

Zonas Hidrogeológicas de Colombia

ALBERTO LOBO-GUERRERO U. *

Geólogo, U. Nacional, Bogotá
M.Sc. U. de Stanford, USA.

RESUMEN

Dentro del ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS, recientemente se sectorizó el país en 28 zonas hidrogeológicas: Atrato, Sinú, Dique-Bocas, Sierra Nevada Norte, Guajira, Catatumbo, San Andrés, Providencia, Altiplanicie de Popayán, Valle del Cauca, Mesetas de Manizales-Aranzazu-Armenia-Pereira, Valle Medio del Cauca, Cañón del Cauca, San Agustín-Hobo, Hobo-Purificación, Saldaña, Facatativá-Colombia, Sabana de Bogotá, Guataquí-San Pablo, Río Sogamoso, San Pablo-La Gloria, Mompós, Cesar, Delta del Río Magdalena, Orinoco, Amazonas, Alto Patía, Franja Costera Pacífica, y Baudó Occidental. El trabajo describe brevemente las características de las aguas subterráneas en cada una de las zonas.

INTRODUCCION

Dentro del Estudio Nacional de Aguas contratado por el Departamento Nacional de Planeación, con la firma consultora MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA., (1983), el autor tuvo oportunidad de resumir los conocimientos que se tienen sobre el sector del agua subterránea. Uno de los resultados de dicho estudio fue una

* LOBO-GUERRERO GOMEZ GEOLOGIA LTDA., Apartado Aéreo 100777, Bogotá, D.E., Colombia.

sectorización del país en Zonas Hidrogeológicas y sobre dicho tema trata el siguiente trabajo. Ha sido autorizado para su publicación por el DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION y MEJIA MILLAN PERRY LTDA. a los cuales expreso mi agradecimiento.

ZONIFICACION

Para llevar a cabo la compilación sobre datos de aguas subterráneas en Colombia de una manera ordenada se adoptó una sectorización del país en 28 zonas hidrogeológicas. Se presentan en el Mapa de la Figura 1. En forma semejante a la sectorización de Colombia por cuencas hidrográficas adoptada por el HIMAT (1978), primero se dividió el país en cinco grandes regiones: Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Amazonas y Pacífico. La región Caribe luego se dividió en siete: Atrato, Sinú, Dique-Bocas, Sierra Nevada Norte, Guajira, Catatumbo y San Andrés-Providencia. La región Magdalena-Cauca se dividió en dos grandes partes, el Cauca y el Magdalena. El Cauca, Mesetas de Manizales-Aranzazu-Armenia-Pereira, Valle Medio del Cauca y Cañón del Cauca. El Magdalena se dividió en tres partes: Valle Alto, Valle Medio y Valle Bajo. El Valle Alto del Magdalena se subdividió en cinco zonas: San Agustín-Hobo, Hobo-Purificación, Saldaña, Facatativá-Colombia y Sabana de Bogotá. El Valle Medio del Magdalena se subdividió en tres zonas: Guataquí-San Pablo, Río Sogamoso y San Pablo-La Gloria. El Valle Bajo del Magdalena se subdividió en tres zonas: Mompós, Cesar y Delta del Río Magdalena. Las regiones del Orinoco y del Amazonas, por su escaso conocimiento, no se subdividen aún. Finalmente, la región del Pacífico se subdividió en tres zonas: Alto Patía, Franja Costera Pacífica y Baudó Occidental. Los límites entre zonas siguen criterios topográficos y geológicos y se encuentran señalados en el juego de 20 mapas hidrogeológicos a escala 1:500.000 que se prepararon dentro del Estudio Nacional de Aguas. La zonificación adoptada permite conocer la disponibilidad y características de las aguas subterráneas dentro de áreas más o menos homogéneas. A continuación se describen dichas características.

Atrato.- Esta zona no tiene estudios hidrogeológicos específicos aunque la geología regional indica que hay abundante agua subterránea en la zona plana. La Cordillera Occidental contiene rocas básicamente impermeables, mientras que la Serranía de Baudó tiene un núcleo de rocas impermeables, sobrepuestas por formaciones consolidadas con permeabilidad primaria y agua salobre: las formaciones Clavo, Salaquí, Uva, Napipí y Sierra. Entre la Cordillera y la Serranía está la Formación Quibdó, predominantemente impermeable. El extenso valle aluvial del río Atrato y del río León contiene sedimentos no consolidados con alta permeabilidad. En particular se destacan los aluviones de la zona

bananera de Urabá, donde se han construido no menos de 50 pozos con caudales grandes. Es necesario adelantar aquí un estudio hidrogeológico que permita conocer en detalle las características de los acuíferos.

Sinú.- Esta región no dispone de acuíferos conocidos de buenas características. La mayor parte de las rocas que conforman la Serranía de Abibe-Las Palomas, y algunos núcleos de las serranías de San Jerónimo y San Jacinto son impermeables. Tanto del lado occidental del valle del Sinú como del lado oriental hay rocas marinas del Terciario Medio y Superior con permeabilidad primaria y con aguas salobres connatas, las formaciones La Risa, Charrura, Floresanto, Ciénaga de Oro, Sabaneta y Toluviejo. La Formación Tuchín y su equivalente, la Formación Carreto, son unidades de rocas consolidadas con permeabilidad secundaria y con agua subterránea dulce. La propia planicie del río Sinú contiene un relleno irregular de sedimentos fluvio-lacustres no consolidados, con acuíferos libres y confinados de poco rendimiento y con aguas de inferior calidad. En la planicie costanera que da frente al Golfo de Morrosquillo hay un relleno fluvial-litoral del Cuaternario con acuíferos semi-confinados de moderada permeabilidad en paleocauces. La cuña de agua salada penetra un máximo de 2300 m tierra adentro en el sector de Zaragoza y 1000 m en el área de Tolú. Es necesario estudiar en mucho mayor detalle la hidrogeología de las formaciones Tuchín-Carreto y los depósitos fluvio-lacustres y fluvio-litorales de la región.

Dique-Bocas.- Esta región tiene rocas predominantemente impermeables en la Serranía de Luruaco y los Montes de María. Entre estas se intercalan cinco formaciones del Terciario con permeabilidad primaria pero con aguas connatas saladas o salobres: las formaciones Arroyo de Piedra, Gallinazo, Tubará, Juan de Acosta y Chorrera. Estas aguas son aprovechadas en algunas localidades por carencia de otras. La Formación Popa es un acuífero con permeabilidad secundaria con agua dulce; donde está aladaña al mar hay un delgado lente de agua dulce sobre las aguas saladas de la cuña marina. En la región del Canal del Dique, las Ciénagas del Guájaro y Totumal, y en la región al NE de Cartagena, hay sedimentos no consolidados fluvio-lacustres de baja permeabilidad y litorales. En la región del Canal del Dique y las mencionadas ciénagas hay aguas subterráneas dulces; en las barras de arena litorales hay delgados lentes de agua dulce flotando sobre agua salada. El INGEOMINAS actualmente adelanta una investigación en la región.

Sierra Nevada Norte.- La hoya baja de los ríos Gaira y Manzanares tiene un grueso relleno aluvial del Cuaternario, la Formación Manzanares. Es este un excelente acuífero libre, con una alta tabla de agua, y alta permeabilidad, con agua de muy buena calidad, en el cual se han perforado unos 40 pozos. Cinco de ellos abastecen en parte el acueducto de Santa Marta y ocho el de Roda-

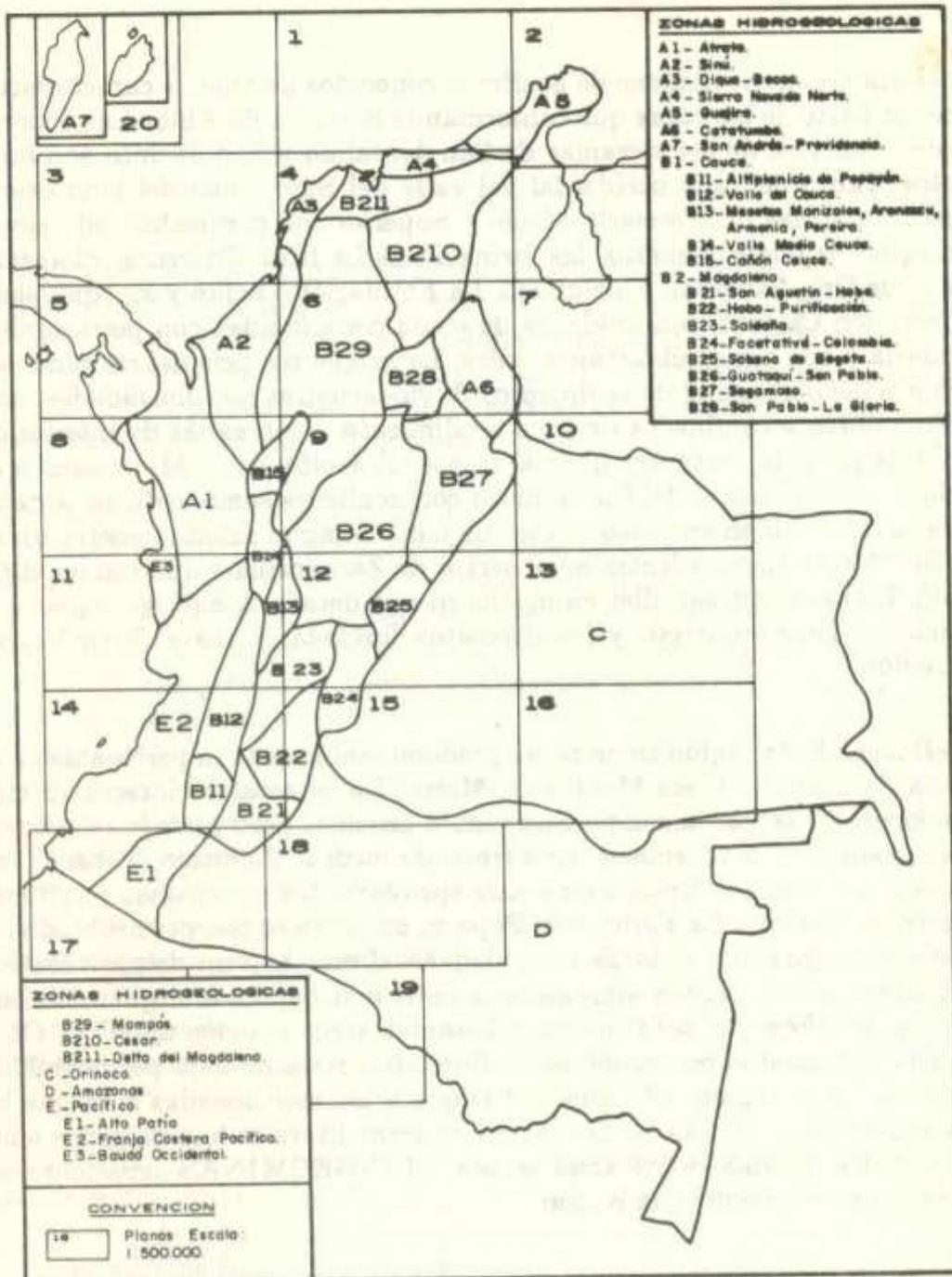


Fig. N° 1.- ZONAS HIDROGEOLOGICAS DE COLOMBIA.

dero Gaira. El sobrebombeo ha provocado la intrusión salada en el frente de la bahía de Santa Marta y se tiene como consecuencia la pérdida de dos pozos del acueducto y los dos pozos del Batallón Córdoba. Sin embargo un uso racional de la Formación Manzanares sin duda permitiría a ACUAMARTA la solución de los permanentes problemas de los acueductos en estas ciudades. Además de la Formación Manzanares hay aluviones no consolidados presumiblemente de alta permeabilidad en numerosas ensenadas de la Costa Caribe y en los valle bajos de los ríos Guachaca, Buritaca, Don Diego, Palomino y Tapias. Fuera de estas en el área de Tomarrazón hay terrazas preliminarmente clasificadas como de moderada permeabilidad y rocas consolidadas potencialmente con permeabilidad secundaria en la hoya del río Corual. También hay algunas rocas del Terciario Superior con aguas connatas saladas o salobres al pie de la Sierra Nevada. La propia Sierra Nevada de Santa Marta está compuesta por rocas ígneas y metamórficas impermeables.

Península Guajira.- La Península ha sido una de las regiones más estudiadas desde hace 30 años en cuanto al agua subterránea. Los núcleos antiguos, las Serranías de Macuira, Jarara, Parashi, Carpintero, Simarúa y Cosinas, están compuestas por rocas ígneas y metamórficas impermeables. Adosadas a estas y extendida por toda la Alta y Media Guajira está la Formación Uitpa, impermeable. En la Alta Guajira hay acuíferos en los campos de dunas (tabla de agua profunda), en depósitos de cauce aluvial (tabla de agua profunda), en las formaciones Jimol y Castilletes (calizas fracturadas) y posiblemente en varias otras formaciones calcáreas. En la Media Guajira hay extensas terrazas con sedimentos semiconsolidados potencialmente de moderada permeabilidad, depósitos de cauce aluvial con acuíferos de tabla de agua profunda, y numerosas rocas consolidadas potencialmente acuíferas debido a su fracturamiento o disolución que pueden producir cantidades bajas de agua para uso local, como las formaciones Ranchogrande, Uitpana, Cheterló, Cajú, Chinapa, Palanz, Poschachi, Moina, Yaruma, Maraca, La Luna, Guaralamai y Siamana. En la Baja Guajira las condiciones hidrogeológicas son más favorables. Muy buena parte de la llanura aluvial de esta región está constituida por la Formación Uribia, un acuífero libre de permeabilidad moderada captado por cientos de aljibes y pozos tubulares. Los caudales en general son bajos y la calidad es variable (dulce, salobre y salada). Debajo de la Formación Uribia yace la Formación Mongui, acuífero semi-confinado en calizas poco compactas con altas permeabilidades descubierto recientemente. La Formación Mongui tiene agua dulce en la región de Riohacha mientras que al SE de Maicao y Jojoncito es salobre a muy salobre.

Catatumbo.- La región del Catatumbo, donde está situada la ciudad de Cúcuta, se está estudiando hace más de 50 años. La parte occidental de la zona, en el Macizo de Santander tiene rocas impermeables, con excepción de las rocas del valle de Abrego. Aquí hay aluviones potencialmente de alta permeabilidad y la Formación Algodonal clasificada preliminarmente entre los sedimentos se-

miconsolidados de alta permeabilidad. En la parte oriental hay rocas consolidadas con permeabilidad secundaria como las formaciones Rionegro, Aguardiente y Barco; calizas potencialmente acuíferas como las formaciones Tibú, Mercedes, Cogollo y la Luna; rocas consolidadas con permeabilidad primaria pero con agua salobre connata, las formaciones Mirador y Carbonera; un conjunto de rocas sedimentarias impermeables; y encima el Grupo Guayabo, con algunos niveles acuíferos pobres, con agua dulce. Los aluviones Cuaternarios de Cucutilla, Arboleda, el río Peralonso, Chinácota y los ríos Pamplonita, Táchira y el Zulia, contienen acuíferos libres y semiconfinados de alta hasta moderada permeabilidad, con aguas dulces, duras, incrustantes, de tipo cálcico-sódico-bicarbonatadas. Hace dos años se terminaron los estudios hidrogeológicos para la ciudad de Cúcuta, con recomendaciones concretas sobre construcción de varios pozos en los aluviones Cuaternarios de la zona de El Mosquito, La Libertad y Villa del Rosario, con caudales entre 50 lps y 14 lps.

San Andrés y Providencia.- La isla de San Andrés se abastece totalmente con agua subterránea proveniente del bombeo de un campo de pozos en calizas diaclasadas karstificadas de la Formación San Andrés. El acuífero es libre en la parte central y más elevada de la isla y tiene la forma de un típico lente de agua dulce flotando sobre y rodeado por agua salada. La recarga sobre la hoya del Cove es apenas de un millón de m³/año, razón por la cual se debe tener un extremo cuidado en el bombeo máximo de cada uno de los pozos, no sobrepasando el límite superior de cloruros de 150 ppm para evitar la intrusión salina. Se ha recomendado alimentar la escorrentía superficial del arroyo El Cove al acuífero. Tanto en San Andrés como en Providencia hay calizas coralinas del Pleistoceno con agua subterránea salobre. En Providencia y en Santa Catalina hay rocas volcánicas del Terciario Superior potencialmente acuíferas.

Altiplanicie de Popayán.- Esta zona tiene rocas impermeables en la Cordillera Occidental, en el sector montañoso entre silvia y Corinto, y en cerros aislados en las cercanías de Sotará, Panitá, La Tetilla y Mondomo. Tiene sedimentos no consolidados con acuíferos de alta a moderada permeabilidad, como la Formación Pubenza en el subsuelo de Popayán y otras en cortos trechos de los ríos Quinamayo, Jambaló y San Francisco. La Formación Esmita tiene rocas consolidadas potencialmente con permeabilidad primaria al oriente del río Cauca, y las formaciones del Grupo del Cauca, que pueden ser acuíferos con permeabilidad secundaria al occidente del mismo río.

La unidad geológica más extendida en toda el área de la Altiplanicie es la Formación Popayán, de origen piroclástico, con acuíferos libres de moderada permeabilidad en la superficie y acuíferos confinados o semiconfinados entre capas de acuitardos. Los numerosos volcanes recientes de la zona tienen una amplia gama de propiedades geohidráulicas. Por su gran extensión sería conveniente un estudio hidrogeológico específico de la Formación Popayán.

Valle del Cauca.- El Valle del Cauca es la zona mejor conocida en cuanto al agua subterránea de todo el país. Las rocas de las Cordilleras Occidental y Central son consideradas como prácticamente impermeables. En el borde de la Cordillera Occidental al sur de Cali, aparecen las formaciones Chimborazo, Guachinte y Ferreira, (consolidadas con permeabilidad secundaria); al norte de Yumbo se encuentran las calizas de la Formación Vijes; entre el río Bugalagrande y el río La Vieja, en el borde de la Cordillera Central, se encuentra la Formación Cinta de Piedra (consolidada, con permeabilidad secundaria). La Formación La Paila, bordeando la zona plana al oriente del valle entre Buga y el río Risaralda y presente en el subsuelo de la zona plana, es una formación de rocas consolidadas con permeabilidad primaria, que ha probado tener acuíferos confinados o semiconfinados de buenas características en la parte norte del Departamento. La Formación Zarzal, que se extiende entre Bugalagrande al sur y Cartago al norte, al oriente del río Cauca, contiene acuíferos confinados captados por algunos pozos al SW de Cartago. Pero indudablemente los mejores acuíferos de toda el área se encuentran en la Formación Valle, el relleno aluvial de la zona plana, incluyendo el valle bajo del río Risaralda. Esta unidad tiene gruesos acuíferos libres y semi-confinados separados por acuitardos. Los acuíferos son excelentes por su continuidad, alta permeabilidad, recarga, niveles y calidad. La Corporación Valle del Cauca (CVC) desde mediados de 1967 lleva a cabo el estudio de las aguas subterráneas y en la actualidad hace el control y manejo del recurso, sobre 1280 pozos con un caudal agregado de 116,453 lps.

Mesetas de Manizales, Aranzazu, Armenia y Pereira. La mayor parte de las rocas antiguas constituyentes del flanco occidental de la Cordillera Central es impermeable. Las formaciones Amagá y Abejorral pueden ser acuíferos debido a permeabilidad secundaria. Los depósitos piroclásticos de las mesetas mencionadas, denominadas colectivamente Formación Armenia, tienen un acuífero libre de moderada permeabilidad y acuíferos confinados o semiconfinados entre capas de acuitardos. Por su amplia dispersión y suelos de excelente calidad estos depósitos ameritan estudios hidrogeológicos específicos. Adicionalmente hay sedimentos no consolidados potencialmente acuíferos en los aluviones recientes de los ríos Quindío, Barragán y Guacaica.

Valle Medio del Cauca.- Esta región no dispone de estudios hidrogeológicos, por lo cual las apreciaciones sobre el área se basan en estudios geológicos regionales. La mayor parte de la zona tiene rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias impermeables. En la parte central se considera que la Formación Amagá puede ser acuífera con permeabilidad secundaria y que la Formación Combia (volcánica-sedimentaria) puede catalogarse dentro de las unidades con permeabilidad primaria. Los aluviones depositados a lo largo de varios trechos de los ríos Cauca, el Supía y el Bolívar se incluyen dentro de las unidades de alta permeabilidad.

Cañón del Cauca.- El área entre Santa Fé de Antioquia y Puerto Antioquia está compuesta por rocas prácticamente impermeables. Sólomente en zonas de alta fracturación pueden estas rocas ígneas y metamórficas conducir agua subterránea.

San Agustín-Hobo.- En esta zona se tienen rocas metamórficas e ígneas impermeables en la cumbre de las Cordilleras Central y Oriental y rocas sedimentarias prácticamente impermeables de las formaciones Saldaña, Villeta, y Guaduas en la fosa del Magdalena. Localmente algunos niveles calcáreos del Villeta tienen permeabilidad secundaria por disolución. Las formaciones Caballos, Guadalupe y Gualanday pueden ser acuíferas por fracturamiento. En forma preliminar se piensa que las siguientes unidades pueden tener permeabilidad primaria: las formaciones Gigante, Honda, Guacacallo, el Lahar de Altamira y los Basaltos de Acevedo. A lo largo de los ríos Páez, La Plata, localmente en el río Magdalena, y en las regiones del Pitalito, Guadalupe y Guaya-bal, así como en las terrazas de Gigante y Altamira, hay valles aluviales con depósitos cuaternarios, presumiblemente de alta o moderada permeabilidad, los cuales no se han estudiado hidrogeológicamente. Esta área es una de las cuales debe estudiarse en detalle ya que la escasez de aguas superficiales implica que el desarrollo del sur del Huila debe apoyarse en las aguas subterráneas.

Hobo-Purificación.- La zona de Hobo-Purificación también tiene rocas plutónicas y metamórficas impermeables en las dos cordilleras y las formaciones Saldaña, Villeta y Guaduas (impermeables) en los flancos del valle y el subsuelo del mismo. Las formaciones Caballos, Guadalupe y Gualanday pueden ser acuíferos con permeabilidad secundaria. La Formación Honda ha probado ser un acuífero con permeabilidad primaria o secundaria en varias partes del centro y norte del Huila, con caudales bajos y medianos. Además a lo largo del río Magdalena y en el valle del río Neiva hay una angosta faja de depósitos aluviales cuaternarios, presumiblemente de alta permeabilidad. Esta área semi-desértica también es una de las que debe estudiarse hidrogeológicamente en detalle, como se viene planteando desde 1958.

Saldaña.- La mitad occidental de la zona del Saldaña, en el flanco de la Cordillera Central está compuesta por rocas metamórficas e ígneas impermeables. En la otra mitad también hay unos núcleos de estas rocas y las formaciones Luisa, Saldaña, Villeta, Guaduas y Cira que se consideran impermeables. En las franjas remanentes de la mitad oriental hay rocas permeables potencialmente o definitivamente acuíferas: las formaciones Caballos, La Tabla, Gualanday y el Grupo Olini (permeabilidad secundaria por fracturación) y la Formación Payandé (kárstica). Además la Formación Honda contiene acuíferos libres y confinados en rocas con permeabilidad primaria y secundaria, y en el Abanico de Ibagué y la Terraza del Guamo hay extensos depósitos piroclásticos con acuíferos de características muy variables. Finalmente hay aluviones, predominantemente de moderada permeabilidad, en las angostas planicies de inun-

dación de numerosos ríos provenientes de la Cordillera Central y en amplio Abanico de Espinal. Es necesario realizar mayores investigaciones hidrogeológicas en toda esta fértil región, inclusive para suplementar los sistemas de riego existentes.

Facatativá-Colombia.- La zona de Facatativá-Colombia tiene un amplio predominio de rocas impermeables en las formaciones Saldaña, Villeta, Gualanday y Cira, además de algunos pequeños cuerpos intrusivos de cuarzodiorita Jurásica en la parte sur del área. Las formaciones Guadalupe y Gualanday constituyen normalmente los cerros periféricos de los amplios sinclinales que caracterizan esta región y tienen permeabilidad secundaria. La Formación Honda en el centro del Sinclinal de Girardot-Agua de Dios y la parte sur del Sinclinal del Carmen de Apicalá puede ser un acuífero consolidado con permeabilidad primaria. Los sedimentos aluviales cuaternarios presentan en general una moderada a baja permeabilidad, pudiendo proporcionar cantidades pequeñas de agua en aljibes para uso local.

Sabana de Bogotá.- La situación hidrogeológica de la Sabana de Bogotá está conocida en líneas generales. El Grupo Villeta, impermeable, subyace toda el área y en el núcleo de varios de los numerosos sinclinales de este sector de la Cordillera Oriental se encuentran las formaciones Guaduas, Bogotá y Usme, igualmente impermeables. Encima de, o entre estas formaciones, se encuentran rocas consolidadas con permeabilidad secundaria, por fracturación, los miembros de la Formación Guadalupe; y además las formaciones Arenisca del Cacho y Regadera, rocas consolidadas con permeabilidad primaria. La Formación Guadalupe es un acuífero de unos 700 m de espesor probado en numerosas partes de la Sabana. Se ha comprobado que la circulación de agua ocurre en zonas angostas de alta fracturación y que la calidad en general es buena aunque algo ferruginosa. El flujo anual de recarga al acuífero en las hoyas aguas abajo de Puente Vargas (Cajicá) ha sido calculado en 58.4 millones de m³. Mucho tememos que con la gran cantidad de pozos de alto caudal perforados en esta unidad en los últimos años se esté llegando al límite de la extracción segura. Por otra parte las formaciones Tibatá y Sabana, que conjuntamente forman el relleno Cuaternario de la hoya fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá, también son acuíferos, siendo unidades semiconsolidadas de alta o de moderada permeabilidad respectivamente. Tienen acuíferos libres, acuíferos colgados, acuitardos, acuíferos, y acuíferos confinados. La Formación Sabana, en particular, en el acuífero más explotado de la región, con miles de aljibes y pozos tubulares. El nivel del agua subterránea está descendiendo en varias zonas de la Sabana, seguramente por sobrebombeo. La Corporación Autónoma Regional (CAR), con la colaboración de varias entidades nacionales y extranjeras, desde 1968 comenzó a estudiar las aguas subterráneas en el área de su jurisdicción y tiene información parcial de quince municipios. Lamentablemente, ahora que es urgente conocer bien los acuíferos ya que se están detec-

tando preocupantes descensos de los niveles la CAR no cuenta con la necesaria información precisa ni la infraestructura de personal para conocer y controlar este recurso natural renovable. Para la región es de vital importancia que la CAR tome medidas inmediatas para subsanar esta crítica situación ya que toda la comunidad se está viendo perjudicada.

Guataquí-San Pablo. La zona de Guataquí-San Pablo, una de las más extensas del Valle del Magdalena, consta de tres grandes fajas. La faja occidental, en la Cordillera Central, está compuesta casi íntegramente por rocas impermeables. Solamente se exceptúan los Mármoles del Nus, con permeabilidad secundaria por disolución y extensos fenómenos kársticos, por ejemplo en el codo del río Samaná Norte y en el río Alicante. La faja oriental, sobre la Cordillera Oriental, está compuesta en buena parte por rocas sedimentarias impermeables, de formaciones lutíticas y arcillosas del Cretáceo y Terciario Inferior. El resto, las formaciones Seca, Hoyón, San Juan de Rioseco, La Paz y Mugrosa Superior, son rocas consolidadas con permeabilidad secundaria, por fracturación o bien las formaciones Rosablanca, Tablazo y Caliza del Salto, todas unidades calcáreas, con permeabilidad secundaria, por disolución. La faja central, lo que es propiamente la semifosa del Magdalena, contiene rocas consolidadas con permeabilidad primaria en el Grupo Honda (formaciones Cambrás, San Antonio y Los Limones), y su equivalente al norte de Puerto Triunfo, el Grupo Real. Las características hidrogeológicas específicas de las diferentes formaciones de los grupos Honda y Real no se han estudiado sino parcialmente. Sobre el flanco oriental de la Cordillera, en el sur, y en el valle del río Magdalena hasta la latitud del río La Miel, hay depósitos piroclásticos con cierta compactación y permeabilidad primaria, los lahares de los volcanes del Tolima, Ruiz y Cerro Bravo, el Cono de Lérida y la Formación Mesa. Al norte de los ríos La Miel y Negro, la Formación Mesa está ampliamente extendida en el Valle Medio del Magdalena. Tiene acuíferos confinados de regular capacidad probados por pozos en el acueducto de Puerto Boyacá y en el área de Barrancabermeja donde se bombean para la recuperación secundaria del petróleo. Finalmente en la planicie de inundación del río Magdalena hay entre 28 y 79 m de aluviones Cuaternarios con moderada permeabilidad, con acuíferos libres recargados por el río.

Río Sogamoso. La zona del río Sogamoso en Boyacá y Santander, tiene rocas ígneas y metamórficas impermeables en los Macizos de Santander y de Floresta, y un gran número de formaciones sedimentarias igualmente impermeables. Sobre y dentro de este complejo de rocas plegadas y falladas que constituye la Cordillera Oriental están las siguientes formaciones que se catalogan preliminarmente como rocas consolidadas con permeabilidad secundaria por fracturación: La Rusia, Arcabuco Inferior, Ruitoque, Tambor, Areniscas de Chiququirá, Guadalupe, La Paz y Mugrosa Superior. Además, están las siguientes rocas consolidadas calcáreas con permeabilidad secundaria por disolución: las formaciones Diamante, Rosablanca, Tablazo, Tibasosa y Churuvita. Las formaciones Socha Inferior y Picacho de la región del alto Chicamocha, y la For-

mación Arenisca del Cacho del valle de Ubaté-Chiquinquirá se han catalogado dentro de las rocas consolidadas con permeabilidad primaria, con agua subterránea dulce. Dentro de los sedimentos semiconsolidados de moderada permeabilidad se clasificaron la Formación Tiltá de Boyacá, los depósitos fluvio-lacustres de Ubaté-Chiquinquirá y de la altiplanicie Paipa-Duitama-Sogamoso y las terrazas del área de La Gómez-Sabaneta-San Claver, al NE de Barranca-bermeja. En los valles de Ubaté-Chiquinquirá y Paipa-Duitama-Sogamoso se hace uso intenso del agua subterránea mediante aljibes y pozos tubulares. Los depósitos aluviales recientes de los ríos Chucurí, bajo Sogamoso, Lebrija y Chicamocha se catalogaron preliminarmente como sedimentos no consolidados de alta permeabilidad y la Terraza de Bucaramanga como de moderada permeabilidad. Recientemente se publicó un excelente estudio del INGEOMINAS sobre la hidrogeología de Ubaté-Chiquinquirá.

San Pablo-La Gloria. En la zona de San Pablo-La Gloria, se tiene rocas ígneas y metamórficas impermeables en la Serranía de San Lucas y en la parte norte del Macizo de Santander. Además, en los bordes de las dos Cordilleras aparecen las formaciones sedimentarias predominantemente impermeables Bocas, Jordán, Girón, La Luna (parte), Umir, Lisama, Mugrosa y parte de la Formación Colorado. Son unidades de rocas consolidadas con permeabilidad secundaria por fracturación la Formación Esmeralda y el miembro superior de la Formación Mugrosa; la Formación La Luna en parte tiene rocas calcáreas con permeabilidad secundaria por disolución. El Grupo Real tiene acuíferos con agua dulce en rocas consolidadas con permeabilidad primaria, mientras que parte de la Formación Colorado tiene aguas saladas connatas. La Formación Mesa tiene sedimentos semiconsolidados, probablemente acuíferos de moderada permeabilidad, aflorantes en varios lugares y presente bajo los aluviones recientes en la mayor parte del valle del Magdalena. Estos aluviones se catalogaron preliminarmente como sedimentos no consolidados de moderada permeabilidad, aunque es presumible que tengan mejores características acuíferas en las vecindades de las dos cordilleras. Hay un sólo estudio específico para aguas subterráneas en esta región.

Mompós. La zona de Mompós es la más grande del valle del Magdalena, abarcando incluso el valle de Aburrá en las cabeceras del río Porce o Medellín. La parte sur, sobre la Cordillera Central y la Serranía de San Lucas, es predominantemente impermeable. En el núcleo y el borde oriental de las Serranías de San Jerónimo y Porquero-Carmen se consideran impermeables. Sobre el basamento Metamórfico de la cordillera, en el flanco oriental de las serranías anotadas y en el parte NW del área, reposa una secuencia sedimentaria del Eoceno Medio hasta el Mioceno, de origen marino, con permeabilidad primaria con las formaciones Ciénaga de Oro, Chengue, San Jacinto, Cerrito y el Grupo Apure. Por su posición topográfica, aún están saturadas con aguas salobres connatas que no han podido ser desplazadas por aguas dulces meteóricas.

Bordeando todo el flanco oriental de la Serranía de San Jacinto hay un grueso conjunto de rocas sedimentarias detríticas continentales del Plioceno con agua subterránea dulce. Es lo que se ha llamado el Grupo Corozal, constituido por las formaciones San Antonio, Sincelejo Inferior, Sincelejo Superior y Morroa. En estas formaciones hay acuíferos confinados de buenas características. El mejor acuífero está en la Formación Morroa y de ella se abastecen numerosas poblaciones: Sincelejo y Corozal (24 pozos), Sahagún (9 pozos), Chinú (15 pozos), Sampués (3 pozos), Los Palmitos (1 pozo), Carmen de Bolívar y Ovejas (11 pozos). Las aguas son duras, de tipo magnésico-cloruro-bicarbonatadas. Al oriente de los afloramientos del Grupo Corozal y hasta llegar al río San Jorge hay una amplia zona de sabanas, las antiguas Sabanas de Bolívar, con la Formación Betulia. Contiene sedimentos no consolidados de moderada permeabilidad con aguas subterráneas duras, potables, con tablas de agua relativamente profundas. Finalmente, el centro del área, la célebre Depresión Momposina, tiene extensos y gruesos depósitos fluvio-lacustres del Holoceno que constituyen acuíferos no consolidados con permeabilidad moderada. Mención aparte merecen los aluviones del arroyo Rastra en un pequeño valle entre San Jacinto y San Juan Nepomuceno, donde hay un campo de pozos que abastece estas dos poblaciones. Es un excelente acuífero confinado de muy poco espesor, con aguas muy duras que requieren tratamiento. El valle de Aburrá donde está la ciudad de Medellín, tiene un grueso relleno aluvial, clasificado preliminarmente como de moderada permeabilidad.

Cesar.- Esta extensa zona tiene rocas predominantemente impermeables en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá. En los flancos de estas regiones montañosas aparecen varias unidades consolidadas de rocas sedimentarias que podrían ser acuíferas en zonas de fracturamiento: las formaciones Floresta, Los Indios, Corual, Rionegro y Cuervos Medio. Además, la Formación La Luna, presente en ambos lados del valle del Cesar y del Ranchería, consta de calizas con características hidrogeológicas muy variables, pero que pueden tener suficiente porosidad y permeabilidad secundarias en sitios de alto fracturamiento, para considerarse acuífero aprovechable. La Formación Santa Rosa, aflorante entre Fundación y Bellavista en la parte norte del valle de Ariguani acuíferos confinados de moderada permeabilidad, con aguas de tipo magnésico-cálcico-bicarbonatadas de buena calidad en la parte superior y aguas cloruro-sódicas de inferior calidad debajo. El Grupo Apure, aflorante al occidente de Ariguani, contiene acuíferos consolidados con aguas salobres connatas. Los valles del Cesar y Ariguani tienen gruesos depósitos aluviales no consolidados del Cuaternario, en los cuales hay acuíferos libres y semiconfinados de alta permeabilidad. En esta extensa región se han llevado a cabo estudios hidrogeológicos para irrigación en cuatro áreas: la de Codazzi-Becerril-La Loma, El LORO, la de San Juan del Cesar, la de Valledupar, y el valle del Ariguani al norte de la carretera Bosconia-Plato. En todas ellas se probó que hay buenos acuíferos con aguas de buena calidad para irrigación. Ante la relativa escasez de aguas superficiales en estas regiones, de clara vocación agrícola, es altamente reco-

mendable el aprovechar las aguas subterráneas para irrigación. Con los pozos perforados para abastecer varias poblaciones de estos valles se ha seguido comprobando la buena calidad de los acuíferos. Es indudable que si se implementa técnicamente el desarrollo de los grandes recursos de aguas subterráneas de esta área, con el tiempo se podría tener aquí una agricultura moderna tan pujante como la del Valle del Cauca.

Delta del Río Magdalena. La zona del Delta del Río Magdalena tiene rocas metamórficas e ígneas impermeables en la Sierra Nevada de Santa Marta y rocas sedimentarias de las formaciones Perdices e Hibácharo, también impermeables, en la Serranía de Luruaco. La Formación Popa, aflorante en Barranquilla, es un acuífero de calizas con permeabilidad secundaria que contiene aguas dulces. Las formaciones Tubará y Chorrera tienen rocas consolidadas con permeabilidad primaria pero contienen aguas salobres. La Formación Santa Rosa, al SE de Fundación, tiene acuíferos semiconfinados de moderada permeabilidad. Entre Sabanalarga y La Ciénaga del Guájaro, en una estructura sinclinal se halla la Formación Sabanalarga. Constituye un buen acuífero con sedimentos semiconsolidados de moderada a alta permeabilidad. La población de Sabanalarga se abastece de un campo de pozos que capta areniscas friables en condiciones hidrogeológicas confinadas. Entre el río Fundación, La Ciénaga Grande de Santa Marta y la Sierra Nevada hay un grueso depósito aluvial no consolidado de alta permeabilidad. Allí hay un complejo de acuíferos confinados, semi-confinados y libres, recibiendo una fuerte recarga de todos los ríos que bajan de la Sierra Nevada. El tipo de agua predominante es bicarbonatada cálcico-magnésica, C2-S1 para irrigación. La interfase agua dulce-agua salada se extiende hasta 5 km tierra adentro desde La Ciénaga Grande en el sector Sevillano-Candelaria. Esta también es una de las regiones donde la abundancia de agua subterránea justifica un mayor uso para suplementar los sistemas de riego con aguas superficiales existentes. En el resto del área del Delta del río Magdalena hay depósitos aluviales de moderada permeabilidad. Las poblaciones de Baranoa, Polonuevo, y Pivijay se abastecen de acuíferos confinados en estos materiales.

Orinoco. La región hidrogeológica del Orinoco se conoce deficientemente en cuanto al agua subterránea. Una gran parte de la Cordillera Oriental, la Serranía de la Macarena y los territorios al oriente y sur del río Meta tienen rocas impermeables. Sin embargo, y con carácter preliminar, las siguientes unidades se catalogaron dentro de las rocas consolidadas potencialmente acuíferas con permeabilidad secundaria: las formaciones Güejar, Araracuara, Areniscas de Gutiérrez, Cuarcita de Ambica, Capas Rojas del Guatiquía, Clarín, Chingaza, Batá, Rionegro, Areniscas de Las Juntas, Cáqueza Inferior, Alto de Cáqueza, Une, Aguardiente, Guadalupe, Macarena, Grupo Palmichal, Areniscas del Limbo, Calizas del Guavio, y Calizas del Grupo Farallones. Las formaciones Socha Inferior, Picacho y Arenisca de La Regadera de la parte alta de la Cordi-

llera, y la Formación Diablo del piedemonte llanero se incluyen preliminarmente entre las rocas consolidadas con permeabilidad primaria. La formación La Corneta del piedemonte en la región de Tauramena es potencialmente un acuífero con sedimentos semiconsolidados de alta permeabilidad. En forma preliminar se clasificaron como sedimentos no consolidados con alta permeabilidad los extensos aluviones recientes de las cuencas de los ríos Meta, Arauca, Ariari medio, y las terrazas altas del río Inírida. En la cuenca del Meta se han perforado pozos para Villavicencio, Granada, San Martín y Puerto López con resultados positivos. En general se considera que hay una gran variación en las propiedades hidrogeológicas de los sedimentos de esta extensa región.

Amazonas.- La región hidrogeológica del Amazonas también tiene muy escasa investigación. En esta vasta región la mayor parte de las rocas son impermeables. Buena parte de la Cordillera Central y el Macizo de Garzón están compuestas por rocas metamórficas e ígneas. Igualmente hay algunos núcleos con rocas semejantes en la Saliente del Vaupés. Además, se han catalogado como impermeables las formaciones sedimentarias Motema, Rumiyo, Orito, Terciario Inferior Amazónico y Terciario Superior Amazónico. Las formaciones Caballos, Pepino y Villeta se clasificaron como rocas consolidadas con permeabilidad secundaria, potencialmente acuíferas en el piedemonte del Putumayo. Las formaciones Ospina, Guamués y Caimán son rocas consolidadas con permeabilidad primaria; las rocas piroclásticas de La Victoria y de la Laguna de La Cocha pueden contener acuíferos; y las rocas volcánicas del Cerro Patascoy, Cerro alcalde y otras, posiblemente tengan un potencial acuífero. Los ríos San Miguel, Rumiyo, Guamués, Orito, Putumayo, Mocoa y Caquetá tienen rios aluviales con sedimentos aluviales potencialmente acuíferos. Hay información local de Puerto Asís y Leticia.

Alto Patía.- La zona de Alto Patía tiene en la parte occidental rocas metamórficas impermeables del Grupo Dagua intruidas por stocks de cuarzodiorita y además rocas sedimentarias y volcánicas impermeables del Grupo Diabásico; del lado oriental hay rocas metamórficas en el núcleo de la Cordillera Central. La Formación Mosquera, que aflora en angostos cinturones plegados del lado oriental de la Fosal del Patía, al norte del río Juanabú, puede constituir acuíferos con permeabilidad secundaria. Se catalogaron como unidades consolidadas con posible permeabilidad primaria las formaciones Puerres, Esmita, Galeón, Popayán y las lavas andesíticas de los volcanes Doña Juana, Bordoncillo, Galeras, Azufral, Cumbal y Chiles. Las angostas planicies aluviales de los ríos Patía, Mayo, Guachicón, San Jorge y Guáitara pueden constituir acuíferos de alta permeabilidad; esto se probó en la población de Patía. Adicionalmente, en el Altiplano Nariñense y en el valle del Patía hay una serie de mesetas con depósitos fluviolacustres de moderada permeabilidad: La Cocha, Pasto, Guachucal, Cumbal y las terrazas del Patía. Es necesario hacer investigaciones hidrogeológicas detalladas en muchas partes de esta compleja área.

Franja Costera Pacifica.- Esta zona tiene rocas impermeables en la mayor parte de la Cordillera Occidental, los grupos Diábásico y Dagua; y además rocas sedimentarias predominantemente de grano fino y prácticamente impermeables en las formaciones Guapí y Naya. Entre El Diviso y Espriella y entre el río Patía y el río Mataje hay rocas piroclásticas potencialmente acuíferas de moderada permeabilidad. Las calizas del Grupo Pacífico se catalogaron como potencialmente acuíferas con permeabilidad secundaria. Al norte del Patía y aledaños al cordón montañoso con las rocas del Grupo del Pacífico hay unas terrazas o abanicos no estudiados hidrogeológicamente. Los aluviones del río San Juan entre Playa de Oro y Bebedó se catalogaron preliminarmente como de alta permeabilidad. Todos los demás depósitos aluviales de los ríos que drenan al Pacífico se incluyen entre los sedimentos no consolidados de moderada permeabilidad. En el delta del río Mira hay en estos depósitos acuíferos comprobados de dos tipos: acuíferos costaneros y acuíferos continentales. Los costaneros son lentes de agua dulce yaciendo sobre y rodeados por agua salada, como los que abastecieron en los años 50 y 60 a Tumaco; los continentales están saturados de agua dulce y lo suficientemente alejados de la costa para no tener sino una interfase lateral con el agua salada, como los sedimentos aluviales de la región de Chilví. En el delta del Mira el crecido número de canales superficiales comunicados directamente con el mar y la gran oscilación de la mareas permite la fácil penetración de las aguas salinas hasta 12 km tierra adentro.

Baudó Occidental. La zona de Baudó Occidental consta en general de rocas prácticamente impermeables. En la cuenca del río Baudó las formaciones Clavo, Salaquí, Uva, Napipí, y Sierra son rocas consolidadas con permeabilidad primaria pero con aguas subterráneas salobres connatas. Los aluviones recientes del río Baudó así como los de las playas a lo largo de la costa del Pacífico se catalogaron preliminarmente como de moderada permeabilidad.

ABSTRACT

Colombia was recently divided into 28 hidrogeologic zones as part of the investigations for the NATIONAL WATER STUDY: Atrato, Sinú, Dique-Bocas, Sierra Nevada Norte, Guajira, Catatumbo, San Andrés-Providencia, Altiplanicie de Popayán, Valle del Cauca, Mesetas de Manizales-Aranzazu-Armenia-Pereira, Valle Medio del Cauca, Cañón del Cauca, San Agustín-Hobo, Hobo-Purificación, Saldaña, Facatativá-Colombia, Sabana de Bogotá, Gustaquí-San Pablo, Río Sogamoso, San Pablo-La Gloria, Mompós, Cesar, Delta del Río Magdalena, Orinoco, Amazonas, Alto Patía, Franja Costera Pacifica, y Baudó Occidental. This report briefly describes the groundwater characteristics of each one of the zones.

BIBLIOGRAFIA

- HIMAT. 1978. Resumen preliminar de subzonas hidrográficas; Resolución No. 0337/78; Mapa General de Zonificación Hidrográfica de Colombia. 1:1.500.000. Bogotá.
- MEJIA MILLAN Y PERRY. 1983. Estudio Nacional de Aguas, Fase I, Anexo B: Las aguas subterráneas en Colombia; Informe preparado por LOBO-GUERRERO y GOMEZ. GEOLOGIA LTDA. Para Mejía Millan y Perry Ltda. y el Departamento Nacional de Planeación; inédito. Bogotá.
- VERWEY DE SPEELMAN, H. 1982. Hidrogeología de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá; Boletín Geológico. Vol. 25, No. 1, p. 1-59; Ingeominas, Bogotá.