

ZONAS HIDROGEOLÓGICAS HOMOGÉNEAS DE COLOMBIA HOMOGENEOUS HYDROGEOLOGICAL ZONES OF COLOMBIA

Por: Nelson Omar Vargas Martínez¹
Geólogo-Esp. Recursos Hidráulicos

RESUMEN

En este trabajo se presentan y caracterizan las Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia delimitadas a nivel nacional a escala 1:1.200.000 a partir de un modelo geológico del subsuelo, siguiendo las normas y estándares fijados por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) en su "Hydrogeological maps: A Guideline and Standard Legend".

Las zonas hidrogeológicas homogéneas comprenden cuencas y regiones hidrogeológicas representadas gráficamente mediante la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica y técnicas asistidas de dibujo por computador. En términos generales, se identifican en Colombia 16 cuencas hidrogeológicas que alojan sistemas acuíferos multicasas con condiciones favorables para su explotación. Las cuencas abarcan el 74% de la extensión total del territorio nacional. Sin embargo, el 56% del área con posibilidades hidrogeológicas corresponde a las regiones geográficas de la Orinoquía, la Amazonía y la Costa Pacífica que por sus altos rendimientos hídricos superficiales y bajo porcentaje de población asentada en su territorio no han requerido de este recurso para suplir necesidades de abastecimiento. La región andina, a la postre la más densamente poblada del país, cuenta con 106.131 km² de superficie con recursos y reservas de agua subterránea equivalentes al 12,5% del área total cubierta por cuencas hidrogeológicas en el territorio nacional. En esta región se encuentran las cuencas hidrogeológicas más utilizadas en el país ubicadas en el Valle del Cauca, Valle Medio y Superior del Magdalena y la Cordillera Oriental.

PALABRAS CLAVES: Hidrogeología, cuencas hidrogeológicas, zonas hidrogeológicas, Colombia, aguas subterráneas.

ABSTRACT

In this paper are presented hydrogeological zones at national level, defined from a geological model of the underground in consonance with the norms and standards fixed by the International Association of Hydrologists (IAH).

There are in this paper a definition of groundwater basins, regions and hydrostratigraphic units called Hydrogeological Zones; all of them are represented graphically by using Geographic Information Systems and different techniques of computer Aided Design. Broadly speaking, there are identified 16 hydrogeological basins that contain multistrata groundwater systems with good conditions for being exploited. Those systems occupy 74% of the total area of the national territory. The main hydrogeological basins are in the Cauca Valley, Magdalena Valley and the Caribbean coastal zone.

KEYWORDS: Hydrogeology, groundwater, hydrogeological basins, groundwater resources in Colombia.

¹ Vargas, N. O. Grupo de Investigación de Hidrología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM

Miembro de la IAH, ALSHUD y la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos ACH
Docente y Miembro del Consejo de Investigación y Proyección Social de la ECCI.

P.O. Box 72797 Ciudad Kennedy. Bogotá. Colombia. E-mail: nelvar@ideam.gov.co, nelvar44@yahoo.com

INTRODUCCION

En este documento se presentan las características de las Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia, delimitadas luego de aplicar la metodología propuesta por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (Struckmeier y Marat, 1995) para elaboración de mapas hidrogeológicos de tipo general, cuyo fin último es el reconocimiento regional de la distribución y estado del recurso hídrico subterráneo.

El trabajo responde a la necesidad de delimitar unidades hidrogeológicas con base en un modelo geológico básico del subsuelo en el cual se reconozca la geometría y las fronteras tectono-estratigráficas de las unidades acuíferas regionales. En este sentido, se utilizó como base el Mapa Geológico de Colombia (Geotec, 1987) publicado a escala 1:1.200.000. Su lectura se complementó con la revisión del Mapa Geológico de Colombia publicado por Ingeominas (1988). Se identifican cuencas y regiones hidrogeológicas, que en conjunto son las Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia, las cuales se representan en diferentes coberturas de un Sistema de Información Geográfica SIG, a la vez que se recopila y sistematiza la información asociada con estos productos de importancia nacional.

EL AGUA SUBTERRÁNEA Y EL CICLO HIDROLÓGICO EN COLOMBIA

Colombia es un país ubicado en la esquina Noroccidental de Suramérica que tiene una superficie continental de 1.141.748 km² y 988.000 km² de área marítima entre los océanos Atlántico y Pacífico. En su territorio se distinguen cuatro regiones hidrográficas: al Este y cubriendo cerca de 670.000 km² se presentan la Región de la Orinoquía caracterizada por zonas planas o sabanas empedradas con altitudes entre 100 y 500 m.s.n.m. y una selva pluvial ecuatorial con grandes ríos conocida como la Amazonía. La parte central del territorio corresponde a la zona andina constituida por tres cordilleras (Occidental, Central y Oriental) que se extienden con dirección NNE-SSW y alturas hasta de 5.000 m.s.n.m. Estas cordilleras están separadas por valles longitudinales intramontanos que altitudinalmente se ubican entre los 100 y 500 m.s.n.m. (Valles del Magdalena y Cauca). Hacia el Norte y en contacto con el Mar Caribe se distinguen llanuras costeras que se forman en las estribaciones de las cordilleras. Al Oeste y limitando con la Cordillera Occidental se distinguen serranías y tierras bajas de selva ecuatorial húmeda que forman el Anden Pacífico colombiano. El

pico más alto del territorio, la Sierra Nevada de Santa Marta (5.800 m.s.n.m.) está localizado en un macizo aislado sobre la costa Atlántica. En el área marítima se destacan las islas de San Andrés y Providencia en el Mar Caribe y los islotes de Gorgona y Malpelo sobre el Pacífico.

Cerca del 20% del territorio colombiano está conformado por rocas ígneas y metamórficas concentradas principalmente en la Cordillera Central, la Sierra Nevada de Santa Marta y el Escudo de la Guyana en la parte más oriental del país. Las cordilleras andinas Oriental y Occidental corresponden a secuencias sedimentarias mesozoicas y cenozoicas. Las zonas planas y depresiones están rellenas por sedimentos del terciario y el cuaternario.

El clima de Colombia es tropical y del volumen de precipitación anual (3.400 km³/año) un 61% se convierte en escorrentía superficial, generando un caudal medio de 66.440 m³/s equivalentes a un volumen anual de 2.113 km³ que fluye por las cinco vertientes hidrográficas que caracterizan el territorio nacional continental. El 23% de esta escorrentía se concentra en la vertiente del Caribe que entrega sus aguas al Océano Atlántico en el Norte del territorio, el 10% escurre por la vertiente del Pacífico que aporta al océano del mismo nombre al Occidente del país, el 34% corre por la vertiente de la Amazonía entregando sus aguas al río Amazonas al Oriente, el 32% corresponde a la Vertiente del Orinoco con corrientes que confluyen en el río Orinoco, afluente del Océano Atlántico, el resto aporta por el Noreste a la cuenca del Catatumbo compartida con Venezuela (Ministerio del Medio Ambiente, 1996). Estos caudales están directamente asociados con los aportes de las áreas de las cuencas correspondientes, representados en rendimientos hídricos heterogéneos que oscilan entre 1 y más de 100 l/s/km², los cuales permiten, junto con la precipitación y la evapotranspiración real, delimitar zonas con base en la disponibilidad del recurso hídrico (Ideam, 1998). El Pacífico es la zona con mayor rendimiento hídrico, presenta valores promedios superiores a los 100 l/s/km² con cuencas como el San Juan y Micay. En el Caribe estos rendimientos varían entre 1 l/s/km² en la alta Guajira y 127 l/s/km² en la cuenca del Atrato. La Cuenca del Magdalena-Cauca de la Vertiente del Caribe, donde se asienta más del 80% de la población del país y se concentra la mayor parte de la actividad socioeconómica, cuenta con un rendimiento promedio de 27 l/s/km². La Orinoquía por

su parte presenta un rendimiento promedio 34% mayor que la de la cuenca Magdalena-Cauca. La Amazonia no presenta variaciones marcadas, con un promedio de 65 l/s/km² (Ministerio del Medio Ambiente, 1996). En términos generales, la oferta hídrica de escorrentía superficial total *per capita* es de 59.000 m³/hab/año; sin embargo la oferta *per capita* accesible anual, bajo condiciones naturales es de 12.000 m³/hab/año².

El análisis comparativo entre la oferta hídrica *per capita* accesible anual con respecto a las ofertas limitantes al desarrollo muestran una significativa abundancia hídrica en Colombia, capaz de sustentar el desarrollo socio-económico a largo plazo. Empero, la capacidad de aprovechamiento de esta relativa abundancia hídrica está determinada por las limitaciones temporales y espaciales que presentan los diferentes regímenes hídricos del país³. Tradicionalmente el agua superficial ha sido la fuente principal de abastecimiento. Sin embargo, desde hace pocos años las aguas subterráneas han sido consideradas como una fuente alternativa económica a las aguas superficiales debido a su mejor calidad y el relativamente bajo costo de manejo. Los crecimientos en el consumo, la deforestación y la escasa gestión sobre las cuencas y los acuíferos u otros recursos naturales, junto con la ausencia casi total de tratamiento de aguas residuales, están causando problemas serios de disponibilidad, limitaciones por calidad, desabastecimiento y racionamiento en un número cada vez mayor de municipios del país. Estos efectos adversos sobre la calidad de vida y las actividades económicas están induciendo cambios en los lineamientos de política y estrategias para la planificación del manejo integral y sostenible del recurso hídrico (superficial y subterráneo).

ENFOQUE METODOLÓGICO

De acuerdo con el planteamiento anterior, en el marco de la investigación de los recursos hídricos subterráneos del país, reviste de especial importancia la necesidad de integrar la información geológica, hidrológica e hidrogeológica para conocer la distribución, el estado en cantidad y calidad y la dinámica de las aguas subterráneas en las diferentes cuencas hidrogeológicas que cubren el territorio nacional. El punto de partida de la propuesta tiene que ver con el hecho incontrovertible de que la geología controla la presencia y distribución del agua en las rocas. Por lo tanto se debe establecer

² Ministerio del Medio Ambiente. *Op.cit.*
Ideam. Colombia 24/10/2005 <http://www.ideam.gov.co>

³ *Ibid*

una caracterización de las unidades hidrogeológicas con base en un modelo geológico regional, que represente el medio físico sobre el cual se desarrolla la dinámica del ciclo hidrológico en su componente subterráneo, de acuerdo con la capacidad de las rocas para almacenar y transmitir el fluido.

En este orden de ideas, sobre un mapa geológico base se han delimitado *Cuencas y regiones sedimentarias* en una propuesta unificada que integra las clasificaciones de Geotec (1987), Mapa de Terrenos de Colombia (Etayo *et.al.* 1983) y Ecopetrol (1987 y modificado 1998). Estas unidades tectono-estratigráficas corresponden a eventos geológicos únicos cuyos límites físicos están marcados por megafracturas de orden regional ampliamente documentadas en los estudios geológicos del país. Las unidades geológicas delimitadas se han convertido en *Cuencas y regiones hidrogeológicas* de acuerdo con la capacidad de las rocas de almacenar y permitir el paso del agua de acuerdo con sus propiedades de porosidad y permeabilidad. Al conjunto de cuencas y regiones hidrogeológicas se denominan *Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia (Mapa 1)*.

Las cuencas hidrogeológicas, en sentido amplio, almacenan y transmiten cantidades apreciables de agua subterránea y están separadas entre sí por regiones hidrogeológicas que actúan como barreras impermeables por su carácter ígneo-metamórfico. En estas cuencas las *unidades hidroestratigráficas* (derivadas de las unidades litoestratigráficas de acuerdo con la naturaleza de los intersticios del sistema roca-sedimento) se comportan como acuíferos (rocas permeables que permiten el paso relativamente fácil de agua bajo condiciones naturales de campo), acuitardos (permiten el paso lento del agua por sus condiciones semipermeables), acuícerres (rocas impermeables que pueden contener agua pero no permiten su flujo) o acuífugas (no contienen, ni transmiten agua). Los acuíferos a su vez pueden ser libres, semiconfinados o confinados de acuerdo con la ubicación estratigráfica de las rocas encajantes y la posición de la tabla de agua.

DELIMITACIÓN DE ZONAS HIDROGEOLOGICAS HOMOGÉNEAS

Con base en criterios geológicos e hidrogeológicos se presenta la delimitación de zonas hidrogeológicas del país definidas de acuerdo con la posibilidad que tienen las unidades roca-sedimento de permitir el almacenamiento y flujo de aguas subterráneas (Vargas, 2001). Las zonas corresponden a:

1. Zonas hidrogeológicas con buenas posibilidades hidrogeológicas desde el punto de vista de su capacidad de transmitir y almacenar agua, desarrolladas en ambientes sedimentarios silisiclásticos y vulcanoclásticos (rocas y depósitos piroclásticos). Estas zonas corresponden a las *cuencas hidrogeológicas*. Los principales sistemas acuíferos están restringidos (con excepción de la zona plegada de la cordillera Oriental) a las zonas bajas que conforman valles y planicies de grandes ríos en el territorio nacional. En estas zonas los acuíferos explotados corresponden a depósitos recientes en los cuales los reservorios son de tipo libre a semiconfinado. Cabe destacar dentro de estos la intrusión marina asociada con sistemas acuíferos costeros, insulares terciarios y cuaternarios del Pacífico, Bajo Magdalena, Costa Atlántica, La Guajira y San Andrés.
2. Zonas hidrogeológicas en ambientes ígneo metamórficos con recursos limitados y desconocidos, en los cuales el agua se mueve a través de fracturas interconectadas. Estas zonas corresponden a las *regiones o macizos hidrogeológicos* de las Cordilleras Central y Occidental, Serranía del Baudó, Serranía del Darién, Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía de la Macarena, Serranía del Perijá, Escudo de la Guyana, Macizo Santander-Floresta al Norte de la Cordillera Oriental y Macizo de Garzón-Quetame al Sur de la misma. Estas zonas actúan como barreras impermeables que sirven de frontera a sistemas acuíferos con flujo intergranular. En algunas de ellas es común la ocurrencia de aguas termales y alojan además acuíferos locales desarrollados en valles aluviales y unidades sedimentarias terciarias y cretácicas. Tal es el caso del Valle de Aburra en Antioquia donde se extrae agua subterránea de cerca de 350 puntos de agua.

En la Tabla 1 se relacionan estas zonas hidrogeológicas

[TABLA 1]

En términos generales, se identifican 16 zonas hidrogeológicas en ambientes sedimentarios y vulcanoclásticos que alojan sistemas acuíferos multicasas con porosidad primaria y secundaria con condiciones favorables para su explotación (Mapas 1 y 2). Las cuencas abarcan el 74% de la extensión total del territorio nacional. Sin embargo, 51% de esta superficie corresponde a las cuencas de la Orinoquía (Llanos Orientales), la Amazonía (Caguán-Vaupés y Putumayo) y la Costa Pacífica (Tumaco y Choco-Pacífico) que por sus altos rendimientos hídricos superficiales y bajo porcentaje de población asentada en su territorio no han requerido de este recurso para suplir

necesidades de abastecimiento. La zona andina, a la postre la más densamente poblada del país, cuenta con 106.131 km² de área con posibilidades de almacenamiento de aguas subterráneas que equivale al 12,5 % del área total cubierta por cuencas hidrogeológicas en el territorio nacional y al 53,8% del área abarcada por las tres cordilleras y sus valles intramontanos. Esta área corresponde a los sistemas acuíferos multicapas de las zonas hidrogeológicas del Valle del Cauca, Valle Medio y Superior del Magdalena y Cordillera Oriental. Además de estas zonas se distinguen las cuencas transfronterizas de La Guajira y el Catatumbo, la cuenca intramontana del Cesar-Rancheria, las cuencas costeras de Sinú-San Jacinto y Urabá y la cuenca insular de San Andrés. El resto del país está conformado por ambientes ígneo-metamórficos donde la circulación del agua subterránea está limitada principalmente a zonas de fracturamiento y ocurrencia de horizontes y lentes calcáreos y detríticos dentro de secuencias impermeables de litologías arcillosas y turbidíticas cretácicas y terciarias que no han sido objeto de prospección hidrogeológica y donde deben esperarse recursos limitados para su explotación. Estos ambientes actúan como barreras para el flujo intergranular (Vargas, 2001).

En este punto es importante llamar la atención sobre el limitado conocimiento de los sistemas acuíferos del territorio nacional: En el país se han realizado realmente pocos estudios de tipo hidrogeológico regional, la mayoría de ellos son de carácter local con escalas que varían entre 1:25.000 y 1:100.000. Con estos estudios se ha cubierto menos del 15% de la superficie del territorio nacional en reconocidos ambientes sedimentarios. Además se cuenta con una cartografía hidrogeológica de todo el territorio nacional a escala 1: 1.500.000 elaborada por Ingeominas en el año de 1989 con el patrocinio del Programa Hidrogeológico Internacional de la Unesco (Huguett *et.al.*, 1989). En la actualidad Ingeominas adelanta el Atlas Hidrogeológico de Colombia a escala 1:500.000 (Ingeominas.2000).

Se cuenta pues con estudios a nivel de prospección y exploración principalmente en la Sabana de Bogotá, La Guajira, Catatumbo, algunos sectores de la Costa Atlántica, Valle del Cesar y áreas del Valle Superior y Medio del Magdalena donde los estudios han sido extensivos. En estas zonas, sin embargo, no se cuenta con un seguimiento y monitoreo, generado a partir de redes básicas, que propicie el reconocimiento de la dinámica

espacio temporal del recurso. El común denominador es la ausencia de datos sistemáticos que permita hacer un diagnóstico basado en indicadores poblados. La cuenca hidrogeológica mejor estudiada del territorio colombiano corresponde al Valle del Cauca-Patía sobre la cual se soporta el desarrollo regional de esta parte del país.

De acuerdo con su posición en el territorio estas zonas hidrogeológicas homogéneas pueden reconocerse como cuencas hidrogeológicas montanas e intramontanas, costeras, insulares, transfronterizas y regiones hidrogeológicas. Estas últimas por corresponder a macizos hidrogeológicos no se describirán en este artículo.

1. Cuencas hidrogeológicas montanas e intramontanas.

Tal como se observa en la Tabla 2 corresponden a las cuencas Plegada de la Cordillera Oriental, Valle Superior del Magdalena, Valle Medio del Magdalena, Cauca-Patía y Cesar-Ranchería que se disponen entre las Cordilleras Oriental y Occidental donde se asienta el 80% de la población colombiana y se centra la actividad económica del país.

Estas cuencas se desarrollan en sedimentos clásticos recientes de tipo aluvial y rocas sedimentarias terciarias y cretácicas con porosidad primaria y secundaria. Se destaca la Cuenca Cauca-Patía en el cual se extrae el 70% de las aguas subterráneas explotadas en el país (para uso agrícola principalmente) y el acuífero de la Sabana de Bogotá en el cual se han reconocido zonas con sobreexplotación (en las formaciones geológicas reciente de Sabana y Tilatá) que han inducido descensos importantes en los niveles estáticos de los pozos de producción (Ingeominas.1993). En esta misma zona el acuífero más importante corresponde a una secuencia detrítica sedimentaria del cretácico que ha sido poco explotada. En la Sabana de Bogotá el uso del agua subterránea es agrícola e industrial.

[TABLA 2]

En los valles de los ríos Cauca y Patía se encuentran sedimentos con permeabilidad alta, constituidos por rellenos aluviales de materiales gruesos que dan lugar a acuíferos de extensión regional y hacia el departamento del Cauca depósitos de piroclastos (CVC, 1995; CVC, 1996). Igualmente en el Glacis del Quindío se encuentran depósitos de origen piroclástico, aluvial y glacial. En la Zona del Cesar se explotan abanicos fluviales interdigitados y terrazas aluviales que conforman acuíferos libres a confinados destinados al abastecimiento doméstico y público, riego y sector ganadero (Angel y Huguett, 1995). En la cuenca del Valle Medio del Magdalena se extraen aguas

subterráneas de depósitos de origen fluvial y lacustre y de acuíferos multicapas en sedimentos terciarios detríticos con un espesor productivo de más de 150 m (Aguas Subterráneas, 1998; Pérez y Valencia, 1977). El Valle Superior del Magdalena corresponde a una depresión tectónica del Valle del Magdalena que se ha rellenado en el tiempo geológico y posterior al Mioceno se depositaron las secuencias más importantes por sus características litológicas y comportamiento hidráulico (Van Houten y Travis, 1968; Ingeominas y CAM, 1998). En términos generales, en la zona del Valle Superior del Magdalena se explotan acuíferos libres a semiconfinados de sedimentos y formaciones poco consolidadas cuyo uso corresponde al agrícola y al consumo doméstico primordialmente, aunque localmente tiene importancia para la industria petrolera en particular.

2. Cuencas hidrogeológicas costeras

En la Tabla 3 se relacionan las características de estas zonas hidrogeológicas de las cuales pertenecen a la Vertiente Atlántica las cuencas de Sinú-San Jacinto, Valle Inferior del Magdalena, Guajira (que además es transfronteriza) y Urabá. Al Anden Pacífico se asocian las cuencas hidrogeológicas de Choco-Pacífico y Tumaco.

[TABLA 3]

Las cuencas del Anden Pacífico alojan acuíferos poco explotados asociados a sedimentos recientes de los ríos Atrato, San Juan y Baudó. Se reconocen potencialidades en los sedimentos arenosos terciarios que infrayacen los sedimentos fluviales. En la Vertiente Atlántica las cuencas hidrogeológicas están vinculadas al desarrollo y necesidades de abastecimiento de la población y por ello han sido objeto de estudios exploratorios que han avanzado hasta la evaluación del estado y dinámica del recurso en acuíferos de importancia estratégica en los departamentos de la Guajira, Bolívar, Magdalena, Sucre, Córdoba y Antioquia. En la cuenca hidrogeológica de Urabá se explotan como acuíferos los sedimentos fluviales recientes de los ríos Chigorodó, Carepa, Currulao, Mutatá y Turbo así como rocas clásticas semiconsolidadas del terciario. Estas explotaciones abastecen de agua a los municipios de Turbo y Chigorodó y se aprovechan en un 70,6% para la agricultura (especialmente en las plantaciones de banano), abastecimiento doméstico (13,6%) y empresas de acueducto (10,7%). El resto es utilizado por los sectores industrial y ganadero (Ríos y Martínez, 1995). En la zona Sinú-San Jacinto, que abarca los extremos septentrionales de los departamentos de

Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena y todo el departamento del Atlántico, se destacan sedimentos recientes (depósitos eólicos, de playa y sedimentos fluviales), y rocas sedimentarias consolidadas y poco consolidadas de origen continental a marino. Estas últimas afloran al este de la Serranía de San Jacinto, al norte del Canal del Dique y en la Serranía de San Jacinto (Hughett *et.al.* 1988b). Los sedimentos recientes dan lugar a acuíferos libres con permeabilidad primaria, las rocas de origen continental y marino conforman acuíferos de libres a confinados con porosidad primaria a secundaria. Los acuíferos en rocas consolidadas de origen continental son explotados por pozos perforados entre profundidades de 37 y 120 metros, la mayoría de ellos ubicados en los municipios de Sincelejo, Corozal y Morroa donde se reconocen sectores sobreexplotados con descensos sostenidos de niveles estáticos de los pozos (Hughett, *et.al.* 1988c; Herrera, 2005). La mayor parte del agua subterránea es destinada para abastecimiento público, doméstico y agrícola (Díaz y Granados, 1988; Barrera *et.al.*, 1988; Manjarrés, 1990). La cuenca del Valle Inferior del Magdalena abarca parte de los departamentos del Cesar, Magdalena, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia. Los principales acuíferos de esta zona se han desarrollado en los sedimentos recientes depositados por el Río Magdalena y sus tributarios. La mayoría de las captaciones son usadas para abastecimiento doméstico y abrevadero de animales.

La cuenca de la Guajira corresponde a la región natural del país con mayor índice de aridez en Colombia. En esta zona se encuentran depósitos recientes asociados a sistemas fluviales, eólicos y de playa, con espesores no mayores de cien metros. Los acuíferos formados en estos sedimentos son de tipo libre (Huguett *et.al.* 1988a; Barrera y Canas, 1989). Por debajo de estos sedimentos se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias de origen marino a transicional, con porosidad primaria y secundaria, la cual da lugar a un acuífero confinado de espesor desconocido, localizado entre los 180 y los 250 metros de profundidad. El agua de los acuíferos libres varía entre débilmente dulce a salobre, y el acuífero confinado presenta aguas con alto contenido de sales hacia la costa y sectores con agua dulce hacia las zonas de recarga.

3. Cuenkas hidrogeológicas transfronterizas

Colombia es un país de cuencas hidrológicas e hidrogeológicas internacionales, como se aprecia en los Mapas 1 y 2. A nivel hidrogeológico comparte con Venezuela las cuencas del Catatumbo, Guajira y Llanos Orientales; con Brasil comparte la cuenca del Caguán-

Vaupés-Amazonas, con Perú la cuenca del Putumayo y con Ecuador la cuenca Tumaco en el sur occidente. A pesar de ello, las cuencas hidrogeológicas internacionales no han sido objeto de estudios binacionales y únicamente se han realizado estudios exploratorios en las cuencas de Catatumbo y parte de la Guajira en Maicao.

La Cuenca Hidrogeológica del Catatumbo tiene importancia para la región por las limitadas condiciones de disponibilidad del recurso en áreas aledañas a Cúcuta y Villa del Rosario. La Cuenca de los Llanos Orientales se ubica en la amplia planicie oriental del territorio colombiano en jurisdicción de los departamentos de Arauca, Casanare, Meta y parte del Vichada. Se extiende desde la falla de Guaicaramo en las estribaciones de la Cordillera Oriental hacia el oriente y comprende una gruesa secuencia de rocas sedimentarias que conforman una estructura monoclinal basculada que se adelgaza hacia el Este. Depósitos cuaternarios fluvio-lacustres suprayacen esta secuencia la cual a su vez descansa sobre la paleotopografía del basamento ígneo-cristalino del escudo precámbrico de la Guyana que se levanta hacia el oriente. En esta estructura geológica se desarrollan acuíferos libres a semiconfinados, poco explotados, en los sedimentos aluviales y de terraza y confinados en las rocas sedimentarias arenosas y conglomeráticas que presentan porosidad intergranular (Ingeominas, 1987).

La zonas hidrogeológicas transfronterizas de Caguan-Vaupés-Amazonas y Putumayo colindan con el Escudo de la Guyana y límites con Venezuela y Brasil al Este, la Cordillera Oriental al Oeste y la frontera con Brasil, Perú y Ecuador al Sur. Las unidades productivas de la cuenca están representadas por secuencias clásticas recientes con el predominio de arenas, limos y arcillas, donde existen niveles grueso granulares que se constituyen en acuíferos de considerable capacidad. Cabe esperarse una buena respuesta hidrogeológica en márgenes de grandes ríos y terrazas más recientes aunque su permeabilidad puede estar limitada por la presencia de arcillas. La zona en general, no ha sido objeto de estudios hidrogeológicos y la explotación del agua subterránea es muy baja por la gran disponibilidad de aguas superficiales. En la Tabla 4 se relacionan las características de estas cuencas hidrogeológicas transfronterizas.

[TABLA 4]

4. Cuenca Hidrogeológica Insular de Colombia

Esta zona corresponde a la isla de San Andrés, en el Mar Caribe. Básicamente dos formaciones geológicas dan lugar a sendos acuíferos libres con permeabilidad secundaria: Formación San Luis y Formación San Andrés (Tabla 5). La primera está constituida por antiguas terrazas arrecifales y se ubica en la zona plana de la isla, colindando con la línea costera (Geister y Díaz, 1996). La Formación San Andrés es una secuencia de calizas *in situ*, corales y rocas sedimentarias detríticas formadas por fragmentos de calizas y corales (Geister, 1995; Ingeominas, 1997).

[TABLA 5]

El agua de estas unidades acuíferas es destinada básicamente para consumo doméstico y para los sectores comercial y hotelero de la isla. El acuífero de la Formación San Andrés es explotado mediante 30 pozos con profundidades no mayores de 90 m. La mayoría de estos pozos pertenecen al sistema de acueducto (Toro *et al*, 1999). El agua de ambos acuíferos es dura (alto contenido de bicarbonatos).

OFERTA DE AGUA SUBTERRÁNEA

A nivel de oferta los estudios realizados son muy preliminares precisamente por la falta de una clara definición de la geometría de los sistemas acuíferos y ausencia de una red básica de seguimiento y muestreo de aguas subterráneas. Sobre el particular Ingeominas en un primer acercamiento propone las cifras que se relacionan a continuación en la Tabla 6 (Ingeominas, 1997):

[TABLA 6]

Estos datos sin embargo son demasiado imprecisos y deben ser tomados con precaución para cualquier efecto por la deficiencia de información y de modelos hidrogeológicos conceptuales regionales validados y calibrados.

CONTAMINACIÓN

Varias amenazas de contaminación y agotamiento de las aguas subterráneas están presentes en el país. Un grupo importante de ellas está asociado a los núcleos urbanos pues muchas áreas metropolitanas y ciudades intermedias de Colombia, al igual que en la mayoría de países en desarrollo, están experimentando un rápido crecimiento urbanístico con preocupantes impactos sobre la calidad y cantidad de las aguas subterráneas allí presentes. Algunos acuíferos costeros en Colombia no han sido capaces de aportar las cada vez más exigentes cantidades de agua demandadas por las

poblaciones en crecimiento. Ello ha dado lugar a prácticas de aprovechamiento no sostenibles que inducen niveles dinámicos por debajo del nivel medio del mar, con la consecuente aparición de fenómenos de intrusión marina (Toro *et.al.*, 1999). En otros acuíferos, los niveles dinámicos en campos de pozos han iniciado una frenética carrera hacia niveles más profundos, como sucede en Sincelejo, Corozal y Morroa (Herrera, 2005), encareciendo el costo de cada metro cúbico de agua extraído.

Los problemas de contaminación por el inadecuado manejo de residuos líquidos y sólidos tampoco han estado ausentes en muchos núcleos urbanos. Un gran porcentaje de los municipios del país se caracteriza por una baja inversión en infraestructura sanitaria, tanto pública como privada, representada en la carencia de redes de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, proliferación de pozos sépticos con diseños inadecuados y redes de alcantarillado en mal estado. Según datos del Ministerio del Medio Ambiente (1996), sólo entre el 5% y el 10% de las cabeceras municipales de Colombia hace algún tipo de tratamiento de aguas residuales. La disposición final de residuos líquidos industriales sin previo tratamiento también ocupa la atención de las autoridades ambientales, especialmente aquellas en cuyas áreas de jurisdicción hay grandes núcleos industriales como Jumbo en el Valle del Cauca. Según datos del Ministerio del Medio Ambiente, sólo entre el 5% y el 10% de las cabeceras municipales de Colombia hace algún tipo de tratamiento de aguas residuales. En algunas zonas rurales, donde la densidad de población no es elevada, aparecen otras amenazas como el uso indiscriminado de agroquímicos, que pueden dar lugar a extensas zonas de acuíferos contaminadas con compuestos orgánicos tóxicos para la salud humana. El peligro de los agroquímicos no es exclusivo de su uso; su almacenamiento también es foco de preocupación. En localidades como Codazzi (Cesar), se ha detectado el enterramiento de productos discontinuados. Estos enterramientos constituyen una amenaza para la calidad de las aguas en acuíferos libres cercanos.

La pequeña minería en el país también representa un serio problema para la subsistencia de los acuíferos en Colombia. Por la zona conocida como Depresión de Mompós en el Valle Inferior del Magdalena, pasa el agua drenada de un área equivalente al 23% del territorio nacional (cuenca Magdalena – Cauca), en donde vive el 80% de la población colombiana. A esta red fluvial no sólo llegan los residuos líquidos domésticos de más

treinta millones de personas, sino también residuos industriales, mineros y agropecuarios. Se estima que en esta cuenca Magdalena-Cauca hay alrededor de 1.200 minas de aluvión activas que usan en promedio 89 toneladas de mercurio por año. Otro factor de preocupación corresponde a agroquímicos utilizados en plantaciones cercanas o en el interior de las zonas cenagosas. Estos compuestos, junto con metales y otros elementos de elevada toxicidad, constituyen un elemento de preocupación puesto que allí existen numerosos aljibes que son explotados para consumo doméstico (Ministerio del Medio Ambiente, 1996).

En síntesis, diversos problemas de contaminación y agotamiento giran en torno a las aguas subterráneas del país, muchos de ellos aún poco entendidos a pesar de que este recurso representa la única fuente de agua para más de cuarenta municipios del país, y reserva de agua para muchos núcleos urbanos del territorio nacional.

CONCLUSIONES

Utilizando la herramienta SIG y con base en un modelo geológico básico del subsuelo se han delimitado Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia que en conjunto representan las cuencas hidrogeológicas y las regiones hidrogeológicas que actúan como barrera para el flujo de aguas subterráneas. Seis de las cuencas hidrogeológicas son litorales con componente de plataforma continental, una es insular, cinco son transfronterizas y cinco son continentales montañas e intramontañas.

En total se identificaron 16 zonas hidrogeológicas con buenas posibilidades de explotación (Cuencas hidrogeológicas) y 12 zonas hidrogeológicas con recursos limitados a nullos. Estas últimas corresponden a macizos y unidades tectónicas igneo-metamórficas que por su litología constituyen límites impermeables para el flujo regional de las aguas subterráneas (Regiones hidrogeológicas). Las zonas hidrogeológicas, en general, coinciden con cuencas sedimentarias separadas de las regiones hidrogeológicas por rasgos tectónicos regionales (megafallas y fracturas regionales).

Las Zonas Hidrogeológicas Homogéneas con buenas posibilidades acuíferas corresponden a las cuencas hidrogeológicas que cubren el 74 % del área total territorio nacional aunque el 56% de esta extensión corresponde a las regiones de la Orinoquía, la Amazonía y la Costa Pacífica que por sus altos rendimientos hídricos superficiales y bajo porcentaje de población asentada en su territorio no han requerido de este recurso

para suplir necesidades de abastecimiento. La zona andina, a la postre la más densamente poblada del país, cuenta con 106.131 km² de área con recursos y reservas de agua subterránea que equivale al 12,5 % del área total cubierta por cuencas hidrogeológicas en el territorio nacional y al 56,1% del área abarcada por la zona andina. Esta área corresponde a los sistemas acuíferos multicapas de las cuencas del Valle del Cauca, Valle Medio y Superior del Magdalena y Plegada de la Cordillera Oriental.

Reconocimiento: Al profesor Cesar Rodríguez Ph.D. quien en calidad de director desde la Unidad de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia asesoró este proyecto. Igualmente a la Ingeniera Patricia León y al Geógrafo Omar Jaramillo quienes realizaron el desarrollo en SIG.

BIBLIOGRAFIA

- Aguas subterráneas. 1998. Exploración de aguas subterráneas en las poblaciones de Puerto Olaya y Cimitarra (Santander). *Trabajo para Termocentro. Isagen*. Bogotá.
- Angel, C. y Huguett, A. 1995. Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar. *Corpocesar-Ingeominas*. Bogotá.
- Barrera, et.al. 1988. Hidrogeología en los corregimientos de Buenos Aires y La Victoria. Departamento de Córdoba. *Informe No. 2097. Ingeominas-TNO Holanda*. Bogotá.
- Barrera, R. y Cañas, H. 1989. Geología e inventario de puntos de agua en los municipios de San Juan del Cesar, Villanueva y Uramita (Departamento de la Guajira). *Informe 2095. Ingeominas-Corpoguajira*. Bogotá.
- CVC. 1995. Aprovechamiento de las reservas de Agua Subterránea en el Valle del Cauca. Cali.
- CVC. 1996. Aprovechamiento de las reservas de Agua Subterránea en el Valle del Cauca. Cali..
- Díaz, A. y Granados, G. 1988. Resumen del estudio hidrogeológico del flanco nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la zona litoral del Golfo de Morrosquillo. *Boletín Geológico Vol. 29 No.1. Ingeominas*. Bogotá.
- Ecopetrol, 1987. Sedimentary basins of Colombia areas for exploration. Bogotá.
- Ecopetrol, 1998. Opportunities for hydrocarbon exploration and production in Colombia. Bogotá.
- Etayo, F. et.al. 1987. Mapa de terrenos Geológicos de Colombia. *Publicación Especial de Ingeominas No.14*. Bogotá.
- Geister, J. 1995. Riffbau und geologische Entwicklungsgeschichte der Insel San Andrés (Westliches Karibisches Meer, Kolumbien). *Stuttgarter Beitr Naturk Ser B (Geol and Paläont)*
- Geister, J. y Díaz, J.M., 1996. A Field Guide to the Atolls and Reefs of San Andres and Providencia (Colombia). 8th. *International Coral Reef Symposium, June 24-29, Panama*.
- Geotec. 1987. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1.200.000. Bogotá.
- Herrera, H.M. 2005. Proyecto Protección Integrada de Aguas Subterráneas. *Publicación especial Carsucre. Sincelejo*

- Huguett *et.al.* 1985. Hidrogeología de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique. *Informe 1971. Ingeominas. Bogotá.*
- Huguett, A. 1988a. Resumen del estudio hidrogeológico de la media y baja Guajira. *Boletín Geológico. Vol. 29 No. 1. Ingeominas. Bogotá.*
- Huguett, A. 1988b. Resumen de la hidrogeología de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique. *Boletín Geológico. Vol. 29 No. 1. Ingeominas. Bogotá.*
- Huguett, A. *et.al.* 1988c. Hidrogeología en el corregimiento de Santiago Apostol y Municipio de Caimito (Departamento de Sucre). *Informe No. 2091. Ingeominas. Bogotá.*
- Huguett, A. *et.al.* 1989. Mapa hidrogeológico de Colombia. Escala 1:2.500.000. Memoria explicativa. *Publicación especial de Ingeominas. Bogotá.*
- Ideam, 1998. El medio ambiente en Colombia. Bogotá.
- Ideam. Colombia 24/10/2005 <http://www.ideam.gov.co>
- Ingeominas. 1987. Pruebas de bombeo de los pozos WS1, WSW2, WSW3 y WSW4 de Caño Limón-Arauca. *Informes 2048 y 2049. Bogotá.*
- Ingeominas. 1988. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1.500.000
- Ingeominas. 1992. Mapa Geológico Generalizado del Valle del Cauca. Escala 1:300000. Bogotá.
- Ingeominas. 1993. Estudio hidrogeológico cuantitativo de la Sabana de Bogotá.
- Ingeominas. 1997. Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la isla de San Andrés. *Convenio INGEOMINAS – Ministerio de Salud. Santafé de Bogotá.*
- Ingeominas. 1997a. Evaluación de Recursos y reservas de Aguas Subterráneas en Colombia. *Informe para el Ministerio del medio Ambiente (Inédito).*
- Ingeominas y CAM. 1998 Estudio hidrogeológico y plan de manejo de aguas subterráneas en el sector nororiental de la cuenca del río Magdalena en el departamento del Huila. *Convenio Ingeominas-CAM. Bogotá.*
- Ingeominas. 2000. Atlas Geológico de Colombia. Escala 1:500.000. *Memoria Explicativa. Bogotá.*
- Loboguerrero, A. y Gilboa. Y. 1987. Groundwater in Colombia. *Hydrological Sciences Journal. Vol.32*
- Manjarres, J. 1990. Geología e inventario de puntos de agua en la población de Ciénaga y sus alrededores. *Ingeominas-Gobernación del Magdalena. Bogotá.*
- Ministerio del Medio Ambiente. 1996. Lineamientos de política para el manejo integral del agua. Bogotá.
- Perez, G.; Valencia, M. 1977. Evaluación Geológica del Valle Medio del Magdalena. *Informe 588. División de Exploración de Ecopetrol. Bogotá.*
- Ríos, M. y Martínez, C. 1995. Exploración y evaluación de aguas subterráneas en la región de Urabá. *Corpouaba-Ingeominas. Bogotá.*
- Struckmeir, W. y Marat, J. 1995. Hydrogeological Maps: A Guideline and Standard Leyend. *Publicación de la International Association of Hydrogeologist IAH. Vol. 17. Preparado con la colaboración de miembros de IAH/IAHS/IHP. Verlag Heinz Heise. Hannover*
- Toro, L. E. *et.al.* 1999. Plan de manejo de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés, 2000- 2009. *Documento interno de CORALINA.*
- Vargas, N.O. 2001. Mapa Hidrogeológico de Colombia. Escala 1;1.200.000. *Tesis de postgrado. Universidad Nacional de Colombia. Unidad de Hidráulica. Bogotá.*

Van Houten, F.; Travis, R. 1968. Cenozoic deposits, Upper Magdalena Valley. Colombia. *A.A.P.G. Bulletin*. Vol. 52.