propiedades hidráulicas	Usos del agua	✓
	Piezometría	✓
	Pruebas de bombeo	~
Calidad del recurso	Calidad	✓
	Hidrogeoquímica	✓
	Isotopía	✗
Vulnerabilidad		✗
Carga contaminante y riesgo		✗
PMAA		✗

Aplicando los criterios establecidos por el IDEAM (2013), para determinar el nivel de conocimiento de los sistemas hidrogeológicos de Colombia, se puede establecer que para los tres acuíferos identificados en la región existen limitaciones en relación con la realización de pruebas de infiltración, la existencia de una red de monitoreo sistemático, la información de propiedades hidráulicas procedentes de pruebas de bombeo, análisis isotópico, estudios de vulnerabilidad y de carga contaminante. Tampoco se ha llevado a cabo hasta el momento una formulación de PMAA. De acuerdo con esto se concluye que, para los tres acuíferos, el nivel de conocimiento es aceptable.

• NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES ACUÍFERAS SUBREGIÓN ORIENTE

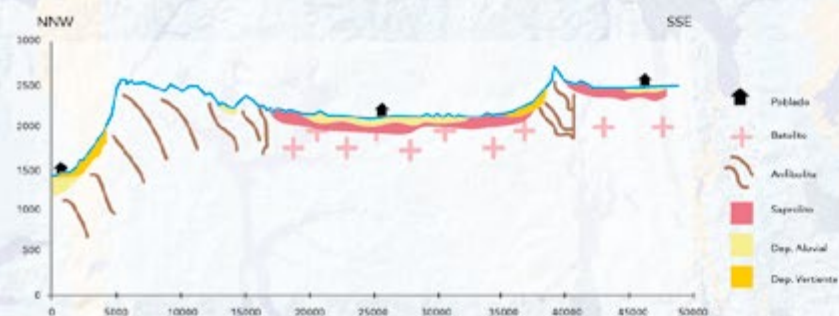
Parámetro / Unidad identificada	Acuíferos planicie aluvial / terraza aluvial / superficie de erosión II Río Negro
¿Se tiene definida la geometría del acuífero?	3
¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)?	2
¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos?	2
¿Cuenta con monitoreo sistemático?	1
¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca?	1
¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuífero?	1
Calificación	10 = Aceptable

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ORIENTE ANTIOQUEÑO



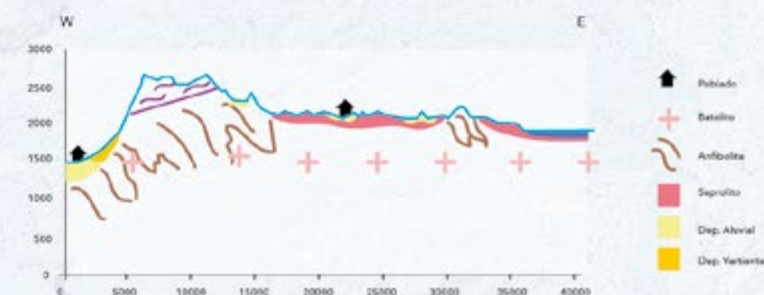
Características	Acuíferos San Nicolás - La Unión
Municipios asociados	Guane, San Vicente, Mariquilla, Ronago, El Carmen, La Ceja, El Retiro y La Unión.
Geología	Rocas cristalinas fracturadas: granitos del Baudío Antioqueño, serpentinitas, metasedimentos y anfibolitas; depósitos de vertiente, aluviales y una capa de ceniza volcánica que cubre toda la región.
Extensión	250 km ²
Puntos de agua	Según inventario de CORNARE, para el año 2014 se tenía registro 425 puntos de agua.
Usos	Se encuentra que las captaciones de aguas subterráneas son aprovechadas mayormente para riego (20%), lo siguen los usos domésticos (26%), industrial (23%), pecuario (16%), comercial (4%) y piscícola (1%).
Correlación estratigráfica	276 sondajes eléctricos, 19 registros de pozos, la localización de 164 afloramientos rocosos y 399 puntos de agua. Se definen cuatro unidades hidrogeológicas: acuíferos libres en aluviones (entre 45 y 55 m de espesor), Acuífero libre en suelos residuales (hasta 100 m de profundidad), acuíferos libres en rocas fracturadas y acuíferos confinados en rocas fracturadas.
Recarga	Balaceo hídrico: De acuerdo con los cálculos efectuados por el método de balance hídrico, la recarga potencial es del orden de 550 mm/año para el Valle de Ronago y 735 mm/año en el Valle de La Unión. Análisis textural: Se conocen características texturales de las formaciones superficiales: limo, arenas y gravas. Pruebas de infiltración: No se han realizado pruebas de infiltración. Geomorfología: Se han efectuado evaluaciones geomorfológicas en el Oriente. Análisis estructural: Se han evaluado las características de las principales fallas geológicas.
Áreas de recarga	Delimitación de Áreas de Recarga: Las unidades aluviales presentan recarga por infiltración directa de la precipitación local. Se presumen aportes laterales desde el Altiplano de La Unión y desde el altiplano de Las Palmas - Santa Elena - Piedras Blancas.
Red de flujo	Piezometría: Las superficies piezométricas, preliminares, con que se cuentan registran un flujo en el sentido de la pendiente topográfica, hacia las fuentes superficiales. Pruebas de bombeo: No se cuenta a la fecha con información acerca de pruebas de bombeo.
Hidrogeología e isotopía	Calidad: Para 24 análisis se encontró que la mayoría de las muestras evidenciaron una naturaleza ácida y poca turbiedad, se presenta contaminación por coliformas totales y/o fecales. Algunos lugares mostraron evidencias de contaminación en parámetros radon, sulfato, sodio, nitrato o hierro. Hay evidencias de fuentes salinas. Hidrogequímica: Para 24 análisis se tiene facies hidroquímicas de carácter mixto, algunas de tipo bicarbonatadas sodicas y bicarbonatadas calcicas. Dos de las muestras presentaron composición cloruro sodica y una presenta tendencia cloruro calcica. Isotopía: Sin evaluación.
Medios de Gestión	Red de monitoreo: No existe. Oferta - Demanda: No existen evaluaciones de oferta y demanda. La disponibilidad puede aproximarse, como primera medida a partir de un factor que se asocia a la recarga promedio anual. Medidas de Manejo Zonas de Recarga: Vulnerabilidad: No se ha evaluado vulnerabilidad, se considera que la conductividad hidráulica y la conexión con fuentes superficiales constituyen factores a considerar como elementos que hacen vulnerable al sistema subterráneo. Carga contaminante y riesgo: No disponible. Vulnerabilidad humana: No se ha evaluado. Fuentes y SRI: Se encuentran 45 captaciones registradas en el SRI. Plan de Manejo Ambiental: No se ha formulado un PMAA para el sistema hidrogeológico del Oriente antioqueño.

*Información actualizada hasta el año 2018



Perfil geológico de los Valles de Aburrá, San Nicolás y de La Unión en dirección NNW - SSE

FUENTE: GIRALDO, 2014)



Perfil geológico de los Valles de Aburrá, San Nicolás y la superficie de erosión de El Peñol - Guatapé

FUENTE: GIRALDO, 2014)

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. Mediante diálogos con profesionales de CORNARE, de algunas administraciones municipales y usuarios del agua subterránea, se han recogido percepciones en relación con este bien natural en el Oriente de Antioquia.

Retomando las características litológicas y estructurales se presenta a continuación la evaluación del carácter hidrogeológico que podrían tener las rocas duras –metamórficas e ígneas– y las formaciones blandas –rocas sedimentarias y depósitos detríticos– que tienen ocurrencia en la subregión Oriente de Antioquia.

Rocas duras

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Oa	Metasedimentitas de Aquitania	Oriente de Argelia, suroccidente de San Francisco y en Sonsón	126,1	Esta roca conserva la textura sedimentaria marcada por estratos inclinados y paralelos; registra diaclasamiento y cizalladura; esto sumado a la herencia de porosidad primaria le confieren condiciones de permeabilidad alta. En conjunto su potencial acuífero sería alto.
Pznf	Neis cuarzo feldespático y aluminico	San Carlos, San Luis, San Francisco, Sonsón y Argelia	245,12	Esta bien marcada su foliación, y localmente registran presencia de diaclasas que les imprimirían porosidad secundaria y permeabilidad media. Su potencial hidrogeológico sería bajo.
TrgLC	Neis de La Ceja	Guarne, Rionegro, El Retiro, San Vicente, Santuario y Marinilla	81,56	
Pza	Anfibolita	Cuerpos alineados en sentido NS se encuentran en: La Ceja, Abejorral, Sonsón, Argelia, Carmen de Viboral, Cocorná, San Francisco, San Luis	114,99	Las rocas tipo anfibolita tienen marcada una foliación inclinada a vertical, están afectadas por fallamiento y registran localmente efectos de cizallamiento, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria y una permeabilidad media a baja. En conjunto, su potencial acuífero es bajo.
Pram	Anfibolitas de Medellín	Se reconocen en el Oriente Cercano, El Peñol y San Vicente	254,40	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Trec	Cuarcitas (esquistos de Cajamarca), filita y cuarzo	El Retiro, Nariño	3,66	Estas unidades tienen porosidad secundaria adquirida por diaclasamiento y una permeabilidad media. En conjunto tendrían un potencial acuífero bajo.
Pzq	Cuarcitas	San Carlos, San Francisco, Sonsón, San Luis, dos franjas más entre Arrgelia y Nariño y entre Sonson, Cocorná y San Francisco	451,5	
Pzev	Esquistos actinolíticos y cloríticos	Abejorral, Sonsón, La Unión, El Carmen de Viboral y Cocorná	177,02	En las rocas tipo esquisto la foliación está bien marcada y definida, los cuerpos que afloran en la región están afectadas por fallamiento, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria y una permeabilidad media. En conjunto su potencial acuífero es bajo.
Pzes	Esquistos cuarzo serisíticos	La mayor extensión de estos se presenta en Abejorral, la Unión y El Carmen. Franjas menores se distinguen en Sonsón, San Vicente y Concepción, y entre San Luis y San Carlos.	976,25	
Pz(es+ev)	Esquistos intercalados	La Unión, Sonsón y Abejorral.	22,80	
TRmPP	Migmatitas de Puente Peláez y de El Retiro	El Retiro y La Ceja	263,59	El cuerpo está atravesado por varias fallas, en la parte central registra evidencias de diaclasamiento y al norte de El Retiro se presenta cizallamiento. Con estas condiciones se establece una porosidad secundaria permeabilidad importante localmente, por lo que su potencial acuífero de condición medio a bajo.
Pzm	Mármol	Sonsón, San Luis San Francisco, y San Carlos	26,81	Presentan estos mármoles porosidad secundaria por disolución a través de zonas de diaclasamiento previo, lo que les concede una permeabilidad muy alta y por lo tanto un alto potencial como acuífero.
Pbsd	Rocas de muy bajo grado de metamorfismo	Entre Santa Bárbara y Abejorral.	2,17	Si bien están demarcados sus límites por fallas, se considera que no tienen potencial acuífero.

• ROCAS ÍGNEAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pnia	Neis intrusivo de Abejorral	Abejorral	126,36	Los neis intrusivos tienen bien definida la orientación de los minerales columnares que los conforman, se registra porosidad secundaria por diaclasamiento y una permeabilidad media. La zona más destacada se encuentra en Abejorral. Su potencial hidrogeológico como acuífero sería bajo.
Pnim	Intrusivo Neísico del Alto de Minas	Abejorral	6,17	
Pnip	Neis intrusivo de Pantanillo	Abejorral	6,19	
Pniv	Gneis intrusivo de Río Verde	Sonsón y El Carmen de Viboral	12,86	
Pzin	Intrusivos neísicos sintectónicos	Argelia, Sonsón, San Francisco, San Luis, San Carlos y Cocorná	235,10	
Jts	Batolito de Sonson	Nariño, Argelia y Sonsón	705,10	Se registra diaclasado al oriente del municipio de Nariño, cerca al casco urbano. Está atravesado en sentido NE-por dos fallas. Considerando las diaclasas levantadas en la cartografía 1:100.00 y la extensión del Batolito en la subregión de Oriente la permeabilidad sería media y en los niveles someros podría alcanzar un potencial acuífero medio.
Ksta	Batolito antioqueño	San Luis, San Carlos, San Rafael, Granada, Guatapé, Alejandría, Concepción, El Peñol, Santuario, Cocorná, El Carmen de Viboral, Marinilla, San Vicente, Rionegro, Guarne.	2238,85	La porosidad secundaria por diaclasamiento, estaría relacionada con las fallas que afectan este cuerpo ígneo en sentido NS, NW y eventualmente EW. Según el diaclasamiento reportado en la cartografía 1:100.000 la permeabilidad sería muy baja, no obstante, los efectos de meteorización secundaria determinan en varias de sus facies estructura de gruss y así un potencial acuífero medio.
Kscma	Stock de Aquitania	San Francisco	41,45	Especialmente en el Stock de el alto del Buey, se registran evidencias de porosidad secundaria por diaclasamiento, lo que representaría una permeabilidad baja y, así, un bajo potencial hidrogeológico como acuífero.
Trah	Stock de la Honda	El Retiro	8,71	
Traq	Stock de la quebrada Liborina	Abejorral	2,47	
Ksgtm	Stock de tres mundos	Sonsón	10,03	
Trab	Stock del Buey	La Ceja, Abejorral	37,79	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Kstu	Cúpula de La Unión	La Unión, El Carmen de Viboral	67,24	Para este cuerpo ígneo, solo se han registrado datos de diaclasamiento en el sur. La meteorización de este cuerpo asociado al batolito antioqueño es de carácter arcilloso, es decir que tendría una permeabilidad y un potencial acuífero muy bajo.
Ksg	Gabro	El cuerpo más extenso se encuentra en Abejorral, fragmentos dispersos se han reconocido en todo el oriente.	21,51	Si bien registran algunas evidencias de diaclasamiento que le darían porosidad secundaria, la permeabilidad sería baja y su potencial acuífero bajo.
Jdse	Batolito de Segovia	San Carlos	8,56	La ausencia de diaclasas hace que este cuerpo ígneo no revista interés hidrogeológico como acuífero.
Kium	Dunita de Medellín	El Retiro y Rionegro	0,56	Su condición de porosidad secundaria relacionada a fracturamiento y posterior disolución hacen de esta unidad un pseudokarts, con permeabilidad muy alta y buen potencial como acuífero a escala regional.
Kiu	Ultramafitas de Romeral	Puerto Triunfo	1,65	Sin interés hidrogeológico en la región.
Ngpa	Rocas hipoabisales	Nariño	14,85	No registran, estos cuerpos, indicios de alteración significativa, razón por la cual se consideran no porosas y no permeables y, por lo tanto, sin interés hidrogeológico (acuífugo).
Ks	Serpentininitas	La Ceja y Abejorral	0,03	
Kia	Adamelitas	San Carlos, Sonsón	0.44	No revisten interés hidrogeológico
Kivqg	Miembro Volcánico de la formación Quebradagrande	Abejorral	19,07	Localmente con porosidad y permeabilidad secundarias por presencia de diaclasas, sin potencial acuífero.
Qto	Rocas piroclásticas	Sonsón	2,0	Las condiciones texturales de los depósitos piroclásticos refieren una porosidad primaria, de acuerdo con la descripción suministrada por el SGC, indicando intercalaciones de tobas y cenizas se asigna una permeabilidad media, esto podría representar un potencial acuífero medio.

• SEDIMENTITAS DE SEGOVIA

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial Hidrogeológico
Kiss	Sedimentitas de San Luis	San Francisco, Sonsón, San Luis	184,0	Conjugan las texturas de porosidad primaria a las que se suma porosidad secundaria por el diaclasamiento de las rocas compactadas. Con permeabilidad media. Podría constituir un buen potencial hidrogeológico.
Kisa	Formación Abejorral	Abejorral	9,05	Unidad geológica con porosidad primaria y, de acuerdo con la secuencia estratigráfica descrita, permeabilidad media. El potencial acuífero sería medio.
Pgai	Formación Amagá	Abejorral	1,87	Afloramientos de ambos miembros se presentan con poca extensión en Abejorral, las condiciones texturales son de porosidad primaria, respecto a la permeabilidad es alta; por lo tanto, tendría una buena potencialidad como acuífero a escala regional.
Ngas	Formación Amagá	Abejorral	0,78	Sin potencial hidrogeológico local, por su extensión en la subregión.
Ngm	Formación Mesa	Sonsón	164,27	Unidad típicamente sedimentaria tiene porosidad primaria y alta permeabilidad constituyendo un potencial acuífero muy alto.
Kisqg	Formación Quebrada Grande	Abejorral	1,28	Si bien tiene porosidad primaria, en general los productos de meteorización son de naturaleza arcillosa, es decir que tiene una baja permeabilidad y no posee potencial acuífero.
Pgsd	Conglomerados	Dispersos en San Luis, San Francisco y Sonsón.	5,54	Cuerpos de porosidad primaria con permeabilidad alta, que tendrían buenas potencialidades acuíferas.
Qal	Depósitos aluviales	En todos los municipios	235,28	Porosidad y permeabilidad primarias que les confieren, en general, potencial acuífero muy alto.
Q2l	Depósitos de laguna	El Retiro	0,01	
Qd	Depósitos de vertiente	Nariño	0,04	
Q2v	Depósitos de vertiente	Oriente cercano y Cocorná	33,65	
Qt	Terrazas	El Retiro, Rionegro, El Carmen, y Marinilla	37,29	

PERCEPCIONES



ORIENTE

Extensión 7.021 km²

Está dividida en cuatro zonas biogeográficas: Valles de San Nicolás, Embalses, Bosques y Páramo.



1. Embalse Peñol-Guatapé
2. Embalse San Lorenzo
3. Embalse Playas
4. Embalse Punchina
5. Represa La Fe
6. Represa Piedras Blancas
7. Cuenca Quebrada Piedras Blancas
8. Embalse Riogrande II

Actividades económicas más importantes



ENERGÍA



INDUSTRIA



COMERCIO



HATOS LECHEROS



AGRICULTURA



FLORICULTURA



"El higerón es una vereda de Rionegro, allá vivía mi Abuelita y allá había un pozo. Recuerdo mucho cuando estaba niño cuando los veía que ellos sacaban el agua para suplir las necesidades y creo que algunos tíos también"
Jhon Eduardo Villa (La Ceja)

Desde CORNARE -la Corporación Ambiental de la subregión, se reconoce que no se ha ahondado en el estudio del agua subterránea, porque en el territorio abunda el recurso superficial. Aún así, existen investigaciones que reconocen la existencia, potencial y uso de este bien, en gran parte de los municipios de su jurisdicción.

Los habitantes del oriente cercano, recuerdan la humedad y los pozos presentes, antes, en sus suelos y que ellos mismos han ido secando para habitar áreas urbanas o expandir usos agrícolas. En los municipios más alejados de la subregión los ecos de la violencia debilitaron el tejido social, siendo difícil rescatar un sentimiento de arraigo para convocar en torno a la protección del ambiente y del agua.

Sin embargo, hay líderes y maestros que infunden sentido a lo que puede lograrse si se cultiva el espíritu de colectividad y si se cuida la información y el conocimiento del territorio como un tesoro propio, al servicio del bienestar de la región.

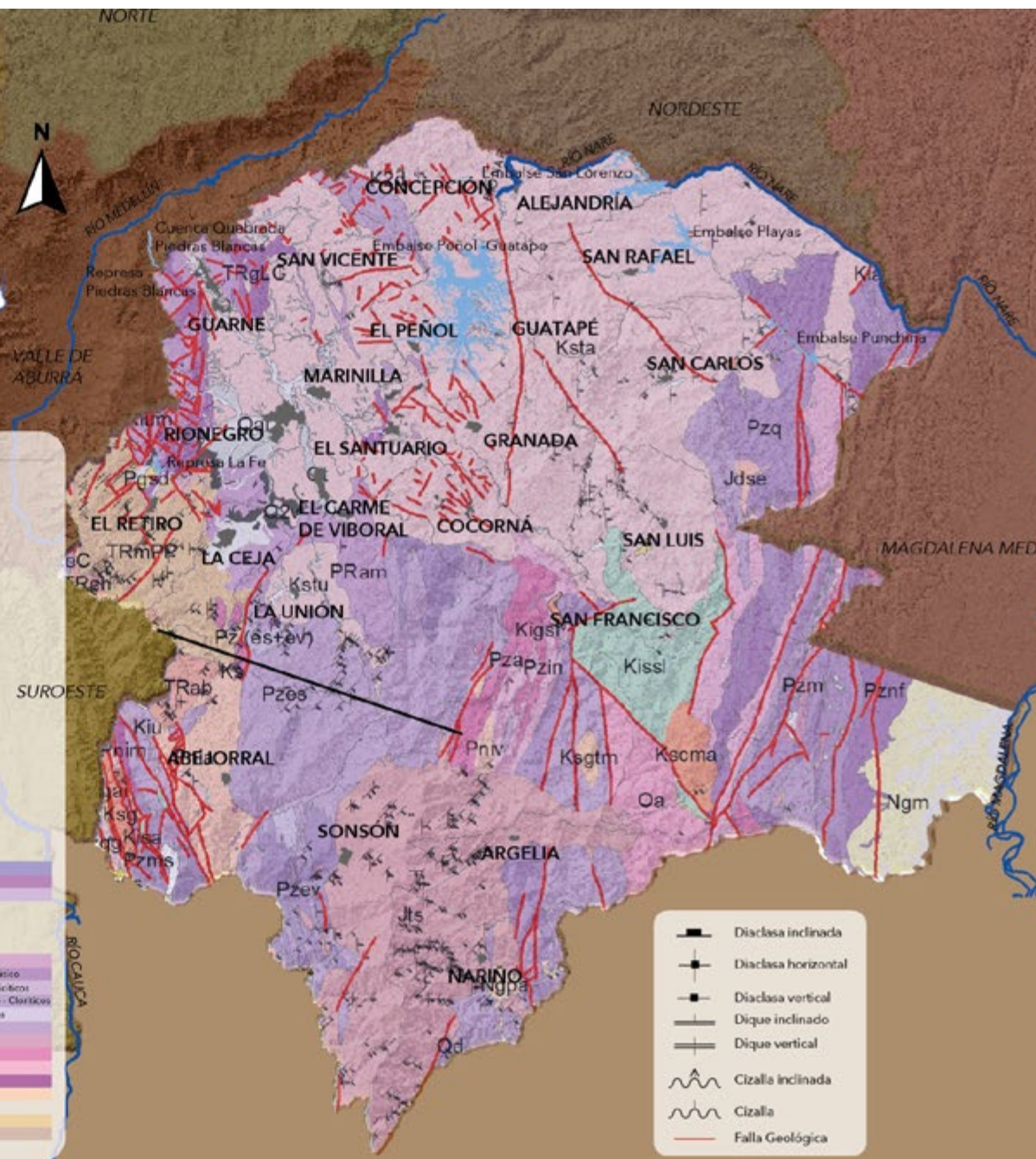
En el Oriente Antioqueño el agua subterránea abastece, desde nacimientos, comunidades rurales; también se dan, desde pozos y aljibes, usos residenciales e industriales.

ORIENTE GEOLOGÍA



Área ampliada

	SEDIMENTARIAS	IGNEAS	METAMÓRFICAS
Cenozoico	Q1 Terrazas aluviales		
	Qal Aluviones Recientes		
	Q1x, Q1b, Q1c, Q1d Depósitos de vertiente		
	Q2b, Q2c Depósitos lacustres y fluvio-lacustres		
	Q2v Depósitos de vertiente		
	Ngm Formación Mesa	Ngpa Rocas hipobasálticas perfitas: Pefidos andesíticos	
	Ngas Formación Amaga - Miembro Superior		
	Pqa Formación Amaga - Miembro Inferior		
	Pqd Sedimentos sin diferenciar		
		Est Batolito Antioqueño	
Precambrio		Ktu Cúpula de La Unión	
		Kagm Stock de Tres Mundos	
		Eoma Stock de Aquitania	
		Kag Oso	
		Ks Serpentinitas	
	Kstl Sedimentitas de San Luis	Ksa Formación Aabejoral	
		Kvng Formación Quebrada Grande	
		Kiu Ultramafitas de Romeral	
		Kum Dunita de Medellín	
		Kvgr Vulcanitas del Complejo Quebradagrande	
		Kia Adamitas	
		Jds Batolito de Segovia	
		Jts Batolito de Sonsón	
		Tral Stock de la Quebrada Uboribó	TralM Arfipolitas de Medellín
		Trab Stock de la Honda	Trig.C Neis de La Ceja
		Tds Diques y Sédos	Trac Esquistos de Cajamarca
		Priv Neis intrusivo de Río Verde	
		Pm Intrusivos Neisicos Sintectónicos	Pzra Metasedimentos de Sinfana
			Pzrl Complejo Cajamarca: Neis Cuatro Faldaspatio
			Pzai Complejo Cajamarca: Esquistos Cuatro Serenicos



- Diapirada inclinada
- Diapirada horizontal
- Diapirada vertical
- Dique inclinado
- Dique vertical
- Cizalla inclinada
- Cizalla
- Falla Geológica



Adaptado de cartografía 1:100.000 del S.G.C

ORIENTE

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA

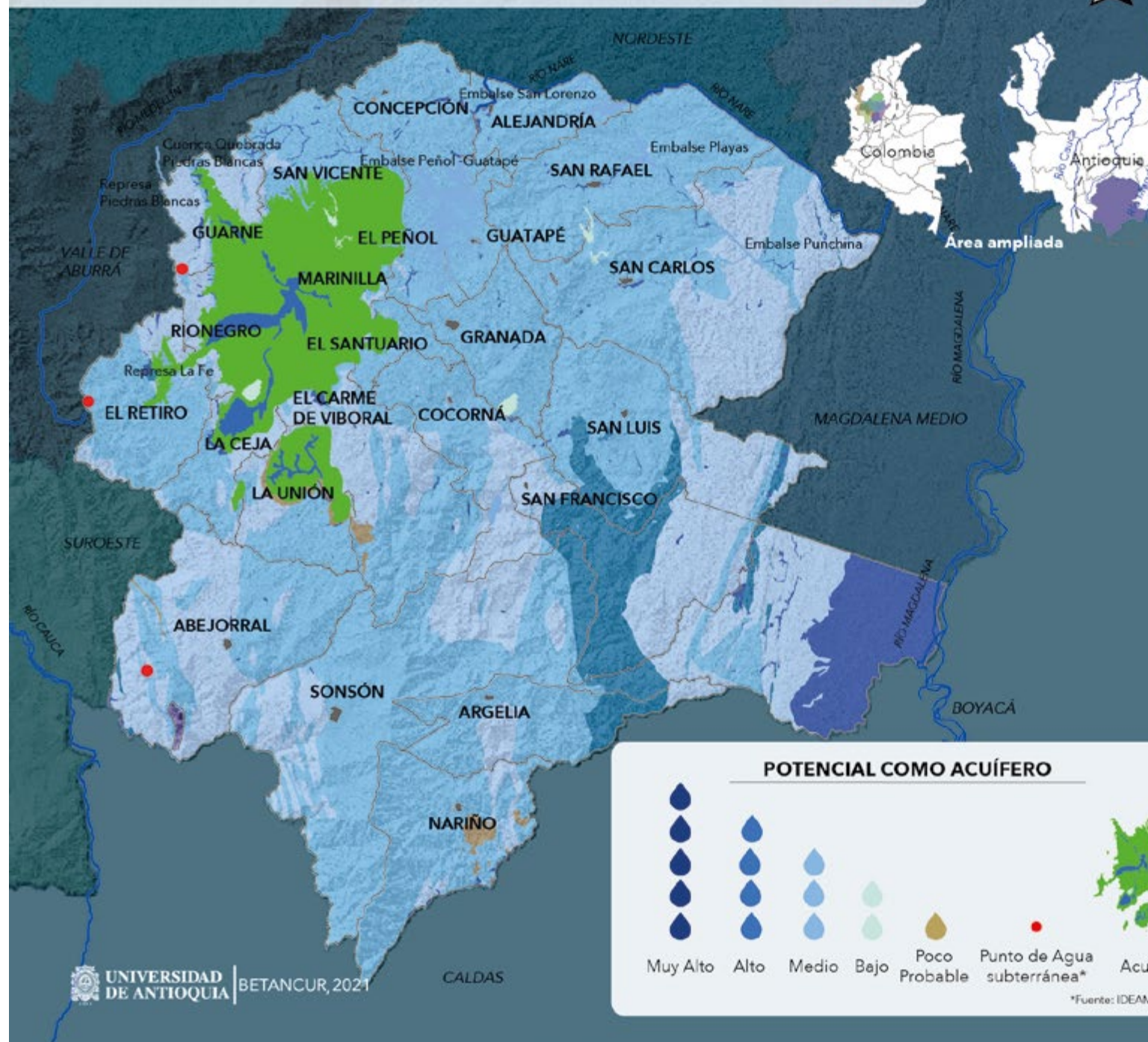


PERSPECTIVA HIDROGEOLÓGICA PARA LA REGIÓN DE ORIENTE

En el mapa de la figura 4.8.12 se sintetizan las características definidas en el numeral anterior (4.8.7) y se incluyen las zonas acuíferas ya exploradas.

Se tratará de tener acceso a las bases de datos departamentales o de CORNARE que permitan identificar y localizar puntos de agua subterránea, incluidos manantiales, con el fin de tener una visión que sirva como indicio de corroboración del carácter acuífero de algunas de las unidades que se proponen aquí con un potencial medio, alto y muy alto, especialmente.

La superposición de las condiciones de potencial hidrogeológico con las características sociodemográficas y de estado del recurso hídrico superficial, usadas para priorizar a nivel municipal las situaciones de mayor susceptibilidad (Figura 4.8.13) muestran como los municipios menos vulnerables tienen dentro de su jurisdicción zonas acuíferas con potencial muy alto, es el caso del Valle de San Nicolás; sin embargo, San Francisco que es una de las poblaciones más vulnerables tendría un potencial hidrogeológico alto; en Argelia y Nariño, dos de las poblaciones más sensibles tendría un potencial hidrogeológico medio; al igual que San Rafael, Cocorná y San Carlos. En Abejorral, el potencial sería bajo.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

CALDAS



SUBREGIÓN

MAGDALENA MEDIO ANTIOQUEÑO

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

La subregión Magdalena Medio está localizada al oriente del departamento y tiene como eje geográfico la sección media del río Magdalena, en el valle formado por las cordilleras Central y Oriental. Tiene una extensión de 4.777 km², correspondientes al 7,6% del área total del departamento (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

La subregión está bañada por los ríos Cimitarra, Alicante, Tamar, San Francisco, San Bartolomé y las ciénagas de San Bartolo, Barbacoas, Maquencal, El Tablazo, San Francisco, Caño Don Juan y la Gloria. Tiene dos unidades fisiográficas: la planicie del río Magdalena y Alicantes. Está conformada por los municipios de Caracolí, Maceo, Puerto Berrío, Puerto Nare, Puerto Triunfo y Yondó (FAO & ADR, 2019).

En la zona aluvial se conforma un importante sistema de ciénagas y caños conectados con los ríos y quebradas, lo que da lugar a un ecosistema de humedales en el valle intermedio del río Magdalena (Universidad de Antioquia, 2000).

La localización de esta subregión en el centro del país es estratégica porque la convierte en puente y nodo de conexión entre diferentes regiones. Además, su acceso es posible por diferentes medios: terrestre (carreteable y férreo), fluvial y aéreo, y es importante su cercanía con los principales focos de mercado del país (Bogotá, Medellín y Bucaramanga). Allí se anuda Antioquia con el centro y se conecta con Santander, Boyacá, Cundinamarca y Caldas (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

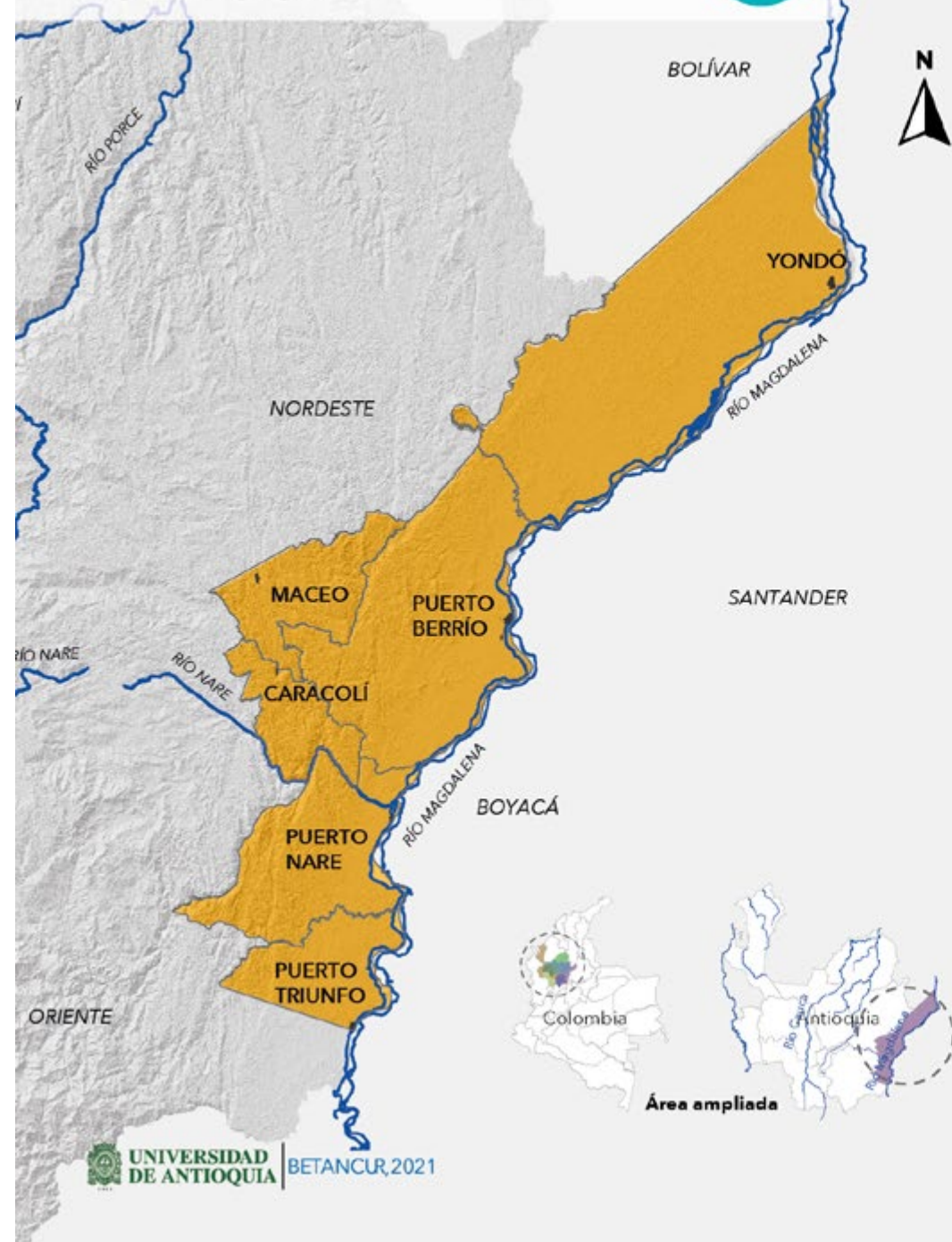
El Magdalena Medio tradicionalmente presenta una estructura de producción basada en el sector pecuario, principalmente la ganadería doble propósito y tipo carne, la explotación de minerales no metálicos como hidrocarburos, calizas y mármoles, y la producción de cultivos agrícolas (FAO & ADR, 2019).

La minería es una de las principales actividades que impulsan la economía de la subregión, principalmente la explotación carbonífera y la extracción de calizas, calcáneos, cuarzo y mármoles, cuya influencia se encuentra en cinco de los seis municipios de la subregión. La explotación petrolera solo se hace en el municipio de Yondó (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

La ganadería, principalmente de razas cebuinas, se desarrolla bajo formas tradicionales de ganadería extensiva con sistemas doble propósito (56,7%), ganadería de carne (40%) y leche (0,3%). Se han introducido especímenes de búfalos, que representan el 3% respecto a la población bovina (FAO & ADR, 2019).

La agricultura es la segunda actividad de importancia en la economía campesina. En la subregión se produce maíz, cacao, yuca, plátano, arroz, sorgo, forrajes para ganadería y palma africana, con un predominio de la producción tradicional y con bajo grado de tecnificación (FAO & ADR, 2019).

MAGDALENA MEDIO POBLACIÓN



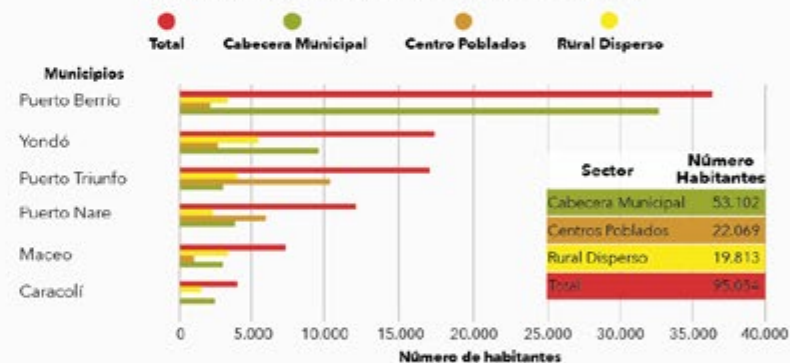
La subregión Magdalena Medio está localizada en el extremo oriental del departamento y tiene como eje geográfico la sección media del río Magdalena, en el valle formado por las cordilleras Central y Oriental. Cuenta con una extensión de 4.777 km².

La subregión tiene dos unidades fisiográficas: la planicie del Río Magdalena y Alicante. Está conformada por los municipios de Caracolí, Maceo, Puerto Berrío, Puerto Nare, Puerto Triunfo y Yondó.

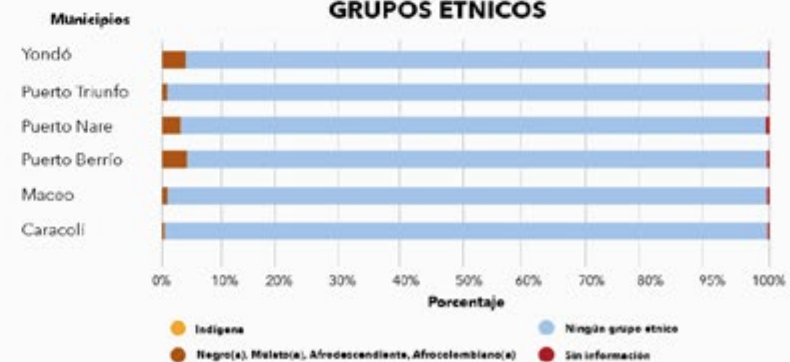
La localización de esta subregión en el centro del país es estratégica porque la convierte en puente y nodo de conexión entre diferentes regiones.

El Magdalena Medio tradicionalmente presenta una estructura de producción basada en el sector pecuario, principalmente la ganadería doble propósito y tipo carne, la explotación de hidrocarburos y minerales no metálicos como, calizas y mármoles, y la producción de cultivos agrícolas (FAO & ADR, 2019).

POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

POBLACIÓN

En 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda –CNPV–, la población total de la subregión era de 95.054 habitantes, que conformaban 31.819 hogares distribuidos en 30.546 viviendas, con una densidad poblacional para la subregión de 20 hab/km². Puerto Triunfo (47 hab/km²) y Puerto Berrío (30 hab/km²) eran los municipios con mayor densidad poblacional, mientras que Yondó con 9 hab/km² presentaba la menor densidad (DANE, 2018). Con respecto a la población total por municipio, Puerto Berrío presentaba la mayor población con 36.801 habitantes y Caracolí la menor con 3.967 habitantes.

En 2018, el 59,5 % (53.102 habitantes) de la población de la subregión se encontraba en las cabeceras urbanas, el 23,2 % (22.069 habitantes) en centros poblados y el 20,8 % (19.813 habitantes) en el sector rural (DANE, 2018). Como puede notarse, la mayor parte de la población se concentraba en las cabeceras urbanas, siendo el municipio de Puerto Berrío el que presentaba el mayor grado de urbanización con el 85 % de su población en la cabecera municipal. Puerto Triunfo registra 17 % y Puerto Nare 31 % de la población en la cabecera urbana, no obstante, estos dos municipios muestran una concentración importante de población en los centros poblados de sus corregimientos, Doradal en Puerto Triunfo y La Sierra en Puerto Nare.

En relación con la población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, sumaba 2.765 personas (2,9 % del total de la población); el grupo correspondiente a negros, mulatos, afrodescendientes y afrocolombianos incluía casi la totalidad, 2.633 (2,8 %) personas; está población se ubica, especialmente en los municipios de Puerto Berrío y Yondó (DANE, 2018).

ACCESO AL AGUA

Según el CNPV de 2018 el acceso al servicio de acueducto es menor en el sector rural, con coberturas que oscilan entre el 50 y 92,5 %, siendo los municipios de Puerto Nare con el 79,4 % y Puerto Triunfo con el 92,5 %, los que presentan la mejor condición; Maceo con el 50,3 % es el de menor cobertura (DANE, 2018). Según los datos del Anuario Estadístico de Antioquia 2017, las coberturas del acueducto y agua potable están por encima del 96 % en las cabeceras urbanas. No obstante, en la zona rural, las coberturas de acueducto disminuyen y las de agua potable son aún más bajas, con municipios donde estas son del 0 %, como Caracolí, Maceo, Yondó y Puerto Berrío (Gobernación de Antioquia, 2018). La mayor cobertura del servicio de acueducto en el sector rural (centros poblados y rural disperso), la presenta el municipio de Puerto Triunfo con el 97,30 %, al igual que la de agua potable con el 71,9 %.

En el sector rural las coberturas de alcantarillado también son menores que en la zona urbana; en los municipios de Caracolí, Maceo, Yondó y Puerto Berrío estas no superan el 25 %.

CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población reflejada en las Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, en 2018, todos los municipios de la subregión, excepto Yondó, presentaban condiciones de pobreza por encima del promedio departamental, pero por debajo del nacional. Los porcentajes de población en miseria estaban por debajo de dichos promedios, indicando condiciones de vida satisfactorias, comparado con otras subregiones del Departamento.

Un panorama distinto se perfila según el Índice de Pobreza Multidimensional –IPM–, estimado con los datos del CNPV 2018; los municipios del Magdalena Medio están por encima de los promedios nacional y departamental, siendo Yondó (46,35 %), Maceo (36 %) y Caracolí (35,9 %) los que registran las condiciones más críticas (DANE, 2018).

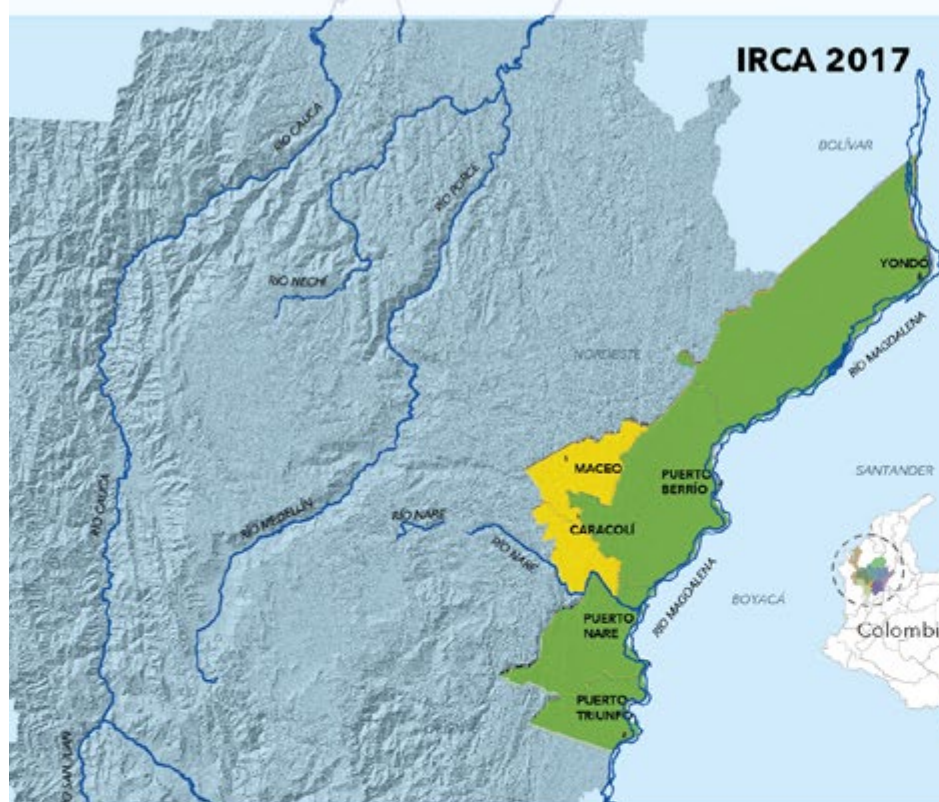
Otro factor que cabe mencionar tiene que ver con el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir y que oscila entre 7,8 %, en Puerto Triunfo, y 10,42 %, en Caracolí.

MAGDALENA MEDIO

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



IRCA 2017



Índice de Riesgo Calidad del Agua Potable IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Caracolí	22,0	63,0	30,0
Maceo	4,0	57,0	23,0
Puerto Berrio	3,0	55,0	3,0
Puerto Nare	0,0	8,0	4,0
Puerto Triunfo	2,0	17,0	1,0
Yondó	2,0	33,0	13,0

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Clasificación IRCA

80,1 - 100	Nivel de Riesgo
35,1 - 80	Inviabil
14,5 - 35	Santamente
5,1 - 14	Alto
0 - 5	Medio
	Bajo
	Sin Riesgo

Índice de Riesgo Calidad de Abastecimiento Municipal IRABA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Caracolí	18,0	80,6	21,8
Maceo	41,2	82,6	45,3
Puerto Berrio	8,8	85,2	9,9
Puerto Nare	57,2	33,1	28,1
Puerto Triunfo	30,6	22,5	10,7
Yondó	27,8	60,1	27,3

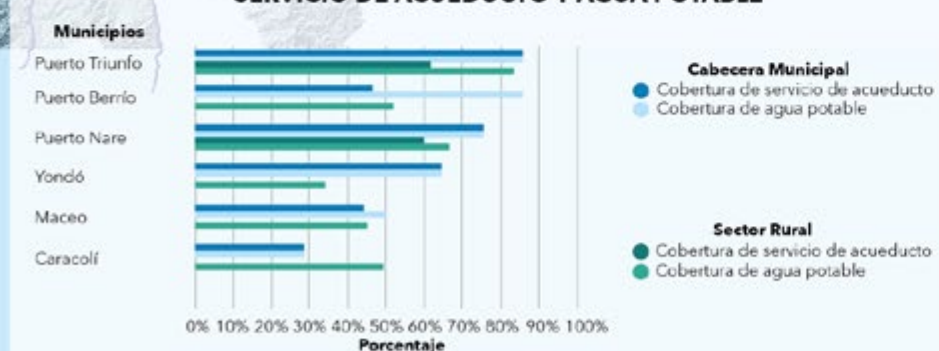
El IRABA es la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

Clasificación IRABA

70,1 - 100	Nivel de Riesgo
40,1 - 70	Muy Alto
25,1 - 40	Alto
10,1 - 25	Medio
0 - 10	Bajo
	Sin Riesgo

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019

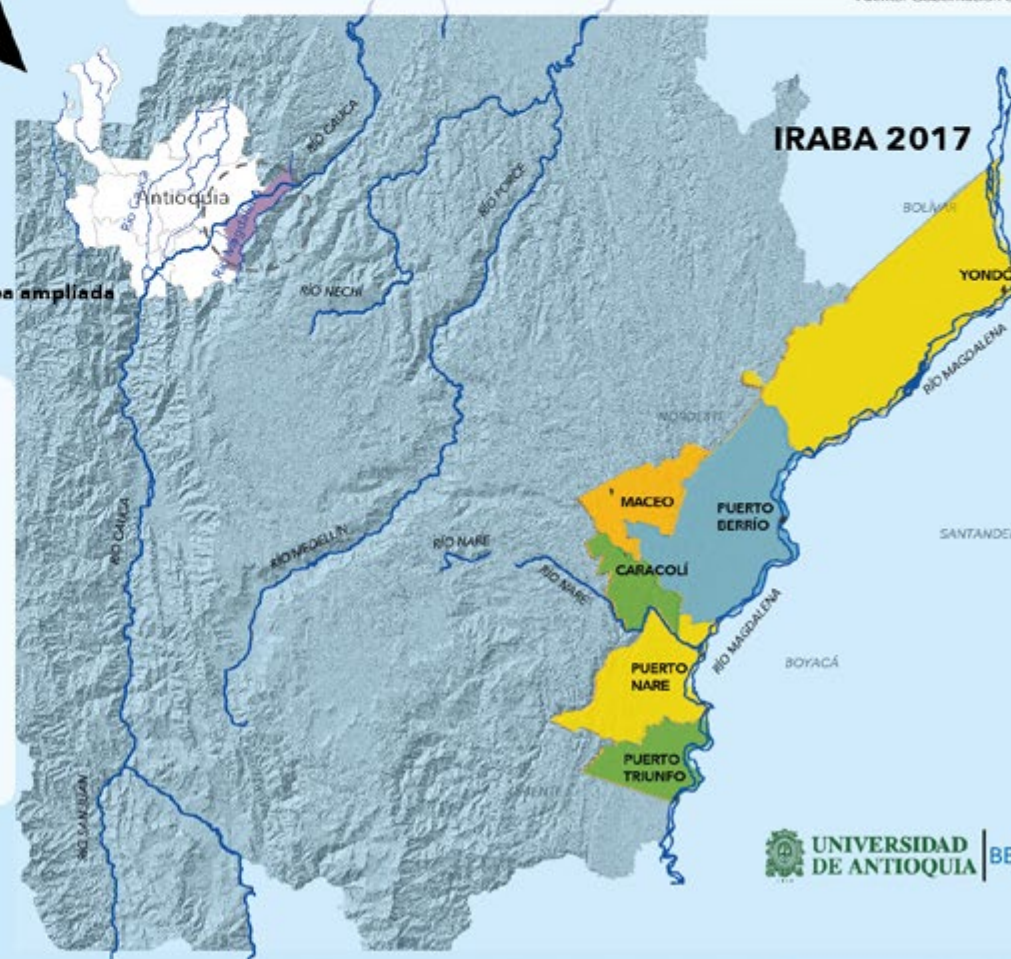
SERVICIO DE ACUEDUCTO Y AGUA POTABLE



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018 y Anuario Estadístico de Antioquia, 2017



Área ampliada

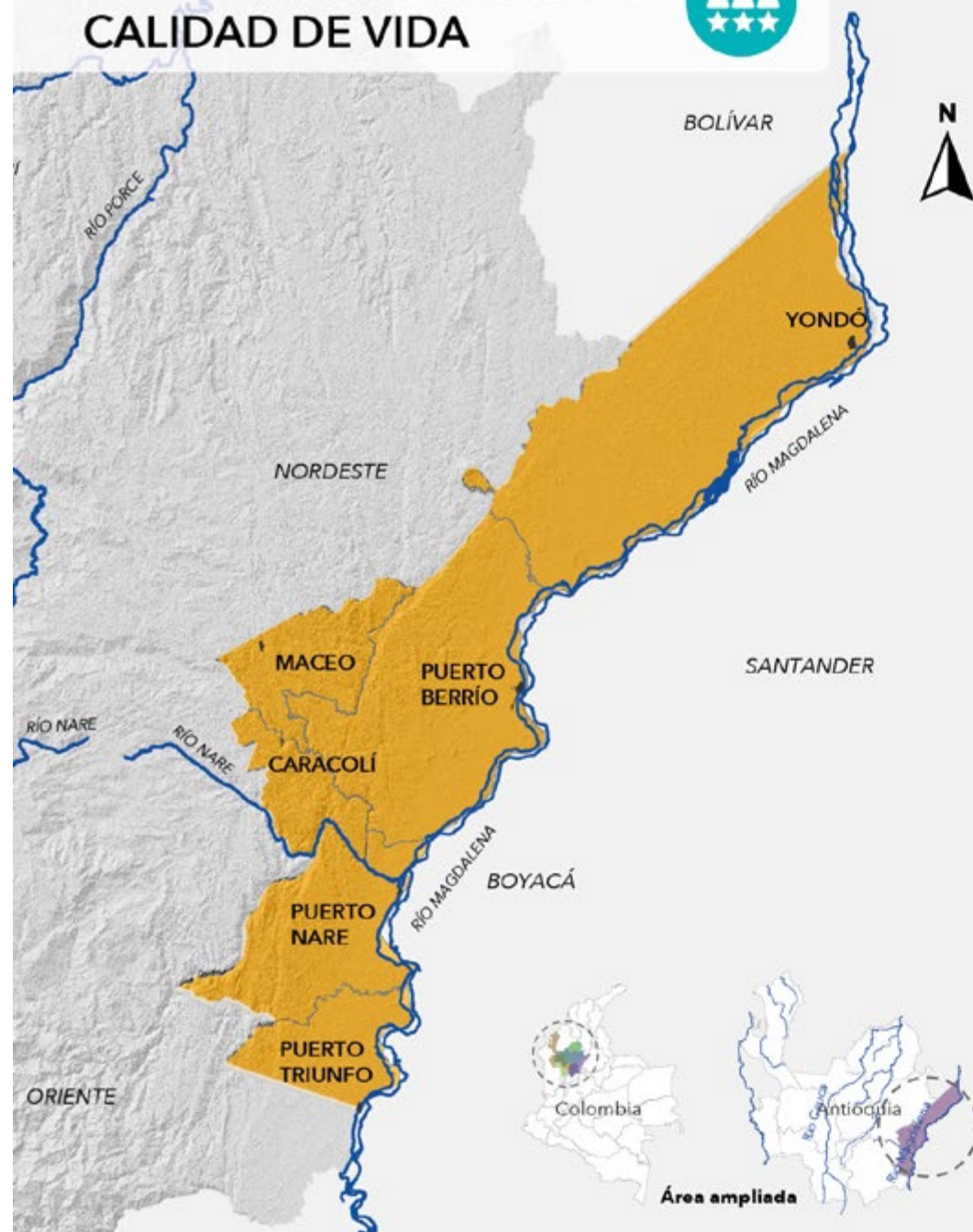


UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

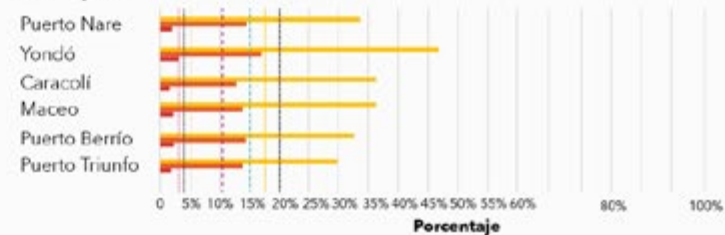
MAGDALENA MEDIO

CALIDAD DE VIDA



	Promedio Nacional	Promedio Departamental
1 Índice de pobreza multidimensional	19,60 %	17,10 %
Proporción de personas en pobreza	14,13 %	10,67 %
Proporción de personas en miseria	3,74 %	2,48 %

Municipios



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Caracolí	9,12%	12,55%	10,42%
Yondó	7,17%	12,66%	9,71%
Puerto Nare	9,01%	9,77%	9,52%
Maceo	6,81%	11,25%	9,41%
Puerto Berrío	7,63%	12,37%	8,28%
Puerto Triunfo	8,98%	7,55%	7,80%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Para evaluar, de manera indirecta, la oferta hídrica superficial se utilizaron el Índice de Aridez —IA— y el Índice de Regulación Hídrica —IRH—. Según los resultados del ENA 2014 (IDEAM, 2015) para el IA, la subregión del Magdalena Medio presenta excedentes y altos excedentes de agua, incrementándose la magnitud de oriente a occidente. Según la Evaluación Regional del Agua en la Jurisdicción de Corantioquia (2016) las subzonas nivel 1 que abastecen los acueductos urbanos de los municipios de la subregión, también presentan, de excedentes a altos excedentes de agua (Corantioquia, 2017).

Con respecto al IRH, la subregión Magdalena Medio presenta niveles de regulación altos en la mayor parte de su territorio, exceptuando un área que corresponde al municipio de Yondó, donde el IRH es moderado (IDEAM, 2019). De aquí se concluye que, en la mayor parte del territorio, el sistema hídrico tiene una alta capacidad para mantener un régimen de caudales. Lo anterior se corrobora en la Evaluación Regional del Agua en la Jurisdicción de Corantioquia de 2016, donde las subzonas nivel 1 a las que pertenecen las cuencas que abastecen los acueductos urbanos de los municipios de la subregión, también presentan un IRH alto, excepto la de la quebrada La Soná de Puerto Nare, que tiene un IRH moderado (Corantioquia, 2017).

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial a través de las diferentes intervenciones antrópicas se determinan a través de los índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

Según los resultados del ENA 2018, la subregión del Magdalena Medio presenta una baja presión sobre el recurso hídrico en año medio, exceptuando la parte del territorio que se encuentra en la Subzona Hidrográfica Río Nare (2308), en jurisdicción del municipio de Caracolí, donde el IUA es medio; en el año seco pasa a la categoría de alto. También se incrementa el IUA en el año seco, en la parte central de la subregión, en jurisdicción de los municipios de Puerto Berrío y Maceo. Según los resultados del ERA 2016, la parte de la subregión que corresponde a la Subzona Hidrográfica Río Nus, de donde se abastece la cabecera urbana del municipio de Caracolí, presenta una alta presión sobre el recurso al encontrarse en la categoría de muy alto.

Con respecto al IACAL, según el ENA 2018, este tiene una categoría baja al sur y norte de la subregión, en los municipios de Puerto Triunfo, Puerto Nare y Yondó; moderada en la zona central, en los municipios de Puerto Berrío y Maceo; y medio alta en el municipio de Caracolí; todo esto para el año medio. En el año seco la condición del Índice aumenta a la siguiente categoría, excepto en Yondó que permanece en la categoría de muy bajo (IDEAM, 2014). En el ERA 2016,

se presentan resultados diferentes a los encontrados en el ENA 2018, en este estudio la subregión presenta niveles de alteración potencial de la calidad del agua baja en la mayor parte de su territorio, exceptuando el municipio de Yondó donde esta es moderada.

Riesgo al desabastecimiento de agua

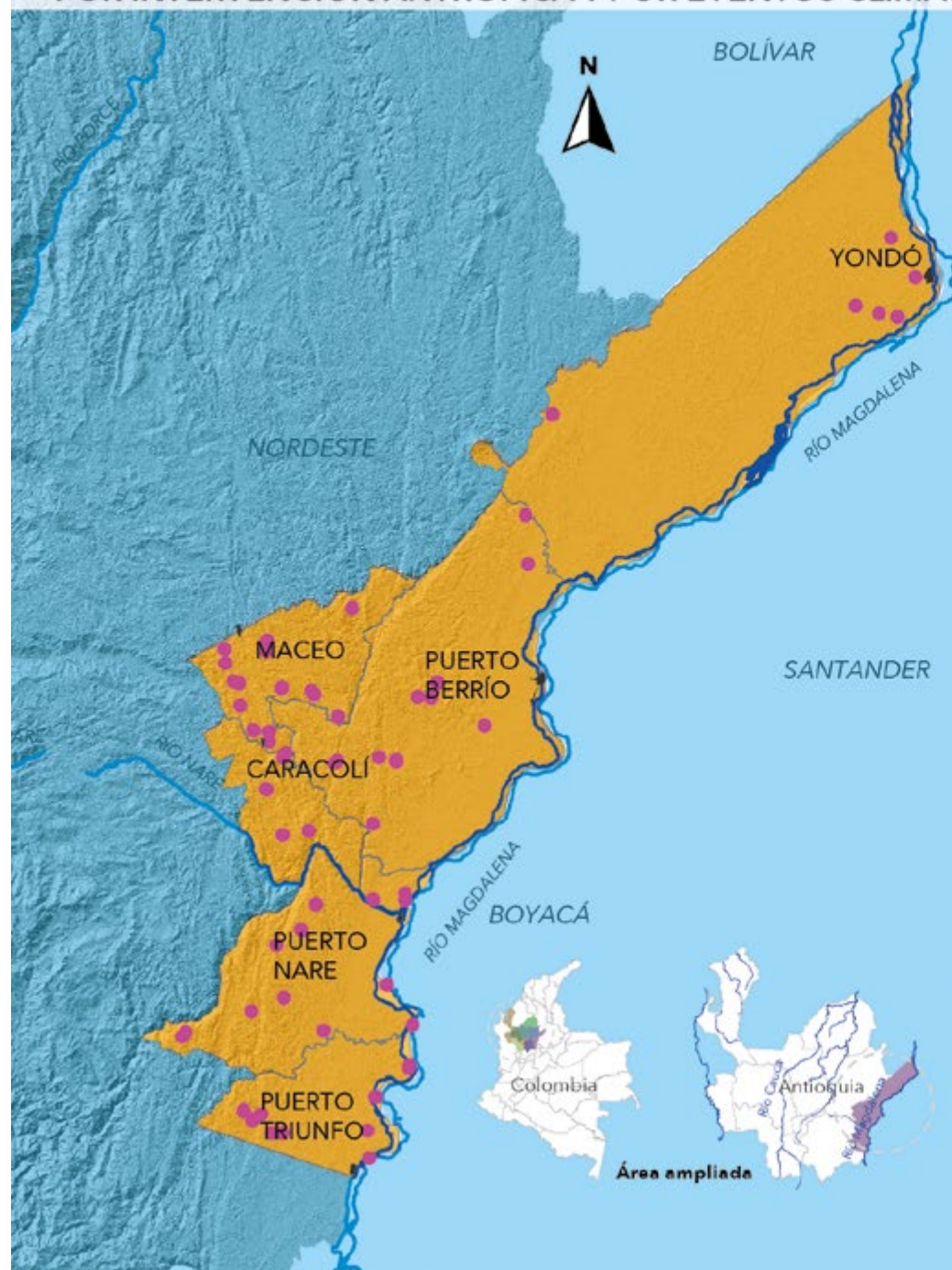
El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los siguientes índices: Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

Según los resultados obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019), el IVH en la subregión del Magdalena Medio varía de bajo a medio, siendo bajo en la mayor parte del territorio para los escenarios hidrológicos medio y seco. El municipio de Caracolí presenta el escenario más crítico, con IVH medio a seco. Puerto Berrío y Maceo pasan de bajo en año medio, a medio en año seco. En el ERA 2016, el grado de fragilidad del sistema hídrico evaluado con el IVH, en el escenario más crítico, correspondiente a condiciones hidrológicas secas, varía de muy bajo a medio, pasando por la categoría de bajo, siendo la Subzona Hidrográfica nivel 1, Río Nus, la que se encuentra en la categoría de medio (Corantioquia, 2017). En esta subzona hidrográfica se localiza la quebrada Ventanas que abastece el acueducto de la cabecera municipal de Cisneros.

En los resultados obtenidos para el IRCA que presenta la Gobernación de Antioquia en la Ficha Municipal (versión 2019) los municipios de Caracolí, Maceo

MAGDALENA MEDIO

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO,
POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)*	Índice de Aridez (IA)**	Índice de Uso De Agua (IUA) Condición Normal*	Índice de Uso De Agua (IUA) Condición Seca*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) Condición Normal*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL) Condición Seca*	Índice de Vulnerabilidad por Decaracterización (IVH) Condición Normal*	Índice de Vulnerabilidad por Decaracterización (IVH) Condición Seca*	Índice de Riesgo por Cambio Climático (IRCC)**
Caracolí	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	BAJO	BAJO	MEDIA	MEDIA	0.20
Maceo	ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	0.22
Puerto Berrio	ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	0.28
Puerto Nare	MODERADA	EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	0.27
Puerto Triunfo	ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	BAJO	MUY BAJA	MUY BAJA	0.26
Yondó	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	MUY BAJO	MODERADA	MODERADA	MUY BAJA	MUY BAJA	0.21

< 0.5 MUY BAJA	> 0.6 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	> 50.0 MUY ALTO	3.5 a 4.5 MUY ALTA	MUY ALTA	0.35 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.65 BAJA	0.60 - 0.75 DEFICITARIO DE AGUA	20.01 a 50.0 ALTO	2.5 a 3.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0.40 ALTO
0.65 a 0.75 MODERADA	0.40 - 0.49 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 20.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MEDIA ALTA	MEDIA	0.19 - 0.24 MEDIO
0.75 a 0.85 ALTA	0.20 - 0.39 MODERADO	0.4 - 10.0 BAJO	1.5 a 2.5 MODERADA	BAJA	0.11 - 0.18 BAJO
> 0.85 MUY ALTA	0.01 - 0.19 EXCEDENTES DE AGUA	< 0.4 MUY BAJO	0.5 a 1.5 BAJA	MUY BAJA	0.05 - 0.10 MUY BAJO
	0.10 - 0.19 EXCEDENTES DE AGUA				
	< 0.15 ALTOS EXCEDENTES DE AGUA				

Fuente:
*IDEAM, 2019
**IDEAM, FNLD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2017.



Bocatomía de Agua



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021

y Puerto Berrío presentan un riesgo alto al desabastecimiento por la calidad del agua que abastece su población rural, mientras que en la cabeceras urbanas solo se presenta riesgo, medio, en Caracolí. Según el IRABA estos municipios también presentan riesgo muy alto de abastecimiento (Gobernación de Antioquia, 2019).

Además, el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes del sistema de acueducto urbano que presentaba en 2017, el municipio de Maceo pone en riesgo el abastecimiento de agua para su población.

Según se presenta en el tercer Informe sobre Cambio Climático realizado por el IDEAM en 2017, los niveles de riesgo para los municipios del Magdalena Medio son medios, registrando el municipio de Puerto Berrío un valor en el límite alto.

PRIORIZACION POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; considerando los 125 municipios de Antioquia se encuentra que Maceo está entre los primeros 25 y Puerto Triunfo es uno de los más bajos.

- PRIORIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA SUBREGIÓN MAGDALENA MEDIO ANTIOQUEÑO EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES DE RIESGO POR FACTORES ANTRÓPICOS

SUBREGIÓN MAGDALENA MEDIO		
Municipios	Sumatoria	Posición
Maceo	0.30200	24
Caracolí	0.23030	66
Yondó	0.21620	76
Puerto Berrío	0.20102	89
Puerto Nare	0.18828	96
Puerto Triunfo	0.13013	123

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

En esta subregión se han desarrollado estudios hidrogeológicos, especialmente mediante convenios interadministrativos entre CORANTIOQUIA y la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). También se ha formulado el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para las unidades identificadas, Plan que se espera adoptar en 2022 una vez sea ajustado por la Universidad de Antioquia.

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN MAGDALENA MEDIO

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Magdalena Medio Antioqueño</i>	GOTTA INGENIERÍA S.A.S.	CORANTIOQUIA	2018
<i>Diagnóstico de los Sistemas de Abastecimiento de Aguas Subterráneas de cabecera urbana de Puerto Triunfo, Puerto Perales, Puerto Pita y Santiago Berrío (corregimientos y veredas de Puerto Triunfo).</i>	Instituto del Agua, Universidad Nacional – Sede Medellín.	CORNARE	2011
<i>Estimación de la recarga en una zona tropical mediante un modelo iterativo.</i>	Vélez, M. V.	CORANTIOQUIA	2004
<i>Evaluación del potencial acuífero Puerto Berrío y Puerto Nare.</i>		CORANTIOQUIA & Universidad Nacional – Sede Medellín	2003
<i>Evaluación del potencial acuífero Yondó.</i>		CORANTIOQUIA & Universidad Nacional – Sede Medellín	2001
<i>Prospección geofísica en la mina El Guayacán, Puerto Nare.</i>		Servicio Geológico Colombiano	1991

El modelo hidrogeológico obtenido a la fecha señala la ocurrencia de cinco (5) unidades hidrogeológicas asociadas a los municipios Puerto Berrío, Puerto Nare y Yondó. Estas se han denominado: Unidad acuífera libre de alta productividad —ULAP—, Unidad acuífera semi-confinada de alta productividad —USCAP—, Unidad acuífera semi-confinada de mediana productividad —USCAP—, Unidad acuitardo —UAT— y Unidad acuífuga —UAF—.

El acuífero libre ULAP está asociado a depósitos aluviales recientes (Qal) y unidades poco consolidadas de la formación Mesa.

El acuífero semiconfinado de alta productividad USCAP se define por rocas pertenecientes a la formación Mesa.

Para el acuífero confinado de mediana productividad USCBP se presentan rocas volcano-clásticas pertenecientes a la formación Malena.

El acuitardo UAT es definido por arcillolitas y limolitas pertenecien-

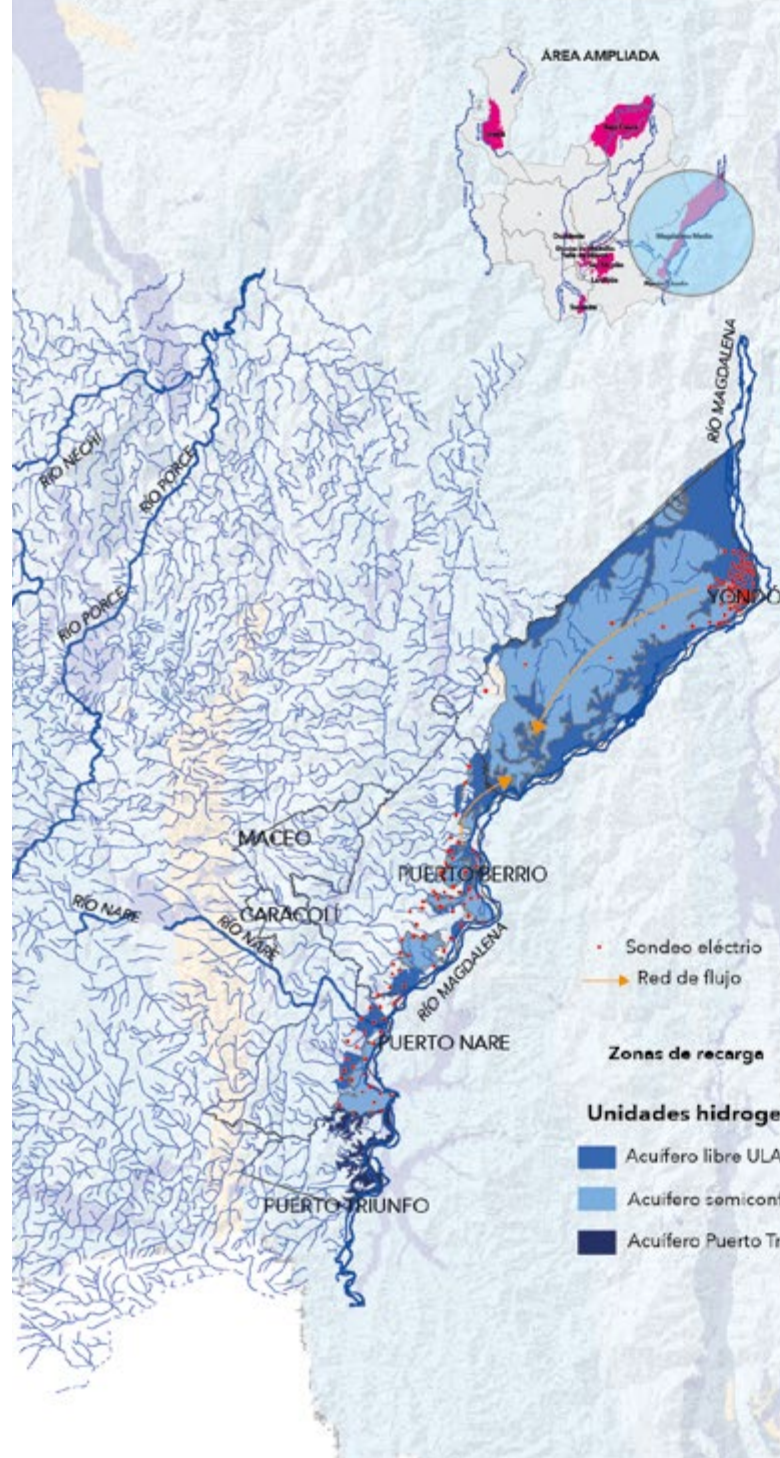
tes a la formación Mesa y Grupo Real.

En el conocimiento de estos acuíferos aún se encuentran vacíos de información en cuanto a registros de perforación y pruebas de infiltración; tampoco se encuentra información acerca de una red de monitoreo sistemático; hasta 2021 no se encontraron registros, aportados por CORANTIOQUIA, al Sistema de Información del Recurso Hídrico del IDEAM. No se registran análisis isotópico, ni estudios de carga contaminante.

La calificación del nivel de conocimiento de las unidades acuíferas mas relevantes, considerando la existencia de la información que plantea el IDEAM (2013), señala un nivel suficiente.



LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL MAGDALENA MEDIO ANTIOQUEÑO



• Sondeo eléctrico

→ Red de flujo

Zonas de recarga

Unidades hidrogeológicas

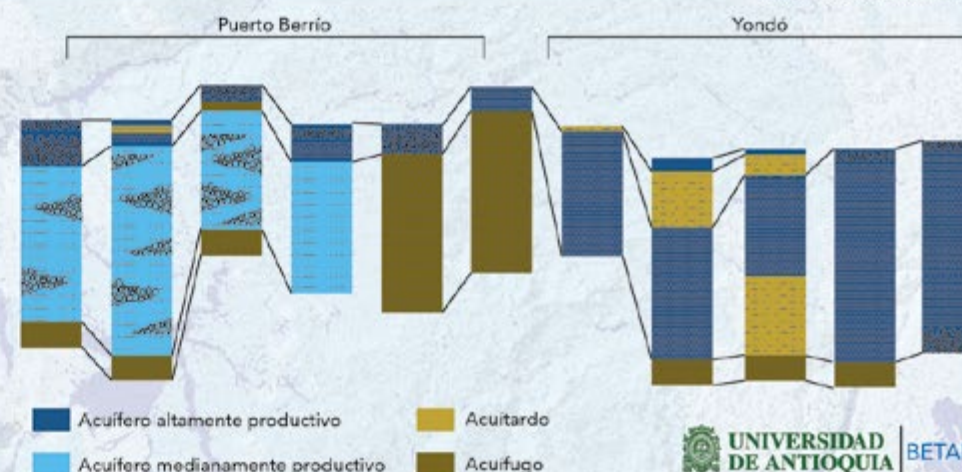
Acuífero libre ULAP

Acuífero semiconfinado USCAP

Acuífero Puerto Triunfo

Características	Acuífero Libre ULAP	Acuífero Semiconfinado ASCA	USCAP Unidad acuífera semi confinada de mediana productividad	Acuitardo UAT	Acuífero Puerto Triunfo
Municipios asociados	Puerto Berrio, Yondó y Puerto Nare				Puerto Triunfo
Geología	Depositos aluviales recientes de gravas y arenas y unidades poco consolidadas asociadas a la Formación Mesa.	Formación Mesa, compuesto por conglomerados y arenas de tamaño grueso a fino poco consolidadas.	Kocas volcánico-clásticas pertenecientes a la Formación Malena; compuesto por tobos, aglomerados intercalados con niveles volcánicos de riolitas y basaltos.	Formación Mesa y Grupo Ibal.	Depositos aluviales y Formación Mesa.
Extensión	4.000 km ²				
Puntos de agua	En 2013 se tenían registrados 72 pozos, 31 ejidos y 2 manantiales.				
Usos	Los principales usos son industrial y doméstico.				La empresa de acueducto cuenta con dos pozos. Abastecimiento público y actividades económicas en zona rural.
Correlación estratigráfica	84 sondeos eléctricos en los municipios de Puerto Berrio y Puerto Nare, 65 sondeos en Yondó y 11 más en la vía Puerto Berrio - Yondó.	Los espesores varían entre 12 y 37 m en el municipio de Puerto Berrio, y entre 15 y 40 m en el municipio de Yondó.	Esposes de hasta 165 m.	Esposes de 40 metros en Puerto Berrio.	No hay información disponible.
Balance hídrico	Recarga promedio de 495 mm/año.				
Análisis textural	No hay información disponible.				
Pruebas de infiltración	No hay información disponible.				
Geomorfología	No hay información disponible.				
Análisis estructural	No hay información disponible.				
Delimitación de Áreas de Recarga	No hay información disponible.				
Piezometría	El flujo subterráneo está direccionado hacia el noroeste.	Goteo desde la unidad libre. Hábitat conexión con riachos, lagos y lagunas.			
Pruebas de bombeo	Conductividad hidráulica de 2,4 m/día. Transmisividad 67,3 m ² /día. Coeficiente de almacenamiento 2,2E-2.	Conductividad hidráulica de 0,5 m/día. Transmisividad 21,5 m ² /día. Coeficiente de almacenamiento 8,0E-2.			
Calidad	Si bien se reportan registros de análisis físico-químicos de aguas subterráneas y se comparan valores de los parámetros con los límites establecidos normativamente para diferentes usos, no se encuentra una calificación clara de las condiciones espaciales o temporales de la variación o evolución en términos de calidad. Se registra la existencia de datos hidrogeológicos pero en alcances suficientes para el análisis.				Buena para consumo humano.
Hidrogeología e isotopía					
Red de monitoreo Oferta Demanda	Se toman muestras de agua para análisis físico-químico dentro del programa regional Pragua. Según registro de concesiones, suman 3,7 millones de m ³ /año. La reserva de agua subterránea que asciende a 2,1 millones de m ³ para ULAP y 15,1 millones de m ³ para USCAP.				La extracción de aguas subterráneas, para abastecimiento público y doméstico, sería del orden de 1,8 millones de m ³ /año.
Medidas de Manejo Zonas de Recarga	No hay información disponible.				
Vulnerabilidad	Según GOD y DRASTIC la vulnerabilidad del sistema alta entre media y alta.				
Carga contaminante y riesgo	No hay información disponible.				
Vulnerabilidad humana	No hay información disponible.				
Fugas y SIBI	No hay información disponible.				
Plan de Manejo Ambiental	Formulado y adoptado por CORANTIOQUIA en 2017. Se formularon 22 proyectos.				

*Información actualizada hasta el año 2017



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

• SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE SUBREGIÓN MAGDALENA MEDIO

Información		Unidades hidrogeológicas identificadas	
Ítem	Subítem	ULAP (Acuífero libre de alta productividad)	USCAP (Acuífero semi-confinado de alta productividad)
Municipios asociados		Puerto Berrio, Yondó	Yondó
Geometría	Geología	✓	✓
	Registros de perforación	✗	✗
	Geofísica	✓	✓
	Correlación hidroestratigráfica	✓	✓
Áreas, fuentes y magnitud de recarga	Análisis textural	✓	✓
	Pruebas de infiltración	✗	✗
	Geomorfología	✓	✓
	Análisis estructural	✓	~
	Balance hídrico	✓	✓
Red de flujo	Inventario de puntos de agua	✓	✓
	Red de monitoreo	~	~
	Funias y SIRH	✗	✗
	Usos del agua	✓	✓
	Piezometría	✓	~
Propiedades hidráulicas	Pruebas de bombeo	✓	✓
Calidad del recurso	Calidad	✓	✓
	Hidrogeoquímica	✓	✓
	Isotopía	✗	✗
Vulnerabilidad		✓	✓
Carga contaminante y riesgo		✗	✗
Plan de Manejo Ambiental		✓	✓

• NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES ACUÍFERAS SUBREGIÓN MAGDALENA MEDIO

Parámetro / Unidad identificada	ULAP (Acuífero libre de alta productividad)	USCAP (Acuífero semi-confinado de alta productividad)
¿Se tiene definida la geometría del acuífero?	3	3
¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)?	2	2
¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos?	2	2
¿Cuenta con monitoreo sistemático?	1	1
¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca?	3	3
¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuífero?	3	3
Calificación	14 = Suficiente	14 = Suficiente

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. De acuerdo con lo expuesto en el informe del PMAA, del diálogo con

representantes de algunas administraciones municipales y con otros actores sociales se hace claramente manifiesta la importancia que ellos le confieren a este recurso en la subregión.

Considerando las características litológicas y estructurales, se presenta a continuación la evaluación del carácter hidrogeológico que podrían tener las rocas duras —metamórficas e ígneas— y las formaciones blandas —rocas sedimentarias y depósitos— que tienen ocurrencia en la subregión del Magdalena Medio antioqueño.

Rocas duras

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pzes	Esquistos cuarzo serisíticos	Franjas alargadas en sentido NS y NW en Puerto Nare	7,65	Las rocas tipo esquistos están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria y una, preliminarmente, alta. En conjunto su potencial acuífero es medio.
Pza	Anfibolitas	Cuerpos alineados en sentido NW y NS en Puerto Triunfo, Puerto Nare, Caracolí y Maceo	16,25	Las rocas tipo anfibolita están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento intenso en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria y una alta permeabilidad. Su potencial acuífero es medio.
Pzm	Marmoles	Orientados en sentido NW en Puerto Triunfo, Puerto Nare, Caracolí, Puerto Berrío y Maceo		Porosidad secundaria por desclasamiento y posterior disolución. Potencial como acuífero alto.
Pzq	Cuarcitas	Orientados en sentido N en Puerto Triunfo, Puerto Nare, Caracolí, Puerto Berrío y Maceo	213,16	Porosidad secundaria por intenso diaclasamiento lo que implicaría una permeabilidad alta. Potencial acuífero medio.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
PEnsI	Gneis de San Lucas	Cuerpo ancho y alargado en sentido N desde Puerto Berrío y se extiende a Maceo, pequeños cuerpos en Maceo	161,94	Las rocas tipo gneis tienen porosidad secundaria por diaclasamiento, los registros de diaclasas son mas frecuentes en el genis cataclásticos. El nesis cataclástico tendría potencial acuífero medio, los demás bajo.
Pznf	Gneis cuarzo feldespático	Maceo, Caracolí, Puerto Nare y Puerto Triunfo, extensión considerable que se extiende en sentido N	684,23	
Pzin	Intrusivos Gneisicos sintectonicos	Puerto Nare y una manifestación pequeña entre Maceo y Caracolí	18,90 (0,11)	
Pnc	Gneis calcosilicatado	Maceo	4,79	
Ksta	Batolito Antioqueño	Maceo y Caracolí	123,54	Porosidad secundaria por diaclasamiento, asociado a las fracturas la permeabilidad es baja, sin embargo los saprolitos resultantes de la meteorización podrían tener permeabilidad alta y, en ellos, un potencial acuífero alto.
Jdse	Batolito de Segovia	Yondó, Puerto Nare, Caracolí, Puerto Berrío y Maceo	477,49	
Ksg	Gabro	Unidades pequeñas en Caracolí y Puerto Nare.	0,11	Se registra en todos ellos porosidad y permeabilidad secundarias por intenso fracturamiento lo que representaría una permeabilidad alta, pero su extensión refiere un bajo potencial hidrogeológico.
Kzev	Rocas Verdes	Puerto Nare	4,16	Basaltos oceánicos con porosidad secundaria adquirida por el intenso diaclasamiento. Teniendo así una permeabilidad alta y potencial acuífero medio.
J1gg	Granodiorita de Guamocó	En Yondó, pequeños cuerpos dispersos	2,04	Este pequeño cuerpo ígneo registra presencia de diaclasas pero por su extensión se considera que no tiene interés hidrogeológico.
t	Ultramafitas (talco)	Cuerpos dispersos de extensión mínima en Maceo, Caracolí y Puerto Berrío	0,11	Sin fracturas, por lo tanto, no registrar porosidad o permeabilidad secundarias. Sin potencial hidrogeológico.
Kia	Adamelita	Un cuerpo entre Caracolí y Maceo	11.61	Con porosidad secundaria adquirida por el intenso diaclasamiento. Teniendo así una permeabilidad alta y potencial acuífero medio.
Jvm	Conjunto volcánico de La Malena	Puerto Berrío (un cuerpo de 118 km ²) y Yondó	128,16	Porosidad secundaria por diaclasamiento, permeabilidad baja a muy baja, potencial acuífero muy bajo.

Formaciones blandas

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Kca	Caliza	Anorí	0,08	Pequeño cuerpo alargado, pese al diaclasamiento su potencial acuífero sería muy bajo.
Olc	Formación La Cristalina	Especialmente en Puerto Berrío, con manifestaciones menores en Puerto Nara	75,15	Porosidad primaria y permeabilidad baja. Bajo potencial acuífero.
N1rl	Grupo Real	Yondó	39,63	Porosidad primaria y permeabilidad alta. Buen potencial acuífero.
Kiss	Sedimentitas de Segovia	Puerto Berrío, Puerto Nare y Caracolí	27,42	La presencia de conglomerados y areniscas le confieren permeabilidad adecuada para ser potenciales acuíferos.
Ngm	Foracion Mesa	Puerto Triunfo, Puerto Nare, Puerto Berrío y Yondó	1609,37	Porosidad y permeabilidad primaria. Su potencial como acuífero es alto.
Qal	Depósitos aluviales	En todos los municipios, siendo los de mayor extensión los asociados a la rivera del río Magdalena en la desembocadura de sus afluentes	1050,22	Porosidad y permeabilidad primaria. Su potencial como acuífero es alto.
Qt	Terrazas aluviales	Puerto Nare, Yondó y Puerto Berrío	84,72	
Q2fl	Depósitos Fluvio Lacustres	Yondó	2,77	

PERCEPCIONES



MAGDALENA MEDIO



1. Embalse San Lorenzo
2. Embalse Playas
3. Embalse Punchina

La presencia del agua en el Magdalena Medio fluyendo superficialmente por doquier, es tan evidente que el significado de natural se traduce en sinónimo de infaltable; sin embargo en esta región el agua subterránea es protagonista del abastecimiento para la población en Puerto Berrio, Puerto Nare, Yondó y Puerto Triunfo. Existen acueductos municipales, en corregimientos y veredas que se nutren desde fuentes de agua subterránea.

En Puerto Murillo fue costumbre asistir a "una poceta", al lado de la peña que lloraba agua sin sal, para que las mujeres se reunieran a lavar la ropa, mientras que las familias desfilaban con baldes y canecas para recoger agua y llevarla a la casa. Eso cambió hace cincuenta años cuando se construyó

Extensión 4.777 km²

Localización en el centro del país la convierte en puente y nodo de conexión entre diferentes regiones; el acceso es posible por diferentes medios: terrestre, fluvial y aéreo

Actividades económicas más importantes



GANADERÍA doble propósito



EXPLOTACIÓN MINERALES



EXPLOTACIÓN PETROLERA



un pozo para todos, desde entonces nunca ha faltado el agua en cada hogar; desde 2020 esa agua se convirtió en potable. Hoy existe una amenaza para el poblado, serían despojados y reubicados para dar paso a la construcción de una refinería de petróleo; esta circunstancia motiva, en sus habitantes, la defensa del territorio y la necesidad de fortalecer el tejido comunitario alrededor de un bien natural fundamental como es el agua.

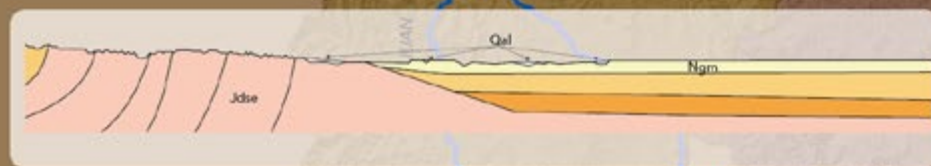
"Como habitante de la comunidad, decirles que conservemos el medio ambiente. Mirar que nosotros como comunidad tenemos una agüita muy buena, que hace mucho tiempo la tenemos, más de 70 años en ese pozo. La hemos tenido que cuidar al máximo, porque es una reserva natural que Dios nos dejó." Juan Carlos Hernández (Puerto Murillo, Corregimiento de Puerto Berrio)



MAGDALENA MEDIO GEOLOGÍA



	SEDIMENTARIAS	IGNEAS	METAMÓRFICAS
Cuaternario	Qt Qal Q2m, Q2s		
	Ngm N1-t		
Cretácico	Kis		
Jurásico			
Triásico			
Paleozoico			



Adaptado de cartografía 1:100.000 del S.G.C

ORIENTE

RIO NARE

RIO PORCE

RIO NECHÍ

RIO CAUCA

BOLÍVAR

YONDO

NORDESTE

SANTANDER

BOYACÁ

MACEO

PUERTO BERRÍO

CARACOL

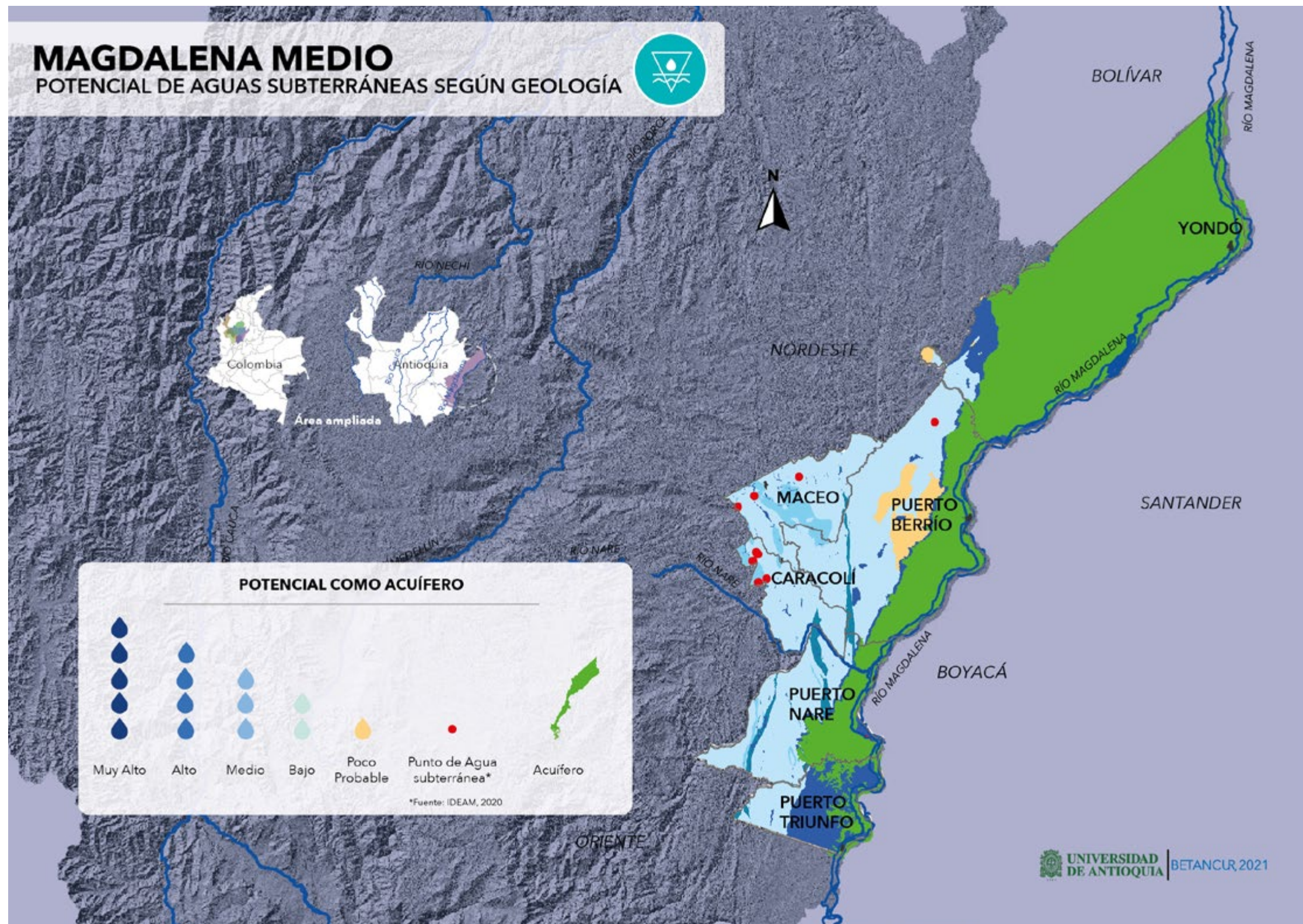
PUERTO NARE

PUERTO TRIUNFO



MAGDALENA MEDIO

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA





SUBREGIÓN

OCCIDENTE DE ANTIOQUIA

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

La subregión de Occidente está localizada entre las cordilleras Central y Occidental, se encuentra al oeste del Valle de Aburrá, limita con las subregiones de Uraba, Suroeste y Norte; tiene una extensión de 7.294 km², representando el 11,6% del departamento. Cuenta con todos los pisos térmicos y dos parques nacionales naturales (Orquídeas y Paramillo) y los centros históricos de Santa Fe de Antioquia y San Jerónimo. El río Cauca es eje de la red hídrica y la vía Medellín-Turbo, es el eje del Sistema de Comunicaciones (FAO & ADR, 2019). La subregión presenta uno de los procesos más intensos de destrucción ecológica y desertificación en lo que se conoce como el desierto de Occidente, ubicado en territorios de Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Anzá y Sopetrán (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

La subregión Occidente está conformada por 19 municipios agrupados en dos zonas: i) Cuenca Río Sucio, conformada por los municipios de Abriaquí, Uramita, Cañasgordas, Dabeiba, Pequ y Frontino; y ii) Cauca Medio que la integran Anzá, Armenia, Buriticá, Caicedo, Ebéjico, Giraldo, Heliconia, Liborina, Olaya, Sabanalarga, San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia y Sopetrán (FAO & ADR, 2019).

Su economía se basa, por una parte, en el comercio, hotelería y restaurantes; destacándose que hay una alta dinámica inmobiliaria y hotelera en los municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán y San Jerónimo; y por otra, en el sector agropecuario, con la producción de café, caña panelera, aguacate, banano criollo, lulo, naranja, plátano, mamoncillo, tomate chonto y maíz tradicional. También se desarrolla la ganadería bovina con destino a la producción de leche y carne. Existen algunas inversiones en fabricación de productos metálicos y de muebles, y en silvicultura, pesca y minería (explotaciones de calizas, canteras, oro, plata y manganeso) (FAO & ADR, 2019).

POBLACIÓN

En 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda —CNPV—, la población total de la subregión era de 185.645 habitantes, que conformaban 60.562 hogares distribuidos en 59.105 viviendas, con una densidad poblacional para la subregión de 25 hab/km². San Jerónimo con una densidad de 81,59 hab/km² y Sopetrán con 62,76 hab/km² son los municipios que presentaban una

OCCIDENTE POBLACIÓN

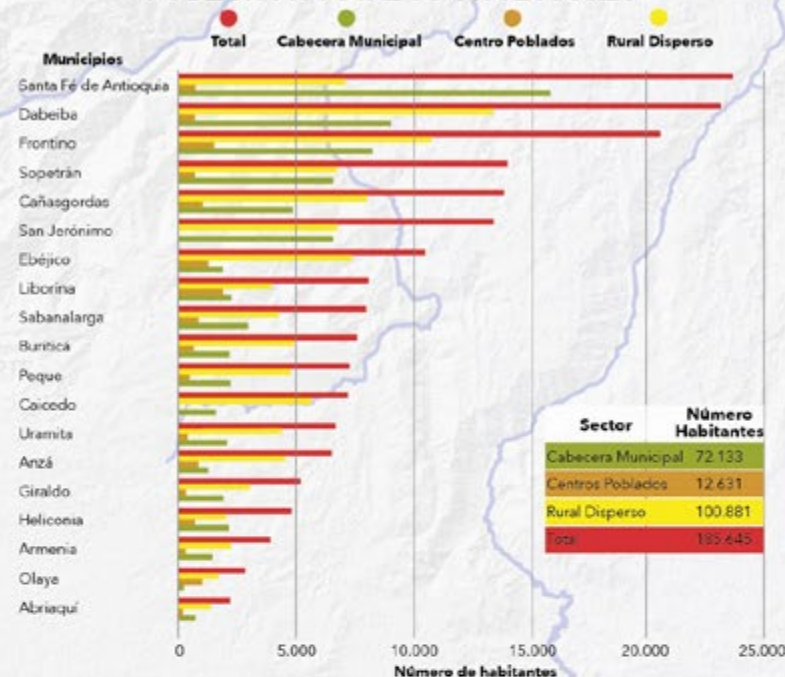


La Subregión de Occidente está localizada entre la Cordillera Central y Occidental, entre el suroeste del Valle de Aburrá al sur y el nudo de Paramillo y la Subregión de Urabá al norte, tiene una extensión de 7.294 km². Cuenta con todos los pisos térmicos y dos parques nacionales naturales (Orquídeas y Paramillo) y los centros históricos de Santa Fe de Antioquia y San Jerónimo.

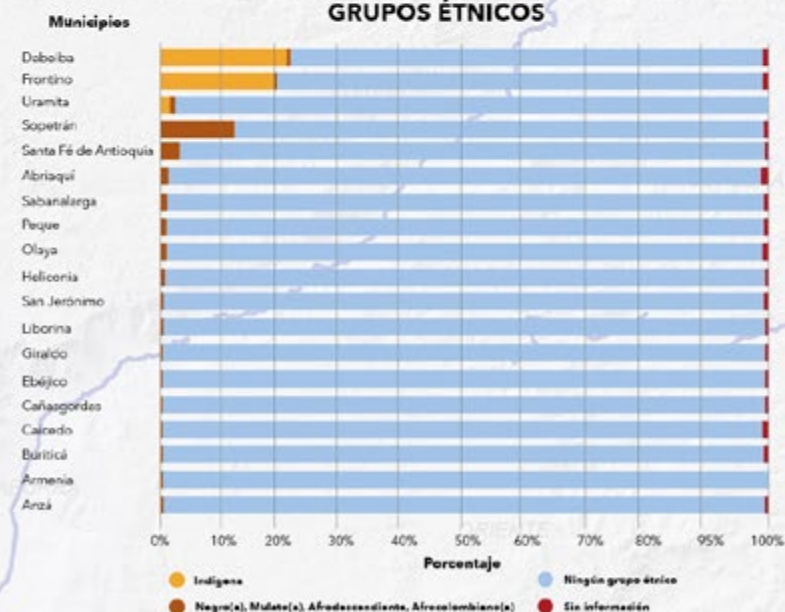
La Subregión Occidente está conformada por 19 municipios agrupados en dos zonas: i) Cuenca Río SUCIO, a la que pertenecen Abriaquí, Uramita, Cañasgordas, Dabeiba, Peque y Frontino; y ii) Cauca Medio que la integran Anzá, Armenia, Buritica, Caicedo, Ebéjico, Giraldo, Heliconia, Liborina, Olaya, Sabanalarga, San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia y Sopetrán.

Su economía se basa, por una parte, en el comercio, hotelería y restaurantes; y por otra, en el sector agropecuario, con la producción de café, caña panelera, aguacate, banano criollo, lulo, naranja, plátano, mamoncillo, tomate chonto y maíz tradicional. También se desarrolla la ganadería bovina con destino a la producción de leche y carne.

POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



mayor densidad poblacional (DANE, 2018). Los municipios con mayor población total son: Santa Fe de Antioquia (23.216 habitantes), Dabeiba (22.717 habitantes) y Frontino (20.156 habitantes); mientras que Abriaquí (2.159 habitantes) y Olaya (2.719 habitantes) son los con menor población.

Aproximadamente el 39 % (72.133 habitantes) de la población de la subregión, en 2018, se encontraba en las cabeceras urbanas y el 61 % (113.512 habitantes) restante en el sector rural, comprendido por centros poblados y rural disperso, con un número mayor de personas en este último sector, indicando que en esta subregión predomina la ruralidad, tendencia que se observa en todos los municipios, excepto en Santa Fe de Antioquia donde el grado de urbanización es del 67 % (DANE, 2018).

En relación con la población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, sumaba 11.826,00, que corresponde al 6,37 % del total de la población, siendo los indígenas el grupo étnico con mayor representación con 8.686,00 (4,68 %) personas, las cuales mayoritariamente se encontraba en los municipios de Dabeiba y Frontino. En Dabeiba en el sector rural se localizan trece (13) resguardos de la etnia embera katio, y en Frontino cuatro de la misma etnia (Gobernación de Antioquia, 2017).

ACCESO AL AGUA

Según el CNPV de 2018 la cobertura de acueducto para la subregión de Occidente es superior al 90 % en los centros urbanos, y en la mayoría de los casos menor del 70 % en las áreas rurales, con apenas un 25,26 % en Uramita. Según el *Anuario Estadístico de Antioquia* 2017, las coberturas del acueducto y agua potable están por encima del 94 % en las cabeceras urbanas. No obstante, en la zona rural, las coberturas de agua potable son muy bajas, en general no superan el 25 %, con varios municipios donde esta cobertura es cero (Gobernación de Antioquia, 2018). Por otra parte, el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes de los sistemas de acueductos urbanos, que presentaban en 2017 los municipios de Dabeiba,

Heliconia y Uramita pone en riesgo el abastecimiento de agua para su población (Gobernación de Antioquia, 2018).

Las coberturas de los servicios de alcantarillado exhiben valores excesivamente bajos, como en Uramita 12,41 % de la población total; las mejores condiciones se dan en Santa Fe de Antioquia (72,76 %), Los demás municipios oscilan entre 25 % y 53 % (Tabla 4.2.2).

CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población reflejada en el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, todos los municipios de la subregión presentaban condiciones de pobreza por encima del promedio departamental, excepto Armenia que se encontraba por debajo de este promedio. Por debajo del promedio nacional están los municipios de Abriaquí, Armenia, Heliconia, Olaya, San Jerónimo y Sopetrán. En cuanto a la proporción de población en miseria, la mayoría de los municipios se encontraba por debajo del promedio nacional. Los porcentajes más altos de población en pobreza y miseria los presentaban los municipios de Dabeiba (47,22 %) y Frontino (34,06 %), que son donde se encontraba la mayor población indígena de la subregión. Armenia es el municipio con menos proporción de su población en pobreza (7,62 %) y en miseria (0,65 %). En todos los casos son más altos los porcentajes de población en miseria y pobreza en el sector rural.

Por otra parte, según los resultados obtenidos por el DANE (2018) para el Índice de Pobreza Multidimensional –IPM–, todos los municipios de la subregión estaban por encima del promedio departamental y nacional, donde Dabeiba sigue siendo el municipio con el mayor porcentaje de hogares y personas con múltiples carencias en los ámbitos de la salud, la educación y el nivel de vida. Este índice corrobora la situación de calidad de vida que se refleja en el NBI.

Otro factor importante de mencionar, tiene que ver con la población mayor de 15 años que no sabe leer y escribir, cifra que está por encima del 15 % de la población total en los municipios de Dabeiba (19,4 %), Armenia (17,81 %) y Peque (16,94 %).

OCCIDENTE

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



IRCA 2017

Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable - IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Abriaquí	10,6	74,3	33,0
Santa Fé de Antioquia	0,0	53,3	15,4
Anzá	0,0	97,4	67,6
Armenia	0,0	97,3	26,5
Buritica	0,0	78,7	50,4
Caicedo	0,0	57,1	33,2
Cañasgordas	0,0	81,0	41,2
Dabeiba	6,4	97,3	23,2
Ebéjico	0,0	44,5	30,6
Frontino	0,0	95,5	28,4
Giraldo	14,0	97,2	72,2
Heliconia	0,0	62,7	37,3
Liborina	0,0	75,6	48,8
Olaya	3,3	50,0	47,0
Peque	0,0	97,0	58,6
Sabanalarga	0,0	97,3	53,7
San Jerónimo	0,0	55,0	28,6
Sopetrán	0,0	33,5	21,1
Uramita	0,0	97,3	40,5

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Clasificación IRCA

80,1 - 100	Insoportable
35,1 - 80	Seriosamente
14,5 - 35	Alto
5,1 - 14	Medio
0 - 5	Bajo
	Sin Riesgo

Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua - IRABA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Abriaquí	28,2	77,8	34,9
Santa Fé de Antioquia	16,2	55,9	15,3
Anzá	35,0	68,0	49,5
Armenia	34,2	81,2	40,1
Buritica	36,6	68,5	43,6
Caicedo	30,2	78,2	54,4
Cañasgordas	40,3	69,6	44,7
Dabeiba	34,9	84,8	39,3
Ebéjico	32,2	52,3	33,8
Frontino	19,5	71,2	23,7
Giraldo	39,0	65,1	44,8
Heliconia	37,4	53,1	33,2
Liborina	29,1	64,0	37,8
Olaya	35,7	30,7	26,3
Peque	45,3	75,2	54,7
Sabanalarga	29,3	74,0	41,0
San Jerónimo	26,1	63,6	33,3
Sopetrán	25,5	36,2	16,5
Uramita	59,7	78,0	57,4

El IRABA es la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

Clasificación IRABA

70,1 - 100	Muy Alto
40,1 - 70	Alto
25,1 - 40	Medio
10,1 - 25	Bajo
0 - 10	Sin Riesgo

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019

SERVICIO DE ACUEDUCTO Y AGUA POTABLE

Municipios

Olaya

Ebéjico

Liborina

Heliconia

San Jerónimo

Sopetrán

Uramita

Santa Fé de Antioquia

Anzá

Armenia

Giraldo

Sabanalarga

Buritica

Caicedo

Cañasgordas

Frontino

Abriaquí

Dabeiba

Peque



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018 y Anuario Estadístico de Antioquia, 2017

IRABA 2017



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR 2021

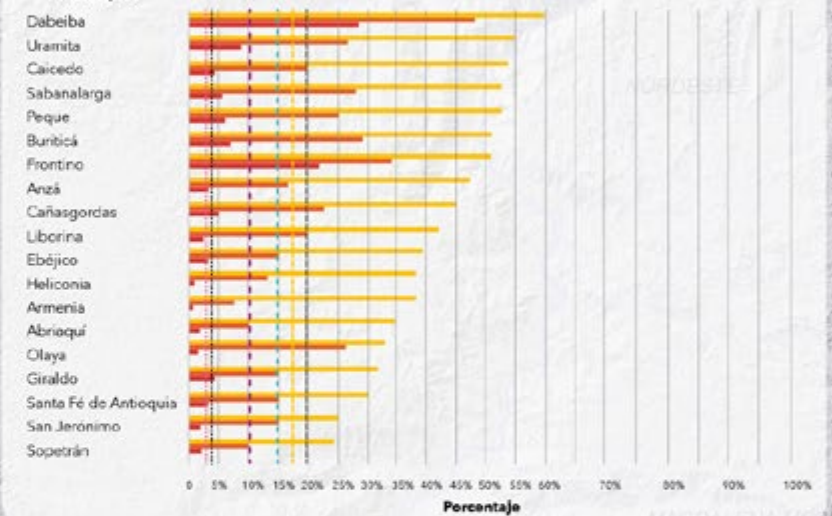
OCCIDENTE

CALIDAD DE VIDA



	Promedio Nacional	Promedio Departamental
1 Índice de pobreza multidimensional	19,60 %	17,10 %
Proportión de personas en pobreza	14,13 %	10,67 %
Proportión de personas en miseria	3,74 %	2,48 %

Municipios



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Dabeiba	11%	25,8%	19,40%
Armenia	12,6%	20,8%	17,81%
Peque	9,5%	20,2%	16,94%
Anzá	11,4%	16,3%	15,30%
Frontino	5,8%	21,4%	14,61%
Uramita	9,5%	16,9%	14,54%
Ebéjico	4,5%	14,8%	12,95%
Caicedo	4,9%	14,3%	12,23%
Olaya	12,7%	11,4%	11,45%
Buriticá	4,7%	13,6%	11,06%
Cañasgordas	6,1%	13,5%	10,91%
Heliconia	7,6%	13,1%	10,66%
Sabanalarga	7,2%	11%	9,57%
Santa Fe de Antioquia	5,9%	15%	8,80%
Liborina	5,7%	10%	8,76%
San Jerónimo	4,5%	9,7%	7,07%
Abriaquí	4,1%	8,4%	6,97%
Giraldo	3,8%	7,8%	6,35%
Sopetrán	3,7%	8,4%	6,18%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Según los resultados obtenidos en el ENA 2014 (IDEAM, 2015), para el Occidente el Índice de Aridez —IA— es moderado a excedentes de agua en el Cañón Seco del Cauca, entre los municipios de Santa Fe de Antioquia, Caicedo, Anzá, Ebéjico, San Jerónimo, Olaya, Liborina y Buriticá, y en parte de los municipios de Dabeiba y Uramita; en el resto de la subregión presenta excedentes y altos excedentes que se incrementan a medida que se aproxima, en la subregión de Urabá, a sus zonas del Atrato Medio.

Por su parte, el ENA 2018, reporta para el IRH niveles de alto a moderado, siendo alto en la mayor parte del territorio de la subregión y más bajo en el centro, entre los municipios de Santa Fe de Antioquia, Caicedo, Anzá, Peque y Buriticá. Esto refleja la alta capacidad del sistema hídrico para mantener su régimen de caudales.

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial a través de las diferentes intervenciones antrópicas se determinan a través de los Índices de Uso del Agua —IUA— y de la Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

El IUA en la subregión del Occidente varía de muy bajo a moderado en el año medio, y de muy bajo a alto en el año seco, incrementándose de occi-

dente a oriente. La zona con mayor presión, por una mayor demanda con respecto a la oferta, se presenta al oriente, en jurisdicción de los municipios de: Armenia, Heliconia, Ebéjico, San Jerónimo, Olaya, Liborina y Sabanalarga.

La presión por la actividad socioeconómica sobre la calidad del agua en el Occidente, evaluada a partir de los resultados del IACAL y del IUA, varía de baja a moderada para el año medio, y de baja a alta en el año seco, incrementándose de occidente a oriente, siendo más crítica en los municipios de: Armenia, Heliconia, Ebéjico, San Jerónimo, Olaya, Liborina y Sabanalarga.

Riesgo al desabastecimiento de agua

El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los Índices de Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

Según los resultados obtenidos para el IRCA, que presenta la Gobernación de Antioquia en la Ficha Mu-

nicipal, versión 2019, los municipios de: Anzá, Armenia, Cañasgordas, Dabeiba, Frontino, Giraldo, Peque, Sabanalarga y Uramita son inviables sanitariamente por la calidad de las aguas que abastece a su población rural. El resto de municipios, excepto Sopetrán, presentan un riesgo alto (Gobernación de Antioquia, 2019).

Otros factores que pueden afectar el abastecimiento del agua es la continuidad en el servicio y el estado y funcionamiento de la infraestructura del sistema de acueducto. Según la información del Anuario Estadístico de Antioquia 2017, varios de los componentes de los sistemas de acueductos urbanos de los municipios de Dabeiba, Heliconia y Uramita presentaban problemas en su estado y funcionamiento, y el 40% de las redes de distribución de Heliconia estaban en mal estado y el 37% de las de Uramita. Adicionalmente, en los municipios de Cañasgordas y Dabeiba, el caudal otorgado para el abastecimiento de sus cabeceras urbanas es mayor que el caudal mínimo. Esta situación se refleja en los valores obtenidos para el IRABA en 2017; la mayoría de los municipios presentan un riesgo al desabastecimiento medio, con Cañasgordas, Peque y Uramita en riesgo alto. Para el sector rural el riesgo es más crítico, la mayoría de los municipios presenta riesgo de alto y muy alto, excepto Sopetrán y Olaya que presentan riesgo medio.

Adicionalmente, según se presenta en el tercer Informe sobre cambio climático realizado por el IDEAM en 2017, el Occidente de Antioquia comporta un nivel de riesgo entre medio y muy bajo.

OCCIDENTE

INDICADORES DE ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO,
POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)*	Índice de Aridez (IA)*	Índice de Uso de Agua (IUA): Condición Normal*	Índice de Uso de Agua (IUA): Condición Saca*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL): Condición Normal*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL): Condición Saca*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVD): Condición Normal*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVD): Condición Saca*	Índice de Riesgo por Cambio Climático (IRCC)*
Abriaquí	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	MODERADO	BAJA	MODERADA	MUY BAJA	BAJA	0.10
Anzá	MODERADA	EXCIDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MODERADA	MEDIA ALTA	BAJA	BAJA	0.10
Armenia	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MEDIA ALTA	SIN DATOS	MEDIA	MEDIA	0.23
Buritica	MODERADA	EXCIDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MODERADA	MEDIA ALTA	BAJA	BAJA	0.10
Caicedo	MODERADA	EXCIDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MODERADA	MEDIA ALTA	BAJA	BAJA	0.18
Cañasgordas	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	MODERADO	BAJA	MODERADA	MUY BAJA	BAJA	0.16
Dabeiba	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	MODERADO	BAJA	MODERADA	MUY BAJA	BAJA	0.10
Ebéjico	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MEDIA ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.17
Frontino	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	MODERADO	BAJA	BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	0.2
Giraldo	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MODERADA	MEDIA ALTA	BAJA	BAJA	0.16
Heliconia	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MEDIA ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.10
Liborina	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MEDIA ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.15
Olaya	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MEDIA ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.17
Peque	MODERADA	EXCIDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MODERADA	MEDIA ALTA	BAJA	SIN DATOS	0.17
Sabalarga	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MEDIA ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.2
San Jerónimo	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MEDIA ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.25
Santa Fe de Antioquia	MODERADA	EXCIDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MODERADA	MEDIA ALTA	BAJA	SIN DATOS	0.2
Sopetrán	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	ALTO	MODERADA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.17
Uramita	ALTA	EXCIDENTES DE AGUA	MODERADO	MODERADO	BAJA	MODERADA	MUY BAJA	BAJA	0.21

< 0.5 MUY BAJA	> 0.5 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	> 50.0 MUY ALTO	4.5 a 5.0 MUY ALTA	MUY ALTA	0.43 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.65 BAJA	0.50 - 0.59 DEFICITARIO DE AGUA	20.01 a 50.0 ALTO	3.5 a 4.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0.40 ALTO
0.65 a 0.75 MODERADA	0.40 - 0.49 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 20.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MEDIA ALTA	MEDIA	0.17 - 0.24 MEDIO
0.75 a 0.85 ALTA	0.30 - 0.39 MODERADO	1.0 a 10.0 BAJO	1.5 a 2.5 MODERADA	BAJA	0.13 - 0.16 BAJO
0.85 a 0.95 MUY ALTA	0.20 - 0.29 DEFICITARIO DE AGUA	< 1.0 MUY BAJA	1.0 a 1.5 BAJA	MUY BAJA	< 0.13 MUY BAJA
	0.10 - 0.19 DEFICITARIO DE AGUA				
	< 0.10 ALTOS EXCIDENTES DE AGUA				



Bocatoma de Agua

Fuentes:
*IDEAM, 2019
**IDEAM, FNLD, MADS, DNP, CANCELIERÍA, 2017.



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021

MAGDALENA MEDIO

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA, y las condiciones de la población; considerando los 125 municipios de Antioquia, Abriaquí se encuentra en la posición 8, los demás entre los primeros 40.

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

Para esta subregión se han desarrollado diversos estudios, entre los que se destacan convenios interadministrativos de Universidades y autoridades ambientales, proyectos de investigación a nivel de maestría y pregrado; se ha formulado un Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para las unidades identificadas que será adoptado por CORANTIOQUIA en cuanto se practiquen algunos ajustes de actualización.

- PRIORIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DE ANTIOQUIA EN RELACIÓN A CONDICIONES DE RIESGO POR FACTORES HÍDRICOS

SUBREGIÓN OCCIDENTE		
Municipios	Sumatoria	Posición
Abriaquí	0.41085	8
Sabanalarga	0.32432	14
Uramita	0.32068	16
Caicedo	0.32065	17
Liborina	0.31110	23
Armenia	0.29905	27
Peque	0.29889	28
Anza	0.29465	32
Ebéjico	0.29290	33
Buriticá	0.28300	35
San Jerónimo	0.27884	38
Heliconia	0.27785	39
Dabeiba	0.27391	43
Olaya	0.26733	49
Cañasgordas	0.26732	50
Giraldo	0.26007	54
Sopetrán	0.22521	70
Santa Fe de Antioquia	0.16610	111
Frontino	0.15591	116

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN OCCIDENTE

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Potencial hidrogeológico en la región asociada al bosque seco tropical,</i>	Universidad de Antioquia.	CORANTIOQUIA	2021
<i>Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Occidente Antioqueño en la territorial Hevéxicos de Corantioquia</i>	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA	2017
<i>Diagnóstico para la formulación del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Occidente Antioqueño en la Territorial Hevéxicos de Corantioquia - Contrato 14-09-241</i>	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA	2015
<i>Determinación de la recarga con isótopos ambientales en los acuíferos de Santa Fe de Antioquia.</i>	Vélez, M. y Rhenals, R.	Universidad Nacional de Colombia	2008
<i>Tesis de maestría: Validación del modelo hidrogeológico del Occidente antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas.</i>	Rhenals, R.	Universidad Nacional de Colombia	2007
<i>Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Sopetrán, Olaya y Liborina.</i>	Ortiz, C. y Restrepo, C.	CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia	2004

El modelo hidrogeológico obtenido a la fecha señala cuales unidades hidrogeológicas tienen el carácter de acuífero libre; su extensión abarca los municipios de Liborina, Olaya, Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo y Sopetrán.

A estas unidades acuíferas se les han asignado los nombres: Tonusco(1C), La Isla (1D), San Jerónimo (1F), Sopetrán (1G), Aurrá (1H) y La Florida (1I).

En términos geológicos están asociados a los materiales aportados por efluentes principales, entre ellos el río Cauca, y acuíferos asociados a los materiales de depósitos de vertiente.

Están compuestos por material arenoso con contenido variable de grava y en algunos casos arenas finas y limos poco compactados y permeables. No hay capas impermeables que formen acuíferos confinados. Sus espesores varían entre 30 y 60 metros.

El nivel de detalle en el conocimiento de este sistema, puede calificarse como suficiente, si se siguen las directrices del IDEAM en el *Estudio nacional del agua* de 2014 (IDEAM, 2014).

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO



Características	Acuífero Tonusco	Acuífero La Isla	Acuífero San Jerónimo	Acuífero Sopetrán	Acuífero Aurrá	Acuífero La Florida
Municipios asociados	Santa Fe de Antioquia	Santa Fe de Antioquia	San Jerónimo	Sopetrán	Sopetrán	Olaya
Geología	Depósitos aluviales					
Generalidades	Extensión: 12.517 Km² Puntos de agua: En total 314 puntos para los municipios asociados, correspondientes a 311 aljibes, 2 pozos y 1 nacimiento Usos: Agrícola (141), doméstico (12), industrial (4), pecuario (2) Correlación estratigráfica: Se cuenta con información de 98 Sondeos Eléctricos y seis tomografías, llevados a cabo sobre depósitos del Cuaternario. Espesores entre 25 y 55 m	7,7 Km²	7,5 Km²	11,3 Km²	4,27 Km²	2.769 Km²
Recarga	Balace hídrico: La recarga es baja, del orden de 126 mm/año en promedio, magnitud inferior al 10% de la precipitación media anual.				Espesores que varían entre los 4 y 13 m.	Espesores entre 30 y 60 m.
Áreas de recarga	Análisis textural: No hay información disponible Puntos de infiltración: No hay información disponible Geomorfología: No hay información disponible					
Red de flujo	Análisis estructural: No hay información disponible Delimitación de Áreas de Recarga: En la zona de estudio pueden identificarse dos zonas de recarga, una alta por encima de los 1.800 m.s.n.m. (1.800 - 2.430 m.s.n.m) correspondientes a las zonas más altas de la ladera y al borde del aligiano, que recarga la mayoría de las unidades acuíferas; y una más baja, localizada a media ladera entre los 1.100 y 1.400 m.s.n.m que recarga los acuíferos de la unidad Sopetrán. Piezometría: Niveles piezométricos variables en ambas márgenes del río, en la margen derecha se constata a 25 metros, en la margen izquierda varían desde 8 a 45 metros.		Niveles piezométricos desde los 25 metros en la parte oriental hasta los 25 metros en el occidente.	Niveles piezométricos que varían desde los 7 a los 20 metros.	Niveles piezométricos entre los 4 y 13 metros.	El nivel piezométrico promedio es de 25 metros, en el acuífero eléctrico al río Cauca se presentan niveles entre 8 y 10 metros.
Hidrogequímica e isotopía	Pruebas de bombeo: Se cuenta con registros de 16 pruebas hidráulicas tipo Slug Test; los valores de transmisividad que varían de 22,3 a 829,8 m²/día y valores de coeficiente de almacenamiento entre 0,0032 y 0,0636. Calidad: Aceptable para consumo humano, sin embargo, en los municipios de Sopetrán, San Jerónimo y Santa Fe de Antioquia debe someterse a desinfección y tratamiento con el fin de disminuir turbiedad, alcalinidad y dureza total. Hidrogeoquímica: En términos hidrogeoquímicos se determinó, para todos los acuíferos, el predominio de la facies bicarbonatada magnesiana. Isotopía: Las relaciones isotópicas del 18O y 16O, entre agua de lluvia y agua subterránea poseen de manifestar la ocurrencia de recarga lateral y una importante incidencia desde la cuenca del río Chico.					
Medidas de Gestión	Red de monitoreo: No operado conjuntamente. Algunos puntos de agua subterránea hacen parte del programa Pragua de CORANTIOQUIA. Oferta Demanda: Oferta estimada de 263.987 m³/año.	Oferta estimada de 365.501 m³/año	Oferta estimada de 471.470 m³/año	Oferta estimada de 560.983 m³/año	Oferta estimada de 214.849 m³/año	Oferta estimada de 266.117 m³/año
	Medidas de Manejo Zonas de Recarga: No se han establecido. Vulnerabilidad: Alta e extrema según DBASTIC. Moderada a Alta según GOD. Carga contaminante y riesgo: Se han identificado como potenciales fuentes contaminantes las fugas de alfilerado y las actividades agrícolas, pecuarias y mineras. Vulnerabilidad humana: No hay información disponible. Fugas y SIBH: Sin registros en el SIBH. Plan de Manejo Ambiental: Formulados y adoptados en 2017, se formularon 20 proyectos.					

*Información actualizada hasta el año 2017

- Sondeos eléctricos
- Red de flujo
- Unidades acuíferas
- La Florida
- Tonusco
- La Isla
- San Jerónimo
- Sopetrán
- Aurrá

- Zonas de recarga
- Zona Ribera Cauca
- Zona Río Chico
- Zona ladera Este
- Zona ladera Oeste

$$\text{Línea Meteorica Local: } \delta^2 H = 7,955 \delta^{18} O + 8,3$$

• SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE SUBREGIÓN OCCIDENTE

Información		Unidades hidrogeológicas identificadas
Ítem	Subítem	Acuíferos libres
Municipios asociados		Liborina, Olaya, Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Sopetrán
Geometría	Geología	✓
	Registros de perforación	X
	Geofísica	✓
	Correlación hidroestatigráfica	✓
Áreas, fuentes y magnitud de recarga	Análisis textural	✓
	Pruebas de infiltración	X
	Geomorfología	✓
	Análisis estructural	✓
Red de flujo	Balance hídrico	✓
	Inventario de puntos de agua	✓
	Red de monitoreo	~
	Funías y SIRH	X
	Usos del agua	✓
Propiedades hidráulicas	Piezometría	✓
	Pruebas de bombeo	✓
Calidad del recurso	Calidad	✓
	Hidrogeoquímica	✓
	Isotopía	✓
Vulnerabilidad		✓
Carga contaminante y riesgo		~
PMAA		✓

• NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES ACUÍFERAS SUBREGIÓN OCCIDENTE

Parámetro / Unidad identificada	Acuíferos libres
¿Se tiene definida la geometría del acuífero?	3
¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)?	3
¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos?	3
¿Cuenta con monitoreo sistemático?	1
¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca?	3
¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuífero?	3
Calificación	16 = Suficiente

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. Teniendo en cuenta los aportes del diagnóstico participativo del PMAA y las percepciones que, en diálogos y entrevistas, manifiestan los actores sociales de

la región, se hace evidente la importancia que se reconoce del recurso hídrico subterráneo en el Occidente de Antioquia.

Considerando las características litológicas y estructurales, se presenta a continuación la evaluación del carácter hidrogeológico que podrían tener las rocas duras —metamórficas e ígneas— y las formaciones blandas —rocas sedimentarias y depósitos— que tienen ocurrencia en la subregión Occidente de Antioquia.

Rocas duras

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pzev	Complejo Cajamarca: Esquistos actinolíticos y cloríticos	Heliconia, Ebéjico, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya, Liborina, Sabanalarga	179,9	Las rocas tipo esquisto están afectadas por fallamiento, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria. Se reporta en González (2001) para Pzev la presencia de una esquistocidad paralela a la estratificación original, con dirección N 10 ° – 15 E ° y fuerte buzamiento hacia el este. Los esquistos cuarzo sericiticos tienen estructura esquistosa finamente laminada, intensamente replegados; el rumbo de la esquistocidad es N 10 ° E a N 20 ° W, buzando hacia el este. El diaclasamiento paralelo a la esquistosidad que en ocasiones puede ser vertical y la existencia de zonas de cizalla le conferirían una permeabilidad media. En conjunto su potencial acuífero se considera bajo a medio.
Pzes	Complejo Cajamarca: Esquistos cuarzo sericiticos	San Jerónimo, Ebéjico, Sopetrán, Olaya y Liborina	78,8	
Pzes+Pzev	Complejo Cajamarca: Esquistos intercalados	Liborina	0,75	
Pnc	Gneis cataclástico	Sabanalarga y Peque	5,69	Se reporta la existencia de pocas diaclasas y la ocurrencia de algunos efectos dinámicos de intensidad variable, marcados por fracturamiento. Las unidades tendrían porosidad secundaria y una permeabilidad baja. Su potencial acuífero es bajo.
Pza	Anfibolitas	Sopetrán, Olaya, Santa Fe de Antioquia y Liborina.	22,51	Las rocas tipo anfibolita están afectadas por fallamiento. Su foliación es inclinada o vertical. Se han registrado en ellas diaclasas inclinadas. Son resistentes a la meteorización. Aun cuando se les puede atribuir porosidad secundaria, su potencial acuífero sería bajo.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Kica	Complejo Arquia	Armenia, Heliconia, Ebéjico, Sopetrán y Santa Fe de Antioquia	218,01	Limitado por fallas, situación que le confiere porosidad secundaria y permeabilidad media. Su potencial acuífero sería bajo.
Kica	Rocas de muy bajo grado de metaforismo	Una franja alargada entre Heliconia, Ebéjico y San Jerónimo.	29,5	
Pgnp	Granito Gneisico de Palmitas	San Jerónimo.	12,28	Se reporta la existencia de pocas diaclasas y la ocurrencia de algunos efectos dinámicos de intensidad variable, marcados por fracturamiento. Las unidades tendrían porosidad secundaria y una permeabilidad baja. Su potencial acuífero es bajo.
Pzin	Intrusivos gneisico sintectónico	San Jerónimo, Sopetrán, Olaya y Liborina	79,96	
TRga	Stock de Amagá	Este cuerpo tiene una pequeña manifestación en Heliconia	0,87	Se registra en todos ellos, localmente, porosidad secundaria por fracturamiento; sin embargo, se estima que su permeabilidad, en conjunto, es baja. El potencial acuífero sería bajo.
Ngcf	Stock del Cerro de Frontino	Entre Frontino, Abriaquí y Caicedo	37,91	
Ngpf	Stock del Páramo de Frontino	Caicedo	5,62	
Kida	Stock de Altavista	San Jerónimo	15,29	
Ksg	Gabro	Giraldo, Buritucá, Peque y Dabeiba	111,58	Se registra en todos ellos porosidad secundaria por fracturamiento pero el registro de diaclasas (Mejía, 2009) indica que la permeabilidad secundaria sería muy baja. El potencial hidrogeológico como acuífero es bajo.
Kigr	Gabros de Romeral	Heliconia, Armenia, Ebéjico y San Jerónimo	11,60	
Kigc	Gabro de Copacabana	Ebéjico	0,013	
Kiu	Ultramafitas de Romeral	Heliconia, Ebéjico, Olaya, Liborina	6,8	La baja afectación tectónica implica una muy baja porosidad y permeabilidad. No tienen potencial acuífero.
Kum	Ultramaficos de la Cordillera Occidental	Dabeiba	22,67	
Pggm	Batolito de Mandé	Frontino y Dabeiba	586,03	Generalmente es una roca maciza inalterada, registra cizallamiento con porosidad y permeabilidad bajas. Potencial acuífero bajo.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Ksts	Batolito de Sabanalarga	Anzá, Santa Fe de Antioquia, Giraldo, Liborina, Buriticá, Sabanalarga	460,0	El Batolito de Sabanalarga, cerca de Santa Fe de Antioquia, registrándose desclasamiento y cizallamiento. Las diaclasas con dirección NS buzan al este y las con dirección EW buzan al norte
Ksta	Batolito Antioqueño	San Jerónimo	33,95	El Batolito antioqueño en esta zona presenta diaclasas en sentido NE y buzamiento NW y EW buzando hacia el Sur. Ambos cuerpos en esta región tienen porosidad secundaria y posiblemente una permeabilidad media. Potencial acuífero alto.
Pgab	Andesitas de Buriticá	Buriticá y Giraldo	2,06	Este pequeño cuerpo registra diaclasamiento en dirección NE, buzando al sur; tiene porosidad secundaria y permeabilidad baja. Potencial acuífero bajo.
Ngpa	Andesitas augíticas porfídicas	Heliconia	0,60	No son porosos ni permeables. Sin potencial acuífero.
Pgab	Porfidos de Pantanos	Giraldo y Liborina	2,06	
N1n4n5mn	Monzonita de Nudillales	Dabeiba	11,37	
Ksto	Batolito de Ovejas	Ebéjico	0,00015	
Kidp	Diorita de Pueblito	Armenia, Heliconia, Ebéjico y Sopetrán	59,95	Registra porosidad por fracturamiento y permeabilidad muy baja. Potencial acuífero bajo.
Ksdh	Diorita de Heliconia	Olaya, Sopetrán, San Jerónimo, Ebéjico, Heliconia y Armenia	25,88	Registra porosidad por fracturamiento y permeabilidad muy baja. Sin potencial acuífero.
Ngmg	Stock de Morrogacho	Cañasgordas y Abriaquí	5,40	No porosa, no permeable. Sin Potencial acuífero.
Nglh	Stock de La Horqueta	Cañasgordas y Abriaquí	0,06	
Kivu	Volcánico de Uramita	Frontino, Cañasgordas, Uramita y Dabeiba	260,51	Escasa porosidad secundaria, poco permeable. Potencial acuífero bajo.
Ngvpf	Volcánico del Páramo de Frontino	Caicedo	0,63	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Kivb	Volcanico Barroso	Anzá, Caicedo, Santa Fe de Antioquia, Giraldo, Buriticá Cañasgordas y Peque	1027,64	Escasa porosidad secundaria, poco permeable. Potencial acuífero bajo.
Ksvb	Facies cataclástica del Barroso	Ebéjico	12,56	
Ksvx	Complejo Santa Cecilia La equis	Frontino y Dabeiba	1130,69	
N1n4n5bb	Basalto el Bolton	Dabeiba	6,21	No porosa, no permeable. Sin Potencial acuífero.
PCam	Migmatitas	Sopetrán, Olaya y Uramita	17,31	

Formaciones blandas

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Kisqg	Formación Quebrada grande (sedimentario)	Cuerpos delgados alargados en Armenia, Heliconia, Ebéjico, San Jerónimo, Sopetrán y Olaya	109,47	Si bien tiene porosidad primaria con algunas diaclasas, en general los productos de meteorización son de naturaleza arcillosa, es decir que tiene una permeabilidad media a baja. Potencial acuífero bajo a medio.
Kivqg	Vulcanitas del Complejo Quebradagrande			
Ngc	Formacion Combia	Armenia	15,87	La formación Combia tiene porosidad primaria y permeabilidad media.
Ngas	Formación Amagá – Miembro Superior	Delgada franja en Armenia, Anza, Ebéjico, San Jerónimo y Sopetrán	18,81	Para la Formacion Amagá se tiene: El Miembro Superior, el de mayor extensión posee capas de arenisca, conglomerado y arcillolitas, dependiendo su grado de compactación poseerá permeabilidad media a alta, el potencial hidrogeológico puede ser alto. El Miembro Medio con arcillas pizarrosas, areniscas y mantos de carbón posee porosidad primaria y permeabilidad media aunque la intervención antrópica ha producido excavaciones en Amagá, especialmente; la presencia de los mantos de carbón pueden haber comprometido la calidad del agua subterránea. El Miembro Inferior con conglomerados y areniscas y arcillolitas posee porosidad primaria con permeabilidad alta, lo que representa un alto potencial acuífero.
Ngam	Formacion Amagá – Miembro Medio	Heliconia, Armenia, Ebéjico, San Jerónimo, Sopetrán y Olaya	28,13	
Pgai	Formación Amagá – Miembro Inferior	Armenia, Heliconia, Ebéjico, San Jerónimo, Sopetrán, Santa Fe de Antioquia, Olaya y Liborina	61,6	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Ksn	Formación Penderisco Miembro Nutibara	En franjas alargadas NS en Frontino, Cañasgordas, Uramita y Daveiva. Cuerpo en sentido N en Frontino	317,85	La composición estratigráfica del miembro Urrao se caracteriza por material finogranular lo que sugiere una porosidad primaria y una permeabilidad muy baja, el Miembro Nutubara tiene una franja larga y angosta que atraviesa de sur a norte el municipio de Urrao, conformado por calizas, limolitas y shales, su condición acuifera debe ser muy baja, Valdría la pena mirar el espesor de las capas calcáreas para evaluar disolución.
Ksu	Formación Penderisco Miembro Urrao	Anzá, Caicedo, Santa Fé de Antioquia, Abriaquí, Giraldo, Cañasgordas, Frontino, Uramita, Daveiva y Peque	1.747,67	
Kisl	Lodolitas de El Sireno	En Frontino.	107,26	Porosidad primaria y permeabilidad muy baja. Sin potencial acuífero.
Kslb	Chert interestratificado y rocas clásticas finas (Liditas del Barroso)	Anzá, Caicedo, Santa Fe de Antioquia, Giraldo y Buriticá	34,53	Porosidad primaria, por lo general con intenso plegamiento y fracturamiento, el rumbo predominante del eje de los plegamientos es hacia el norte, con buzamientos entre 30 ° y vertical. Se le asigna una permeabilidad media a baja, y con potencial acuífero medio.
E1E2sc	Sedimentitas de Cruces	Entre Frontino y Daveiva	89,84	Porosidad primaria, permeabilidad media. Potencial acuífero alto.
N1sv	Sedimentitas de Beibaviejo	Dabeiba	8,76	Porosidad primaria, por lo general con intenso plegamiento y fracturamiento, el rumbo predominante del eje de los plegamientos es hacia el norte, con buzamientos entre 30 ° y vertical. Se le asigna una permeabilidad media a baja. Potencial acuífero medio.
Qal	Depositos Aluviales	Asociados al Cauca en San Jerónimo, Sopetrán, Santa Fe de Antioquia, Olaya, Liborina, Buriticá y Sabanalarga. Al Occidente, especialmente en Frontino	334,46	Porosidad y permeabilidad primaria alta. Potencial acuífero muy alto.
Q2v, Qd, Qfa, Qii	Depósitos de vertiente	Unidades pequeñas en Daveiva, Uramita, Frontino, Abriaquí, Olaya, San Jerónimo, Ebéjico, Heliconia y Armenia.	22,32	
Pgsd	Sedimentos sin Diferenciar	Peque, Sabanalarga y Liborina	8,60	
Ngg	Formacion Guineales	Daveiva y Peque	66,12	
Qt	Terrazas	Frontino, Abriaquí, Sabanalarga, Santa Fe de Antioquia, Olaya, Sopetrán, San Jerónimo y Heliconia.	61,71	



OCCIDENTE

Extensión 7.294 km²

19 Municipios distribuidos en dos zonas: la cuenca del Río Sucio y el Cauca Medio. Cuenta con todos los pisos térmicos y dos Parques Nacionales Naturales (Orquídeas y Paramillo) y los centros históricos de Santa Fe de Antioquia y San Jerónimo.

La diversidad geográfica del Occidente, tiene también su manifestación en torno a las percepciones y sensibilidad con el medio ambiente y con el agua.

La desertificación en el cañón del río Cauca, zona de bosque seco, se torna como consecuencia de la intensa intervención antrópica que cambia la vocación de los suelos, convirtiéndolos en áreas de expansión urbana o de recreo. En este contexto el agua subterránea cobra un papel preponderante como fuente de abastecimiento en fincas, parcelaciones y algunos barrios. La presión sobre el territorio ocasiona y acentúa conflictos entre usuarios del agua subterránea.

En las vertientes, de zonas húmedas, los afloramientos de agua que mojan el territorio surten soluciones individuales o comunitarias, que posibilitan el acceso a agua de buena calidad en las zonas rurales; en medio de estos parajes la intención de cuidado es más clara. En esta región, en medio de contrastes climáticos y sociales se encuentran manifestaciones de sensibilidad, haciendo de un manantial un espacio de veneración a la naturaleza, reconociendo al agua como un don divino.

PERCEPCIONES



Actividades económicas más importantes



COMERCIO



HOTELERÍA



RESTAURANTES



GANADERÍA



CAFÉ



AGUACATE



CAÑA PANELERA

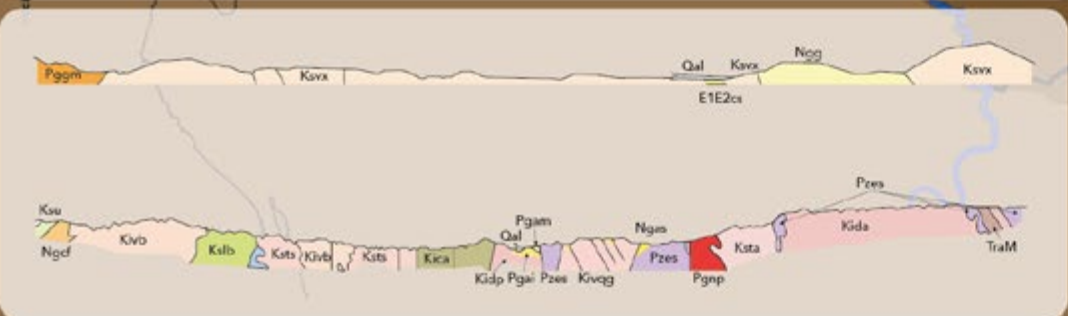


"Fue un señor de quebradaseca, un corregimiento de aquí, que lo buscan para hacer pozos y él llegó con una varita y yo ni le creía, y empezó a mirar y empezó a bajar y bajar me dijo uea, ahí está el agua"
Germán Quintero (Olaya)

OCCIDENTE GEOLOGÍA



SEDIMENTARIAS	IGNEAS	METAMÓRFICAS
Qz: Terrazas aluviales		
Qal: Aluviones recientes		
Pz: Depósitos de piedemonte		
Qs: Depósitos de deslizamiento		
Ngas: Formación Amagá - Miembro Superior	Ngcf: Stock del Páramo de Frontino	
Ngg: Formación Guineales	Ngf: Stock Cerro Frontino	
N1ev: Sedimentitas de Bobavieja	Ngmg: Stock de Mosogacho	
	Ngk: Stock de La Horqueta	
	Ngpe: Rocas hipoclastales porfíricas; Porfidos andesíticos	
	N1n4n5m: Monzonita de Nudiales	
	N1n4n5b: Basalto el Botón	
E1E2c: Sedimentitas de Cruces	E2PADP: Porfidos de Pastanos	
Pga: Formación Amagá - Miembro Inferior	Pggm: Batolito de Masía	Pgd: Rocas de muy bajo grado de metamorfismo
Pgsd: Sedimentitas sin diferenciación	Pgab: Andaritos de Buritica	
Pgam: Formación Amagá - Miembro Medio	Pgso: Granito Nudo de Pastano	
Klb: Chert interestratificado y rocas clásticas finas	Kag: Gabro	
Ksu: Grupo Cafagontas - Formación Penderisco - Miembro Unao	Kst: Batolito de Sabanalarga	
Ko: Grupo Cafagontas - Formación Penderisco - Miembro Nutibara	Ksh: Diorita de Heliconia	
	Kva: Volcánico de Uramita	
	Kta: Batolito Aricaucado	
	Kav: Complejo Santa Cecilia - La Equis	
Kals: Lodoitas de El Siso		Kica: Complejo Arica
Ksog: Formación Quebrada Grande	Kida: Diorita de Puéblito	
	Kui: Ultramafitas de Romeral	
	Kun: Ultramafitas de la Cordillera Occidental	
	Kgr: Gabro de Romeral	
	Kvsg: Volcánicas del Complejo Quebradagrande	
	Kvb: Volcánico Barroso	
	Kvu: Volcánico de Uramita	
	Kda: Stock de Altavista	
	Kug: Gabro de Cocobana	
	TRga: Stock de Amagá	
	Pzn: Intrusivos Nudo de Sinterción	
		P1aM: Anfibolitas del Alto de Minas
		P1as: Complejo Cajamarca: Esquistos Cuerno Serpiente
		P1bv: Complejo Cajamarca: Esquistos Actinolítico - Corintos
		P1v1v1v1: Complejo Cajamarca: Esquistos Intercalados
		P1a: Anfibolitas
		P1c: Neis cataclásticas



Adaptado de cartografía 1:100.000 del S.G.C



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

OCCIDENTE

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA



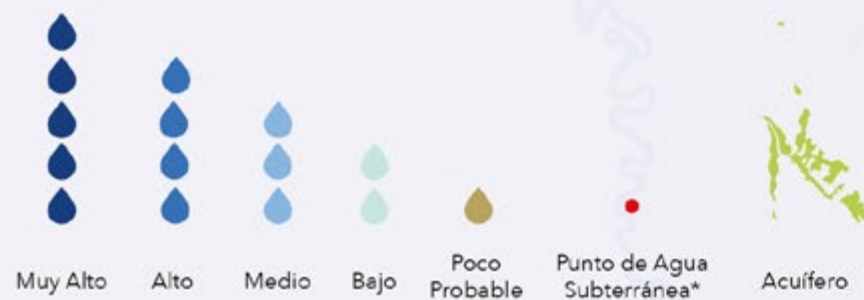
CHOCÓ

URABÁ

SUROESTE

VALLE DE
ABURRÁ

POTENCIAL COMO ACUÍFERO



*Fuente: IDEAM, 2020



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021



SUBREGIÓN

SUROESTE ANTIOQUEÑO

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

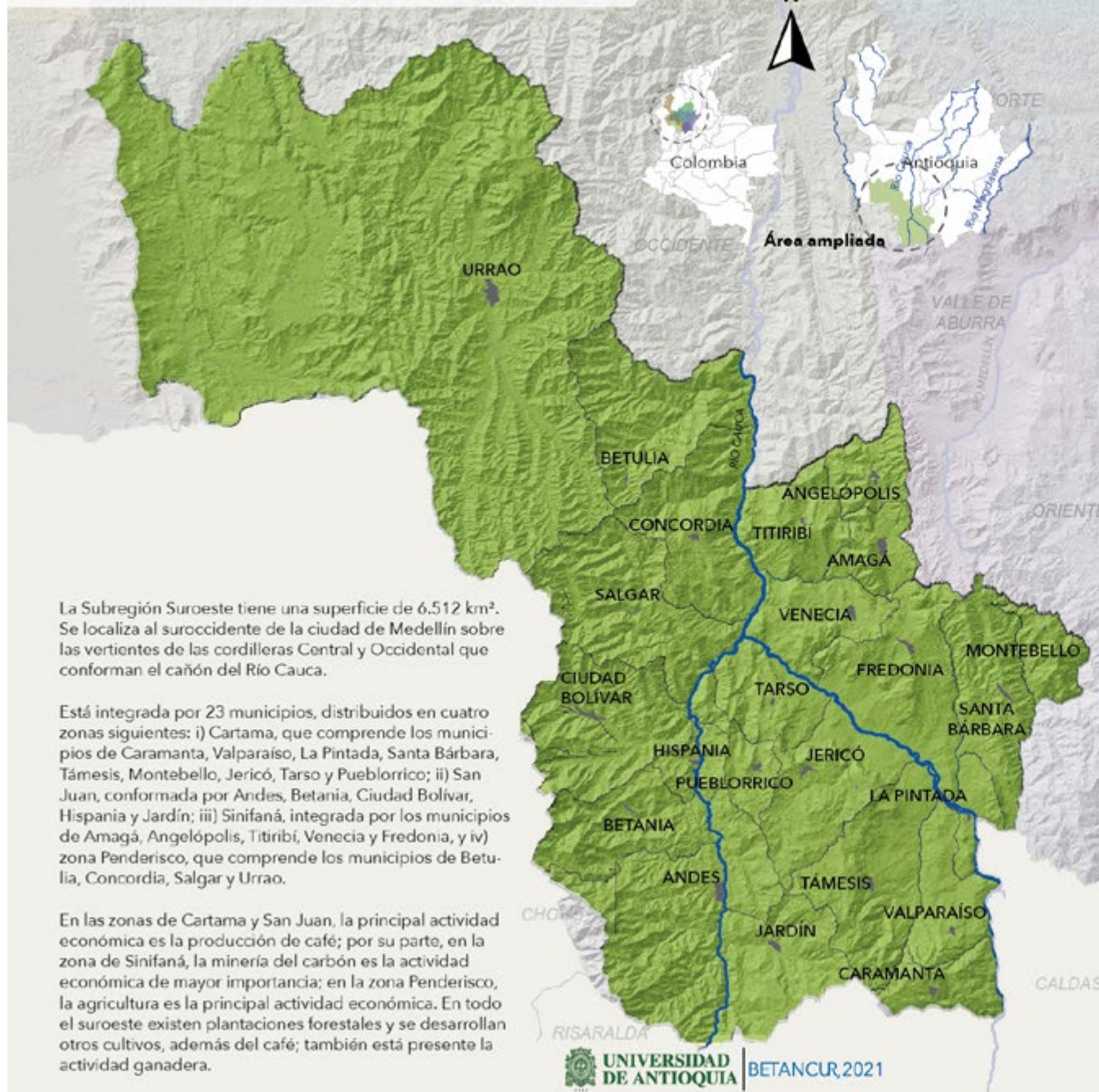
La subregión Suroeste tiene una superficie de 6.512 km², que equivale al 10,24% del total del departamento de Antioquia. Se localiza al suroccidente de la ciudad de Medellín sobre las vertientes de las cordilleras Central y Occidental que conforman el cañón del río Cauca (FAO & ADR, 2019). Está integrada por 23 municipios, distribuidos en las siguientes cuatro zonas: i) Cártama, que comprende los municipios de Caramanta, Valparaíso, La Pintada, Santa Bárbara, Támesis, Montebello, Jericó, Tarso y Pueblo Rico; ii) San Juan, conformada por Andes, Betania, Ciudad Bolívar, Hispania y Jardín; iii) Sinifaná, integrada por los municipios de Amagá, Angelópolis, Titiribí, Venecia y Fredonia, y iv) Penderisco, que comprende los municipios de Betulia, Concordia, Salgar y Urrao (FAO & ADR, 2019).

En el entorno departamental, el Suroeste desempeña un rol importante como territorio que oferta un conjunto de bienes y servicios ambientales, es eje articulador de los flujos generados por el corredor urbano industrial Cali – Medellín; además es punto de contacto para las conexiones nacionales al Pacífico y al Atlántico. El suroeste del departamento representa uno de los territorios que más influyó en la formación y evolución del pueblo antioqueño; sus condiciones naturales de vertientes semihúmedas, de suelos ricos de origen volcánico y clima medio se constituyeron en el ambiente biofísico que orientó a gran parte del movimiento colonizador antioqueño, cuyas prácticas culturales permitieron el desarrollo extensivo del cultivo del café (Gobernación de Antioquia, 2015).

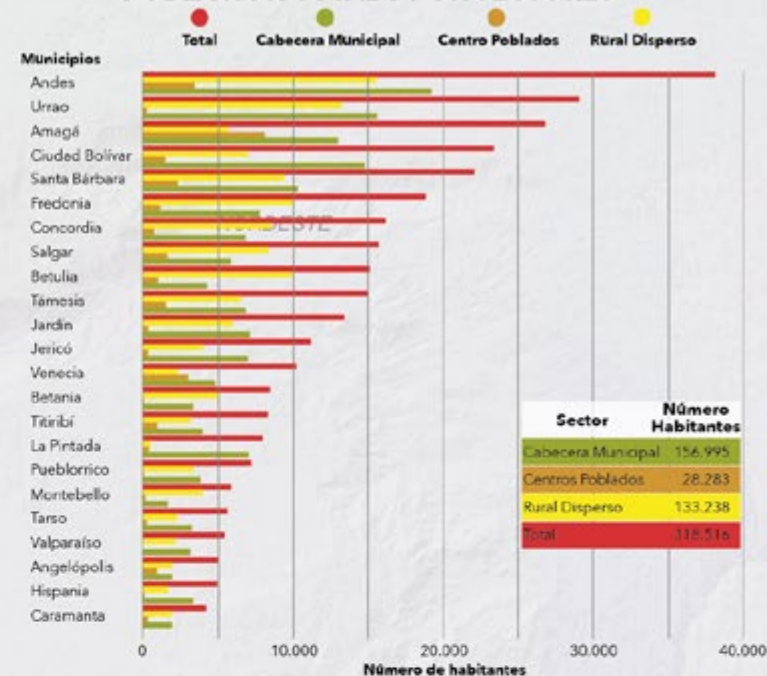
En la zona de Cártama, las principales actividades económicas son la agricultura —con cultivos principalmente de café, plátano y hortalizas— y la ganadería extensiva. En la zona de San Juan sobresale la agricultura con una expansión tecnificada del cultivo del café en asocio con el plátano, además de una ganadería extensiva y plantaciones forestales. En Sinifaná, la minería del carbón es la actividad económica de mayor importancia, seguida del cultivo de café y cítricos, plantaciones forestales, la ganadería y la avicultura. Finalmente, en Penderisco, la agricultura es la principal actividad económica, se caracteriza por la producción de tomate chonto bajo invernadero, frijol cargamanto, gulupa, tomate de árbol, hortalizas, aguacate, caña panelera y café (FAO & ADR, 2019).

En general, el café es el cultivo de mayor representatividad en la subregión, seguido por la ganadería tipo carne, doble propósito y leche tradicional. Es de resaltar, que en relación a la minería es la única subregión del departamento que tiene registros de producción de carbón, específicamente en los municipios de Amagá, Fredonia y Titiribí (FAO & ADR, 2019). En los últimos años, el Suroeste ha fortalecido su capacidad turística, actualmente se ubica como la tercera subregión en número de alojamientos del departamento (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

SUROESTE POBLACIÓN



POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

POBLACIÓN

En 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda –CNPV–, la población total de la subregión era de 318.516 habitantes, que conformaban 106.116 hogares distribuidos en 103.877 viviendas, con una densidad poblacional para la subregión de 49 hab/km². Amagá con 318,8 hab/km², La Pintada con 146,9 hab/km² y Santa Bárbara con 112,3 hab/km² son los municipios con mayor densidad poblacional, mientras que Urrao con 11,3 hab/km² es el de menor densidad (DANE, 2018).

En 2018, el 49,3% (156.995 habitantes) de la población de la subregión, se encontraba en las cabeceras urbanas, el 8,9% (28.283 habitantes) en centros poblados y el 41,8% (133.238 habitantes) en el sector rural. En esta subregión no se presentaba una marcada tendencia de la población urbana, aunque el municipio de La Pintada sí presenta un alto grado de urbanización con el 88% de su población en la cabecera; Hispania y Ciudad Bolívar también presentan grados de urbanización importantes con el 67% y 63%, respectivamente. Por su parte son predominantemente rurales los municipios de Montebello con el 69% de su población y Betulia con el 66%, de sus habitantes en el campo (DANE, 2018).

En relación con la población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, ascendía a 7.199 personas, que corresponde al 2,2% del total de la población, siendo la población indígena el grupo étnico con mayor representación (4.435 personas), las cuales se localizaban principalmente en los municipios de Jardín y Urrao. En el municipio de Jardín se encuentra el resguardo

de Cristianía y en Urrao los resguardos de Majore-Ambura, Valle de Perdidas Jengameconda y Andabu (Gobernación de Antioquia, 2019).

ACCESO AL AGUA

Según los datos del CNPV de 2018 la situación de la cobertura del acueducto es menor en el sector rural con relación al urbano. En las cabeceras municipales la cobertura del servicio de acueducto superaba el 95%, mientras que en las zonas rurales estas coberturas oscilaban entre 12,3%, en el municipio de Tarso, y 92,4% en Amagá, con varios municipios donde estas coberturas estaban por debajo del 50%.

Según el *Anuario Estadístico de Antioquia 2017*, las coberturas del acueducto y agua potable están por encima del 97% en las cabeceras urbanas, excepto en el municipio de La Pintada donde esta era de 0,0%. En la zona rural, las coberturas del servicio de acueducto son bajas, las de agua potable son 0% en los municipios de: Andes, Amagá, Caramanta, Hispania, Jardín, La Pintada, Montebello, Pueblorrico, Urrao y Valparaíso (Gobernación de Antioquia, 2018). Bajo este panorama, el riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano se incrementa en el sector rural.

Las coberturas rurales de alcantarillado en la mayoría de los municipios son muy bajas, habiendo casos donde estas no superan el 10%, como son: Betania, Hispania, Jardín, Montebello, Pueblorrico, Tarso y Urrao (DANE, 2018). Por su parte Amagá con 87,5% y Venecia con el 68,86% son los municipios con

mayor cobertura rural. En las cabeceras municipales estas coberturas superan el 70%, siendo La Pintada el de menor cobertura, con 77,7%.

CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población reflejada en las Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, los municipios de Urrao, Tarso, Salgar, Pueblo Rico, Montebello, Concordia, Betulia y Betania presentan condiciones de pobreza por encima del promedio departamental y nacional; los municipios Amagá, Caramanta, Jardín, Jericó, Santa Bárbara, Valparaíso y Venecia están por debajo de dichos promedios.

En cuanto a las condiciones de miseria, todos los municipios presentan porcentajes por debajo de los promedios nacional y departamental. Urrao presentaba los porcentajes de población en pobreza y miseria más altos de la subregión.

Según el Índice de Pobreza Multidimensional —IPM— estimado con los datos del CNPV 2018, todos los municipios de la subregión estaban por encima de los promedios nacional y departamental; Amagá sería el municipio con el menor porcentaje de población en pobreza (19,6%).

Otro factor que cabe mencionar y tiene que ver con el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir y que encuentra sus mayores magnitudes en Concordia con 16,27% de la población total, Betulia con 15,19%, Salgar con 14,59%, Urrao con 13,87%, y Tarso con 13,41%.

SUROESTE

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable - IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Amagá	1,0	71,0	41,0
Andes	2,0	55,0	21,0
Angelópolis	0,0	67,0	32,0
Betania	4,0	42,0	13,0
Betulia	0,0	35,0	17,0
Caramanta	0,0	96,0	37,0
Ciudad Bolívar	1,0	57,0	11,0
Concordia	6,0	60,0	23,0
Fredonia	2,0	36,0	19,0
Hispania	0,0	22,0	5,0
Jardín	0,0	97,0	36,0
Jericó	0,0	65,0	19,0
La Pintada	16,0	SD	16,0
Montebello	5,0	77,0	37,0
Pueblorrico	1,0	97,0	13,0
Salgar	1,0	46,0	19,0
Santa Bárbara	0,0	44,0	19,0
Támesis	2,0	50,0	29,0
Tarso	0,0	97,0	29,0
Titiribí	2,0	86,0	46,0
Urrao	0,0	72,0	9,0
Valparaiso	1,0	89,0	34,0
Venecia	0,0	20,0	10,0

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

IRCA
Clasificación Nivel de Riesgo
80,1 - 100 Invierte
35,1 - 80 Sanitario
14,5 - 35 Alto
5,1 - 14 Medio
0 - 5 Bajo
Sin dato Sin Riesgo

Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua - IRABA 2017

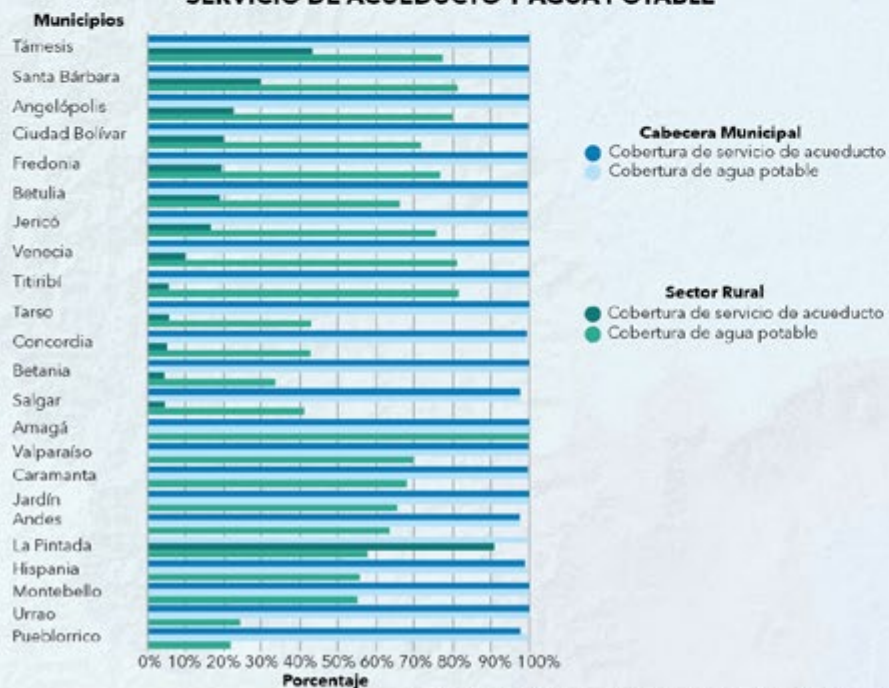
Municipios	Urbana	Rural	Total
Amagá	34,0	31,4	48,7
Andes	32,4	70,6	32,8
Angelópolis	24,3	63,8	26,9
Betania	34,1	56,4	31,4
Betulia	54,7	63,7	46,1
Caramanta	28,4	71,6	30,6
Ciudad Bolívar	15,3	66,6	15,2
Concordia	21,5	70,0	25,0
Fredonia	24,0	51,4	23,7
Hispania	18,5	57,4	17,4
Jardín	26,1	67,1	25,8
Jericó	25,0	67,4	24,6
La Pintada	20,5	SD	20,5
Montebello	35,5	66,4	39,0
Pueblorrico	27,6	83,4	29,2
Salgar	26,3	72,8	33,4
Santa Bárbara	18,3	49,8	15,7
Támesis	39,5	51,3	30,3
Tarso	24,1	76,7	28,7
Titiribí	33,1	67,7	35,8
Urrao	23,0	74,4	25,6
Valparaiso	26,1	73,5	28,2
Venecia	32,9	50,0	27,3

El IRABA es la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

IRABA
Clasificación Nivel de Riesgo
70,1 - 100 Muy Alto
40,1 - 70 Alto
25,1 - 40 Medio
10,1 - 25 Bajo
0 - 10 Sin Riesgo
Sin dato SD

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019

SERVICIO DE ACUEDUCTO Y AGUA POTABLE



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018 y Anuario Estadístico de Antioquia, 2017



SUROESTE

Calidad de Vida



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Concordia	11,80%	19,71%	16,27%
Betulia	11,97%	16,48%	15,19%
Salgar	10,56%	17,14%	14,59%
Urrao	10,01%	18,74%	13,87%
Tarso	12,85%	14,18%	13,41%
Betania	10,88%	13,60%	12,50%
Pueblorrico	8,42%	15,30%	11,57%
Ciudad Bolívar	8,96%	13,58%	10,60%
Venecia	8,30%	12,64%	10,59%
Titiribí	7,58%	12,85%	10,28%
La Pintada	10,01%	12,28%	10,27%
Hispania	9,03%	12,64%	10,18%
Angelópolis	6,65%	11,84%	9,75%
Valparaíso	6,87%	13,81%	9,63%
Andes	6,53%	13,31%	9,58%
Fredonia	6,57%	10,58%	8,90%
Montebello	4,95%	10,33%	8,79%
Támesis	6,08%	10,57%	8,59%
Caramanta	6,38%	9,6%	8,10%
Santa Bárbara	4,80%	10,42%	7,76%
Amagá	5,2%	9,84%	7,58%
Jericó	5,55%	10,74%	7,48%
Jardín	4,57%	8,86%	6,55%

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Como ya se mencionó, para evaluar la oferta hídrica superficial se utilizaron el Índice de Aridez —IA— y el Índice de Regulación Hídrica —IRH—. Según los resultados del ENA 2014 (IDEAM, 2015), el IA para el Suroeste muestra que hay un alto excedente de agua a medida que se avanza en dirección a Urabá y a los límites con el departamento del Chocó. Excedentes moderados se dan en algunas zonas hacia los límites con el departamento de Caldas, en el centro y al oriente de la subregión. El IRH varía de muy alto a moderado, siendo alto en la mayor parte de la subregión, especialmente, en el occidente y sur oriente. En la zona central es moderado, en jurisdicción de los municipios de: Betulia, Giraldo, Concordia, Tarso, Jericó, Támesis y Caramanta, mientras que al suroccidente, en parte del municipio de Urrao, la condición de regulación es muy alta. En síntesis, según el ENA 2018, en la mayor parte del territorio del Suroeste su sistema hídrico presenta una alta capacidad de mantener los regímenes de caudales.

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial a través de las diferentes intervenciones antrópicas se determinan a través de los índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

Según el IUA estimado en el ENA 2018, la presión sobre oferta hídrica, superficial en el Suroeste, varía

de muy baja a moderada en el año medio, siendo muy baja al norte en el municipio de Urrao, baja al suroccidente y centro de la subregión, y media al suroriental. Para el año seco, el IUA se incrementa en la zona sur de la subregión pasando de bajo a moderado, y de moderado a alto. Los municipios que presentan una mayor presión sobre el recurso hídrico son: Amagá, Venecia, Titiribí y Fredonia.

Según el *Estudio regional del agua* realizado por Corantioquia en 2016, las subzonas hidrográficas nivel 1, donde se localizan las cuencas abastecedoras de los acueductos de las cabeceras municipales de: Caramanta, Jericó, Pueblorrico, Támesis, Tarso y Valparaíso presentan un IUA muy alto para los dos periodos hidrológicos evaluados, seco y medio, indicando una fuerte presión sobre la oferta hídrica debido a la alta demanda sobre la misma.

El IACAL obtenido en el ENA 2018, para el periodo hidrológico medio, en la subregión del Suroeste presenta niveles de alteración bajos al norte de la misma, en el municipio de Urrao, alto al suroccidente, medio alto en la parte sur oriental, y moderado en jurisdicción de los municipios de Betulia, Concordia, Giraldo y Montebello. Estos valores se incrementan para el año seco, excepto en el municipio de Urrao, pasando al siguiente nivel en las zonas antes descritas. Lo anterior indica una presión de moderada a alta sobre la calidad del recurso hídrico superficial debido a las actividades socioeconómicas, siendo los municipios localizados en la cuenca del río San Juan y el Cuaca, los que presentan una mayor presión.

Riesgo al desabastecimiento de agua

El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los siguientes índices: Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

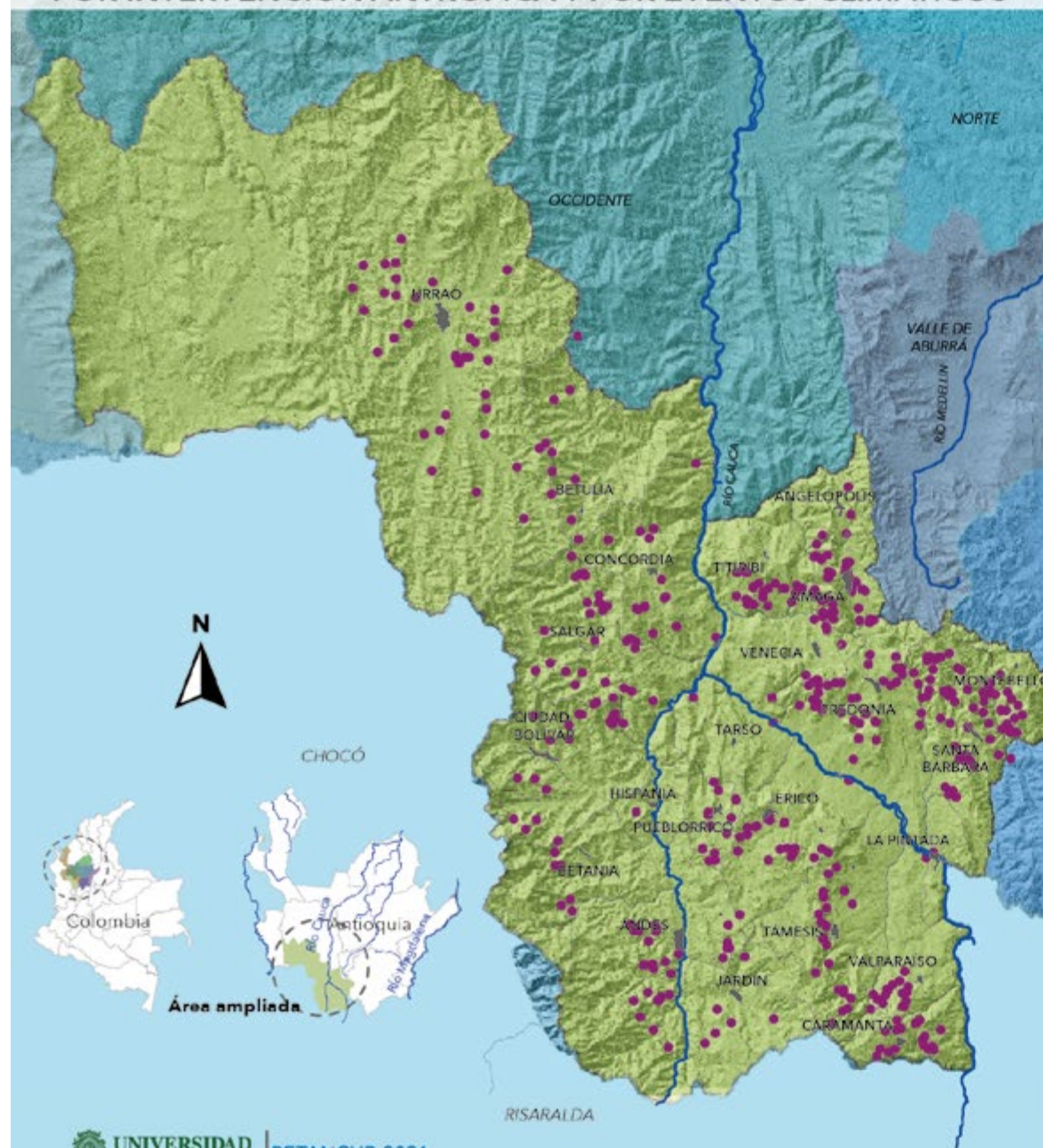
Según los resultados obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019), el IVH en la subregión del Suroeste varía de muy bajo a medio, incrementándose de norte a sur. El municipio de Urrao presenta un IVH muy bajo para ambos periodos hidrológicos evaluados, indicando que el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua es bajo, lo que se traduce en un riesgo al desabastecimiento bajo. Por su parte, en la zona centro sur, el IVH pasa de bajo en año medio a la categoría de medio en año seco.

Según los resultados obtenidos con el IRCA, que presenta la Gobernación de Antioquia en la Ficha Municipal, versión 2019, los municipios de: Caramanta, Jardín, Pueblorrico, Titiribí y Valparaíso son inviables sanitariamente por la calidad de las aguas que abastecen a su población rural; Betulia, Hispania y Venecia presentan un riesgo medio, y el resto de municipios presentan un riesgo alto. Por su parte, las cabeceras municipales no presentan riesgo, exceptuando La Pintada que presenta un riesgo alto, y Concordia Bajo.

Similar situación presenta el IRABA en el sector rural; los municipios inviables sanitariamente también presentan riesgo muy alto de abastecimiento; adicionalmente entran en este grupo los municipios de Ciudad

SUROESTE

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO,
POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRRH)*	Índice de Áridos (IA)*	Índice de Uso de Agua (IUA): Condición Normal*	Índice de Uso de Agua (IUA): Condición Seca*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL): Condición Normal*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL): Condición Seca*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVH): Condición Normal*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVH): Condición Seca*	Índice de Cambio Climático (ICC)**
Amagá	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	ALTO	ALTA	4.0	BAJA	MEDIA	0.29
Andes	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	997.64	MEDIA	MEDIA	0.18
Angelópolis	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MEDIA ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA	0.20
Betania	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.17
Betulia	MUY ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.14
Caramanta	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.26
Ciudad Bolívar	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.17
Concordia	MUY ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	0.26
Fredonia	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MEDIA ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA	0.21
Hispania	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.21
Jardín	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.21
Jerico	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.20
La Pintada	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.30
Montebello	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	0.22
Pueblo Rico	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.19
Salgar	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA	0.25
Santa Bárbara	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MEDIA ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA	0.21
Tamesis	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.24
Tarso	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.23
Titiribí	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MEDIA ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA	0.20
Urrao	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	0.17
Valparaíso	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.25
Venecia	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	MEDIA ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA	0.22

< 0.5 MUY ALTA	> 0.5 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	> 50.0 MUY ALTO	4.5 a 5.0 MUY ALTA	MUY ALTA	0.43 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.55 ALTA	0.50 - 0.59 DEFICITARIO DE AGUA	20.01 a 50.0 ALTO	3.5 a 4.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0.42 ALTO
0.65 a 0.75 MODERADA	0.40 - 0.49 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 20.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MEDIA ALTA	MEDIA	0.19 - 0.24 MEDIO
0.75 a 0.85 ALTA	0.30 - 0.39 MODERADO	5.0 a 10.0 BAJO	1.5 a 2.5 MODERADA	BAJO	0.17 - 0.18 BAJO
0.85 a 0.95 MUY ALTA	0.20 - 0.29 DEFICITARIO A ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	< 5.0 MUY BAJO	1.5 a 1.9 BAJA	MUY BAJO	0.15 a 0.16 MUY BAJO
0.95 a 1.0 MUY ALTA	0.10 - 0.19 DEFICITARIO DE AGUA	< 0.1 EXCEDENTES DE AGUA	< 1.5 EXCEDENTES DE AGUA	< 0.1 EXCEDENTES DE AGUA	< 0.1 EXCEDENTES DE AGUA



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR, 2021



Bocatoma de Agua

Fuentes:
IDEAM, 2019
IDEAM, PNUD, MAGS, DNP, CANCELLEÍA, 2017.

Bolívar y Salgar (Gobernación de Antioquia, 2019). Para las cabeceras municipales el riesgo varía de bajo a medio.

Por otra parte, el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes de los sistemas de acueductos urbanos, que presentaban en 2017 los municipios de: Amagá, Jericó, La Pintada, Montebello, Salgar, Santa Bárbara, Urrao, Valparaíso y Venecia ponen en riesgo el abastecimiento de agua para su población. En 2017, el 60 % de las redes de distribución de Fredonia y 40 % de las de Santa Bárbara estaban en mal estado (Gobernación de Antioquia, 2018).

Por su parte, el *Estudio nacional del agua 2018*, reporta problemas de desabastecimiento por reducción de caudales en las fuentes abastecedoras de los acueductos urbanos de los municipios de Caramanta y Titiribí (IDEAM, 2019). En los municipios de Hispania, Jardín, Jericó, Valparaíso y Venecia, el caudal otorgado para el abastecimiento de sus cabeceras urbanas es mayor que el caudal mínimo de su fuente abastecedora (Gobernación de Antioquia, 2018), lo cual también puede ocasionar problemas de desabastecimiento.

Como información complementaria se reportan, según el *Tercer informe sobre cambio climático* realizado por el IDEAM en 2017, los valores de riesgo para los municipios de la subregión; de acuerdo con ello comportan un nivel de riesgo entre muy alto La Pintada, Caramanta y Valparaíso; y muy bajo Betulia.

• PRIORIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA SUBREGIÓN SUROESTE DE ANTIOQUIA EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES DE RIESGO POR FACTORES HÍDRICOS

SUBREGIÓN BAJO CAUCA		
Municipios	Sumatoria	Posición
Amagá	0.27223	45
Montebello	0.24311	61
Titiribí	0.23146	65
Andes	0.22537	69
Salgar	0.21653	74
Támesis	0.21639	75
Tarso	0.21110	78
Betania	0.21002	79
Valparaíso	0.20839	80
Betulia	0.20822	81
Venecia	0.20569	83
Angelópolis	0.20562	84
Caramanta	0.20440	85
Pueblorrico	0.20312	87
Jardín	0.20256	88
Jericó	0.19778	91
La Pintada	0.19714	93
Fredonia	0.19596	94
Santa Bárbara	0.17198	108
Hispania	0.16557	112
Ciudad Bolívar	0.16025	115
Concordia	0.14353	121
Urrao	0.09936	125

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; considerando los 125 municipios de Antioquia, el más sensible es Amagá (puesto 45); Urrao sería el de menor riesgo en Antioquia (Puesto 125).

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

En la subregión de Suroeste CORANTIOQUIA ha desarrollado, con el propósito de evaluar potencialidades de abastecimiento, un estudio de exploración hidrogeológica en los municipios de Valparaíso y La Pintada; luego entre 2021 y 2022 la Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA han efectuado estudios de exploración regional, orientados a la evaluación del potencial hidrogeológico en la zona de influencia del bosque seco tropical. Luego de evidenciar que, efectivamente, el agua subterránea en el Suroeste representa una fuente de abastecimiento que suple ne-

cesidades de poblaciones urbana y rural, se ha abordado la formulación de un Plan de Manejo Ambiental de Acuífero –PMAA–, en los municipios de Caramanta, Valparaíso y La Pintada (Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA, 2023). De otro lado, los estudios de impacto ambiental, exigidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales –ANLA–, para obras mineras y de infraestructura deben haber considerado aspectos hidrogeológicos. Además, la explotación carbonífera debe haber generado un sistema de túneles y cavernas que pueden haber adquirido la condición de un intrincado depósito acuífero que involucra capas sedimentarias y mantos abandonados o extraídos, asociados al Miembro Medio de la formación Amagá. En el marco de este estudio solo se logró acceso a los proyectos adelantados por CORANTIOQUIA.

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN SUROESTE

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Evaluación hidrogeológica en los municipios de La Pintada y Valparaíso jurisdicción de la Dirección Territorial Cartama de Corantioquia.</i>	Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.	CORANTIOQUIA	2014
<i>Evaluación hidrogeológica asociada al bosque seco tropical en el cañón del río Cauca.</i>	Universidad de Antioquia.	CORANTIOQUIA	2021
<i>Determinación del potencial hidrogeológico en el suroeste de Antioquia</i>	Universidad de Antioquia.	CORANTIOQUIA	2022

Para la zona de Valparaíso y La Pintada se han identificado las unidades hidrogeológicas: formación Amagá, formación Combia La Pintada, formación Combia Valparaíso, Rocas Hipoabisales, *Stock* de Támesois y Depósitos Cuaternarios.

Aplicando los criterios establecidos por el IDEAM (2014), para determinar el nivel de conocimiento de los sistemas hidrogeológicos de Colombia, se pudo establecer que para el caso de Valparaíso – La Pintada, existen limitaciones relacionadas con la exploración directa, la piezometría, isotopía, carga contaminante.

• SÍNTESIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE SUBREGIÓN SUROESTE

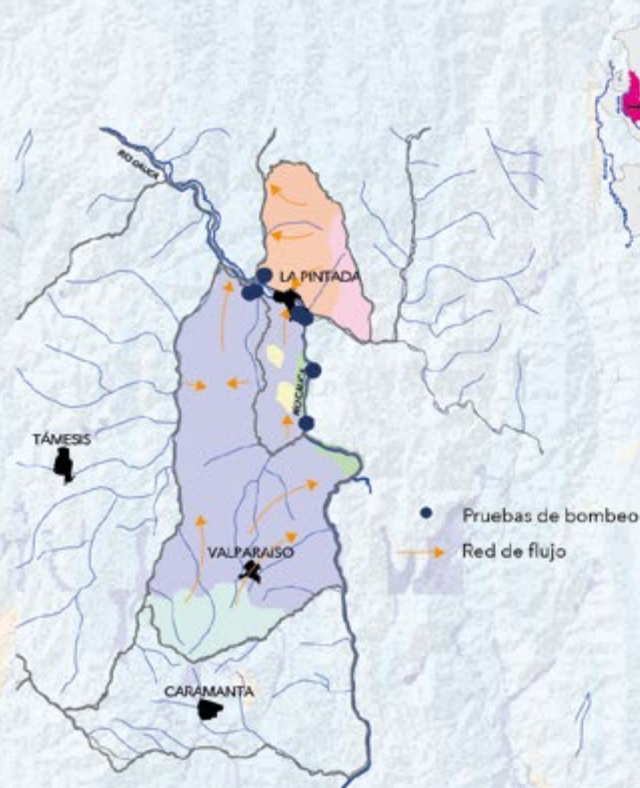
Información		Unidades hidrogeológicas identificadas
Ítem	Subítem	UH I. Formación Amagá (UHI) UH II. Formación Combia La Pintada (UHII) UH III. Formación Combia Valparaíso (UHIII) UH IV. Rocas hipoabisales (UHIV) UH V. Stock de Támesis (UHV) UH VI. Depósitos cuaternarios (UHVI)
Municipios asociados		Valparaíso, La Pintada
Geometría	Geología	✓
	Registros de perforación	✗
	Geofísica	✓
	Correlación hidroestratigráfica	✓
Áreas, fuentes y magnitud de recarga	Análisis textural	✓
	Pruebas de infiltración	✗
	Geomorfología	✓
	Análisis estructural	✓
Red de flujo	Balance hídrico	✓
	Inventario de puntos de agua	✓
	Red de monitoreo	✓
	Funias y SIRH	✓
	Usos del agua	✓
Propiedades hidráulicas	Piezometría	✗
	Pruebas de bombeo	✓
Calidad del recurso	Calidad	✓
	Hidrogeoquímica	✓
	Isotopía	✗
Vulnerabilidad		✓
Carga contaminante y riesgo		✗
PMAA		✗

Para la zona de influencia de Bosque Seco se adelantó la identificación de las unidades hidrogeológicas, el inventario de puntos de agua y la priorización de zonas acuíferas asociadas a depósitos y rocas sedimentarias clásticas. Para el suroeste de Antioquia, se efectuó nueva exploración geofísica y procesos de correlación hidroestratigráfica, con más de 90 columnas, y se identificaron las unidades: Acuífero libre del río Cauca, Acuífero multicapa Amagá Superior y Acuífero Combia Suroeste.

• NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES ACUÍFERAS SUBREGIÓN SUROESTE.

Parámetro / Unidad identificada	UH I, II, III, IV, V y VI
¿Se tiene definida la geometría del acuífero?	3
¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, tránsito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)?	2
¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológicos, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos?	2
¿Cuenta con monitoreo sistemático?	1
¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca?	1
¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuífero?	1
Calificación	10 = aceptable

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SUROESTE ANTIOQUEÑO



Zonas hidrogeológicas

- ZH1a
- ZH1b
- ZH1c
- ZHII
- ZHIII
- ZHIV
- ZHV



Características	Zonas Hidrogeológicas
Municipios asociados	Valparaiso y La Pintada.
Geología	Rocas cristalinas fracturadas, del Stock de Tamesis; Rocas sedimentarias de la Formación Amagá; la unidad volcano sedimentaria denominada Formación Combia; cuerpos porfíricos, depósitos de vertiente y aluviales.
Generación de agua	185 km ²
Uso	Según inventario realizado en 2014 se encontraron 49 nacimientos, 37 ajiacos y 1 pozo.
Correlación estratigráfica	El uso principal del agua es el doméstico (58%) seguido del recreativo (13%), el 24% de puntos no registran un uso.
Recarga	10 sondeos eléctricos y 10 tomografías, realizados sobre la Formación Amagá y sobre los Depósitos Aluviales.
Balance hídrico	Se han definido seis unidades hidrogeológicas con diferente condición de porosidad y/o permeabilidad: Formación Amagá -UHV-, Formación Combia (La Pintada -UHV-, Formación Combia Valparaiso -UHV-, rocas hipobasales -UHV-, Stock de Tamesis -UHV- y Depósitos cuaternarios -UHV-.
Análisis textural	La recarga promedio es de 150 mm/año, correspondiente al 6,5 % de la precipitación media en la zona.
Pruebas de infiltración	Se han identificado diferentes texturas en los suelos: franco arenoso (FAL), franco (F), franco arcilloso (FAR), franco arcillo-arenoso (FAR-A), arcilloso (AR) y arcillo arenoso (ARA).
Geomorfología	No se registra información.
Análisis estructural	Se han efectuado evaluaciones geomorfológicas en el Suroeste de Antioquia.
Delimitación de Áreas de Recarga	A partir del reconocimiento de la geología se identifican rasgos estructurales como diaclasas, con o mayor densidad y abertura.
Red de Flujo	Se realizó una delimitación de zonas potenciales de recarga partiendo del mapa de pendientes y las unidades geomorfológicas.
Piezometría	Existe información de dos campañas de campo, a partir de las cuales se define una piezometría que ilustra la dirección de flujo subterránea a la pendiente del terreno y en dirección a las fuentes superficiales.
Pruebas de bombeo	Se han pruebas hidráulicas realizadas en depósitos de La Pintada, de conductividad entre 0,21 m/día y 3,04 m/día y Transmisibilidad entre 17,1 m ² /día y 292 m ² /día.
Cavidad	No hay información disponible.
Hidrogeoquímica e isotopía	Las facies identificadas, en 20 puntos analizados, corresponden a Ca-HCO ₃ y Mg-HCO ₃ . Con base a la información recolectada se proponen hipótesis de líneas de flujo.
Isotopía	Sin evaluación.
Red de monitoreo	Algunos puntos hacen parte de la red regional Pitagás.
Oferta-Demanda	No hay información disponible.
Medidas de Manejo Zonas de Recarga	No hay información disponible.
Vulnerabilidad	Se evaluó la vulnerabilidad en dos situaciones: una a la contaminación por pesticidas y la otra a la contaminación de acuíferos en general. La vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos general es baja y media en la Formación Amagá y alta en los depósitos cuaternarios.
Carga contaminante y riesgo	No hay información disponible.
Vulnerabilidad humana	No hay información disponible.
Fuente y SIIH	No hay información disponible.
Plan de Manejo Ambiental	No se ha formulado un PMAA para el sistema hidrogeológico del Suroeste antioqueño.

Información actualizada hasta el año 2014

- Sondeos eléctrico y puntos de agua
- Líneas flujo

Potencial de recarga

- Potencial de recarga alto
- Potencial de recarga media
- Potencial de recarga bajo

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica.

En el Suroeste de Antioquia es evidente, entre comunidades urbanas y rurales, la importancia que reviste el agua subterránea como efectiva fuente de abastecimiento para suplir necesidades básicas de la población que no tiene cobertura o acceso a agua potable.

Retomando las características litológicas y estructurales, se presenta a continuación la evaluación del carácter hidrogeológico que podrían tener las rocas duras –metamórficas e ígneas– y las formaciones blandas –rocas sedimentarias y depósitos detríticos– que tienen presencia en la subregión Suroeste de Antioquia.

Rocas duras

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Pzq	Cuarcitas	Franja alargada en Santa Bárbara y pequeños cuerpos en Montebello	1,0	Esta unidad tiene porosidad secundaria adquirida por diaclasamiento; la disposición de estas fracturas conferiría a la roca una permeabilidad media. En conjunto tendrían un potencial acuífero bajo, dada su limitada extensión.
Pzev	Complejo Cajamarca: Esquistos actinolítico - cloríticos	Cuerpos separados en Titiribi, Angelópolis y Venecia,	33,39	Las rocas tipo esquisto poseen una foliación bien marcada y definida, están afectadas por fallamiento y registran, ocasional, diaclasamiento; la permeabilidad es media. En conjunto su potencial acuífero se considera bajo.
Pzes	Complejo Cajamarca: Esquistos cuarzo sericíticos	La mayor extensión en Montbello, con manifestaciones en Amagá y Santa Bárbara	35,11	
Pzam	Anfibolitas del Alto de Minas	Santa Bárbara	2,3	Las rocas tipo anfibolita están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria, las diaclasas están inclinadas, asignándose preliminarmente una permeabilidad media. En conjunto su potencial acuífero es bajo.
Pzei	Anfibolitas y esquistos anfibólicos	Caramanta	2,5	
TRmPP	Migmatitas de Puente Peláez	Pequeña prolongación desde El Retiro, cubre a Montebello	6,2	Presenta porosidad secundaria por diaclasas inclinadas. Con estas condiciones se establece una permeabilidad media. Potencial acuífero de condición medio a bajo.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pzms	Rocas metamórficas de bajo grado	Una franja alargada entre Santa Bárbara y Fredonia.	4,85	Estos pequeños cuerpos alargados están limitados por fallas, tendrían una permeabilidad media. Su potencial acuífero sería bajo.
TReC	Cuarcitas (Esquistos de Cajamarca) Filita y cuarzo.	Franja alargada al este de Montebello	5,69	
TRga	Stock de Amagá	Cuerpo alargado NW en Amagá, Angelópolis y pequeña manifestación en Fredonia.	19,32	Se registra en todos ellos, localmente, porosidad secundaria por fracturamiento; sin embargo, se estima que su permeabilidad, en conjunto, es baja. El potencial acuífero sería bajo.
Kidc	Stock de Cambumbia	AL oriente de Caramanta, La Pintda y Valparaíso.	24,26	
Trah	Stock de la Honda	Montebello y Santa Bárbara	27,45	
Trab	Stock del Buey	Montebello	9,67	
Kitt	Stock de Támesis	Su mayor extensión en Jardín y hacia Támesis y mínima extensión en Caramanta	57, 04	
Kcdu	Stock de Úrsula	Manifestaciones puntuales en Santa Bárbara	2,96	
Ngcf	Stock del cerro de Frontino	Urrao	0,67	
Ngpf	Stokc del Páramo de Frontino	Urrao	68,03	
Ksg	Gabro	Manifestaciones en pequeños afloramientos en: Montebello, Santa Bárbara, Hispania, Pueblo Rico, Salgar, Concordia y Betulia	35,92	
Kigr	Gabros de Romeral	Cuerpo alargado entre Amagá y Angelópolis	11,73	Registra algunas evidencias de diaclasamiento (Mejía, 2009), la permeabilidad secundaria sería muy baja. El potencial hidrogeológico como acuífero es bajo.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Kiu	Peridotidas y rocas ultramáficas	Angelópolis, Caramanta, Montebello	7,18	La baja afectación tectónica implica una muy baja porosidad y permeabilidad. No tienen potencial acuífero.
Ngtf	Batolito de Farallones	Andes y Betania y una pequeña manifestación en Ciudad Bolívar	122,26	No poroso, no permeable. No tienen potencial acuífero.
Ngts	Batolito de Sabanalarga	Betulia	0,59	Por la continuidad de las características regionales, según las cuales las diaclasas con dirección NS buzan al este y las diaclasas con dirección EW buzan al norte, tienen porosidad media. Potencial acuífero alto.
Ngpa y Ngpd	Rocas hipoabisales profiríticas	Caramanta, Támesis, Valparaíso, La Pintada, Fredonia, Venecia y Titiribí	60,66	No poroso, no permeable. Sin potencial acuífero.
Tada	Porfidos Dacíticos	Venecia	2,58	
Tdsa	Diques y Silos	Jericó, Venecia y Fredonia	2,13	
Kidp	Diorita de Pueblito	Angelópolis, Amagá, Titiribí y Venecia	68,06	Registra porosidad por fracturamiento y permeabilidad muy baja. Potencial acuífero bajo.
Ksdh	Diorita de Heliconia	Angelópolis	2,24	Registra porosidad por fracturamiento y permeabilidad muy baja. Potencial acuífero bajo.
Pggm	Batolito de Mandé	Urrao	607,7	Permeabilidad muy baja según condición de las diaclasas descritas en la cartografía 1:100.000. Potencial acuífero bajo.
Kivu	Volcánico de Uramita	Urrao	47,46	Escasa porosidad secundaria, no permeable. Sin potencial acuífero.
Ksvx	Complejo Santa Cecilia La equis	Dos franjas angostas en sentido sur norte Urrao	351,03	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Pnim	Intrusivo néisico del Alto de Minas	Franja alargada en Santa Bárbara	7,64	Se reporta la existencia de pocas diaclasas y la ocurrencia de algunos efectos dinámicos de intensidad variable. La unidad tendría porosidad secundaria y una permeabilidad baja. Su potencial acuífero es bajo.
Nglh	Monzonita de La Horqueta	Urrao	0,88	No porosa, no permeable. Sin Potencial acuífero.

Formaciones blandas

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Kisqg	Formacion Quebrada grande	Santa Bárbara y Angelópolis	19,16	Si bien tiene porosidad primaria con algunas diaclasas, en general los productos de meteorización son de naturaleza arcillosa, es decir, que tiene una permeabilidad media a baja. Potencial acuífero bajo.
Ngc	Formación Combia	Atraviesa toda la subregión de sur a norte, Caramanta, Valparaíso, La Pintada, Támesis, Jardín, Andes, Jericó, Pueblo Rico, Hispania, Tarso, Fredonia, Venecia, Salgar, Concordia, Titiribí y Betulia	897,9	La formación Combia tiene porosidad primaria y permeabilidad alta debido a la afectación estructural, meteorización y la pérdida de consolidación. Su potencial acuífero es alto.
Ngas	Formación Amagá – Miembro Superior	Atraviesa toda la subregión de Sur a Norte en los municipios Caramanta, Valparaíso, Támesis, La Pintada, Santa Bárbara, Fredonia, Jericó, Tarso, Venecia, Amagá y Titiribí	464,95	Los tres miembros de la formación Amagá poseen estratos con condiciones favorables para constituir medios acuíferos, ello dado la condición de porosidad primaria, la afectación estructural y la pérdida de consolidación. Además, en el Miembro Medio la minería de carbón ha dejado una red de túneles y socavones que suman a las condiciones de potencial como almacenadores y transmisores de agua; en este último la afectación, esperada, a la calidad limitarían la utilización del recurso hídrico subterráneo.
Pgam	Formación Amagá. Miembro Medio	Amagá, Angelópolis, Titiribí, Santa Bárbara, Fredonia, Venecia, Tarso y Andes	39,85	
Pgai	Formación Amagá. Miembro Inferior	Santa Bárbara, Fredonia, Venecia, Amagá, Angelópolis y Titiribí	41,83	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Ksu	Grupo Cañasgordas Formación Penderísco Miembro Urrao	Andes, Betania, Jardín, Hispania, Ciudad Bolívar, Salgar, Concordia, Betulia y Urrao	2071,18	La composición estratigráfica del Miembro Urrao se caracteriza por material finogranular, lo que sugiere una porosidad primaria y una permeabilidad muy baja. El Miembro Nitubara tiene una franja larga y angosta que atraviesa de sur a norte el municipio de Urrao, conformado por calizas, limolitas y shales, su condición acuífera debe ser muy baja. Valdría la pena mirar el espesor de las capas calcáreas para evaluar disolución.
Ksn	Formación Penderísco Miembro Nutibara	Urrao	84,4	
Kisl	Lodolitas de El Sireno	Urrao	150,26	Porosidad primaria permeabilidad muy baja. Sin potencial acuífero
Kisl	Liditas del Barroso	Betulia	2,23	
Qal	Depósitos aluviales	Urrao, Valparaíso, Támesis, Andes, La Pintada; Santa Bárbara, Montebello, Fredonia, Jericó, Tarso, Ciudad Bolívar, Salgar, Venecia, Concordia, Titiribí, Amagá, Angelópolis, Betulia, Salgar,	195,5	Porosidad y permeabilidad primaria alta. Potencial acuífero muy alto.
Qd	Depósitos de vertiente	Urrao, Concordia, Titiribí y Angelópolis	14,05	
Qt	Terrazas	Urrao, Támesis, Betania e Hispania	122,82	

PERCEPCIONES



SUROESTE

Extensión 6.512 km²

23 municipios distribuidos en cuatro zonas: Cártama, San Juan, Sinifaná y Penderisco. Localizado sobre las vertientes de las cordilleras Central y Occidental que conforman el cañón del río Cauca.

Actividades económicas más importantes



Los moradores de las riberas del río Cauca han construido pozos, artesanales o tecnificados, para satisfacer sus necesidades del preciado bien. Las comunidades rurales han identificado en las peñas afloramientos naturales, encontrando en ellos soluciones colectivas para el abastecimiento permanente de agua, o para suplir sus demandas en condiciones de sequía o racionamiento. Existe quien aas, en sus emprendimientos empresariales, han descubierto la ventaja, en calidad y costos, que representa el uso del agua subterránea; de esta forma se estimula el uso eficiente y el ahorro del agua potable.

La presencia de importantes flujos desplazándose a través de túneles abandonados de la tradicional actividad minera de carbón se reconoce como una manifestación, ya perenne, de agua subterránea.

La conciencia del cuidado ha derivado en actos de respeto que se traducen en el diseño de obras novedosas de protección de nacimientos, como los sistemas sostenibles diseñados por Ernesto Guerra o soluciones geotécnicas como las galerías del Cerro Combia en Fredonia.



"Es muy importante ir contando y multiplicando este conocimiento, para que no se quede solo en mí, que los campesinos sepan que pueden tomar agua de muy buena calidad, cuidando sus afloramientos"
Ernesto Guerra (Santa Bárbara)



SUROESTE GEOLOGÍA



Área ampliada

URABA

URRAO

OCCIDENTE

NORTE

VALLE DE ABURRA

SEDIMENTARIAS	ÍGNEAS	METAMÓRFICAS
Qa Terrazas aluviales Qal Aluviones recientes Q2K, Q2H Depósitos lacustres y fluvioaluviales Qd Depósitos de deslizamientos	Ngra Rocas hipobasálticas porfíricas Ngpf Porfidos andesíticos Ngof Stock del Páramo de Frontino Ngf Batolito de Pastores Ngvp Volcánico del Páramo de Frontino Nge Formación Cambia volcánica Nagd Rocas hipobasálticas Pggm Batolito de Manda Ksu Batolito de Sabanalarga Ksh Diques de Heliconia Kns Complejo Santa Cecilia - La Esquí Kag Gabro Kodu Stock de Ursula Kidp Diques de Puéblito Kiu Ultramafitas de Elrenal Kigs Gabros de Elrenal Kivg Volcánicos del Complejo Quebradagrande Kivb Volcánico Barroso Kivu Volcánico de Urmita Kidc Stock de Cambumbia Kit Stock de Tamasis TRga Stock de Amagá TRah Stock de la Honda TRho Stock El Huey	Pgsl Rocas de muy bajo grado de metamorfismo TrC Esquistos de Cajamarca TRPP Migmatitas de Puente Pelaez Pzo Complejo Cajamarca: Esquistos Cuarzo Serpenticos Pzev Complejo Cajamarca: Esquistos Actinolítico - Cloríticos Pdes+ev Complejo Cajamarca: Esquistos Intercalados Pzo Complejo Cajamarca: Cuarcitas PzaM Anfibolitas del Alto de Minas Pzi Anfibolitas y Esquistos anfibolíticos PEgr Granulitas y Migmatitas de El Retiro

	Diaclasa inclinada
	Diaclasa horizontal
	Diaclasa vertical
	Dique inclinado
	Dique vertical
	Cizalla inclinada
	Cizalla
	Falla Geológica



Adaptado de cartografía 1:100.000 del S.G.C

CHOCÓ

RISARALDA

CALD

BETULIA

CONCORDIA

SALGAR

CIUDAD BOLIVAR

HISPANIA

BETANIA

PUEBLORRICO

ANDES

JARDÍN

CARAMANTA

VALPARAISO

TÁMESIS

LA PINTADA

GERICO

TARSO

VENECIA

FREDONIA

ANGELÓPOLIS

TITIRIBI

AMAGÁ

MONTEBELLO

SANTA BARBARA

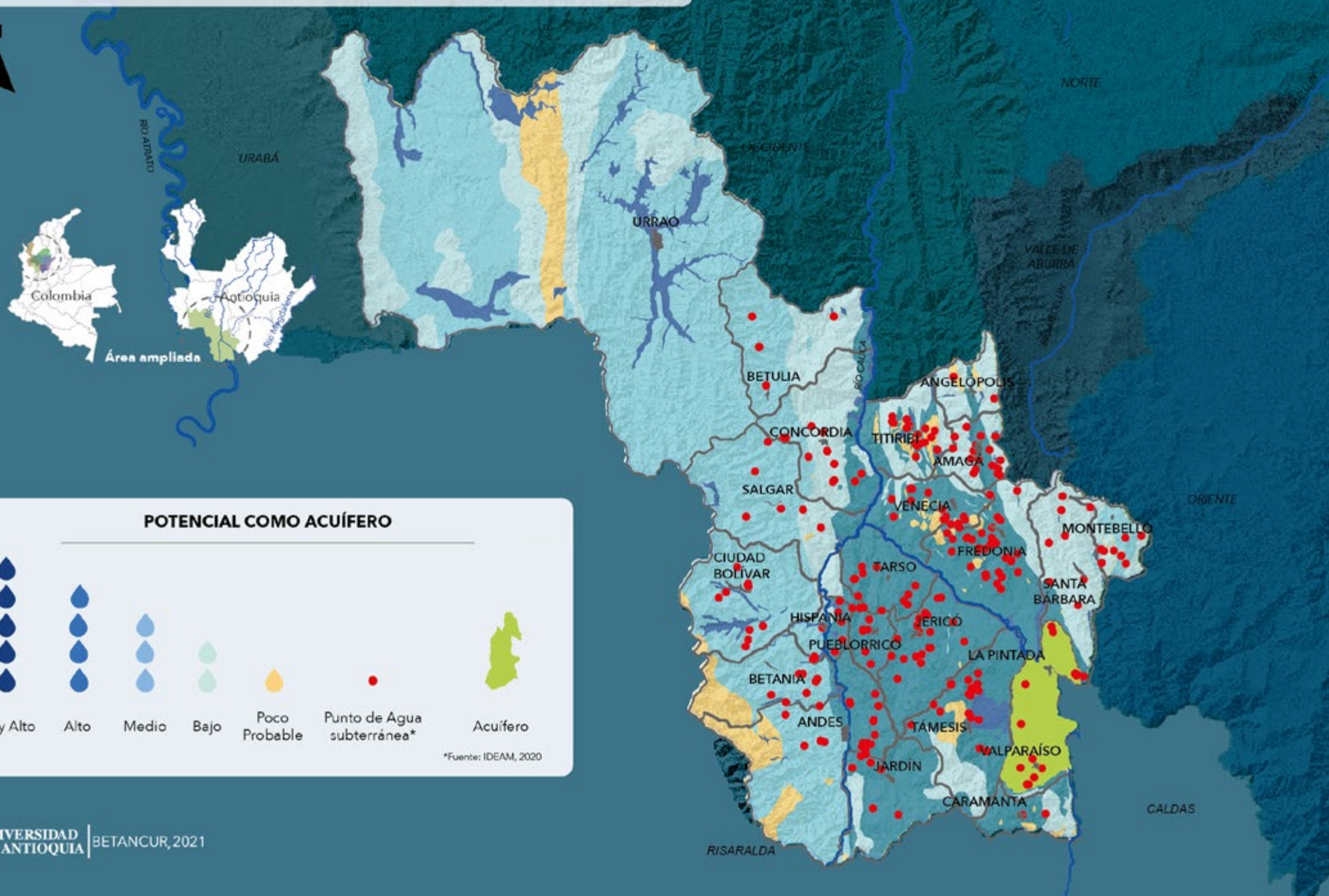


UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR 2021

SUROESTE

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA





SUBREGIÓN

NORTE DE ANTIOQUIA

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

La subregión Norte de Antioquia tiene una extensión de 9.390 km² lo que equivale al 14,8% del total departamental. Se encuentra ubicada en la cordillera Central y en la vertiente oriental de la cordillera Occidental (FAO & ADR, 2019). Está conformada por 17 municipios, distribuidos en las siguientes zonas: i) vertiente río Cauca, integrada por los municipios de Ituango, San Andrés de Cuerquia y Toledo; ii) vertiente de los ríos Grande y Chico, conformada por los municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, San José de la Montaña, Donmatías, Entreríos y Belmira; iii) vertiente del río Porce, integrada por los municipios de Carolina del Príncipe, Gómez Plata y Guadalupe; y iv) vertiente Chorros Blancos, con los municipios de Angostura, Briceño, Campamento, Valdivia y Yarumal (FAO & ADR, 2019).

El accidente geográfico más importante de la subregión es el nudo de Paramillo, donde está ubicado el Parque Nacional Natural Paramillo. Allí nacen las serranías de Abibe, San Jerónimo y Ayapel, y los ríos San Jorge y Sinú. Se encuentran también zonas boscosas: los robledales en los municipios de Yarumal, Belmira, Entreríos, San José de la Montaña, Santa Rosa de Osos, y el bosque de Miraflores en Carolina del Príncipe; son 5.000 hectáreas en las que se protege el embalse del mismo nombre (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

El Norte de Antioquia se caracteriza por ser una de las subregiones más desarrolladas económicamente en el departamento, principalmente por el sector agropecuario. La ganadería es la actividad de mayor importancia especializada en la producción de lácteos (FAO & ADR, 2019).

Dadas sus características topográficas, geológicas y pluviométricas, la generación de energía eléctrica también es un renglón importante. La subregión Norte se ha convertido en la despensa hidroeléctrica, no solo del Valle de Aburrá sino de Antioquia en general. Allí se encuentran los proyectos hidroeléctricos de Guadalupe I y Guadalupe II, los embalses de Quebradona, Troneras, Miraflores y Río Grande, y el megaproyecto Hidroeléctrico Ituango (FAO & ADR, 2019).

En la producción agrícola sobresalen: aguacate hass, cacao, café, caña panelera, granadilla, lulo, mora, tomate de árbol, frijol, arroz, maíz tradicional, papa, tomate chonto, uchuva y yuca. El cultivo de la caña es el segundo rubro de importancia en la subregión, siendo Campamento es el principal cultivador (FAO & ADR, 2019).

Además del desarrollo industrial que se da alrededor de los lácteos y carnes, especialmente en los municipios de Donmatías y Entreríos, la industria manufacturera con la fabricación de prendas de vestir ocupa un lugar importante en la economía de la subregión (FAO & ADR, 2019).

NORTE POBLACIÓN



La Subregión Norte se encuentra ubicada en una de las ramificaciones de la Cordillera Central y en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental; tiene una extensión de 9.390 km².

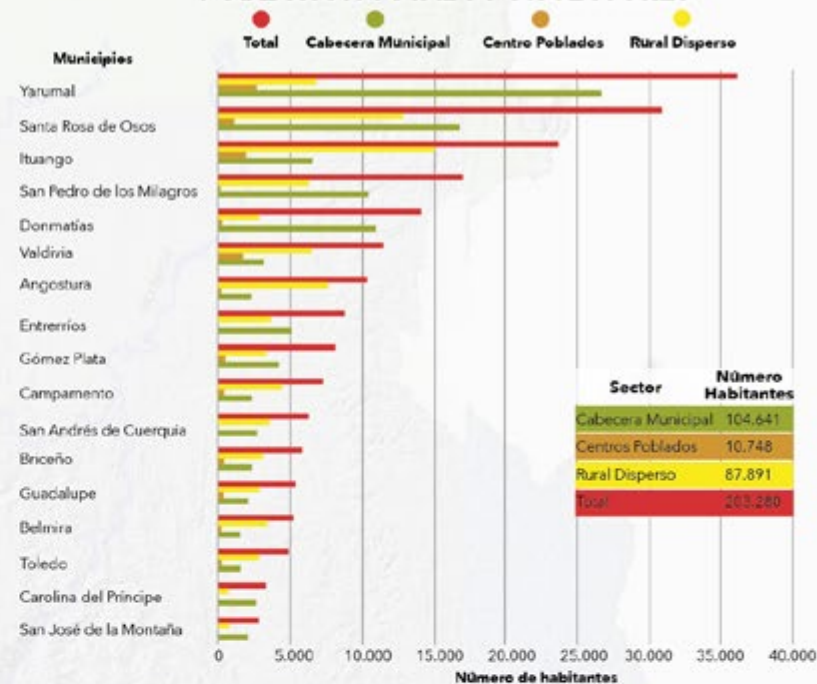
Está conformada por 17 municipios, distribuidos en las siguientes zonas: i) vertiente río Cauca, integrada por los municipios de Ituango, San Andrés de Cuerquia y Toledo; ii) vertiente de los ríos Grande y Chico, conformada por los municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, San José de la Montaña, Donmatías, Entreríos y Belmira; iii) vertiente del río Porce, integrada por los municipios de Carolina del Príncipe, Gómez Plata y Guadalupe; y iv) vertiente Chorros Blancos, con los municipios de Angostura, Briceño, Campamento, Valdivia y Yarumal.

El sector agropecuario del Norte de Antioquia, se especializa en la producción de lácteos. La generación de energía eléctrica también es un renglón importante, allí se encuentran, entre otros, los proyectos hidroeléctricos de Guadalupe I y Guadalupe II, los embalses de Quebradone, Troneras, Miraflores y Río Grande, y el megaproyecto Hidroeléctrico Ituango.



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR 2021

POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

POBLACIÓN

En 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda –CNPV–, la población total de la subregión era de 203.280 habitantes, que conformaban 62.766 hogares distribuidos en 50.290 viviendas. La densidad poblacional para la subregión era de 22 hab/km². San Pedro de los Milagros (77 hab/km²) y Donmatías (70 hab/km²) son los municipios con mayor densidad. Ituango con 8 hab/km² es el de menor densidad (DANE, 2018).

En 2018, el 51,5% (104.641 habitantes) de la población de la subregión se encontraba en las cabeceras urbanas, el 5,3% (10.748 habitantes) en centros poblados y el 43,2% (87.891 habitantes) en el sector rural (DANE, 2018). Esta subregión no presentaba una marcada tendencia de concentración de la población en las cabeceras urbanas, aunque sí se observan varios municipios con un grado de urbanización alto, como es el caso de Carolina del Príncipe y Donmatías donde el 79% (1.023 personas) de sus habitantes se localizan en la cabecera urbana. Por su parte, los municipios: Angostura con el 70% (2.321 habitantes) y Belmira con el 62% (969 habitantes), son los municipios con el menor grado de urbanización.

En relación con la población perteneciente a grupos étnicos, en 2018, sumaba 3.652 personas, que corresponde al 1,8% del total de la población de la subregión; la población del grupo étnico correspondiente a negros, mulatos, afrodescendientes y afrocolombianos, era la que tenía una mayor representación con 3.082 (1,5%) personas, asentadas principalmente

en el municipio de Belmira (DANE, 2018). En el municipio de Ituango se localiza un resguardo indígena de la etnia embera-katio (Gobernación de Antioquia, 2019).

ACCESO AL AGUA

La situación de la cobertura del servicio de acueducto, disminuye en el sector rural, las cifras oscilan entre el 15% y 67%, siendo los municipios de: San Pedro de los Milagros con el 65,8%, Angostura con el 66% e Ituango con el 66,7%, los que presentan una mejor condición (DANE, 2018). Las coberturas de alcantarillado de los municipios en este sector son bajas, no superan el 30%; en Angostura, Campamento y San Andrés de Cuerquia donde son muy bajas, no superan el 3%.

Según el *Anuario estadístico de Antioquia 2017*, las coberturas del acueducto y agua potable están por encima del 94% en las cabeceras urbanas. No obstante, en la zona rural, esas coberturas disminuyen. Así mismo, el acceso a agua potable es muy bajo, siendo de 0,0% para Belmira, Briceño y Entreríos (Gobernación de Antioquia, 2018).

Por otra parte, el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes del sistema de acueducto urbano, que presentaba en 2017, los municipios de Belmira, Entreríos, Yarumal y Gómez Plata ponen en riesgo el abastecimiento de agua de su población.

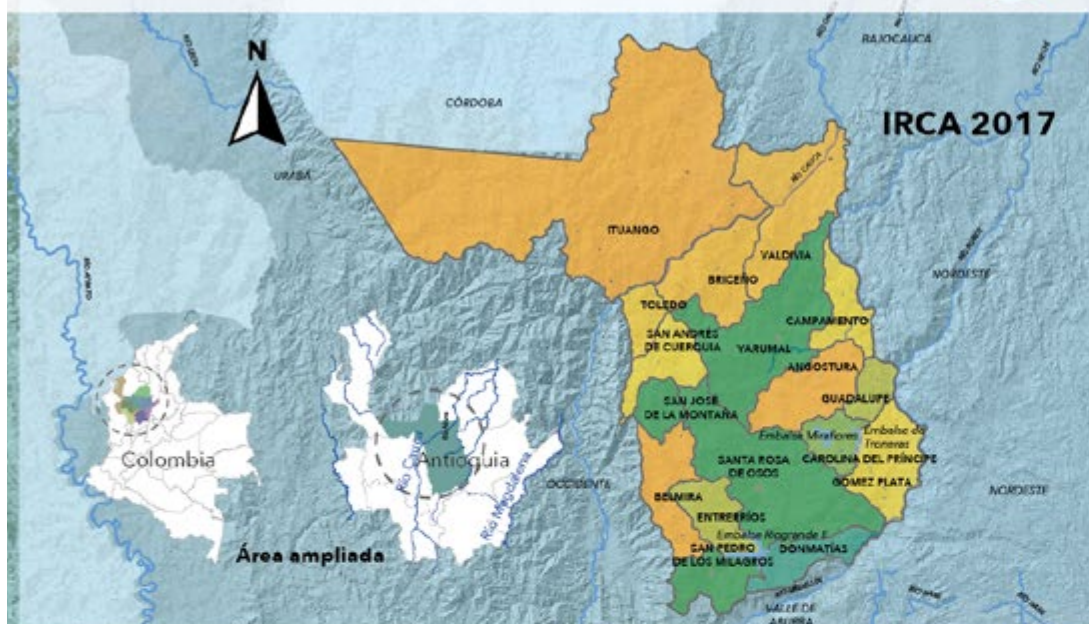
CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población reflejada en las Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, se presentan municipios con porcentajes de población en pobreza y miseria por encima del promedio nacional y departamental, siendo el municipio de Ituango el que presenta la mayor proporción de población en pobreza y miseria, con el 35,7% y 12,5% respectivamente. Por su parte, los municipios de: Carolina del Príncipe con el 5,5% de población en pobreza y el 0,3% en miseria, Donmatías con el 6,1% en pobreza y el 0,3% en miseria y San Pedro de los Milagros con el 6,6% en pobreza y el 0,3% en miseria, son los municipios con mejores condiciones de vida. El Índice de Pobreza Multidimensional –IPM–, estimado con los datos del CNPV 2018, muestra una situación más crítica que la reflejada con el NBI, según este índice, los municipios de Carolina del Príncipe (20,4%), Donmatías (19,7%) y San Pedro de Los Milagros (19,50%) presentan los porcentajes más bajos con valores cercanos al promedio nacional, mientras que Ituango (57,6%), Campamento (59,3%) y Valdivia (59,3%) tienen los valores más altos.

Otro factor que cabe mencionar tiene que ver con el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir y que para todos los municipios es superior al 10%; alcanzando en Valdivia y Campamento el 15%, en Briceño, Angostura e Ituango el 13% y en Guadalupe y Toledo alrededor del 11%.

NORTE

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable - IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Angostura	0,0	65,0	46,0
Belmira	1,0	82,0	41,0
Briceño	3,0	61,0	27,0
Campamento	2,0	82,0	31,0
Carolina del Príncipe	6,0	88,0	16,0
Donmatías	2,0	28,0	5,0
Enterríos	4,0	20,0	10,0
Gómez Plata	1,0	75,0	25,0
Guadalupe	0,0	32,0	11,0
Ituango	3,0	96,0	46,0
San Andrés de Cuerquia	2,0	61,0	23,0
San José de la Montaña	0,0	48,0	6,0
San Pedro de los Milagros	0,0	37,0	14,0
Santa Rosa de Osos	0,0	32,0	10,0
Toledo	75,0	55,0	64,0
Valdivia	1,0	46,0	25,0
Yarumal	0,0	58,0	13,0

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

IRCA
Clasificación Nivel de Riesgo
80,1 - 100 Inviabil
35,1 - 80 Sanitario
14,5 - 35 Alto
5,1 - 14 Medio
0 - 5 Bajo
Sin Riesgo

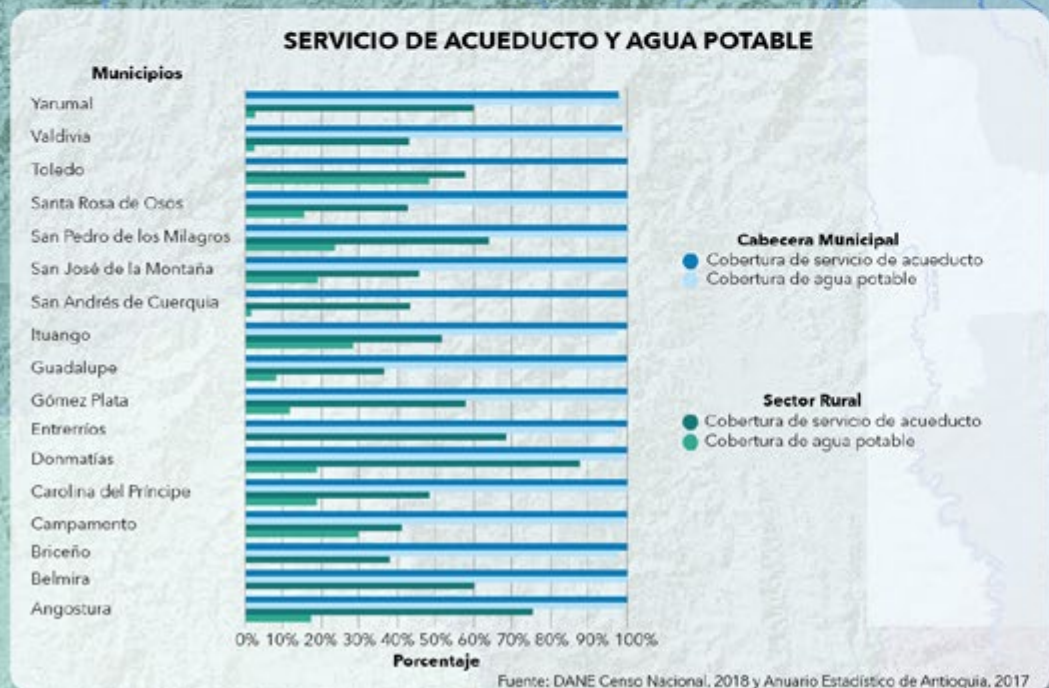
Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua - IRABA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Angostura	44,6	58,9	43,7
Belmira	50,3	71,7	47,8
Briceño	35,4	74,9	40,6
Campamento	26,3	78,9	37,0
Carolina del Príncipe	13,0	53,5	11,1
Donmatías	25,0	56,8	23,5
Enterríos	56,9	39,5	35,5
Gómez Plata	25,7	72,2	29,4
Guadalupe	36,1	60,7	35,8
Ituango	29,6	79,8	43,2
San Andrés de Cuerquia	34,4	74,3	37,1
San José de la Montaña	25,5	60,3	24,5
San Pedro de los Milagros	27,5	49,3	21,0
Santa Rosa de Osos	19,4	58,6	20,1
Toledo	37,4	58,9	36,7
Valdivia	37,9	76,2	48,9
Yarumal	13,5	58,8	12,6

El IRABA es la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

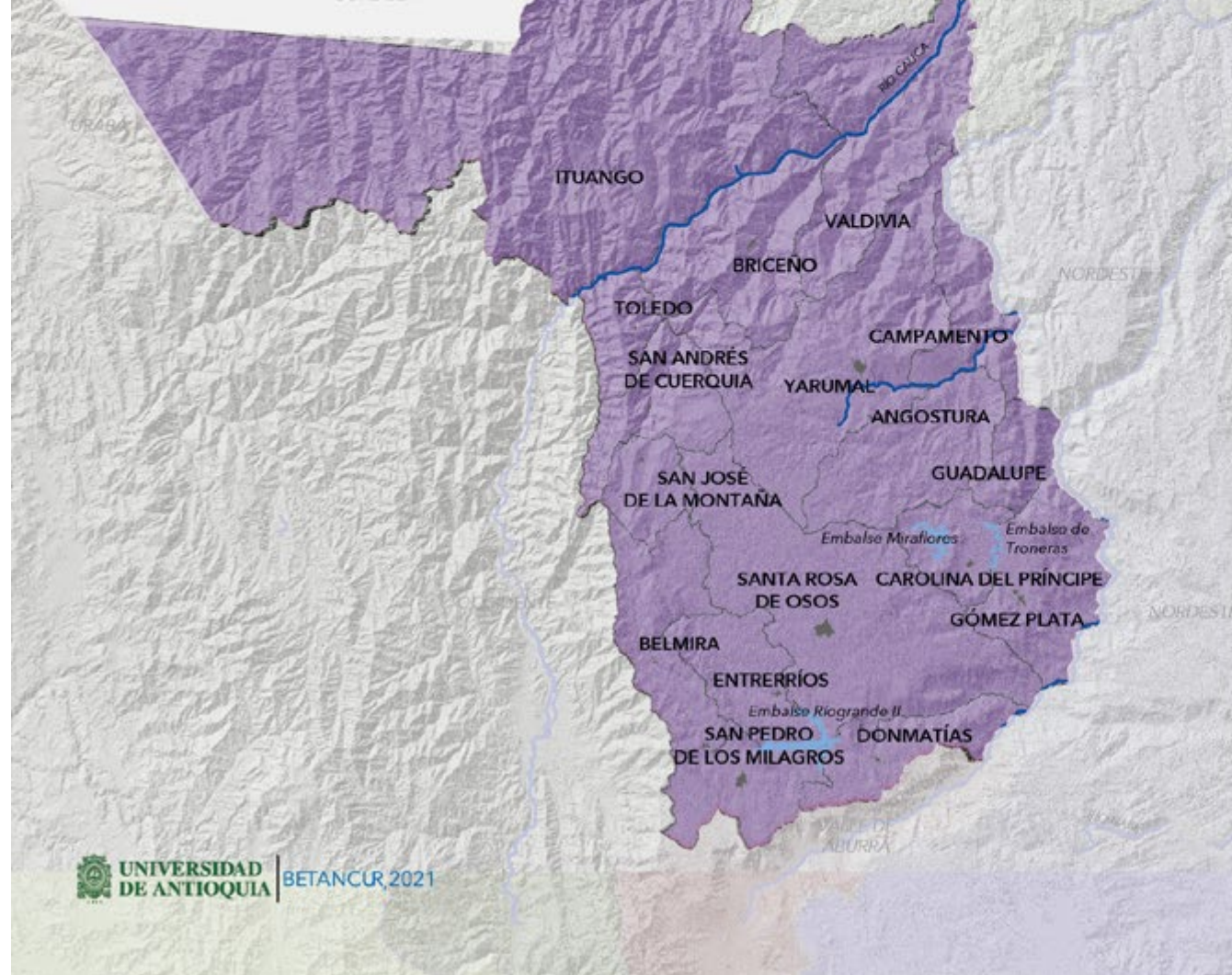
IRABA
Clasificación Nivel de Riesgo
70,1 - 100 Muy Alto
40,1 - 70 Alto
25,1 - 40 Medio
10,1 - 25 Bajo
0 - 10 Sin Riesgo

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019



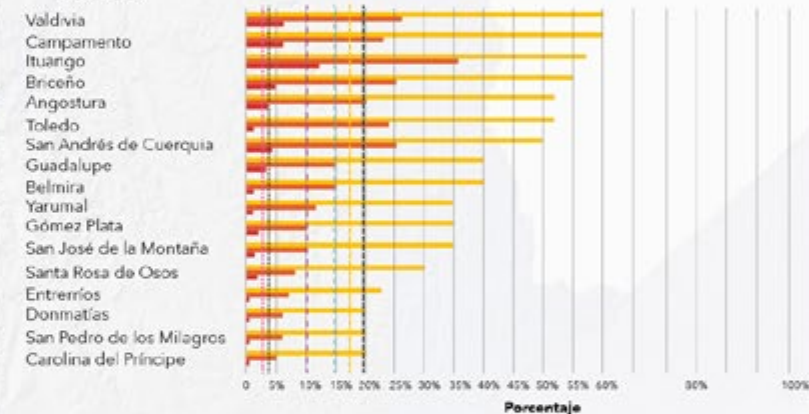
NORTE

Calidad de Vida



	Promedio Nacional	Promedio Departamental
Índice de pobreza multidimensional	19,60 %	17,10 %
Proporción de personas en pobreza	14,13 %	10,67 %
Proporción de personas en miseria	3,74 %	2,48 %

Municipios



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Campamento	11,60%	16,90%	15,15%
Valdivia	10,50%	17,36%	15,34%
Briceno	10,12%	15,68%	13,37%
Angostura	6,75%	15,37%	13,36%
Ituango	9,87%	13,62%	12,62%
Guadalupe	6,82%	14,55%	11,49%
Toledo	6,06%	13,26%	10,68%
Yarumal	6,75%	8,94%	7,32%
Belmira	4,93%	8,22%	7,20%
Carolina del Príncipe	6,08%	9,25%	6,74%
San Andrés de Cuerquia	4,47%	8,50%	6,72%
Gómez Plata	4,27%	8,48%	6,29%
San José de la Montaña	3,85%	5,32%	4,25%
Santa Rosa de Osos	2,55%	6,08%	4,12%
Donmatías	2,45%	7,02%	3,44%
San Pedro de los Milagros	2,11%	4,29%	2,94%
Enterríos	2,16%	3,69%	2,78%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Según el ENA 2018 (IDEAM, 2019), la subregión presenta altos excedentes de agua, de acuerdo con el Índice de Aridez —IA—, en la mayor parte de su territorio, indicando que hay una alta suficiencia de lluvia para el sostenimiento de sus ecosistemas naturales, excepto en los municipios de Entreríos, San Pedro de los Milagros, Belmira y Donmatías, donde el índice es de moderado a excedentes de agua. Según el ERA 2016, todas las subcuencas que abastecen los acueductos de las cabeceras municipales de la subregión presentan altos excedentes de agua (Corantioquia, 2017). El Índice de Regulación Hídrica —IRH— varía de alto a bajo pasando por moderado, predominando el valor de alto. En Ituango, incrementándose de sur a norte, se registran las tres categorías del IRH. En general, la mayor parte del territorio presenta una alta capacidad de la cuenca para mantener su régimen de caudales.

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial a través de las diferentes intervenciones antrópicas se determinan a través de los índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

Según el IUA estimado en el ENA 2018, la presión sobre la oferta hídrica superficial varía de muy baja a alta en el año medio, pasando por las categorías de

bajo y medio e incrementándose de norte a sur. Para el año seco el IUA varía de bajo a muy

alto, siendo los municipios que presentan una mayor presión los más cercanos al Valle de Aburrá: Donmatías, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos, Belmira, Gómez Plata y parte de Carolina del Príncipe (IDEAM, 2019). Según el Estudio Regional del Agua realizado por Corantioquia en 2016, las subzonas hidrográficas nivel 1, donde se localizan las cuencas abastecedoras de los acueductos de las cabeceras municipales de la subregión presentan, excepto en Ituango, un IUA muy alto para año seco (Corantioquia, 2017). Lo anterior indica una fuerte presión sobre la oferta hídrica debido a la alta demanda sobre la misma, de la cual un alto porcentaje se destina a la generación de energía eléctrica.

El IACAL, también, se incrementa de norte a sur y varía de bajo a muy alto en los dos periodos hidrológicos evaluados, presentándose una mayor presión sobre la calidad del agua en los municipios de: Donmatías, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos, Belmira, Gómez Plata y parte de Carolina del Príncipe (IDEAM, 2019), donde también el IUA es muy alto tanto para el año medio como para el año seco. En el ERA 2016, se presentan resultados diferentes a los encontrados en el ENA 2018, en este estudio la subregión para las subzonas donde se localiza los acueductos de las cabeceras municipales presenta niveles de alteración potencial de la calidad del agua de baja a media, reflejando una situación menos crítica, siendo media en los municipios de Briceño, San José de la Montaña y Valdivia.

Riesgo al desabastecimiento de agua

El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los índices de Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

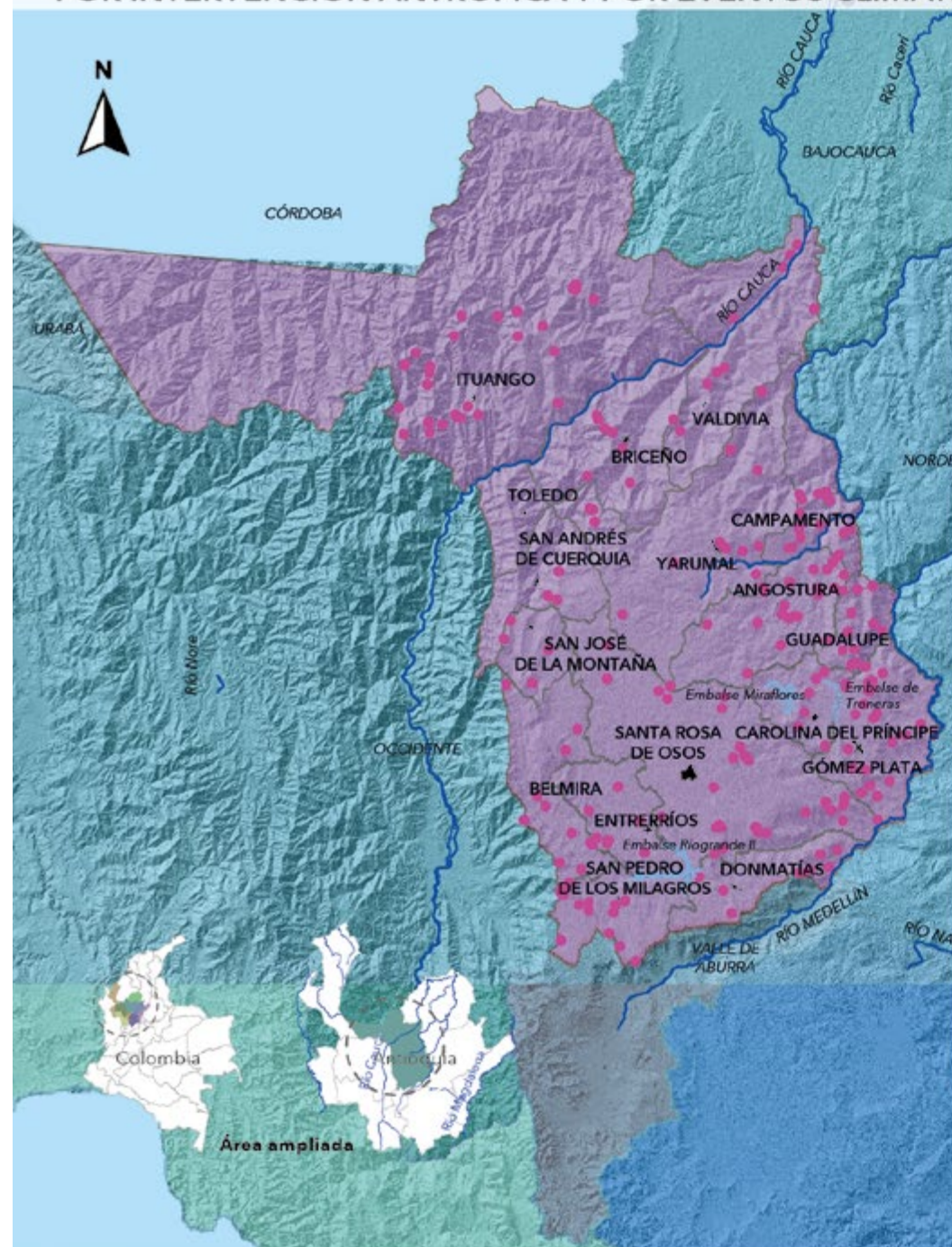
Según los resultados obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019), el IVH en la subregión del Norte varía de bajo a medio, siendo medio en la mayor parte del territorio para los escenarios hidrológicos medio y seco. El ERA 2016 reporta para el IVH de las subzonas hidrográficas que, abastecen las cabeceras municipales valores de muy bajo a alto, pasando por medio. Carolina, Guadalupe, Gómez Plata y Santa Rosa de Osos (Corantioquia, 2019) son los municipios con una mayor fragilidad en su sistema hídrico, para mantener la oferta hídrica para su abastecimiento urbano, pues el IVH presenta un valor alto.

Los resultados obtenidos para el IRCA, que presenta la Gobernación de Antioquia en la Ficha Municipal, versión 2019, evidencia que los municipios de Belmira, Campamento, Carolina del Príncipe e Ituango son inviables sanitariamente por la calidad del agua que abastece sus comunidades rurales, lo cual es consecuencia de las bajas coberturas del servicio de agua potable que se da en el sector rural de los municipios de esta subregión. El municipio de Toledo presenta riesgo alto en su cabecera municipal.

Según el IRABA, los municipios de Belmira, Briceño, Campamento, Gómez Plata, Ituango, San Andrés de Cuerquia y Valdivia presentan riesgo muy alto de desabastecimiento (Gobernación de Antioquia, 2019).

NORTE

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO, POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)*	Índice de Años (IA)*	Índice de Uso de Agua (IUA), Condición Normal*	Índice de Uso de Agua (IUA), Condición Seca*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL), Condición Normal*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL), Condición Seca*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVH), Condición Normal*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVH), Condición Seca*	Índice de Riesgo por Cambio Climático (IRCC)**
Angostura	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	0.11
Belmira	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.11
Briceño	MUY ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	MEDIA	MEDIA	SIN DATO
Campamento	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	0.15
Carolina del Príncipe	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	ALTA	ALTA	0.14
Donmatías	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.19
Enterríos	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.11
Gómez Plata	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	ALTA	ALTA	0.12
Guadalupe	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	ALTA	ALTA	0.15
Ituango	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJA	BAJA	MODERADA	MUY BAJO	0.14
San Andrés de Cuerquia	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	0.21
San José de la Montaña	MUY ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	MEDIA	MEDIA	0.10
San Pedro de los Milagros	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	MODERADA	MODERADA	MEDIA	MEDIA	0.25
Santa Rosa de Osos	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	ALTA	ALTA	0.23
Toledo	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	0.26
Valdavia	MUY ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	MEDIA	MEDIA	0.7
Yarumal	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	0.19

NORDESTE

< 0.5 MUY BAJO	> 0.5 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	< 10.0 MUY ALTO	4.5 a 5.0 MUY ALTA	MUY ALTA	0.43 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.65 BAJO	0.10 - 0.59 DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 50.0 ALTO	3.5 a 4.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0.42 ALTO
0.65 a 0.75 MODERADA	0.10 - 0.49 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 20.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MEDIA ALTA	MEDIA	0.19 - 0.24 MEDIO
0.75 a 0.85 ALTA	0.10 - 0.39 MODERADO	7.0 a 10.0 BAJO	1.5 a 2.5 MODERADA	BAJA	0.17 - 0.18 BAJO
0.85 a 0.95 MUY ALTA	0.10 - 0.39 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	10.01 a 50.0 ALTO	1.5 a 2.5 MODERADA	MUY ALTA	0.17 a 0.24 MEDIO
	0.10 - 0.39 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA				
	< 0.10 ALTOS EXCEDENTES DE AGUA				



Bocatoma de Agua

Fuentes:
*IDEAM, 2019.
**IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2017.

El regular estado y funcionamiento de varios de los componentes del sistema de acueducto urbano, que presentaba en 2017 los municipios de Belmira, Entrerríos, Yarumal y Gómez Plata ponen en riesgo el abastecimiento de agua de su población.

Según se presenta en el tercer *Informe sobre cambio climático* realizado por el IDEAM en 2017, el Occidente de Antioquia comporta un nivel de riesgo entre alto y muy bajo, siendo Toledo (0,26) y San Pedro de los Milagros (0,25) los de mayor riesgo, y Angostura (0,15) el de menor.

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; considerando los 125 municipios de Antioquia se encuentra que Belmira y Briceño estarían entre los 20 más críticos, mientras que Yarumal sería uno de los menos susceptibles.

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

No se tuvo acceso, al momento de escribir este documento, a información relacionada con estudios de exploración hidrogeológica en la zona, ni con los informes de estudios de impacto ambiental llevados a cabo en el marco de los proyectos hidroeléctricos de la región, por esta razón se considera una zona no explorada.

• PRIORIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA SUBREGIÓN NORTE DE ANTIOQUIA EN RELACIÓN A CONDICIONES DE RIESGO POR FACTORES HÍDRICOS

SUBREGIÓN NORTE		
Municipios	Sumatoria	Posición
Belmira	0.33762	13
Briceño	0.31631	19
Toledo	0.31213	21
Campamento	0.31123	22
Valdivia	0.30063	25
San Andrés de Cuerquia	0.29551	31
Guadalupe	0.28058	37
Entrerríos	0.27434	42
Ituango	0.27101	47
Angostura	0.26613	51
Gómez Plata	0.25097	56
San José de la Montaña	0.24616	59
Santa Rosa de Osos	0.22988	67
San Pedro de los Milagros	0.22548	68
Donmatías	0.21214	77
Carolina	0.17488	104
Yarumal	0.14368	120

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. Los testimonios recogidos durante recorridos en campo, particularmente en los municipios de Donmatías, San Pedro, Santa Rosa y Belmira, muestran evidencias de que el uso y reconocimiento del agua subterránea en esta región son importantes.

Como ya se ha dicho, la naturaleza y distribución de acuíferos y acuitardos en un sistema geológico están controlados por la litología, estratigrafía y estructuras de los depósitos y las formaciones geológicas. Considerando estas características, según criterios establecidos y expuestos en este estudio, se presenta a continuación la evaluación del carácter hidrogeológico que podrían tener las rocas duras –metamórficas e ígneas— y las formaciones blandas –rocas sedimentarias y depósitos— que tienen ocurrencia en la subregión del Norte de Antioquia

Rocas duras

• ROCAS METAMÓRFICAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pzev	Complejo Cajamarca: Esquistos actinolítico - cloríticos	Franjas alargadas en sentido N NE entre Ituango, Valdivia, Briseño, Toledo, San Andrés de Cuerquia y Campamento	602,52	Las rocas tipo esquisto están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria. Se reporta en González (2001) para Pzev la presencia de una esquistosidad paralela a la estratificación original, con dirección N 10 ° – 15 ° E y fuerte buzamiento hacia el este. Los esquistos cuarzo sericiticos tienen estructura esquistosa finamente laminada, intensamente replegados; el rumbo de la esquistocidad es N10 ° E a N20 ° W, buzando hacia el este. El diaclasamiento paralelo a la esquistosidad, que en ocasiones puede ser vertical, y la existencia de zonas de cizalla le conferirían una permeabilidad media. En conjunto su potencial acuífero es bajo a medio.
Pzes	Complejo Cajamarca: Esquistos cuarzo sericiticos	Franjas alargadas en sentido N NE entre Ituango, Valdivia, Briseño, Toledo, San Andrés de Cuerquia, Fragmentos pequeños en Guadalupe (Grupo Cajamarca) y San Pedro (Grupo Ayurá Montebello)	462,99	
Pz (ev+es)	Complejo Cajamarca: Esquistos Intercalados	Franjas alargadas en sentido N NE Belmira, San José de la Montaña, San Andrés de Cuerquia, Toledo, Itaungo, Briceño, Yarumal, Valdivia, Capamento. Una parte muy ancha al norte Yarumal	892,58	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pza	Anfibolitas	Franja en sentido NW entre los municipios Belmira y San José de la Montaña	23,3	Las rocas tipo anfibolita están afectadas por fallamiento. Su foliación es inclinada o vertical. Se han registrado en ellas diaclasas inclinadas. Son resistentes a la meteorización. Aun cuando se les puede atribuir porosidad secundaria, su potencial acuífero sería bajo.
Pram	Anfibolitas de Medellín	Franja en sentido NW entre los municipios de en San Pedro de los Milagros, Belmira y Santa Rosa de Osos. Cuerpo pequeño en Santa Rosa, dentro del Batolito Antioqueño	128,3	
PCap	Anfibolitas de Puquí	Franja en sentido Ne en Briseño, Ituango y Valdivia	51.56	
TRglc	Gneis de La Ceja	Al sur de la subregion en Santa Rosa de Osos, San Pedro, Donmatías y Entreríos	97	Las rocas tipo gneis tienen porosidad secundaria por diaclasamiento, la presencia y disposición reportadas para las diaclasas es variable, determinando con esto condiciones de permeabilidad entre media y alta. El potencial acuífero para el neis cataclástico y el neis porfidoblástico podría ser alto, para las demás unidades bajo.
PCnp	Gneis micaceo de Puquí	Al norte de la subregión en Yarumal, Biceño, Ituango y Valdivia	145,1	
Pn	Gneis porfiroblastico	Yarumal y Campamento	12,59 (1,4)	
Pznf	Complejo Cajamarca: Neises cuarzo feldespáticos y alumínicos	Toledo, Itanguo y Briceño en franjas en sentido N	140,4	
Pnc	Gneis (Cataclastico)	Pequeña franja sentido N en Ituango	4,5	
Pznl	Complejo Cajamarca: Neises cuarzo feldespáticos y alumínicos	Se encuentra en el municipio de Ituango	45,83	
Pzin	Intrusivos gneisicos	Belmira, San José de la Montaña, San Andrés de Cuerquia, Campamento (29 km ²) y Valdivia	53,48	
Pnl	Augen gneis	Toledo, Briseño e Ituango	13,5	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
PEmpt	Completo Puquí	Valdivia	279,64	Permeabilidad muy baja y en consecuencia bajo potencial acuífero
Ksvx	Complejo Santa Cecilia - La Equis	Ituango	2,28	Sin interés hidrogeológico en esta región
PRgb	Granulitas de San Isidro	Donmatías y Santa Rosa	13,6	
PRga	Granulitas de San Isidro	Donmatías y Santa Rosa	7,15	

• ROCAS ÍGNEAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Ksta	Batolito antioqueño	Cuerpo de gran extension en San Pedro de los Milagros, Donmatías, Belmira, Entreríos, Santa Rosa de Osos, San José de la Montaña, San Andrés de Cuerquia, Yarumal, Angostura, Carolina y Gómez Plata	2430,85	Porosidad secundaria por diaclasamiento con algunas manifestaciones de diaclasamiento reportadas localmente, lo que insinúa permeabilidades muy bajas y en consecuencia muy bajo potencial acuífero. Potencial acuífero bajo.
Ksta	Pórfido dacítico Asociado al Batolito antioqueño	Guadalupe, Gómez Palta y Carolina	8,5	
Ksta	Tonalitas Asociada al Batolito antioqueño	Gómez Plata, Guadalupe y San Andrés de Cuerquia	11,14	
Ksts	Batolito de Sabanalarga	San José de la Montaña, San Andrés de Cuerquia, Ituango, donde aparece como pequeños cuerpos alargados en sentido N	89,45	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Ksto	Batolito de Ovejas	San Pedro	40,65	Sin porosidad o permeabilidad secundaria. Sin Potencial acuífero.
PCam	Migmatitas	Cuerpo alargado en sentido NW Belmira, Entreríos y San Pedro de los Milagros	199,58	
Kzev	Rocas Verdes	Cuerpo alargado entre Guadalupe, Campamento y Angostura	80,67	Basaltos oceánicos con porosidad secundaria con densidad de diaclasas muy baja lo que implica muy bajo potencial acuífero.
Kigy	Stock de Yarumal		151,66	Se registra en todos ellos porosidad secundaria por fracturamiento pero el registro de diaclasas (Mejía, 2009) indica que la permeabilidad secundaria sería muy baja. El potencial hidrogeológico como acuífero es bajo.
Kld	Diorita	Asociados al volcánico de Barroso en Ituango, se ven varios cuerpos pequeños de cuerpos de Diorita	2,02 km ²	Sin interés hidrogeológico.
Kium	Dunita de Medellín	Pequeña prolongación del cuerpo dunitico en San Pedro de los Milagros	3,56	Porosidad secundaria por disolución y estructura de pseudokarts. Potencial acuífero muy alto.
PCa	Ultrabásico de Medellín	Belmira y San Pedro de los Milagros	0,34	Porosidad por farcturamiento con permeabilidad baja. Bajo potencial hidrogeológico.
Kiu	Ultramafita de Romeral	San Andrés, Yarumal, Campamento, Ituango y Valdivia, en Franjas muy delgadas)	26, 43	
Kgi	Granito cataclastico	Guadalupe, Angostura y Campamento	9,07	Condición de dique alargado en sentido SN, permeabilidad media. Bajo potencial acuífero.
Tap	Andesita porfirítica	Valdivia	0,61	Porosidad secundaria por diaclasamiento, permeabilidad alta por presencia de abundantes diaclasas. Potencial acuífero alto.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
K5K6-bp	Unidades plutónicas asociadas al Barroso	Ituango	3,33	Con algo de porosidad secundaria y permeabilidad muy baja. Se consideran unidades sin potencial acuífero.
Ksvb	Volcánico Barroso	Ituango	541,09	
Ksvu	Volcánico de Uraitá	Ituango	23,13	

Formaciones blandas

• ROCAS SEDIMENTARIAS / GRUPO CAÑASGORDAS

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Ksn	Formación penderisco Miembro Nutibara	Ituango	296,32	Porosidad primaria. El Miembro Urrao posee importantes capas de conglomerado y grauvacas que lo harían permeable. En el miembro Nutibara puede bajar la permeabilidad. Potencial acuífero medio para el Miembro Urrao y bajo para el Miembro Nutibara.
Ksu	Formación penderisco Muenbor Urrao	Ituango	651,016	
Kac	Caliza	Cuerpo alargado en Guadalupe	1,15	Porosidad secundaria por diaclasamiento y permeabilidad media. El potencial acuífero sería bajo.
Kisp	Formación San Pablo	Cuerpo alargado en Carolina, Gómez Plata, Guadalupe y Campamento	58,0	Porosidad primaria y permeabilidad alta a media, salvo en las capas de arcillolita. Potencial acuífero alto.
Pgsd	Sedimentitas sin diferencias	Toledo e Ituango	171,59	Porosidad y permeabilidad primaria alta. Potencial acuífero alto.
Kiss	Sedimentitas de Segovia	Gómez Plata	3,6	
N2Q	Sedimentitas del Vergel	Santa Rosa de Osos	2,21	

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Qal	Depósitos aluviales	Presentes en todos los municipios de la subregión, en de mayor extensión (15 km ²) en Belmira le sigue con 8 km ² un depósito en San José de la Montaña	114,92	Porosidad y permeabilidad primaria alta. Potencial acuífero muy alto.
Qt	Terazas aluviales	Gómez Plata, Campamento (9,66 km ²) y San Andrés de Cuerquia,	12,6	
Tal	Aluvion terciario	En Campamento	0,15	
Q2v	Depósitos de vertiente	Entre Donmatías y Santa Rosa, San Pedro de los Milagros	5,75	Porosidad primaria y permeabilidad baja. Potencial acuífero bajo.
Qfa, QfIII, QfIV	Flujos de escombros y lodo	Unidades pequeñas que suman 0,024 km ²	0,024	
Tsl	Laterita	Campamento	1,67	Sin potencial acuífero.

PERCEPCIONES



NORTE

Extensión 9.390 km²

17 Municipios distribuidos en cuatro zonas: vertiente río Cauca, vertiente de los ríos Grande y Chico, vertiente del río Porce y vertiente Chorrros Blancos.

En el nudo de Paramillo nacen las serranías de Abibe, San Jerónimo y Ayapel, y los ríos San Jorge y Sinú.

Asociado a la vocación minera, los residentes del Norte de Antioquia saben de la existencia del agua subterránea y de las posibilidades que ella brinda para suplir muchas de sus necesidades, convirtiéndose incluso en la fuente principal de abastecimiento.

En Donmatías, Santa Rosa, Entreríos y San Pedro de los Milagros se sabe que existe el agua subterránea y que los materiales arenosos son los que más favorecen su presencia. Funcionarios de las administraciones municipales, habitantes de la zona rural, propietarios de extensiones de tierra dedicadas a la producción agrícola y pecuaria consideran que por razones económicas y de calidad es preferible el uso del agua subterránea sobre el acueducto.

Producto del conocimiento académico, para unos, o de la intuición y el sentido común, para otros, se tiene la idea de que el agua se mueve en un ciclo y que, aquella que está presente en los acuíferos, puede venir de muy lejos. También conciben de forma lógica el hecho de que hay más agua subterránea que agua superficial en el planeta.

Actividades económicas más importantes



MINERÍA



ENERGÍA



CONFECCIÓN



GANADERÍA



AGRICULTURA

1. Embalse Miraflores
2. Embalse de Troneras
3. Embalse Riogrande II



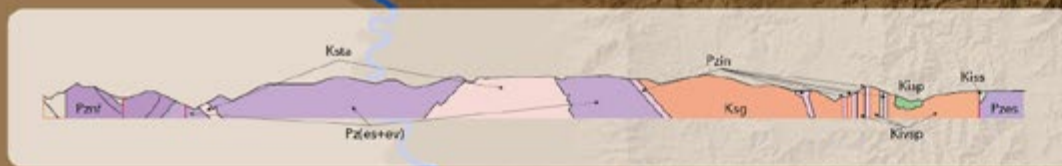
Entonces ¿qué he hecho yo desde que me conozco?, pensar ¿cómo es posible que se manifieste un nacimiento de tal caudal a esta altura?, ¿de dónde viene esta agua?, ¿dónde nace y cómo se expresa?. La única conclusión es que somos un planeta unido, donde conductos subterráneos de miles de kilómetros de distancia se expresan en este punto"
Arturo Campuzano (Santa Rosa de Osos)



NORTE GEOLOGÍA



SEDIMENTARIAS	IGNEAS	METAMÓRFICAS
Qal: Terrazas aluviales Qal: Aluviales recientes Qal: Aluviales de vertiente Qal: Qal, Qal, Qal: Esqueleto de acuífero y todo Tal: Aluvión Terciario N2Q17ev: Sedimentitas del Vargel Pgsd: Sedimentos sin diferenciar Kca: Calica Ksu: Grupo Cafasgorda - Formación Penderisco: Miembro Urao Ksn: Grupo Cafasgorda - Formación Penderisco: Miembro Nubara Kis: Sedimentitas al este de Segovia Kisp: Formación San Pablo	Nga: Rocas hipabisales porfídicas: Porfidos andesíticos Kgn: Granito Cataclástico Kig: Gabbro Kux: Complejo Santa Cecilia - La Equis Kst: Batolito de Sabanalaga Kta: Batolito Antioqueño Kto: Batolito de Ovejas Kiu: Ultrabásitos de Romeral Kum: Duros de Medellín Kup: Metabásitos de San Pablo Kiv: Volcánico Barro Kiv: Volcánico de Uramita Pzic: Granito de San Isidro Pzic: Granito de San Isidro Pzin: Intrusivos Neosintectónicos Pzi: Ultrabásitos de Medellín	Tram: Antibolitas de Medellín ThgLC: Neos de La Ceja Pnc: Neos cataclástico Pznf: Complejo Cajamarca: Neos Cuarzo-Feldespático Pznf: Complejo Cajamarca: Neos Aluminosos Pznf: Complejo Cajamarca: Esquistos Cuarzo-Sericiticos Pzev: Complejo Cajamarca: Esquistos Actinolítico - Cloríticos Pznf+Pzev: Complejo Cajamarca: Esquistos Intermedios Pza: Antibolitas Pncp: Complejo Puqui: Neos micáceos Pncp: Complejo Puqui: Cuasipos antibolíticos Pncp - Pimpt: Metatonalitas (Pimpt) y Neos (Pncp)

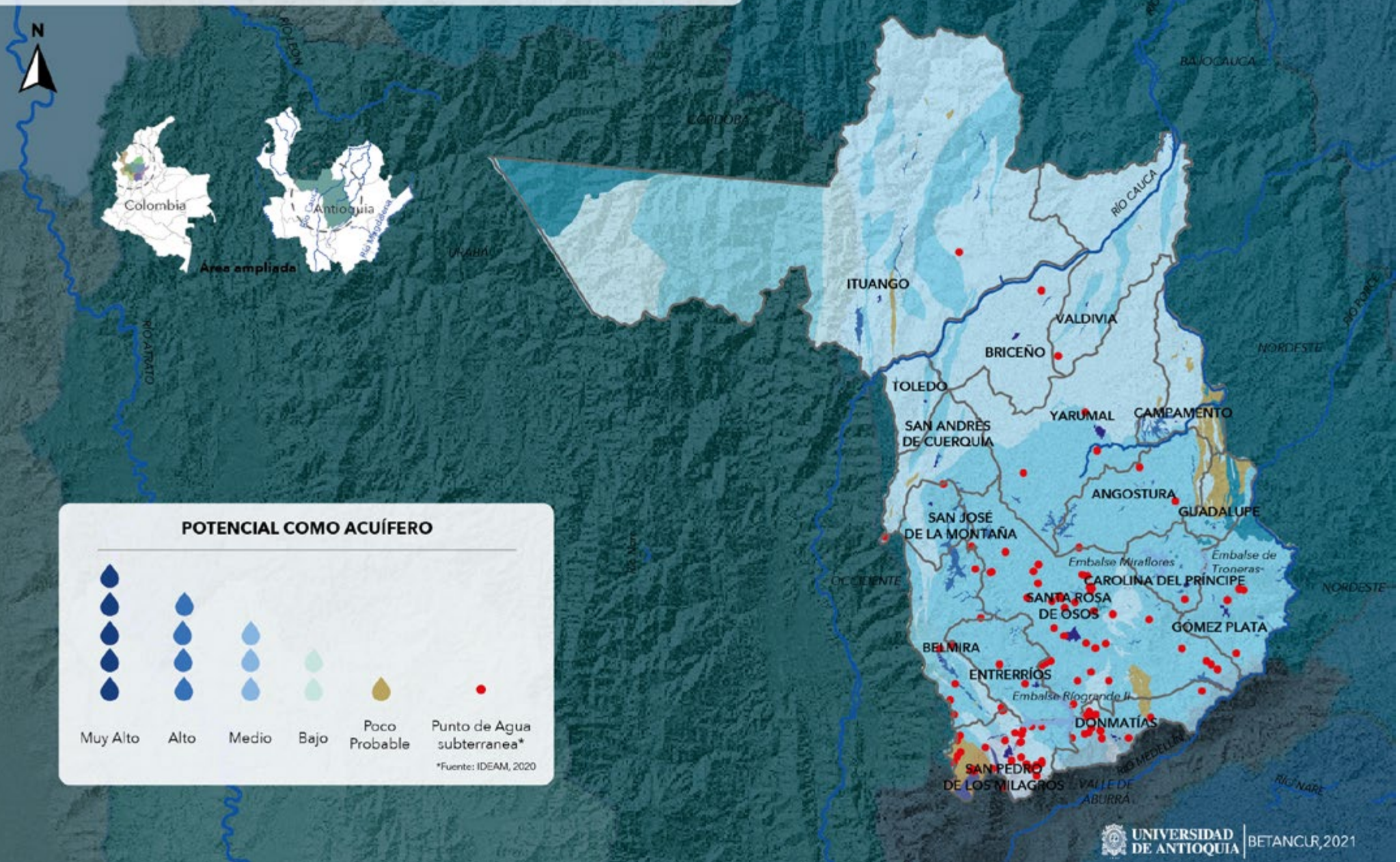


- Diapirada inclinada
- Diapirada horizontal
- Diapirada vertical
- Dique inclinado
- Dique vertical
- Cizalla inclinada
- Cizalla
- Falla Geológica

Adaptado de cartografía 1:100.000 del S.G.C

NORTE

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA





SUBREGIÓN

NORDESTE DE ANTIOQUIA

- Población
- Acceso al agua
- Calidad de vida
- Estado y presión antrópica del recurso hídrico superficial
- Priorización por municipios
- Estudios hidrogeológicos en la región
- Potencial hidrogeológico

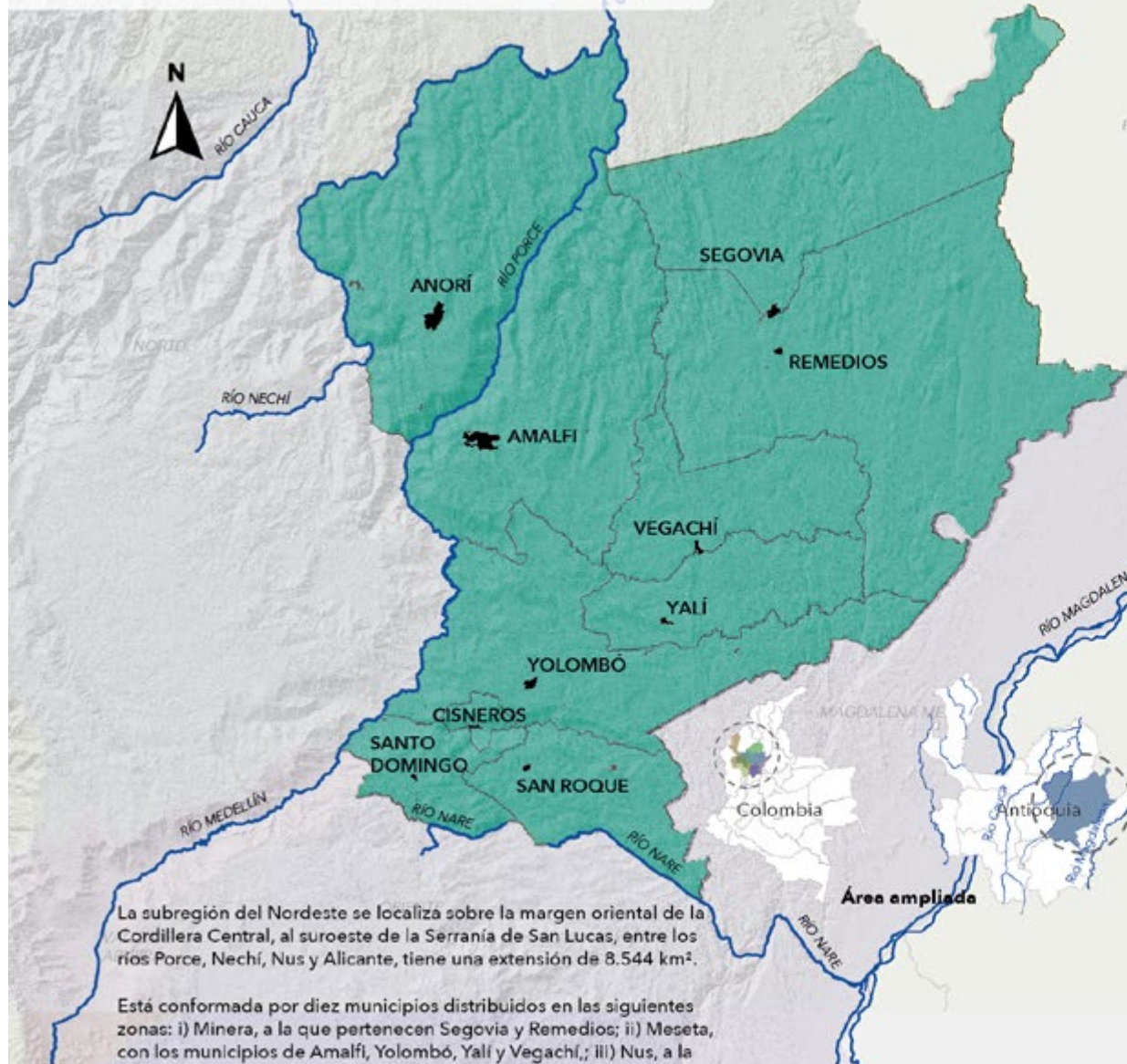
La subregión Nordeste de Antioquia se localiza sobre la margen oriental de la cordillera Central, al suroeste de la serranía de San Lucas, entre los ríos Porce, Nechí, Nus y Alicante (FAO & ADR, 2019), tiene una extensión de 8.544 km², que representa el 13,6% de todo el territorio departamental, siendo la segunda subregión más grande de Antioquia después del Urabá (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019).

La subregión Nordeste está conformada por diez (10) municipios distribuidos en las siguientes zonas: i) minera, conformada por Segovia y Remedios, que tienen como actividad principal la explotación de oro en forma tradicional y tecnificada; ii) meseta, conformada por los municipios de Amalfi, Yolombó, Yalí y Vegachí, que fundamentan su economía en la actividad agropecuaria; iii) Nus, a la que pertenecen los municipios de Cisneros, San Roque y Santo Domingo, cuya base de la economía es la actividad agropecuaria; y iv) Río Porce, a la cual pertenece el municipio de Anorí, que basa su economía en la caña, la ganadería doble propósito y el aprovechamiento de recursos naturales (FAO & ADR, 2019).

El Nordeste es la segunda subregión productora de oro del departamento. La minería se constituye como el principal sustento de las familias, seguida de la producción agropecuaria, la explotación de madera y el comercio (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019). La actividad minera se realiza principalmente en el municipio de Segovia, donde existen cerca de 113 entables mineros. El uso de altas concentraciones de cianuro y mercurio tiene un alto impacto en el medio ambiente, especialmente contaminación hídrica (FAO & ADR, 2019).

Entre las actividades agropecuarias se tienen la explotación de ganado bovino en sistema doble propósito (carne y leche) y los cultivos de caña panelera, café, cacao, plátano, frijol, arroz y maíz tradicional. El cultivo de caña es la primera actividad agrícola de importancia en la subregión con 15.184 ha, seguida por el café con un área sembrada de 8.123 ha y el cacao con 3.304 ha (FAO & ADR, 2019).

NORDESTE POBLACIÓN

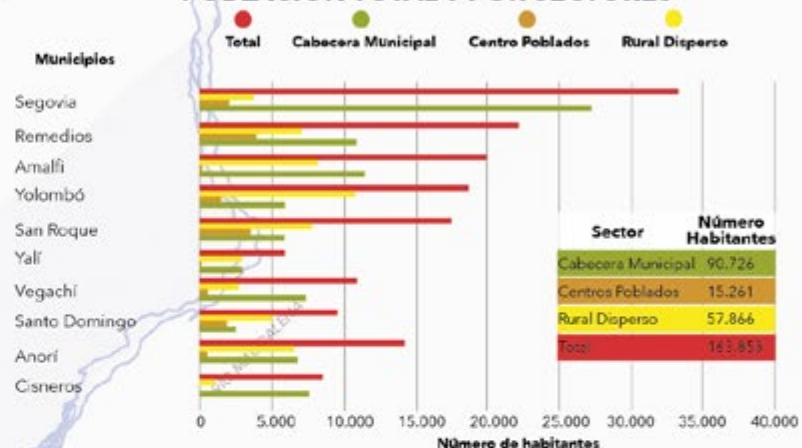


La subregión del Nordeste se localiza sobre la margen oriental de la Cordillera Central, al suroeste de la Serranía de San Lucas, entre los ríos Porce, Nechí, Nus y Alicante, tiene una extensión de 8.544 km².

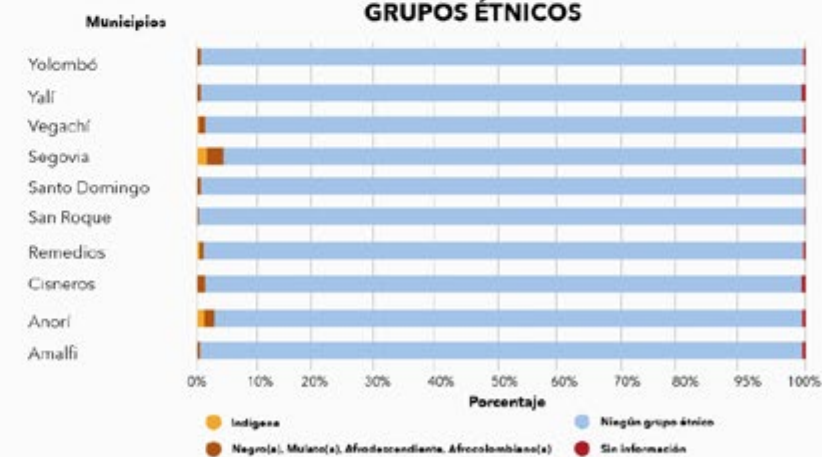
Está conformada por diez municipios distribuidos en las siguientes zonas: i) Minera, a la que pertenecen Segovia y Remedios; ii) Meseta, con los municipios de Amalfi, Yolombó, Yalí y Vegachí; iii) Nus, a la que pertenecen los municipios de Cisneros, San Roque y Santo Domingo; y iv) Río Porce, a la cual pertenece el municipio de Anorí.

El Nordeste es la segunda subregión productora de oro del departamento. La minería se constituye como el principal sustento de las familias, seguida de la producción agropecuaria, la explotación de madera y el comercio.

POBLACIÓN TOTAL Y POR SECTORES



GRUPOS ÉTNICOS



Fuente: DANE Censo Nacional, 2018



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | BETANCUR 2021

POBLACIÓN

En 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda –CNPV–, la población total de la subregión era de 163.853 habitantes, que conformaban 54.435 hogares distribuidos en 53.616 viviendas, con una densidad poblacional de 19 hab/km², siendo así la subregión con menor densidad del departamento. Cisneros es el municipio que presentaba una mayor densidad poblacional con 190 hab/km², muy superior al resto de los municipios que estaban por debajo de 50 hab/km² (DANE, 2018). Los municipios con mayor población total son: Segovia (33.690 habitantes) y Remedios (22.530 habitantes), mientras que los de menor población son: Yalí (6.234 habitantes) y Cisneros (8.910 habitantes).

En 2018, los municipios con mayor grado de urbanización eran: Cisneros con el 86 % (7.707 habitantes) de su población en la cabecera urbana, Segovia con 82 % (27.590 habitantes) y Vegachí con el 68 % (7.571 habitantes). El municipio de Yolombó concentra la mayor parte de su población en el sector rural disperso (DANE, 2018). Santo Domingo, San Roque y Remedios tienen un importante porcentaje de su población en centros poblados, más específicamente en sus corregimientos.

En general, los municipios de esta subregión presentan un desarrollo urbano muy deficiente y muy poco conectado. Aún los caminos de herradura siguen siendo decisivos para el amarre a las carreteras y a las

cabeceras (Gobernación de Antioquia, 2015). Pese a este entorno, la nueva vía que comunica al centro del departamento con la región Caribe de Colombia se está desarrollando a través del Nordeste.

ACCESO AL AGUA

La cobertura en los servicios de acueducto y alcantarillado presenta una distribución muy desigual entre las zonas urbana y rural, siendo en las primeras superior a 80 % para acueducto y 60 % en alcantarillado. Los municipios de: Yalí (1,37 %), Amalfi (2,06 %) y Anorí (3,70 %) presentan las coberturas más bajas en el servicio de alcantarillado en el sector rural, mientras que Amalfi (2,06 %) es el municipio con la más baja cobertura de acueducto. Según los datos del *Anuario estadístico de Antioquia 2017*, la cobertura de agua potable en las cabeceras urbanas es similar a las del acueducto, menos en el municipio de Cisneros donde esta es del 42,7 %. En la zona rural, en la mayoría de los casos, el acceso a agua potable es 0,0 % (Gobernación de Antioquia, 2018).

CALIDAD DE VIDA

Con respecto a la calidad de vida de la población reflejada en las Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI–, excepto Santo Domingo y Cisneros, los munici-

pios presentaban condiciones de pobreza por encima de los promedios departamental y nacional. San Roque presenta porcentajes de población en miseria por debajo de los promedios departamental y nacional, los demás municipios están por encima. Las proporciones más altas de población en pobreza y miseria, en 2018, se daban en los municipios de: Anorí con el 27,7 % de su población en pobreza y el 7,7 % en miseria, Segovia con el 23,1 % en pobreza y el 6,4 % en miseria, Amalfi con el 22,3 % en pobreza y el 4,9 % en miseria, y Remedios con el 22,2 % en pobreza y el 5,4 % en miseria (DANE, 2018). Esta situación se hace más crítica en el sector rural disperso y en los centros poblados. Se destaca que los municipios donde la actividad minera predomina están dentro de los que presentan condiciones de vida más críticas de la subregión.

Según los resultados obtenidos por el DANE para el Índice de Pobreza Multidimensional –IPM–, todos los municipios de la subregión están por encima del promedio departamental y nacional. Anorí sigue siendo el municipio con el mayor porcentaje de hogares y personas con múltiples carencias en los ámbitos de la salud, la educación y el nivel de vida. Cisneros, el municipio con menor porcentaje.

Otro factor que cabe mencionar tiene que ver con el porcentaje de población mayor a 15 años que no sabe leer y escribir y que para todos los municipios es superior al 5 %; alcanzando en Yalí, Vegachí, Remedios, Amalfi y Anorí más de 10 %.

NORDESTE

ACCESO Y CALIDAD DEL AGUA



IRCA 2017

Índice de Riesgo Calidad del Agua Potable IRCA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Amalfi	0,0	87,0	8,0
Anorí	1,0	31,0	10,0
Cisneros	36,0	97,0	38,0
Remedios	0,0	93,0	34,0
San Roque	3,0	97,0	65,0
Santo Domingo	3,0	43,0	24,0
Segovia	2,0	67,0	19,0
Vegachí	0,0	65,0	11,0
Yalí	0,0	80,0	27,0
Yolombó	0,0	38,0	15,0

El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

IRCA	Nivel de Riesgo
80,1 - 100	Inabastante
35,1 - 80	Alto
14,5 - 35	Medio
5,1 - 14	Bajo
0 - 5	Sin Riesgo

Índice de Riesgo Calidad de Abastecimiento Municipal IRABA 2017

Municipios	Urbana	Rural	Total
Amalfi	23,2	23,2	23,2
Anorí	100,0	0,0	9,1
Cisneros	54,1	54,1	54,1
Remedios	49,4	83,1	52,5
San Roque	33,7	70,3	47,4
Santo Domingo	30,8	65,4	41,4
Segovia	38,0	68,2	34,8
Vegachí	16,7	78,2	21,6
Yalí	22,5	74,8	27,8
Yolombó	29,4	75,3	39,6

El IRABA es la ponderación de los factores de: (1) Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y (2) Distribución.

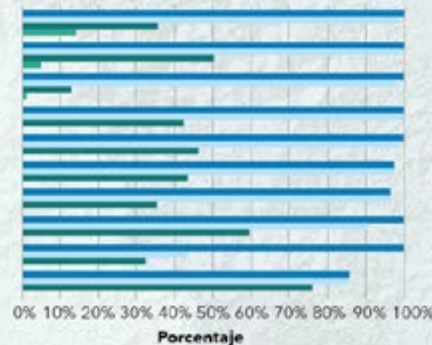
IRABA	Nivel de Riesgo
70,1 - 100	Muy Alto
40,1 - 70	Alto
25,1 - 40	Medio
10,1 - 25	Bajo
0 - 10	Sin Riesgo

Fuente: Gobernación de Antioquia, 2019

SERVICIO DE ACUEDUCTO Y AGUA POTABLE

Municipios

Yolombó
Yalí
Amalfi
Santo Domingo
Vegachí
Remedios
Anorí
San Roque
Cisneros
Segovia

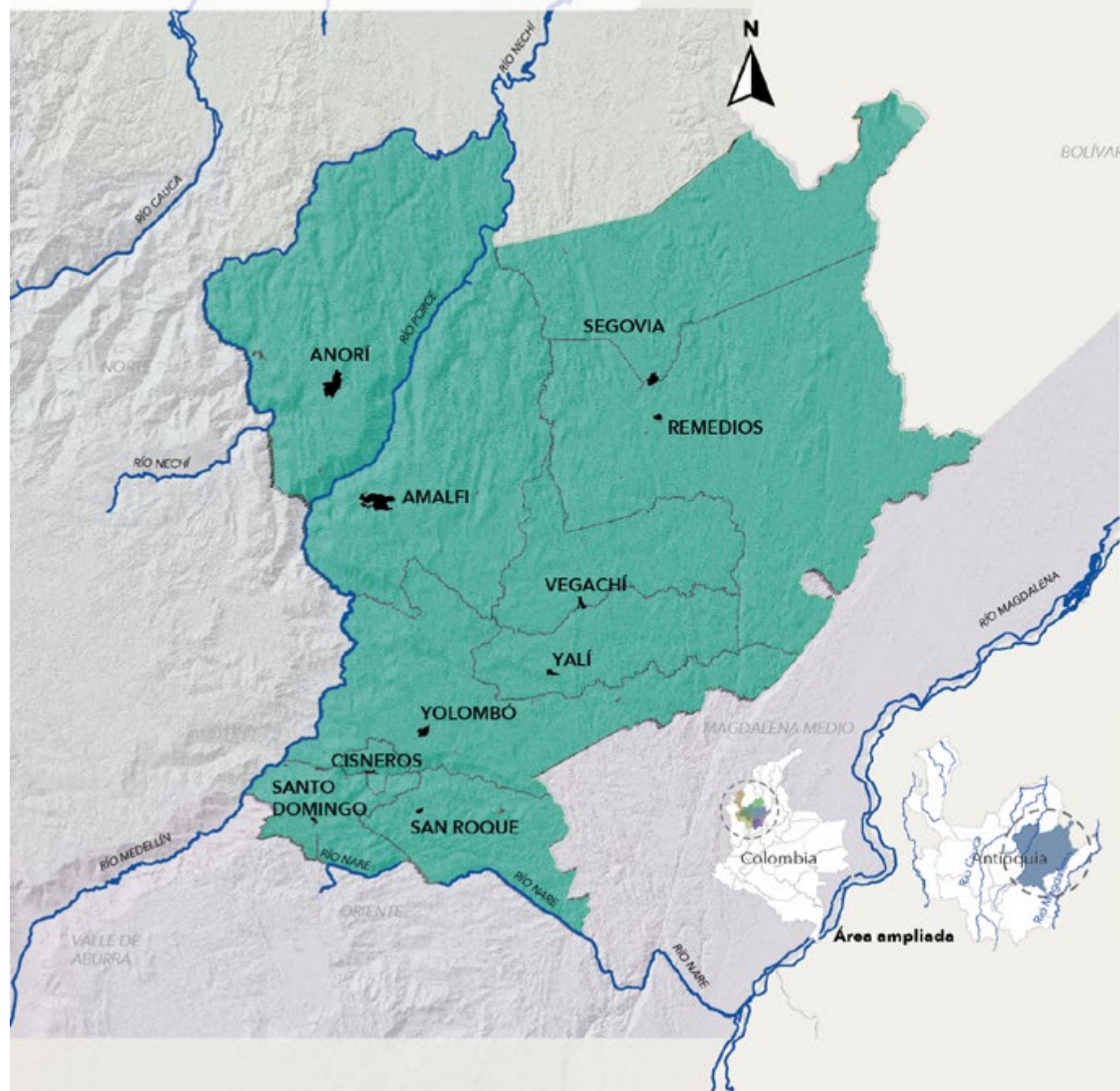


Fuente: DANE Censo Nacional, 2018 y Anuario Estadístico de Antioquia, 2017

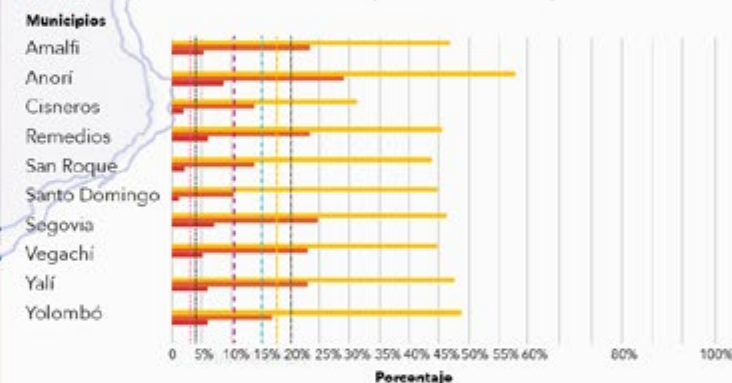
IRABA 2017

NORDESTE

CALIDAD DE VIDA



	Promedio Nacional	Promedio Departamental
● Índice de pobreza multidimensional	19,60 %	17,10 %
● Proporción de personas en pobreza	14,13 %	10,67 %
● Proporción de personas en miseria	3,74 %	2,48 %



Personas de 15 años y más que no saben leer y escribir

Municipios	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rurales	Total
Yalí	11,68%	16,01%	13,84%
Vegachí	9,51%	14,71%	11,12%
Anorí	9,19%	12,34%	10,81%
Amalfi	7,54%	14,43%	10,41%
Remedios	8,02%	12,26%	10,13%
Yolombó	4,95%	10,60%	8,75%
San Roque	4,75%	10,87%	8,73%
Segovia	7,24%	15,75%	8,68%
Santo Domingo	4,83%	9,11%	7,94%
Cisneros	4,74%	8,43%	5,25%

Fuente: DANE Censo Nacional, 2018

ESTADO Y PRESIÓN ANTRÓPICA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Oferta y presión antrópica del recurso hídrico superficial

Para evaluar la disponibilidad de agua se utilizaron dos índices: Índice de Aridez —IA— e Índice de regulación Hídrica —IRH—.

Según los resultados obtenidos en el ENA 2014 para el IA, el Nordeste presenta unos valores entre alto y muy alto de excedentes de agua, indicando que hay un alto grado de suficiencia de precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas naturales de la subregión. El ENA 2018, reporta para el IRH niveles de alto a moderado, siendo alto en la mayor parte del territorio de la subregión. Esto refleja la alta capacidad del sistema hídrico para mantener su régimen de caudales.

Las presiones que se hacen al recurso hídrico superficial, a través de las diferentes intervenciones antrópicas, se determinan a través de los índices de Uso del Agua —IUA— y de Alteración Potencial de la Calidad —IACAL—.

El IUA en la subregión del Nordeste varía de bajo a alto. Para el periodo hidrológico medio el índice es bajo en la parte oriental y noroccidente de la subregión; estas categorías se mantienen en el periodo seco hacia el norte; así los municipios de Anorí, Segovia y Remedios son los que menos demanda hacen del recurso hídrico en relación con su oferta. Para el año seco, en la zona central de la subregión, la califica-

ción del IUA pasa de alta a muy alto, siendo esta zona donde se da una mayor presión sobre el recurso hídrico.

La presión por la actividad socioeconómica sobre la calidad del agua en el Nordeste, evaluada a partir de los resultados del IACAL obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019) es variable, tanto para el año medio como para el seco, presentándose valores con niveles muy bajos en gran parte del municipio de Remedios, niveles bajos en Vegachí, Yalí, Yolombó, Segovia y Anorí, categoría media en San Roque y muy alta en Amalfi; hay, entonces, una alta presión sobre la calidad del agua, aumentando esta presión en el año seco.

Según el Era 2016, el IACAL es bajo, en periodos hidrológicos medio y seco, en las zonas donde se localizan los acueductos urbanos (Corantioquia, 2017).

Riesgo al desabastecimiento de agua

El riesgo al desabastecimiento por oferta y calidad del recurso hídrico se evaluó a través de los índices de Vulnerabilidad por Desabastecimiento —IVH—, Riesgo de Calidad de Agua Potable —IRCA— y Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano —IRABA—.

Según los resultados obtenidos en el ENA 2018 (IDEAM, 2019), el IVH en la subregión de Nordeste se incrementa de norte a sur en los dos escenarios hidrológicos, años medio y seco, presentando la zona centro y sur la situación más crítica, con un nivel de vulnerabilidad medio para el año medio. La subzona

hidrográfica en la cual se localizan los municipios de Yolombó, Yalí y Vegachí pasan de un nivel bajo, en año medio, a medio en año seco, incrementándose el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta de agua para el abastecimiento de su población.

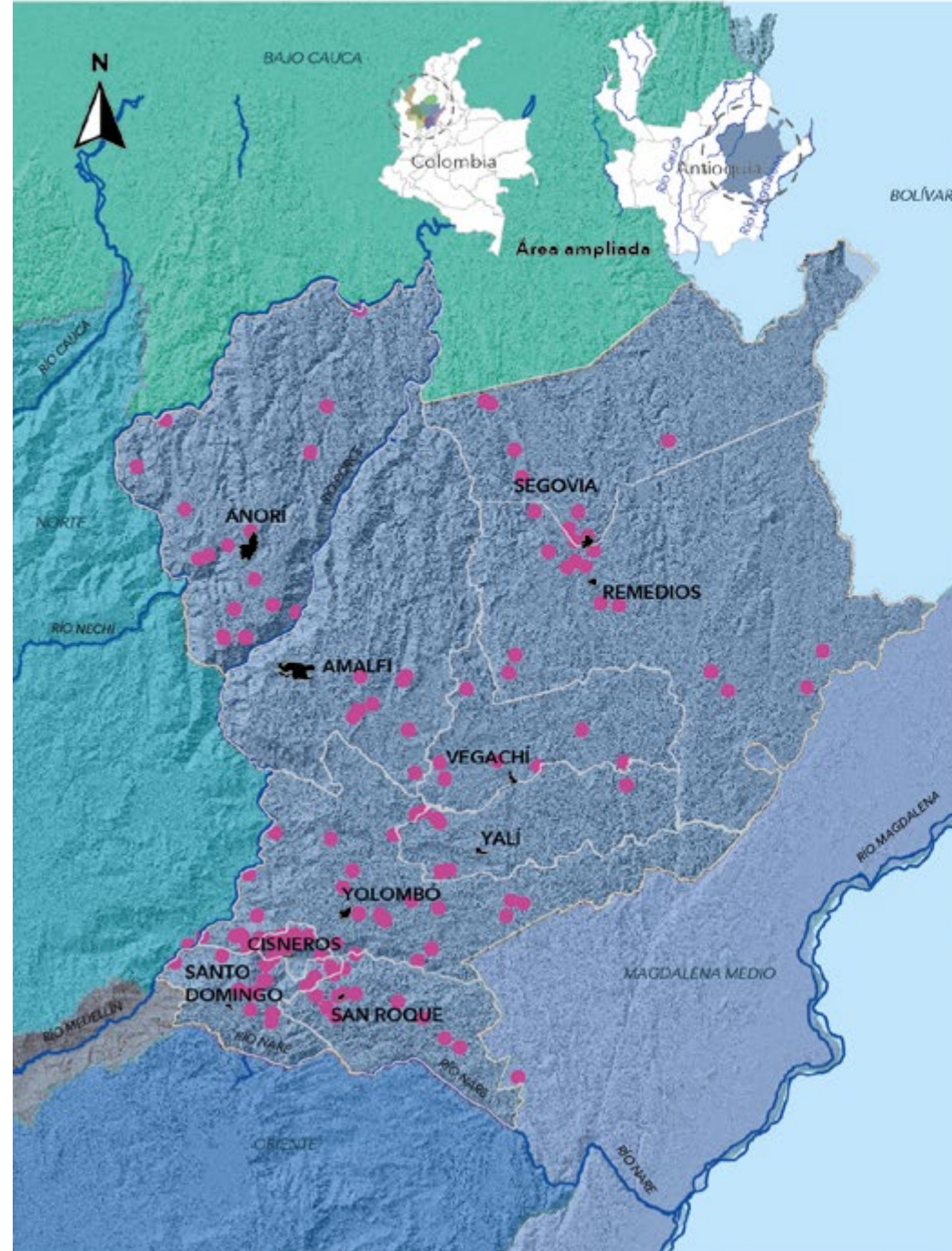
Las bajas coberturas de alcantarillado en el sector rural de los municipios de la subregión y los resultados obtenidos para el IACAL, se hacen manifiestas en los resultados obtenidos para el IRCA que presenta la Gobernación de Antioquia en la Ficha Municipal, versión 2019; de acuerdo con ello los municipios de Amalfi, Cisneros, Remedios y San Roque en sus áreas rurales son inviables sanitariamente, por la calidad de las aguas que abastece a su población. Santo Domingo, Segovia, Vegachí, Yalí y Yolombó presentan un riesgo alto (Gobernación de Antioquia, 2019). Excepto Cisneros, las cabeceras urbanas de los municipios de la subregión cuentan con buena calidad de agua.

Sin embargo, el regular estado y funcionamiento de varios de los componentes de los sistemas de acueductos urbanos, que presentaban, en 2017, la mayoría de los municipios de la subregión pone en riesgo el abastecimiento de agua para su población; Segovia, Cisneros y Remedios presentaban problemas de continuidad en el servicio de acueducto (Gobernación de Antioquia, 2018). La anterior situación se refleja en los resultados obtenidos para el IRABA; Cisneros y Remedios presentan un riesgo alto al desabastecimiento de agua para consumo de su población urbana; Amalfi, Vegachí y Yalí un riesgo bajo. La situación se hace muy crítica en el sector rural, en casi todos los municipios.

En Yalí y Yolombó, el caudal otorgado para el abastecimiento de sus cabeceras urbanas es mayor que

NORDESTE

INDICADORES DEL ESTADO DEL SISTEMA HÍDRICO,
POR INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y POR EVENTOS CLIMÁTICOS



Municipios	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRRH)*	Índice de Aridez (IA)*	Índice de Uso de Agua (IUA), Condición Normal*	Índice de Uso de Agua (IUA), Condición Seca*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL), Condición Normal*	Índice de Alteración Potencial a la Calidad del Agua (IACAL), Condición Seca*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVV), Condición Normal*	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVV), Condición Seca*	Índice de Riesgo por Cambio Climático (IRCC)**
Amalfi	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	MODERADO	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	0.17
Anorí	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	0.18
Cisneros	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	MUY ALTO	MUY ALTO	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	0.24
Remedios	ALTA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	ALTO	ALTO	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	0.18
San Roque	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	0.0
Santo Domingo	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	0.19
Segovia	MODERADA	ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	0.23
Vegachí	ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	0.17
Yalí	ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	0.18
Yolombó	ALTA	EXCEDENTES DE AGUA	BAJO	BAJO	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	0.19

< 0.5 MUY BAJA	> 0.5 ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA	< 50.0 MUY ALTO	4.5 a 5.0 MUY ALTA	MUY ALTA	0.43 - 1 MUY ALTO
0.5 a 0.45 BAJA	0.50 - 0.55 DEFICITARIO DE AGUA	50.01 a 60.0 ALTO	3.5 a 4.5 ALTA	ALTA	0.25 - 0.42 ALTO
0.45 a 0.75 MODERADA	0.40 - 0.49 MODERADO A DEFICITARIO DE AGUA	60.01 a 70.0 MODERADO	2.5 a 3.5 MODERADA	MEDIA	0.10 - 0.24 MEDIO
0.75 a 3.35 ALTA	0.30 - 0.39 MODERADO	70.0 a 100.0 BAJO	1.5 a 2.0 MODERADA	BAJA	0.17 - 0.18 BAJO
> 3.35 MUY ALTA	0.10 - 0.29 DEFICITARIO DE AGUA	> 100.0 MUY BAJO	1.0 a 1.5 BAJA	MUY BAJA	0.11 - 0.16 MUY BAJO
	0.15 a 0.29 DEFICITARIO DE AGUA				
	< 0.15 ALTOS EXCEDENTES DE AGUA				



Bocatoma de Agua

Fuentes:
*IDEAM, 2019
**IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELERÍA, 2017.

el caudal mínimo de sus fuentes abastecedoras, situación que puede generar problemas de abastecimiento en condiciones hidrológicas secas.

Según se registra en el tercer *Informe sobre cambio climático* realizado por el IDEAM en 2017, el Nordeste de Antioquia presenta niveles de riesgo entre 0,24 (Cisneros) y 0,15 (Anorí).

PRIORIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Pensando en establecer un orden de importancia, o necesidad departamental en relación con el recurso hídrico para la subregión, se tuvieron en cuenta los índices: IA, IVH (año seco) e IRABA y las condiciones de la población; considerando los 125 municipios de Antioquia se encuentra que San Roque sería el municipio número 20 en cuanto fragilidad y Amalfi el 58. Así que, los municipios del Nordeste están entre los 60 más susceptibles de Antioquia.

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

Solo se logró tener acceso a un estudio de impacto ambiental, para un área 59 km² en la Mina Gramalote (INTEGRAL S.A., 2015). Esta región del departamento no ha sido explorada con intención de reconocer o evaluar su potencial de aguas subterráneas.

• PRIORIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA SUBREGIÓN NORDESTE ANTIOQUEÑO EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES DE RIESGO POR FACTORES ANTRÓPICOS

SUBREGIÓN NORDESTE		
Municipios	Sumatoria	Posición
San Roque	0.31609	20
Yolombó	0.29868	29
Santo Domingo	0.29843	30
Segovia	0.28172	36
Remedios	0.27628	40
Yalí	0.27115	46
Cisneros	0.26069	53
Anorí	0.25560	55
Vegachí	0.24818	57
Amalfi	0.24645	58

• BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE SUBREGIÓN NORDESTE

Documento	Autor	Entidad	Año de publicación
<i>Estudio de impacto ambiental Gramalote</i>	Integral S.A.	Gramalote Colombia Limited, AngloGold Ashanti	2015

Según el modelo conceptual del proyecto Gramalote, se identifican las unidades: Acuífero depósito de terraza aluvial de edad Cuaternaria, Acuitardo Saprolito del Batolito antioqueño, Basamento-Rocas ígneas fracturadas del Batolito antioqueño.

Los depósitos en terraza aluviales varían en profundidades de 5 a 10 m; los perfiles que se interpretan a partir de sondeos eléctricos Verticales registran intercalaciones de capas saturadas con agua de material limo-arenoso, arenas finas a media y capas de grava. El saprolito del Batolito antioqueño también estaría saturado y tiene texturas limoarenosa a arenosa.

La escala de este estudio, el cual arroja información suficiente para la caracterización de las unidades hidrogeológicas, es local y motiva la importancia de realizar exploración más detallada en la región con condiciones geológicas similares.

Rocas duras

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Pzev	Esquistos actinolíticos y cloríticos	Franjas alargadas en sentido N NE entre Anorí, Amalfi y Segovia	39,05	Las rocas tipo esquistos están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad secundaria, la disposición de las diaclasas registradas les conferiría una permeabilidad media. En conjunto su potencial acuífero es medio.
Pzes	Esquistos cuarzo serisiticos	Franjas alargadas en sentido N NE entre Anorí, Amalfi y segovia	798,23	
Pz (ev+es)	Intercalaciones de actinolíticos cloríticos con cuarzo cerisiticos	Franja de menor extensión en Anorí.	5,72	
Pza	Anfibolitas	Franja en sentido NW entre los municipios Anorí, Amalfi Segovia, Remedios, Vegachí, Yalí y Yolombó.	75,69	Las rocas tipo anfibolita están afectadas por fallamiento y registran diaclasamiento en todos los polígonos cartografiados, esto les confiere condiciones de porosidad y permeabilidad secundarias. En conjunto su potencial acuífero es bajo a muy bajo.
PCaa	Lente de anfibolita	Segovia	0,24	

POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO

El potencial hidrogeológico suele medirse en términos de la cantidad de agua que, con criterios de beneficio económico y productividad, puede obtenerse de una formación geológica; no obstante, cada vez se hace más relevante el criterio de importancia que se soporta en términos de necesidad social y sostenibilidad ecosistémica. Mediante recorridos y entrevistas en campo se pudo evidenciar que, en el Nordeste, las aguas subterráneas representan una importante fuente de abastecimiento humano en la subregión.

Considerando las características litológicas y estructurales, se presenta a continuación la evaluación del carácter hidrogeológico que podrían tener las rocas duras —metamórficas e ígneas— y las formaciones blandas —rocas sedimentarias y depósitos— que tienen ocurrencia en la subregión del Nordeste de Antioquia.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial hidrogeológico
Pzm	Mármoles	Segovia, Remedios, Amalfi, Yalí y Yolombó	3,64	Porosidad secundaria por intenso diaclasamiento, podría haber efectos de disolución. Potencial como acuífero alto.
Pzq Ps (+esq)	Cuarcitas	Yolombó San Roque, Yalí, Vegachi, Amalfi, Remedios, Segovia y Anorí	455,2	Porosidad y permeabilidad secundarias por intenso diaclasamiento. Posible potencial acuífero medio.
PCnsl	Gneis de San Lucas	Remedios, Segovia, Yalí y Yolombó	522,19	Las rocas tipo gneis tienen porosidad secundaria por diaclasamiento, sin embargo la disposición de las diaclasas sugiere permeabilidades bajas. Potencial acuífero bajo.
Pznf	Gneis cuarzo feldespático	Anorí, Amalfi, Remedios, Vegachí, Yalí y Yolombó	1287,15	
Pzin	Intrusivos gneisicos	Especialmente en Anorí y manifestaciones menores en Amalfi	375,42	
Pn	Gneis porfiroclástico	Anorí	3,64	
Pnc	Gneis calcosilicatado	Yolombó	2,4	
Pzmc	Metasedimentitas de La Cruz	Remedios	112,45	Limitada porosidad y permeabilidad secundarias por fracturamiento. Potencial acuífero bajo.
Ksta	Batolito antioqueño	Santo Domingo, San Roque, Cisneros, Yolombó, Yalí, Vegachí, Amalfi y Remedios	2065,32	La roca registra porosidad y permeabilidad secundarias por fracturamiento. El sistema de diaclasas mejor desarrollado en el Batolito de Segovia tiene dirección N60 °W, al sur, y N20 °W, al norte; con buzamiento predominante hacia el NE mayor a 50°. Los saprolitos de meteorización del Batolito antioqueño tiene texturas limoarenosa a arenosa. El saprolito del Batolito antioqueño podría tener un potencial acuífero medio.
Jdse	Batolito de Segovia	Yolombó, Yalí, Vegachí, Remedios y Segovia	1595,87	
Ksg	Gabro	Anorí (La unidad más grande), Yalí, Yolombó y San Roque	33,47	Se registra en todos ellos porosidad secundaria y una permeabilidad media. Potencial hidrogeológico como acuífero bajo.

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km²)	Potencial hidrogeológico
Kzev	Rocas verdes	Anorí	52,43	Basaltos oceánicos con porosidad y permeabilidad puntual, por diaclasamiento. Potencial acuífero muy bajo.
J1gg	Granodiorita de Guamocó	En Remedios, cuerpos dispersos	7,14	Aún cuando registra porosidad y permeabilidad secundarias, la extensión sugiere que no tienen interés hidrogeológico.
t	Ultramafitas (talco)	Cuerpos dispersos de extensión mínima	0,053	Cuerpos ígneos de baja permeabilidad secundaria. Potencial acuífero bajo.
Kiu	Ultramafita de Romeral	Anorí	3,4	
Ks	Serpentinitas	Anorí	2,54	
J1gn	Granito de Norosí	Segovia	35,20	Cuerpos ígneos de baja permeabilidad secundaria. Potencial acuífero bajo.
s	Skarn	Pequeños cuerpos dispersos	2,9	Cuerpos calcáreos muy permeables, pero por su extensión sin interés acuífero.
Jdt	Stock La Tinta	Anorita	0,018	No tiene interés acuífero.
Kat	Tonalita felsica	Anorí	106,14	Sin porosidad ni permeabilidad. Sin interés hidrogeológico.
fqd	Cuarzodiorita	Santo Domingo y Cisneros	1,59	Cuerpos ígneos de baja permeabilidad secundaria. Potencial acuífero bajo.
Kivs	Volcánico de Segovia	Remedios, Segovia y Anorí	100,89	Porosidad secundaria por diaclasamiento, permeabilidad baja a muy baja. Potencial acuífero muy bajo.
J1nha	Complejo Volcánico de Norean	Remedios	141,42	
Jvm	Conjunto volcánico de La Malena	Remedios	48,91	

Formaciones blandas

Sigla	Denominación	Localidades	Área (km ²)	Potencial Hidrogeológico
Kac	Caliza	Anorí	0,10	Pequeño cuerpo alargado que tendría porosidad secundaria y permeabilidad media, el potencial acuífero sería bajo.
Kisp	Formación San Pablo	Anorí y Amalfi	9,59	Porosidad primaria y permeabilidad alta a media, salvo en las capas de arcillolita. Potencial acuífero medio.
Kils	Formación Soledad	Anorí	10,97	Porosidad primaria y permeabilidad alta. Potencial acuífero alto.
N1rl	Grupo Real	Remedios	19,65	Porosidad primaria y permeabilidad alta. Potencial acuífero alto.
Kc	Conglomerados	Amalfi, Yolombó y Anorí	6,42	Porosidad primaria y permeabilidad alta. Potencial acuífero alto.
Kiss	Sedimentitas de Segovia	Remedios, Segovia, Anorí, Amalfi, Vegachi y Yalí.	234, 26	La presencia de conglomerados y areniscas le confieren permeabilidad adecuada para ser potenciales acuíferos.
Ngm	Formación Mesa	Remedios	0,35	La extensión en la subregión es inferior a 1 Km ² , sin embargo, a escala regional la formación Mesa tiene un potencial acuífero muy alto.
Qal	Depósitos aluviales	En todos los municipios	137,20	Porosidad y permeabilidad primaria alta. Potencial acuífero muy alto.
Tal	Aluvion terciario	Amalfi y Anorí	0,15	

PERCEPCIONES



NORDESTE

Extensión 8.544 km²

10 Municipios distribuidos en cuatro zonas: Minera, Meseta, Nus y Río Porce.

Es la segunda subregión productora de oro del departamento



Actividades económicas más importantes



MINERÍA



EXPLOTACIÓN MADERERA



COMERCIO



GANADERÍA doble propósito



AGRICULTURA

En la zona minera, parece como si el embrujo brillante del oro se transmitiera naturalmente como herencia, generación tras generación. En los túneles y en las galerías, las señales de la mina son las señales del agua y cuando ambos se traen afuera, un gramo de oro brillará tras el curso de miles metros cúbicos de agua.

Las familias que tienen un pozo de abastecimiento acceden al agua con mayor regularidad que quienes son usuarios del acueducto; existen modelos de distribución que los conecta y pagan una tarifa al dueño del predio donde está la captación o a la junta que administra el acueducto veredal.

En Amalfi un manantial que brota del suelo trae del acuífero San Ignacio, permanente, agua para los habitantes del casco urbano. En la granja educativa de San José del Nus un pozo oculto a todos nutre las labores educativas cada día.

Se encuentran también en la región espíritus que marchan a otro ritmo y tiene otra forma de vibrar; su paso busca resonancia con la naturaleza y su voz va haciendo eco; el agua es parte de su esencia, desde la piel y hacia adentro, así como el ciclo natural que fluye...



"La naturaleza es muy bella, y nos ofrece lo que nosotros queremos. Como esto tiene tanta montaña, de pronto pueden haber nacimientos internos, que pueden llevar a mantener este pozo"
Pedro Pablo Higinio (San José del Nus)



NORDESTE GEOLOGIA



CÓRDOBA

BAJO CAUCA

Colombia

Antioquia

Área ampliada

BOLÍVAR

NORTE

CISNEROS

SANTO DOMÍNGO

SAN ROQUE

ORIENTE

VALLE DE ABURRA

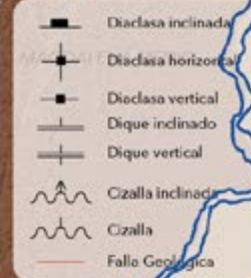
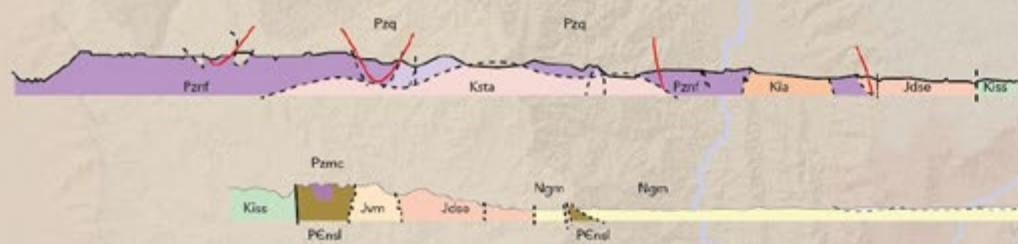
Adaptado de cartografía 1:100,000 del S.G.C



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

SEDIMENTARIAS	ÍGNEAS	METAMÓRFICAS
Qal Aluviones Recientes		
Ngm Formación Miso		
Tal Aluvión Terciario		
N1rl Grupo Real		
Kca Calica	Kag Gabro	Ppsd Rocas de muy bajo grado de metamorfismo
Kis Sedimentitas al este de Segovia	Kutmi Batolito Quebrada Mami	
Kisp Formación San Pablo	Kuta Batolito Anchoqueño	
Kia Formación La Soledad	Kia Ultramafitas de Romeral	
	Kia Volcanitas de Segovia	
	Kia Adamelitas	
	Ks Serpentinitas	
	t Ultramafitas (talco)	
	Jvm Conjunto Volcánico de la Malena	
	Jdse Batolito de Segovia	
	Jdt Stock La Trinita	
	J1gg Granodiorita de Guameco	
	J1gn Granito de Noroio	
	J1nha Complejo Volcánico de Noroio	
	Pain Intrusivos Nancos Contactados	
	Maon Magma	
		Pzaf Complejo Cajamarca: Neo Cuatro Faldas (gabbro)
		Pzas Complejo Cajamarca: Esquistos Cuatro Serpientes
		Pzev Complejo Cajamarca: Esquistos Antioqueños - Clásticos
		Pzas+Pzev Complejo Cajamarca: Esquistos Intermedios
		Pza Complejo Cajamarca: Cuarcitas
		Pam Complejo Cajamarca: Mármoles
		Pnc Anfibolitas
		Pnc Neo cataclítico
		Pnmc Metasedimentos de La Cruz
		Pmsl Neo Cuatro Faldas (gabbro) de San Lucas



NORDESTE

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA



CÓRDOBA

CAUCA

BOLÍVAR

Colombia

Antioquia

Área ampliada

ANORÍ

SEGOVIA

REMEDIOS

AMALFI

VEGACHI

YALI

YOLOMBÓ

CISNEROS

SANTO DOMINGO

SAN ROQUE

POTENCIAL COMO ACUÍFERO



Muy Alto



Alto



Medio



Bajo



Poco Probable

Punto de Agua subterránea*

*Fuente: IDEAM, 2020



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

CONSIDERACIONES FINALES

La experiencia de realizar esta síntesis del conocimiento hidrogeológico en Antioquia, acompañada de la elaboración de un mapa departamental que propone la distribución, y priorización de zonas con potencial presencia de aguas subterráneas, junto con la delimitación de la función de recarga acoplada a sistemas de flujo, arroja resultados valiosos que constituyen un aporte de la Universidad a la sociedad, representada esta en los actores sociales claves en materia de utilización y manejo de los recursos naturales.

Este resultado cruzado con las condiciones de acceso al agua, por municipio, a las proyecciones de riesgo por cambio climático y las características socioeconómicas de la población, permitieron obtener un orden de importancia a partir del cual se pueden establecer prioridades para abordar la exploración de nuevos acuíferos, en cada una de las nueve subregiones del departamento.

En Antioquia el uso de las aguas subterráneas tiene unas dimensiones poco conocidas, además de la existencia de pozos, aljibes y galerías desde las que se capta este recurso; sin formalizar trámite alguno ante las autoridades ambientales, existe un gran número de abastecimientos comunitarios e individuales que se hacen a partir de manantiales, puntos de agua estos que constituyen emanaciones naturales del agua subterránea en la superficie.

Un aprendizaje fundamental dentro de todo este proceso de síntesis se logró gracias a los recorridos de campo que se realizaron con el ánimo de reconocer la presencia del agua que brota a través de estas rocas —duras y blandas— sobre las cuales se ha esculpido el paisaje de Antioquia. Factor decisivo en este andar ha sido el de reafirmar la crucial importancia que el diálogo de saberes tiene en los procesos

de generación y sistematización del conocimiento; en este sentido es claro que la participación social de los actores que habitan el territorio debe asumirse como parte integral de la metodología que determina la ruta de la exploración hidrogeológica.

La interacción directa con los equipos de trabajo de administraciones municipales, representantes de diferentes sectores económicos, maestros de colegios y escuelas, líderes ambientales y habitantes de municipios de las nueve subregiones de Antioquia, permite afirmar que la perspectiva del departamento en términos de valoración social del agua subterránea es una necesidad urgente, sobre todo desde el punto de vista de la sostenibilidad ecosistémica y de la existencia de fuentes alternativas de agua para satisfacer las necesidades humanas en regiones donde el acceso a este vital líquido, en condiciones adecuadas de calidad y cantidad, están restringidas.

Un acuífero es una unidad hidrogeológica que contiene y deja fluir agua en unas condiciones de calidad y cantidad que pueden ser —económicamente— utilizadas por el hombre. Esta definición clásica no da cuenta de factores claves como la necesidad y la importancia de un bien en un contexto geográfico. El potencial suele referir, en el imaginario, la idea de promesa o esperanza: la posibilidad de llegar a ser; y luego de lograrlo se traduce en la oportunidad para alcanzar una mayor capacidad o poder. Puede entonces entenderse el potencial hidrogeológico como la capacidad de las rocas del subsuelo para recibir, almacenar y transmitir agua de manera natural o inducida, para satisfacer necesidades ecosistémicas y humanas; su importancia radica en la funcionalidad y el servicio que prestan. La propuesta de construcción del concepto de socio-hidrogeología tiende hacia la comprensión de este doble sentido.

ANTIOQUIA

POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SEGÚN GEOLOGÍA

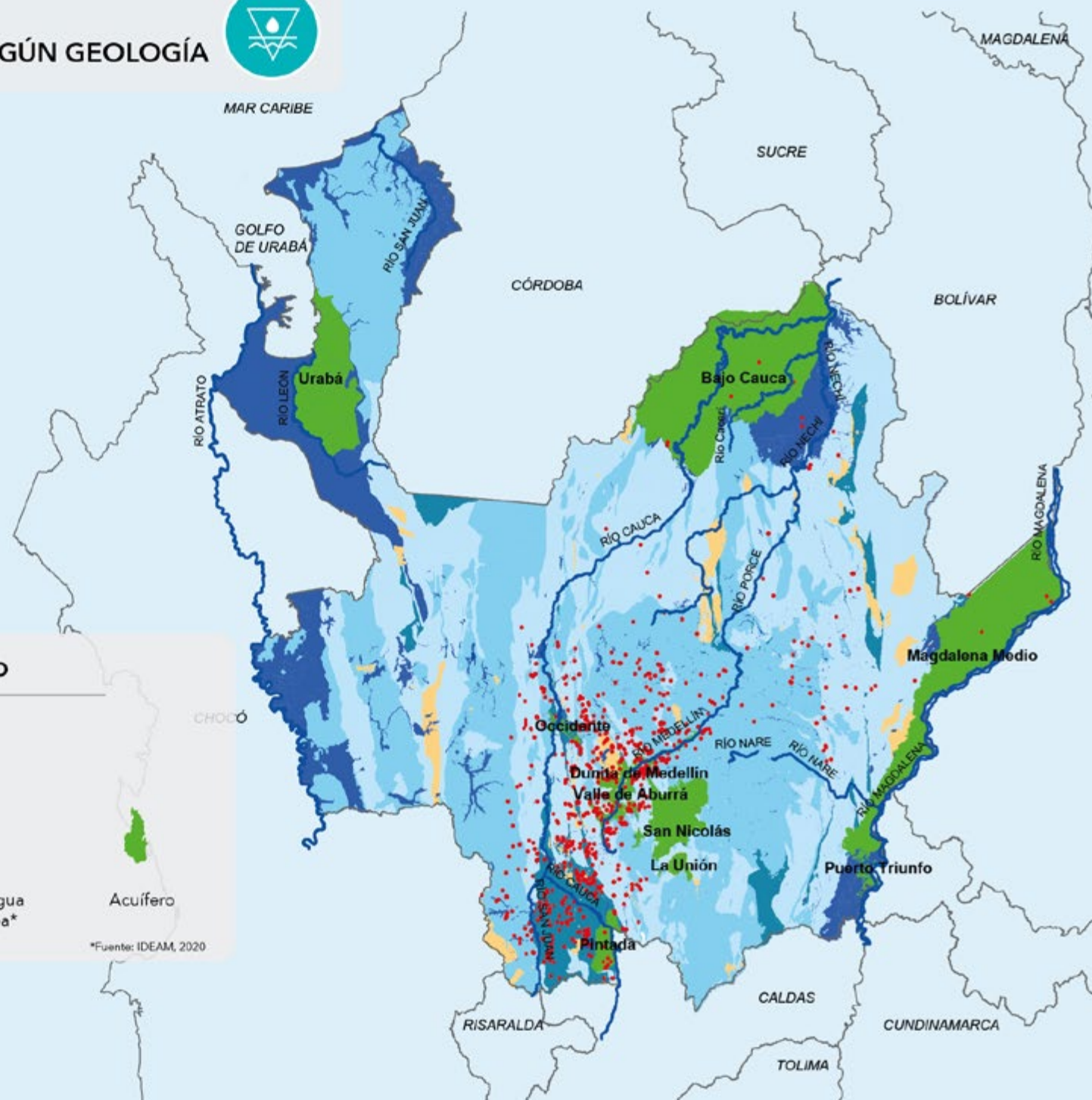


Área ampliada

POTENCIAL COMO ACUÍFERO



*Fuente: IDEAM, 2020



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

BETANCUR, 2021

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aggarwal, K., Gat, J. and Froehlich, K., 2005. Isotopes in the water cycle. Springer, 381 p.

Albritton, C., 1970. Filosofía de la geología

Amaya, G., Restrepo, C., Vélez, M.V., Vélez, J.I., Álvarez, O.D., 2009. Modelación del comportamiento hidrológico de tres cuencas en el Urabá antioqueño.

Appelo, C. & Postma, D. 1994. Geochemistry, groundwater and pollution (2nd ed.; A. A. B. Publishers, Ed.), 645 pp.

Arana, V., 2016. Análisis y valoración de los servicios ecosistémicos de humedales asociados al río León (Urabá antioqueño – Colombia), su relación con el sistema hídrico subterráneo y con el bienestar humano. Universidad Nacional de La Plata, Universidad de Antioquia y CORPOURABA.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y Consorcio Microzonificación (Solingral S.A., Integral S.A., Inteinsa, Universidad EAFIT, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín), 2007. Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. AMVA/ Consorcio Microzonificación, Medellín, Colombia, Tech. Doc.

Arévalo, L., Peñuela I. y Carrillo, J., 2012. Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: Centro-sur de la Mesa Central, México. <https://doi.org/10.14350/rig.30518>, 81 (81), 18-32.

Bastidas, B. D., Ossa, J., Martínez, C., Vela, M. A., Betancur, T., y Osorio, A., 2022. Region-scale estimation of potential groundwater recharge in soft and hard rock formations through a distributed water balance in the area of influence of the tropical dry forest in the Cauca River canyon, Antioquia, Colombia. *Boletín Geológico*, 49(1), 77–101.

Bastidas, B., 2019. Modelo conceptual de la recarga de aguas subterráneas en el nivel somero del sistema hidrogeológico del Golfo de Urabá evaluando su magnitud y variabilidad espacio-temporal. Trabajo de Investigación, Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Antioquia, 215 p.

Bastidas, B., Ossa, J., Martínez, C., Vela, A., Betancur, T. y Osorio, A., 2021. Estimaciones regionales de recarga potencial de aguas subterráneas en formaciones blandas y rocas duras mediante un balance hídrico distribuido en zona de influencia del Bosque Seco Tropical en el cañón del río Cauca – Antioquia.

Belonoshko, A., Skorodumava, N., Rosengren, A. y Jhoansson, B., 2008. Elastic anisotropy of Earth's core; *Science*, 319 (5864).

Bermúdez, J.G., Arango, M.I., Rodríguez, G., Zapata, G., y Ramírez, C., 2010. Cartografía geológica de las Planchas 72 Pueblo Nuevo y 82 Montelíbano Departamento de Córdoba. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Betancur, T. y Línea hidrogeología -GIGA, 2017. Evaluación de servicios ecosistémicos en sistemas de transición acuífero-humedal, incorporando los efectos de procesos de alteración a su dinámica natural. Universidad de Antioquia, CORPOURABA, COLCIENCIAS.

Betancur, T. y Línea hidrogeología -GIGA, 2021. Evidency4police. Universidad de Antioquia, UNESCO IHE.

Betancur, T., 2008. Una aproximación al conocimiento de un sistema acuífero tropical. Caso de estudio: el Bajo Cauca Antioqueño. Tesis de doctorado, Universidad de Antioquia.

Betancur, T. y Martínez, C., 2021. Acople de la cartografía geológica disponible para Antioquia a escala 1:100.000, base para la exploración hidrogeológica. *Memorias XVIII Congreso Colombiano de Geología*, p 431.

Betancur, T. y Martínez, C., 2022. Potential and prospects for hydrogeological exploration according to lithostructural criteria in Antioquia departamento, Colombia. *Boletín Geológico*, 49(2). 45-63.

Betancur, T., 1996. Modelamiento de acuíferos para la zona de Urabá utilizando sistemas de información geográficos. Tesis de maestría, Universidad Nacional Sede Medellín.

Betancur, T., 2016. Aguas subterráneas en el Bajo Cauca Antioqueño. CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia.

Betancur, T., 2016. Atlas hidrogeológico del Bajo Cauca Antioqueño. CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia.

Betancur, T., 2021. Pasado, presente y perspectiva de las aguas subterráneas en Antioquia. Informe de Año sabático, Universidad de Antioquia.

Betancur, T., Duque, C., Martínez, C., García, D., Villegas, P. y Paredes, V., 2020. Delimitación de potenciales zonas de recarga – caso de estudio: Acuífero multicapa del Eje Bananero del Urabá Antioqueño. *Revista Politécnica*.

Betancur, T., Martínez, C., García, E. y Escobar, J., 2017. Identification and characterization of regional water flows contributing to the recharge of an unconfined aquifer. *Revista Facultad de Ingeniería*, 85, 70–85.

Calle, B. y González, H., 1980. Geología y geoquímica de la plancha 166 Jericó. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Calle, B., y González, H., 1982. Geología y geoquímica de la plancha 186 Riosucio. Escala 1:100.000. Producto. Versión 1982 estandarizada en 2009. Servicio Geológico Colombiano.

Camacho C., 2020. Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de la Dunita de Medellín, a partir de información secundaria. Universidad EIA.

Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2019. Perfiles socioeconómicos de las subregiones de Antioquia. Medellín. Retomado de: www.camaramedellin.com.co

Campillo, A., 2020. Usando múltiples trazadores para comprender el funcionamiento de acuíferos freáticos heterogéneos en zonas húmedas tropicales: caso del Golfo de Urabá, Colombia. Tesis de doctorado, Universidad de Antioquia.

Campillo, A., 2012. Orígenes de la recarga del acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque geoquímico e isotópico. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia, Université Montpellier 2.

Cano, A., 2015. Identificación de la presencia de flujos regionales en el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá a partir de un caso de estudio en una zona piloto. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Cárdenas, E., 2006. Realización de sondeos eléctricos verticales en la zona costera del acuífero del Eje Bananero. CORPOURABA.

Cardona, A., 2017. Propuesta metodológica para la caracterización de conflictos uso del suelo-agua subterránea orientada al manejo ambiental de sistemas acuíferos y su aplicación a un caso de estudio. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Chachadi, A., 2015. New Indicator Based Method SALDIT for Delineation of natural groundwater recharge areas. *ScienceDirect*, 649 - 659.

Chow, V., Maidment, D y Mays, L., 1994. Hidrología Aplicada. McGrawHill. 584 p.

Concesión Túnel Aburrá-Oriente S.A., 2003. EIA Conexión vial Aburrá-Oriente. Gobernación de Antioquia.

CONSORCIO GSG (GEOMINAS – SERVIMINAS – GEMI), 2015. elaboración de la cartografía geológica de un conjunto de planchas a escala 1:100 000 ubicadas en cuatro bloques del territorio nacional, identificados por el servicio geológico colombiano. plancha 94 el bagre.

CORANTIOQUIA y Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S., 2014. Evaluación hidrogeológica en los municipios de La Pintada y Valparaíso jurisdicción de la Dirección Territorial Cartama de Corantioquia.

CORANTIOQUIA y Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S., 2015. Diagnóstico para la formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente antioqueño en la Territorial Hevéxicos de Corantioquia - Contrato 14-09-241. CORANTIOQUIA.

CORANTIOQUIA y Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S., 2015. Diagnóstico para la formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente antioqueño en la Territorial Hevéxicos de Corantioquia - Contrato 14-09-241.

CORANTIOQUIA y Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S., 2017. Formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente antioqueño del sistema acuífero del Occidente antioqueño en la territorial Hevéxicos de Corantioquia.

CORANTIOQUIA y Universidad Nacional – Sede Medellín, 2001. Evaluación del potencial acuífero Yondó.

CORANTIOQUIA y Universidad Nacional – Sede Medellín, 2003. Evaluación del potencial acuífero Puerto Berrío y Puerto Nare.

CORANTIOQUIA, 2017. Estudio Regional del Agua 2016. Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA).

CORNARE y Universidad Católica de Oriente, 2016. Monitoreo de Oferta y Calidad del agua en las cuencas de la jurisdicción de CORNARE. Contrato 477-2016.

CORNARE y Universidad Nacional de Colombia, 1997. Evaluación hidrogeológica preliminar para los municipios de: El Retiro, La Ceja, Rionegro, El Carmen, Guarne y Marinilla.

CORPOURABA, 2002. Caracterización hidroquímica y bacteriológica de las aguas y actualización del inventario de pozos profundos.

CORPOURABA. 2009. Planes de ordenamiento y manejo de la cuenca –POMCA– de los ríos Apartadó (2005), Carepa (2009), Chigorodó (2009) y Turbo (2009).

CORPOURABA y Universidad de Medellín, 2012. Consultoría para delimitar los humedales asociados al Río León en el área de influencia de los municipios de Apartadó, Carepa, Chigorodó y Turbo, a través de técnicas que permitan modelar la función, estructura y composición de los humedales y evaluar la magnitud del daño generado por las modificaciones en el paisaje y en el cambio de uso del suelo a una escala 1:25.000.

Custodio, E., y Llamas, M.R., 1997. Hidrología subterránea. S.A. Ediciones Omega, Ed. Barcelona, España.

DANE, 2019. Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Retomado de: <http://systema59.dane.gov.co/bincol/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CNPVBASE4V2&lang=esp>.

Deepa, S., Venkateswaran, R., Ayyandurai, T., Kannan, R. and Vijay P, 2016. Groundwater recharge potential zones mapping in upper Manimuktha Sub basin Vellar river Tamil Nadu India using GIS and remote sensing techniques». Modeling Earth Systems and Environment, <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0192-9>, 2(3), 137.

Duque, J. C., 2017. Modelación multi-escala del flujo de aguas subterráneas en medios hidrogeológicos complejos. Sistema acuífero del Eje Bananero del Urabá Antioqueño. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Duque, J. C., Betancur, T. y García Aristizábal, E., 2022. Multi-scale modelling for the understanding of flow systems in a layered aquifer, Urabá-Colombia. Boletín de Geología, 44(3), 179-198.

Escobar, J., Betancur, T., Palacio, P y Martínez, C. Análisis jerárquico ponderado aplicado a la identificación de recarga y flujos regionales en acuíferos, Revista Politécnica, 13(24), 37-48, 2017

Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., Ramírez, O., Lozano, H., y Vesga, J., 1970. Mapa geológico de Colombia, Oriente de Antioquia. Cuadrángulo I-9 y parte de los cuadrángulos H-9, H-10, I-10, J-9 y J-10. Plancha 117 Amalfi, Plancha 132 Yolombó, Plancha 148 San Carlos, Plancha 168 Argelia (Aquitania), Plancha 188 La Dorada. Escala 1:100.000. Producto. Versión año 1970 estandarizada en 2010. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Gallego, A., 2020, Geología física y geomorfología. Universidad de Antioquia, Educación virtual ude@,

Garcés, D., 2018. Definición de la red de flujo subterránea de la vega aluvial del Río Negro, mediante modelado numérico. Trabajo de grado, Universidad EIA.

García, D, 2018. Modelo conceptual de funcionamiento hidrológico del sistema acuífero-humedal. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Gaviria, J. I., 2005. Identificación y clasificación de fuentes potenciales de contaminación del acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño. Trabajo de grado, Universidad de Antioquia.

Gaviria, J. I., 2010. Desarrollo y aplicación de una metodología para evaluar el riesgo a la contaminación de las aguas en un acuífero libre, caso de estudio: cuenca baja del río Man, Bajo Cauca antioqueño. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

GEOTEC Ltda., 2003. Geología de los Cinturones Sinú – San Jacinto – Planchas 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Giraldo Ramírez, Wilmer Enrique, 2014. Modelo hidrogeológico conceptual de los Valles de San Nicolás y La Unión. Trabajo de grado, Universidad Nacional – Sede Medellín.

Glynn., P.D. y Plumer., L.N., 2005. Geochemistry and the understanding of ground-water systems. Hydrogeology journal, 13:263-287.

Gobernación de Antioquia, 2009. Plan Estratégico para un Pacto Social por el desarrollo del Oriente antioqueño. Medellín.

Gobernación de Antioquia, 2011. Plan Estratégico Subregional del Bajo Cauca 2011 – 2020. Medellín.

Gobernación de Antioquia, 2012. Proyecto integral regional para el desarrollo de Urabá. - Urabá: Un Mar de Oportunidades.

Gobernación de Antioquia, 2015. Plan departamental para la gestión del riesgo de desastres. Medellín, Antioquia: Departamento Administrativo del Sistema de Prevención, Atención y Recuperación de Desastres en Antioquia (DAPARD). Consultado en: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/20839#:~:text=El%20Plan%20Departamental%20de%20Gesti%C3%B3n,como%20componente%20del%20ordenamiento%20territorial>.

Gobernación de Antioquia, 2017. Departamento Administrativo de Planeación. Anuario Estadístico de Antioquia 2016. <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/1-4-3-resguardos-indigenas-de-antioquia>.

Gobernación de Antioquia, 2018. Departamento Administrativo de Planeación. Anuario Estadístico de Antioquia 2017. Retomado de: <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/anuario-estadistico-de-antioquia-2017>.

Gobernación de Antioquia, 2019. Evaluación Ley 715 AESGPRI (asignación especial sistema general de participación resguardos indígenas) vigencia 2018. Medellín: Dirección de Finanzas y Gestión de Recursos. Departamento Administrativo de Planeación. Gobernación de Antioquia.

Gobernación de Antioquia, 2019. Ficha municipal versión junio de 2019.

Gómez, A., 2010. Generación de un modelo hidrológico conceptual a partir de información secundaria: aplicación a la cuenca del Río Man (Bajo Cauca Antioqueño). Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Gómez, J y Pinilla, P., 2020. The geology of Colombia, Volume 4 Quaternary, Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones geológicas especiales 38, pp 97-159.

González, H., 1992. Mapa geológico de Colombia, Plancha 106 Liberia. Escala 1:100.000. Producto. Versión 1992 estandarizado en 2009. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

González, H., 2001. Mapa geológico del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000: Medellín, INGEOMINAS, 240 p.

GOTTA INGENIERÍA S.A.S., 2018. Formulación del Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Magdalena Medio antioqueño. CORANTIOQUIA.

Grupo de investigación SITE y Universidad EIA, 2018. Actualización del modelo hidrogeológico conceptual en el Valle de San Nicolás. CORNARE; EPM.

Hall, R., Álvarez, J., Rico, H. y Vásquez, H., 1970. Mapa geológico de Colombia. Cuadrángulo H-7 Ituango: plancha 104 Ituango - plancha 115 Toledo. Cuadrángulo H-8 Yarumal: plancha 105 Valdivia - plancha 116 Yarumal. Escala 1:100.000. Producto. Versión 1970 y 1975 estandarizado y digitalizado en 2010. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Harari, Y., 2014. De animales a dioses: Breve historia de la humanidad. Penguin Random House, Grupo editorial. 493 p. ISBN 978-958-8806-83-9.

Healy, R.W. and Cook, P.G., 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, 91-109.

Healy, R.W., 2010. Estimating groundwater recharge. Cambridge University Press, Cambridge.

Hoyos, F., Vélez, M. V., Múnera, J. C., y Arias, D. E., 2001. Sistema hidrogeológico del altiplano de Rionegro y del Valle de la Unión en la zona central de Antioquia. Universidad Nacional – Sede Medellín.

IDEAM, 2005. Atlas climatológico de Colombia. IDEAM, Colombia. 219 p.

IDEAM, 2013. Aguas subterráneas en Colombia. Una visión integral

IGAC e INGEOMINAS, 2005. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano - Cartografía geología, geomorfología, suelos y amenazas de las planchas 58, 59, 68, 69, 79, 79BIS, 89, 89BIS, 90, 100, 101, 102, 112, 112BIS, 113, 127, 128, 143, 144, 163, 164, 165, 183, 184, 185, 202, 203, 204, 221, 222, 240, 241, 259, 260, 278, 279, 298, 299, 318, 319, 320, 339, 340, 341, 361, 361BIS, 362, 363, 383, 384, 385, 386, 407, 408, 409, 427, 427BIS, 428, 447 y 447BIS. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

INER y CORPOURABA, 2014. Diagnóstico participativo de los humedales asociados al río León y la Ciénaga de Tumaradó.

INGEOMINAS, 1995. Evaluación hidrogeológica en el Urabá antioqueño.

Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM), 2015. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá D.C., Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2019. Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá D.C., Colombia.

Instituto del Agua, 2011. Diagnóstico de los sistemas de abastecimiento de aguas subterráneas de cabecera urbana de Puerto Triunfo, Puerto Perales, Puerto Pita y Santiago Berrío (corregimientos y veredas de Puerto Triunfo). CORNARE.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi e Instituto Colombiano de Geología y Minería, 2001 Investigación integrada del andén Pacífico colombiano Tomo 1. Geología

Instituto para el Desarrollo de Antioquia -IDEA e Instituto Humboldt, 2013. Investigación aplicada sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para la gestión de territorio en el Urabá antioqueño.

Integral S.A., 2015. Estudio de Impacto ambiental Gramalote Colombia Limited, AngloGold Ashanti.

Jarma, T., 2007. Construcción de la red de piezómetros para el monitoreo de la cuña salina como apoyo al proyecto de Protección Integral de Agua Subterráneas. CORPOURABA.

Lerner, D. N., Issar, A. S. y Simmers, I., 1990. Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Van Acken GmbH, 245

López Geta, J., Fornés, J, Ramos, G. y Villaroya, F., 2009. Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España. 94 p.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014. Guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas -POMCAS. Bogotá, D.C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS-.

Marsily, G., 1986. Quantitative hydrogeology. Academic Press, Paris. 440 p.

Mejía, M., 1984. Geología y geoquímica de las planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín occidental. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.

Mejía, M., 2008. El recurso hídrico en la jurisdicción de Corantioquia. ISBN 978-958-97427-6-1. 206 p.

Mejía, O., 2006. Técnicas geoestadísticas e hidrogeológicas, caso de estudio: el Bajo Cauca Antioqueño . Universidad San Buenaventura.

Mejía, O., 2008. El recurso hídrico en la jurisdicción de CORANTIOQUIA: 1995-2007. CORANTIOQUIA. 207 p.

Ministerio de Salud y Protección Social, 2018. Informe nacional de calidad del agua para consumo humano (INCA) 2016. Bogotá D.C.

Monsalve, G., 2004. Hidrología en la ingeniería. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 282 p.

Montoya, D. M., 2010. Modelo conceptual y numérico del sistema hidrológico Ciénaga Colombia Bajo Cauca Antioqueño. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Moser, H. y Rauert, W., 2005. Isotopic tracers for obtaining hydrologic parameters. Isotopes in the water cycle, past, present and future of a developing science, IAEA, Vienna, 11-24 pp

Naranjo, L.C., 1998. Monitoreo de los niveles freáticos estacionales y de la calidad físico-química de las aguas subterráneas en el Urabá Antioqueño. CORPOURABA.

Nimmo, J. R., 2004. Porosity and pore size distribution. Encyclopedia of soils in the environment. Elsevier, London. England, pp 295-303

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Agencia de Desarrollo Rural (FAO) y Agencia de Desarrollo Rural (ADR), 2019. Plan Integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial. Tomo II. Departamento de Antioquia. Medellín: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Agencia de Desarrollo Rural (FAO). Retomado de: <https://www.adr.gov.co/servicios/pidaret/ANTIOQUIA%20TOMO%20II.pdf>.

Orozco, A. M., 2003. Aplicación y comparación de las metodologías GOD y DRASTIC para la evaluación de la vulnerabilidad en el acuífero libre de la región de Urabá, utilizando Sistemas de Información Geográfica. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Orozco, A. y Betancur, T., 2003. Aplicación y comparación de las metodologías GOD y DRASTIC para la evaluación de la vulnerabilidad en el acuífero libre de Urabá. Universidad de Antioquia.

Ortiz, C. y Restrepo, C., 2004. Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Sopetrán, Olaya y Liborina. CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia.

Osorio, A., 2014. Diseño de medidas de manejo y protección para las zonas de recarga del sistema acuífero del Valle de Aburrá. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Ossa, J., 2017. Nivel de fondo natural para un sistema acuífero. Caso de estudio: Urabá Antioqueño. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Palacio, P.A., 2014. Modelo hidrológico conceptual para la cuenca del río Man a partir de técnicas hidrológicas, hidrogeoquímicas e isotópicas. Tesis doctoral, Universidad de Antioquia.

Palacio, P.A., 2007. Identificación de fuente y zonas de recarga a partir de isótopos estables del agua. (Caso de estudio Bajo Cauca antioqueño). Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Palacio, P., Vela, A., Diaz, R. y Ossa, J., 2021. Potencial hidrogeológico en formaciones blandas y rocas duras evidenciado en un inventario de puntos de agua subterránea. Caso de estudio: Zona de influencia del Bosque Seco Tropical en el cañón del río Cauca, Antioquia, Colombia. Universidad de Antioquia.

Paredes, V., 2010. Susceptibilidad a la contaminación salina del acuífero costero del eje bananero de Urabá (golfo de Urabá) con técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas. Universidad de Costa Rica.

Patiño-Rojas, S., Jaramillo, M., Espinosa, C. and Arias, M., 2021. Preferential groundwater flow directions in a pseudokarst system in Colombia, South America. Universidad EAFIT.

Pérez, D., 1996. Contribuciones a la hidrogeología y medio ambiente en Cuba. Publicaciones de la Universidad Jaume. 200 p.

Piani, L. Marroochi, Y., Riguadier, T., Vacher, L. Thomassin, D. y Marty, B., 2020. Earth's water may have been unherited from material similar to enstatite chondrite meteorites. Science, Agu 28;369(6507); 1110-1113. Ruiz et al, 2010.

Pineda, L., 2017. Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá Antioqueño, Colombia. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Poveda, G., 2007. El clima de Antioquia (En Geografía de Antioquia- Editor Michel Hermelin). Fondo editorial Universidad EAFIT. Pp 117-128.

Quintero, D., 2008. Caracterización de la cuenca del humedal Ciénaga Colombia a partir de información secundaria y utilizando herramientas geoinformáticas. Trabajo de grado, Universidad de Antioquia.

Rhenals, R., 2007. Validación del modelo hidrogeológico del occidente antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia.

Rodríguez, G. A. y Muñoz Ávila, L. M., 2009. La participación en la gestión ambiental Un reto para el nuevo milenio. Recuperado a partir de [http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/8893/La participacion en la gestion_final_completo.pdf?sequence=1](http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/8893/La%20participacion%20en%20la%20gestion%20final_completo.pdf?sequence=1)

Rueda, O. M., 2006. Aplicación y análisis comparativo entre metodologías de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos y parámetros de calidad del agua subterránea en el Bajo Cauca. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Sánchez S. B., E. y García, J. M., 2016. Análisis de las motivaciones para la participación en la comunidad. Revista de Sociología, 63, 171.

Santa, D. P., 2009. Identificación de interacciones hidrológicas entre el humedal Ciénaga Colombia y el acuífero libre del Bajo Cauca antioqueño mediante la utilización de técnicas hidroquímicas. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Scanlon, B., Healy, R. y Cook, P., 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal. 10: 18-31

Servicio Geológico Colombiano -SGC., 1991. Prospección geofísica en la mina El Guayacán, Puerto Nare.

Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S., 2014. Evaluación hidrogeológica en los municipios de La Pintada y Valparaíso jurisdicción de la Dirección Territorial Cartama de Corantioquia. CORANTIOQUIA.

Tarback, E. y Lutgens, F., 2005. Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. Pearson Prentice Hall, Universidad Autónoma de Madrid. 712 p.

Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA, 2003. Evaluación hidrogeológica entre los municipios de Cauca y Cáceres

Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA, 2004. Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de Acuíferos al norte del municipio de Cauca.

Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA, 2005. Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de Acuíferos en la cuenca del Río Cacerí.

Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA, 2006. Validación del modelo hidrogeológico de la territorial Panzenú usando técnicas isotópicas.

Universidad de Antioquia - CORANTIOQUIA, 2014. Plan de Manejo Ambiental del sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño. Segunda etapa.

Universidad de Antioquia y CORPOURABÁ, 2010. Evaluación hidrogeoquímica del acuífero del golfo de Urabá.

Universidad de Antioquia y CORPOURABÁ. 2014. Actualización del modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero del Urabá antioqueño.

Universidad de Antioquia y Empresas Públicas de Medellín, 2014. Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de agua de los circuitos atendidos por fuentes Menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y algunos sectores de bombeo representativo Fase II.

Universidad de Antioquia e Integral, 2002. Estudio de zonas de recarga y acuíferos del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA, 2021. Exploración del potencial hidrogeológico en zonas de bosque seco en el cañón del río Cauca en la jurisdicción de Corantioquia.

Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2018. Delimitación de las zonas de recarga del sistema acuífero y fortalecimiento de la mesa de trabajo –MACURA-, Apartadó, 331 p.

Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2014. Convenio interadministrativo de cooperación 136 de 2013 Universidad de Antioquia-Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá. Medellín.

Universidad de Antioquia y AMVA., 2019a. Informe final convenio 1050 de 2016. Red de monitoreo hidrogeológico del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia y AMVA., 2019b. Informe final convenio 643 de 2019. Red de monitoreo hidrogeológico del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA. 2014. Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño. Segunda etapa.

Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2019. Plan de manejo ambiental de acuífero sistema hidrogeológico Golfo de Urabá.

Universidad de Antioquia, 2011. Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de agua de los circuitos atendidos por fuentes menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y Algunos Sectores de Bombeo Representativos. Fase I. Empresas Públicas de Medellín.

Universidad de Antioquia, 2012. Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el Norte del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia, 2013. Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia, 2019. Informe final convenio 1050 de 2016: Red de monitoreo hidrogeológico del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia, 2019. Informe final convenio 643 de 2019: Red de monitoreo hidrogeológico del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2019. Plan de manejo ambiental de acuífero para el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia y CORPOURABA. 2019. Definición de medidas para la explotación, y control de la contaminación de las aguas subterráneas en el sistema acuífero del Golfo de Urabá. Convenio de cooperación número 200-10-01-02-0126-2018.

Universidad de Antioquia y CORPOURABA. 2019. Plan de manejo ambiental de acuífero sistema hidrogeológico del Golfo de Urabá.

Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín y Universidad Pontificia Bolivariana, 2011. Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá – Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana, Fase III. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín y Universidad Pontificia Bolivariana, 2013. Red de monitoreo ambiental en la cuenca del río Aburrá – Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana, Fase IV. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia y CORPOURABÁ, 2018. Delimitación de las zonas de recarga del sistema acuífero y fortalecimiento de la mesa de trabajo –MACURA-.

Universidad de Antioquia, Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), CORPOURABA y CARSUCRE. 2014. Estudio isotópico de los acuíferos del Golfo de Morrosquillo y el Golfo de Urabá, Colombia.

Universidad EAFIT., 2013. Definición de criterios de actuación estratégica para el desarrollo territorial de Urabá (Fase II) – Informe Final. Gobernación de Antioquia.

Universidad EAFIT. y Gobernación de Antioquia. 2014. Planes municipales integrales sistema urbano central.

Universidad Nacional de Colombia, 2008. Actualización del inventario de captaciones de agua subterránea. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad Nacional de Colombia, 2014. Estudios hidrológicos y modelación hidráulica de los ríos Chigorodó y Currulao. Delimitación de la ronda hídrica. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Vargas, M.C., 2011. Evaluación del peligro potencial de contaminación de las aguas subterráneas por agroquímicos.

Vargas, O., Campillo, A., García, M. y Jaramillo, O., 2013. Aguas subterráneas en Colombia: una visión Integral. IDEAM. 284 p.

Vélez, M. V., 2004. Estimación de la recarga en una zona tropical mediante un modelo iterativo.

Vélez, M. y Rhenals, R., 2008. Determinación de la recarga con isótopos ambientales en los acuíferos de Santa Fe de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia.

Villegas, P., 2013. Caracterización isotópica del acuífero del Golfo de Urabá, utilizando 2 H, 18 O, 14 C Y 13 C. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia.

Villegas, P., Paredes, V., Betancur, T. y Ribeiro, L., 2013. Assessing the hydrochemistry of the Urabá Aquifer, Colombia by principal component analysis.

Xie, Y., Cook, P. G., Simmons, C. T., Partington, D., Crosbie, R. and Batelaan, O., 2017. Uncertainty of groundwater recharge estimated from a water and energy balance model. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.08.010>

Yeh, H.F, Cheng, Y.S., Lin H.I. and Lee C.H., 2016. Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian river, Taiwan. *Sustain Environ Res* 26, 33-43.

Zapata, G., Bermúdez, J.G., Rodríguez, G., y Arango, M.I. (2013). Cartografía geológica de la Plancha 83 Nechí - Departamento de Antioquia. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Zapata, G., y Cossio, U., 2001. Mapa fotogeológico con control de campo de la plancha 93 Cáceres. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.

¿Cuántas rocas partidas?
Casi todas.

¿Qué pasa entre esas grietas?
El agua.

¿Qué hace el agua?
Brot.

¿A dónde se dirige?
Al vacío.

Y si salta, ¿qué habrá tras la caída?
El golpe.

Y si se derrama, ¿a dónde irá?
Al llano.

¿Quién le curará las heridas?
El sol la hará liviana.

Pero es invierno...

Teresita Betancur V.

