CAPÍTULO 4

OFERTA Y USO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA

Ambiente Kárstico, Cueva de los Indios-Santander. / O. Vargas

Autores

CÉSAR O. RODRÍGUEZ
NELSON OMAR VARGAS
OMAR JARAMILLO
ANDREA PIÑEROS
HUGO CAÑAS

IDEAM

ESTUDIO NACIONAL DEL agua 2010

CAPÍTULO 4
OFERTA Y USO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA

El aprovechamiento de las aguas subterráneas en la mayor parte del territorio colombiano es todavía muy incipiente, entre otras cosas, por desconocimiento del potencial de tales recursos, tanto a nivel regional como local. Existen en el país grandes áreas susceptibles de ser incorporadas al desarrollo del país, en las cuales hay recursos de agua subterránea que podrían utilizarse para suplir necesidades de agua para diferentes usos.

La necesidad de realizar estudios de aguas subterráneas se ha venido incrementando debido a que el agua, en general, constituye un recurso día a día más valioso, dado el descenso progresivo de la "disponibilidad per cápita" de recursos hídricos como consecuencia, principalmente, del crecimiento de la población y de la contaminación de aguas superficiales, sumados a la variabilidad climática que incide sobre la distribución espacial y temporal del agua.

En este estudio se incluye la caracterización y cuantificación de la oferta y uso del recurso hídrico subterráneo del país, a partir del análisis e interpretación de información hidrogeológica disponible.

4.1. Consideraciones conceptuales

En este aparte se revisan los elementos conceptuales en torno a los cuales gira el desarrollo del estudio: provincias hidrogeológicas, rendimiento específico y reservas.

4.1.1. Provincias hidrogeológicas

La caracterización y cuantificación de la oferta y el uso del recurso hídrico subterráneo se realizó a escala nacional, con el propósito de calcular las reservas de agua subterránea existentes en Colombia. Dicha cuantificación se hizo para unidades de análisis regional, seleccionadas a partir de la identificación y delimitación de *provincias hidrogeológicas*.

Las provincias hidrogeológicas corresponden a unidades mayores referidas a escalas menores (entre 1:10.000.000 y 1:500.000), definidas con base en unidades tectonoestratigráficas separadas entre sí por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores y que, desde el punto de vista hidrogeológico, corresponden a barreras impermeables representadas por *fallas regionales* y *altos estructurales*. Adicionalmente, se caracterizan por su homogeneidad geomorfológica.

Estas unidades de análisis requieren de un nivel de información bajo (datos escasos y heterogéneos de varias fuentes), se representan en mapas hidrogeológicos generales y son útiles para reconocimiento nacional, pues representan grandes áreas con parámetros estáticos, sin dependencia del tiempo. En el ENA 2010, se tuvo en cuenta que la infiltración y recarga no tienen mayor peso sobre las reservas (volumen almacenado) a nivel de provincia, y que, por lo general, son despreciables en la casi totalidad de las provincias del país (con pocas excepciones, como en el Valle del Cauca y la isla de San Andrés).

La delimitación en provincias se logra a partir de:

a) Unidades tectónicas y cuencas sedimentarias de Colombia. Esta cobertura de la Agencia Nacional de Hidrocarburos –ANH– (Barrero et ál., 2007) parte de una división geológica del país en unidades tectónicas y cuencas sedimentarias, separadas entre sí por fallas regionales que corresponden a los límites marcados por efectos de la evolución estructural y posterior depositación de sedimentos en ambientes particulares.[1]

En este sentido, es de reseñar que del Paleozoico al Cenozoico tardío, las cuencas geológicas de Colombia han sufrido cambios en dirección y forma debido a diferentes efectos de *rifting* y colisiones oblicuas, seguidas de deformación tectónica de tipo compresional y tensional. Esta compleja historia determina las características y disposición de las unidades geológicas para adoptar un comportamiento hidrogeológico determinado.

La esquina noroccidental de Suramérica, donde está localizada Colombia, ha experimentado diferentes eventos geológicos que controlan la distribución, génesis, relleno de las cuencas y los límites estructurales de las cuencas sedimentarias que corresponden, en su mayoría, a las provincias de relevante importancia hidrogeológica del país.

La división que realiza la ANH (Barrero et ál., 2007) parte de reconocer tres dominios tectónicos: 1) la región Oriental, limitada al oeste por piedemontes de la cordillera Oriental, consiste en un basamento paleozoico y precámbrico con una cobertera deformada de materiales sedimentarios que se extienden desde el Paleozoico hasta el Cenozoico; 2) la región Central, comprendida por la cordillera Oriental, la Sierra Nevada de Santa Marta, el valle del río Magdalena y la cordillera Central que se extiende más allá del sistema de fallas de Romeral al oeste y corresponde a una secuencia deformada de rocas sedimentarias e ígneas, con un basamento metamórfico que se cree se acrecionó al borde suramericano durante el Paleozoico; 3) la región Occidental, localizada al oeste del sistema de fallas de Romeral, está compuesta por terrenos de afinidad oceánica del Mesozoico y el Cenozoico, acrecionados a la margen continental durante el Cretácico Tardío, el Paleógeno y el Neógeno.

Dentro de estos tres dominios tectónicos se desarrollaron las provincias hidrogeológicas que coinciden, como se aprecia en la *Figura 4.1*, con las cuencas sedimentarias por sus potencialidades de flujo (asociadas a ambientes y condiciones de depositación) y geometría (determinada por conspicuos rasgos tectónicos y estratigráficos resultantes de los eventos históricos).

Las barreras impermeables pueden corresponder, principalmente, a macizos de rocas cristalinas (ígneas, volcánicas), a altos estructurales o a sistemas de fallas que afectan la continuidad de las unidades regionales

En la *Figura 4.1*, se puede observar la distribución de los dos principales tipos de barreras impermeables.

1. Las zonas de color gris corresponden a los macizos de rocas cristalinas o volcánicas, cuya caracterización y descripción es materia de análisis dentro del ENA 2010. En color gris achurado se delimitan otras características estructurales, tales como altos estructurales.

1 Estos límites estructurales han sido reconocidos mediante métodos de observación geológica directos (observación de afloramientos y perforaciones) e indirectos (sensores remotos, prospección sísmica, magnetometría, gravimetría, etc.) y están ampliamente documentados en la literatura geológica nacional (Ingeominas, 2000; Ecopetrol, 2000; Barrero et ál., 2007)

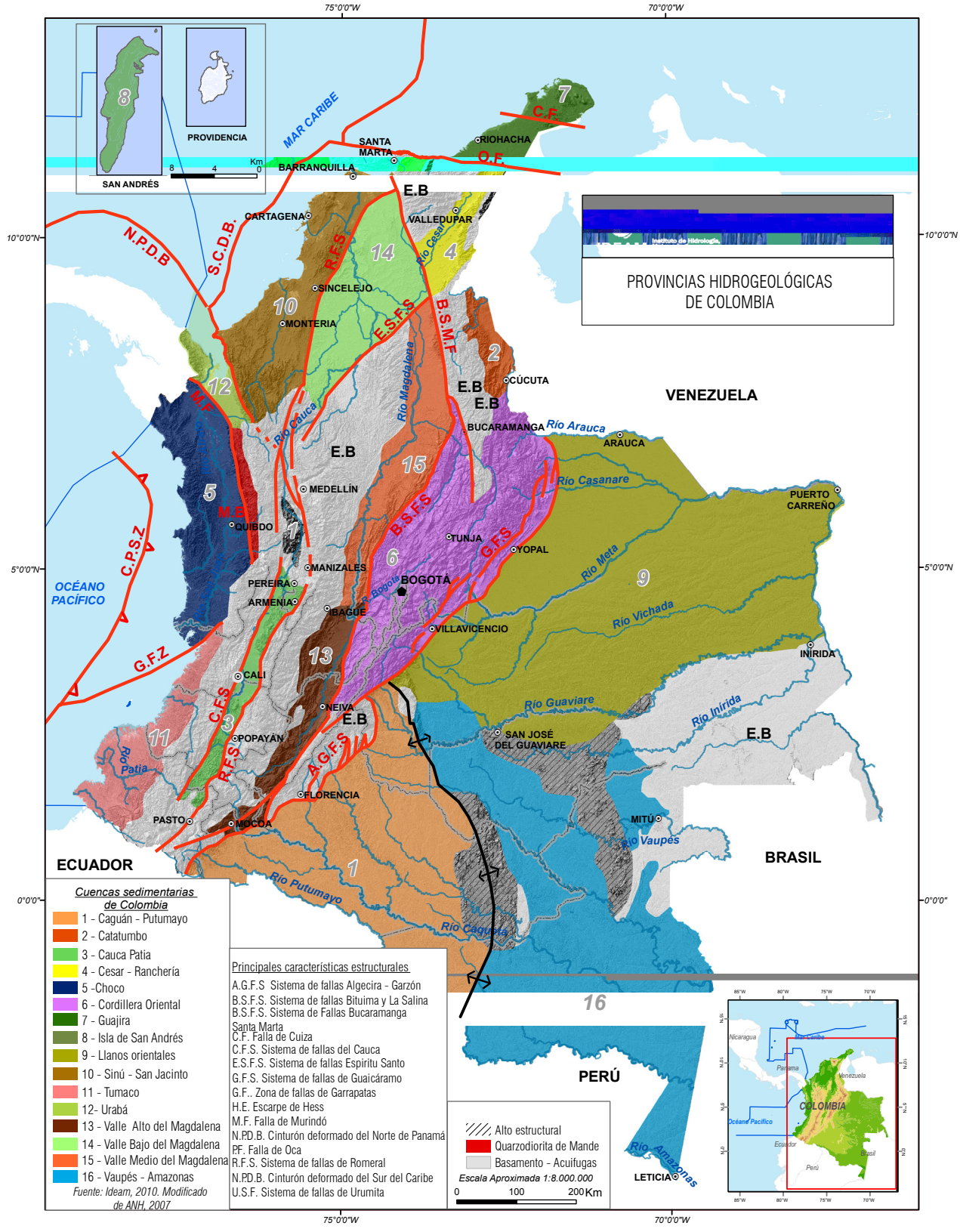


Figura 4.1. Provincias hidrogeológicas de Colombia (modificado de Barreto et. àl. 2007).

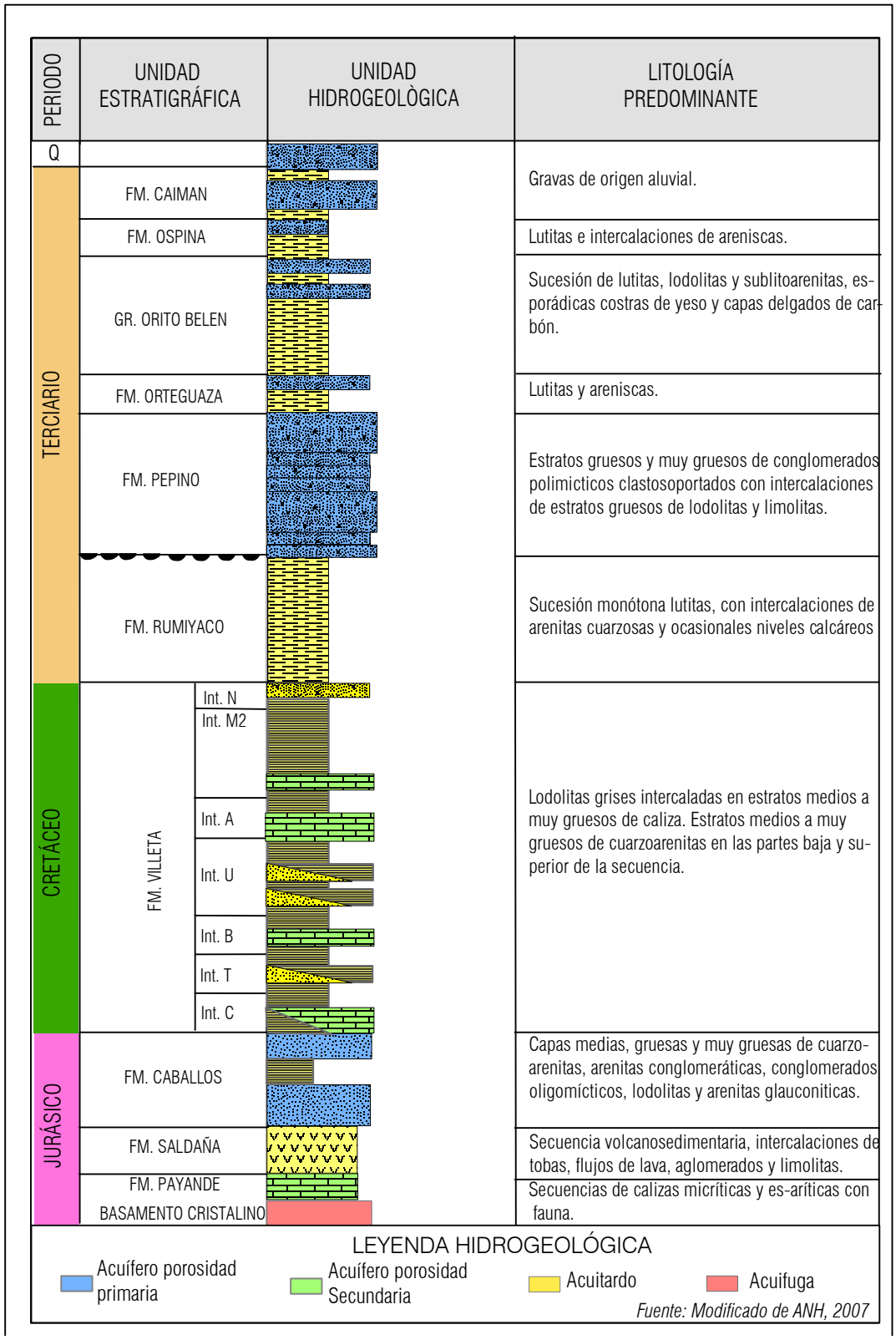


Figura 4.4. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Caguán.Putumayo.

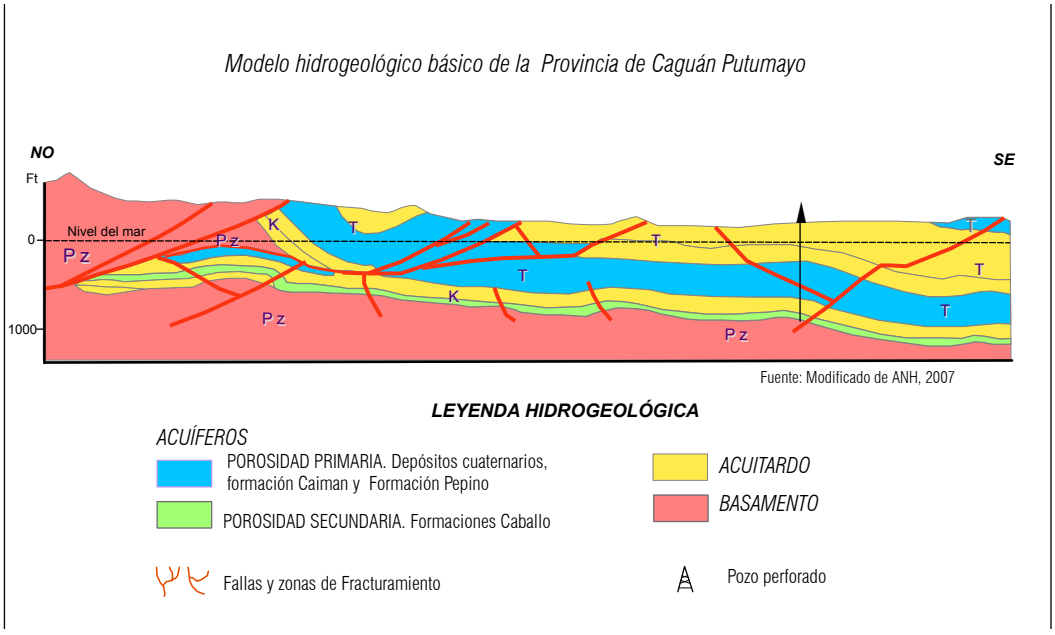


Figura 4.5. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Caguán-Putumayo.

- En la zona de intercambio cordillera y abanicos de piedemonte se reconoce un control estructural asociado al sistema de fallas. Litológicamente, en esta zona predominan rocas sedimentarias, tales como areniscas y conglomerados, los cuales presentan buena porosidad primaria. Existe una alta infiltración y saturación de las rocas arenosas permeables, evidenciadas por el patrón y control de drenaje que controla la recarga y el flujo hacia los acuíferos más profundos a través de las fallas y fracturas asociadas, saturando a su vez los depósitos no consolidados (fluviotorrenciales y coluviales) presentes.

- En la planicie, los depósitos de terrazas aluviales y cauce aluvial de los ríos principales originan acuíferos de carácter local, caracterizados por una buena porosidad y permeabilidad, especialmente en los paleocanales originados por la dinámica fluvial de ríos de trenzados a meandriformes.

- En general, en la cuenca del Putumayo se reconoce la presencia de unidades acuíferas locales de extensión variable, desarrolladas en rocas sedimentarias de ambiente continental, y sedimentos arenosos y conglomeráticos, poco cementados, con porosidad primaria *(Figura 4.4 y Figura 4.5)*.

4.3.2. Provincia hidrogeológica de Catatumbo

4.3.2.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia ocupa la parte intramontana nororiental de Colombia, y se extiende en dirección sur-norte, coincidiendo en sus límites norte y oriente con Venezuela, al sur con las rocas cretáceas de la cordillera Oriental y al occidente con el macizo de Santander (rocas ígneas y metamórficas).

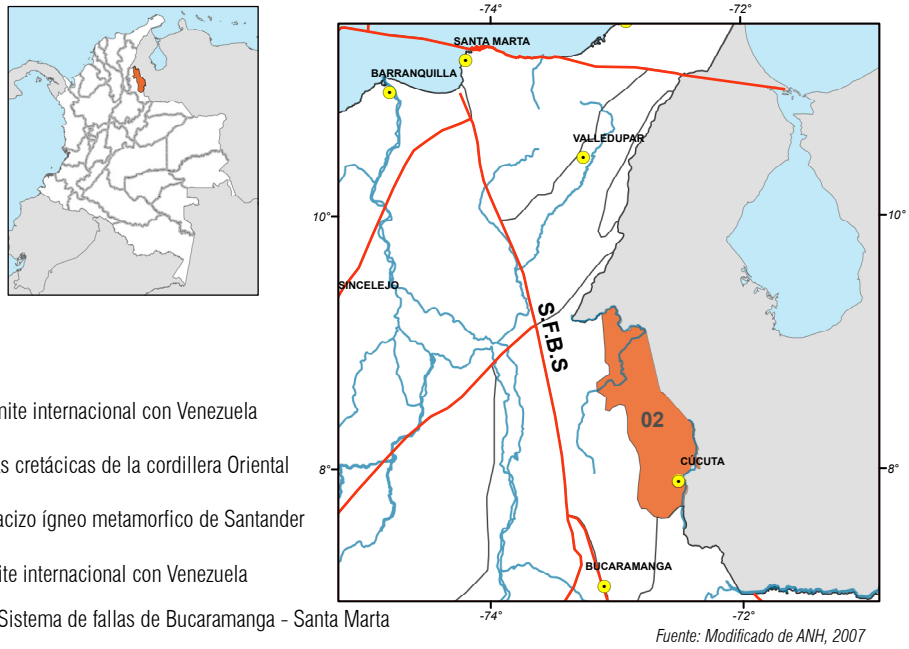


Figura 4.6. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Catatumbo.

El límite occidental está dado por el basamento jurásico y un complejo de fallas que pueden actuar como límites impermeables. Al norte y oriente, continúa hacia Venezuela, y al sur, está delimitado por rocas metamórficas del Paleozoico, y por acuitardos del Cretáceo *(Figura 4.6)*.

4.3.2.2. Ambiente geológico

Este sector forma parte de una secuencia plegada de formaciones sedimentarias de las edades del Cretácico y Terciario, que reposan de manera discordante sobre las unidades ígneo-metamórficas del Premesozoico, conocidas en su conjunto como ***Grupo Girón***.

La secuencia cretácica se compone de arenitas cuarzosas de grano de fino a grueso, duras, bien cementadas, intercaladas con lutitas fósiles y calizas duras. Esta secuencia comprende cerca de 1800 m de espesor y se ubica en los flancos de las estructuras geológicas principales, configurando los escarpes y filos más destacados de la región. El terciario de la zona se reconoce por estar conformado por arcillolitas abigarradas, lutitas fisiles ferruginosas, areniscas duras a friables y mantos de carbón.

Las formaciones anteriores se orientan con rumbo noreste-suroeste y tienen buzamientos que varían entre 25° y 70°. Su continuidad está interrumpida por fallas longitudinales de tipo inverso, con desplazamientos hasta de cientos de metros, y por fallas transversales de menor desplazamiento. Las unidades sedimentarias cretácicas y terciarias están cubiertas por depósitos recientes de origen aluvial, cuyo espesor varía desde 20 m hasta más de 150 metros en el centro de la ciudad de Cúcuta. Los sedimentos recientes están conformados por arcillolitas rojas y abigarradas, arenas de grano grueso de color pardo y localmente conglomerados.

En la región del Catatumbo, se presentan dos estructuras de interés hidrogeológico en sinclinales amplios del terciario: el sinclinal de Zulia y el sinclinal de Cúcuta-Pamplonita. En ellos se presentan unidades

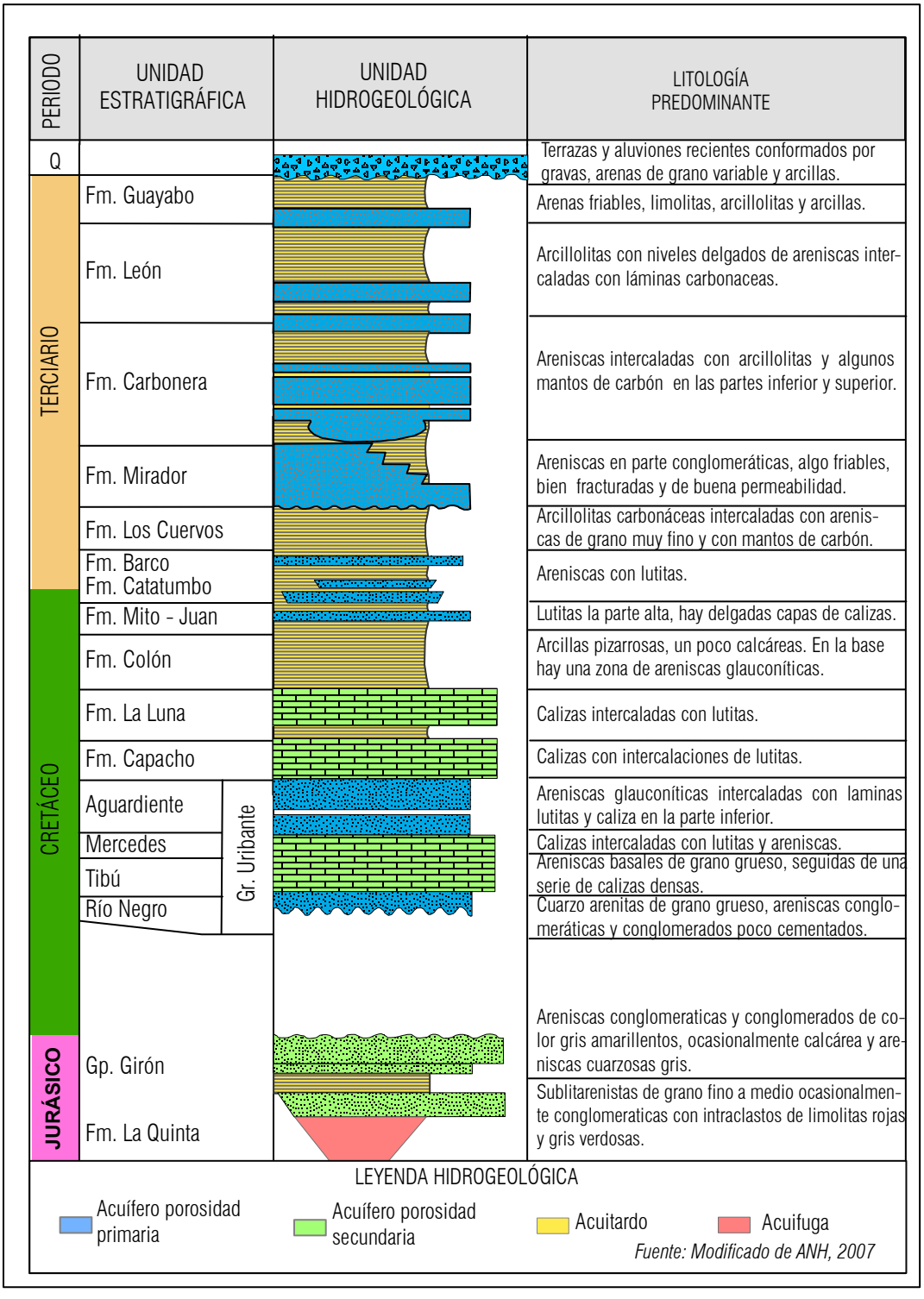


Figura 4.7. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Catatumbo.

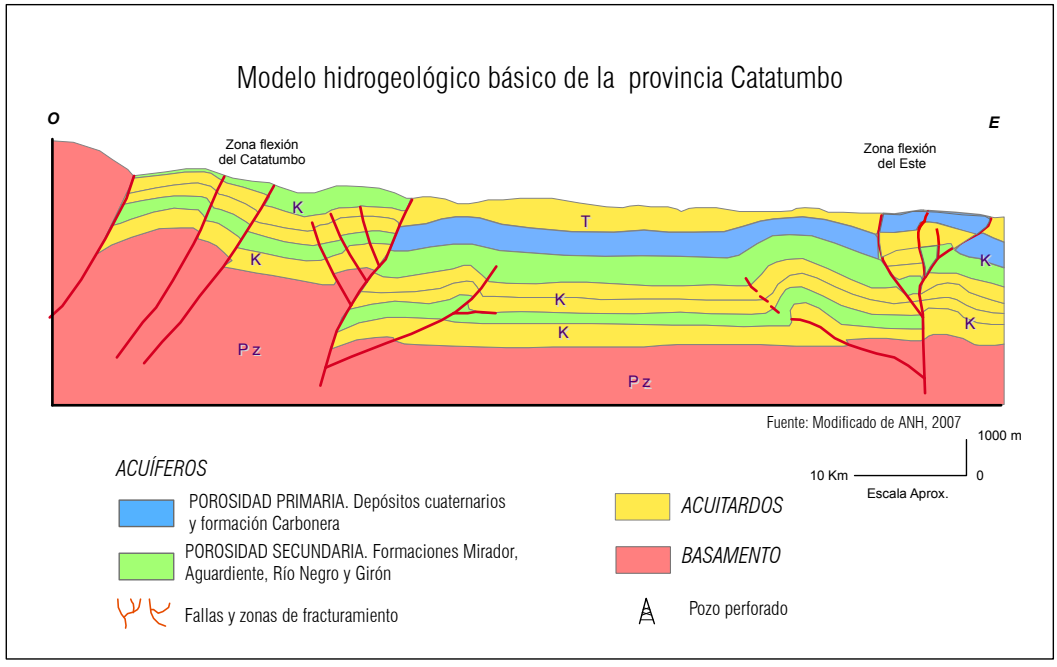


Figura 4.8. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Catatumbo.

de roca-sedimento, terciarias y recientes, que alojan los recursos de agua subterránea de la cuenca del Catatumbo. El resto de unidades de roca de la región del Catatumbo es de tipo sedimentario y metamórfico, con porosidades secundarias sin interés hidrogeológico, consideradas impermeables hasta el momento (*Figura 4.7* y *Figura 4.8*).

4.3.3. Provincia hidrogeológica de Cauca-Patía

4.3.3.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia ocupa la parte intramontana centro-occidental de Colombia, y se extiende en dirección sur-norte coincidiendo en sus límites con las estribaciones de las cordilleras Central y Occidental *(Figura 4.9)*.

Las diferencias litológicas entre la cordillera Oriental y las cordilleras Central y Occidental de Colombia han sido el criterio básico para definir esta provincia, la cual está limitada, al oriente, por el sistema de falla del oeste del Magdalena, y al este, por el sistema de fallas del río Atrato. Se extiende, hacia el norte, hasta la falla de Murrucucú, en las estribaciones de las serranías de Abibe, San Jerónimo, Ayapel y San Lucas; y hacia el sur, se estrecha en el Macizo Colombiano. Su litología es predominantemente ígneo-metamórfica y representa diferentes etapas de la orogenia andina. En la provincia, se destaca el valle tectónico del Cauca, constituido por las subcuencas del Patía y del río Cauca. Este rasgo tectonoestratigráfico configura la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía.

4.3.3.2. Ambiente geológico

El valle del río Cauca está constituido por una superficie plana o casi plana, formada por un relleno aluvial que consta de terrazas y aluviones hacia la zona central, y derrubios y conos aluviales en los límites de las dos cordilleras. Los conos están mejor desarrollados hacia la cordillera Central (Ingeominas, 1992).

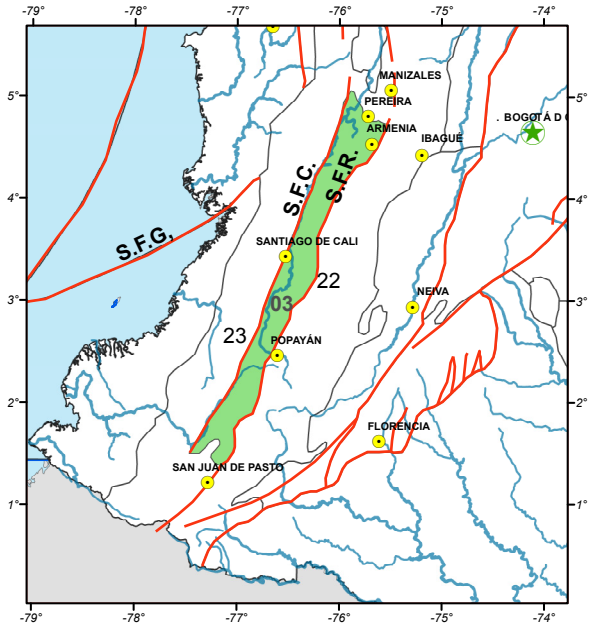
LÍMITE

Oeste: Sistema de fallas del Cauca (S.F.C.), rocas volcánicas y sedimentarias de la Cordillera Occiddental (23)

Oriente: Sistema de fallas de Romeral (S.F.R.), Cordillera Central(22)

Norte y Sur: Rocas ígneas básicas del Cretácico

S.F.G, Sistema de fallas de Garrapatas



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.9. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Cauca-Patía.

Los flancos del valle están formados por rocas en esencia volcánicas, afectadas por fallamientos de gran magnitud que reflejan su origen tectónico. En el borde de la cordillera Occidental, afloran lavas y diabasas de la formación volcánica, combinadas con algunas formaciones de origen continental y marino. En el borde de la cordillera Central, afloran lavas basálticas de edad Jurásica a Cretácica de la Formación Amaime, y formaciones sedimentarias plegadas del Terciario, de las que predominan, al sur, la Formación Popayán, y al norte, las formaciones La Paila, Guachinte y Zarzal (Valencia, M. & Alvarez, A., 1993).

En el valle del río Cauca, se identifican tres unidades de interés hidrogeológico *(Figura 4.10 y Figura 4.11);* la recarga de estas unidades se atribuye a la precipitación (que en la zona alcanza un promedio de 1.500 mm), a la escorrentía superficial y a pérdidas por irrigación.

Unidad A. Constituida por una alternancia de sedimentos permeables e impermeables, que configuran más que todo acuíferos libres y semiconfinados. Tiene un espesor promedio de 120 m y un 30% a 40% de sedimentos permeables.

Unidad B. Se trata de una unidad constituida más que todo por arcillas y limos, con algunos lentes muy delgados de gravas y arenas. No se considera como unidad productora de agua. Su espesor varía entre 80 m y 100 m, y es el techo de los acuíferos confinados de la Unidad C. Se comporta como acuicludo, pero algunas veces se explotan en la región lentes arenosos pertenecientes a esta unidad.

Unidad C. Por lo general, está localizada por debajo de los 180 m de profundidad y conforma acuíferos confinados, eventualmente con flujo saltante, de buena capacidad específica y excelente calidad del agua. En esencia está constituido por capas de arenas, gravas y, algunas veces, cantos rodados intercalados entre capas de arcillas. Su espesor se desconoce, aunque estudios de geoeléctrica ubican su parte inferior a una profundidad mayor de 500 m.

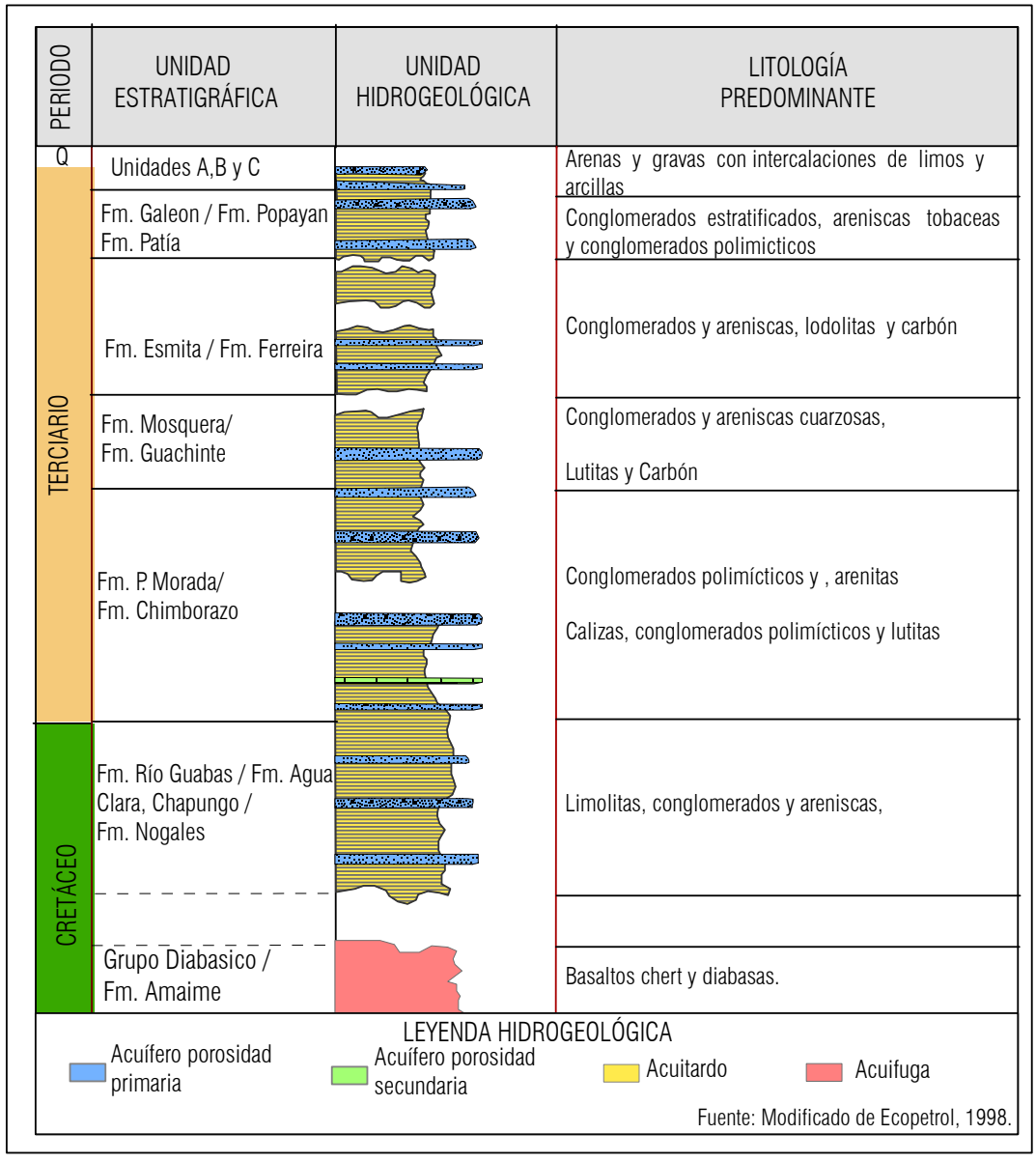


Figura 4.10. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cauca-Patía.

En los municipios de El Bordo, Balboa y Mercaderes (Cauca), sobre la cuenca del río Patía, se explotan acuíferos del terciario y cuaternario aluvial mediante pozos de 60-70 m de profundidad, con transmisividades de 222 m^2/día y caudales de 43 lps (Angel, C., 1991).

Es importante anotar que, en la cuenca del río Cauca, la recarga –que puede superar los 4.500 millones de m^3 por año– es muy inferior a la extracción anual de agua subterránea mediante pozos, que es del orden de 1.650 millones de metros cúbicos por año. Ello indica que (contrario a lo que ocurre en la mayoría de las provincias hidrogeológicas de Colombia), en la del Cauca-Patía la recarga es mas importante que las reservas (Consorcio IRH-Hidroceron Ltda., 2001).

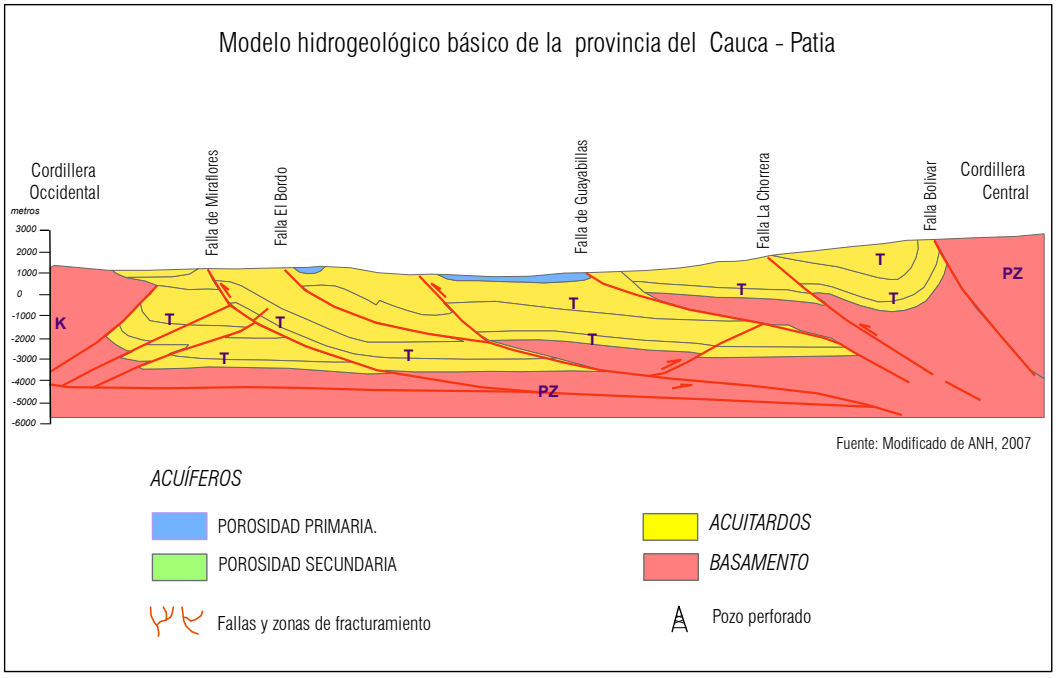


Figura 4.11. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Cauca- Patía.

4.3.4. Provincia hidrogeológica de Cesar-Ranchería

4.3.4.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia limita, hacia el norte, por la Falla de Oca. Al oriente y suroriente, con la serranía de Perijá. Al suroccidente, con la Falla Bucaramanga-Santa Marta, y al noroccidente, con el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta (*Figura 4.12*).

Al norte, se separa de la provincia de La Guajira por la Falla de Oca. Al occidente, está delimitada por las rocas precretáceas (acuifugas), de la Sierra Nevada de Santa Marta. Al suroccidente, está limitada por la Falla Bucaramanga-Santa Marta. Al oriente, limita con las rocas volcánicas (acuifugas) y sedimentarias (acuitardos), del Triásico y Jurásico.

4.3.4.2. Ambiente geológico

La cuenca hidrogeológica del Cesar está conformada por una sucesión de areniscas, lutitas y calizas que fueron depositadas durante el Paleozoico sobre un basamento metamórfico. Esta secuencia está suprayacida por las rocas cretácicas y terciarias, y de manera discordante por depósitos recientes.

La secuencia cretácica alcanza los 1.000 m y está constituida por arenitas, lutitas y calizas comúnmente ricas en materia orgánica, depositadas en ambiente marino. La secuencia clástica de arenitas y lodolitas con mantos de carbón fue depositada en ambientes continentales y transicionales durante el Terciario. Su espesor alcanza los 1.000 m *(Figura 4.13 y Figura 4.14)*.

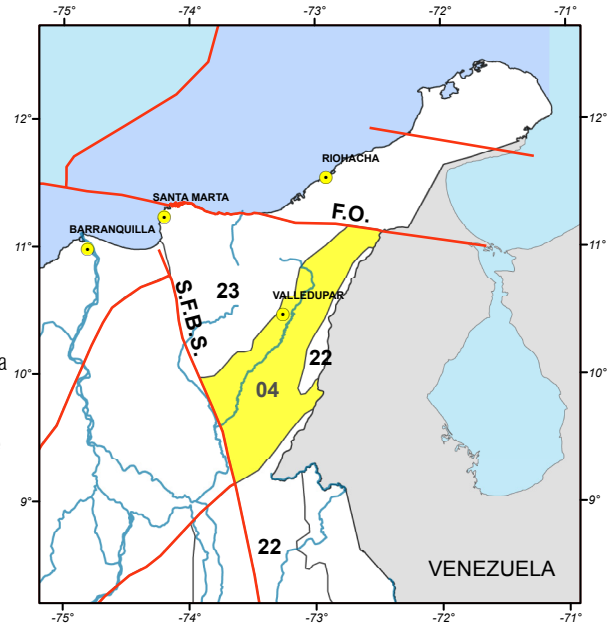
LÍMITE

SO: Sistema de fallas de Bucaramanga - Santa Marta (S.F.B.S.)

E-SE: Rocas Pre-Cretacícas de la Serranía de Perijá (22); límite internacional Colombia -Venezuela.

NE: Falla de Oca (F.O.)

NO: Rocas Pre-Cretacícas de la Sierra Nevada de Santa Marta (23)



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.12. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Cesar-Ranchería.

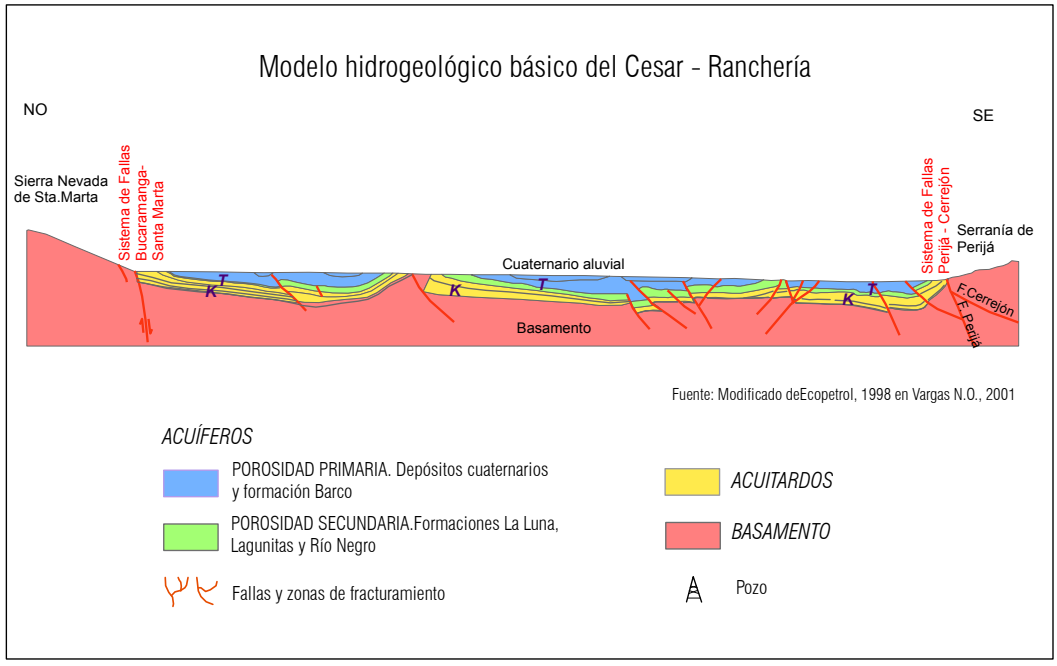


Figura 4.13. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Cesar-Ranchería.

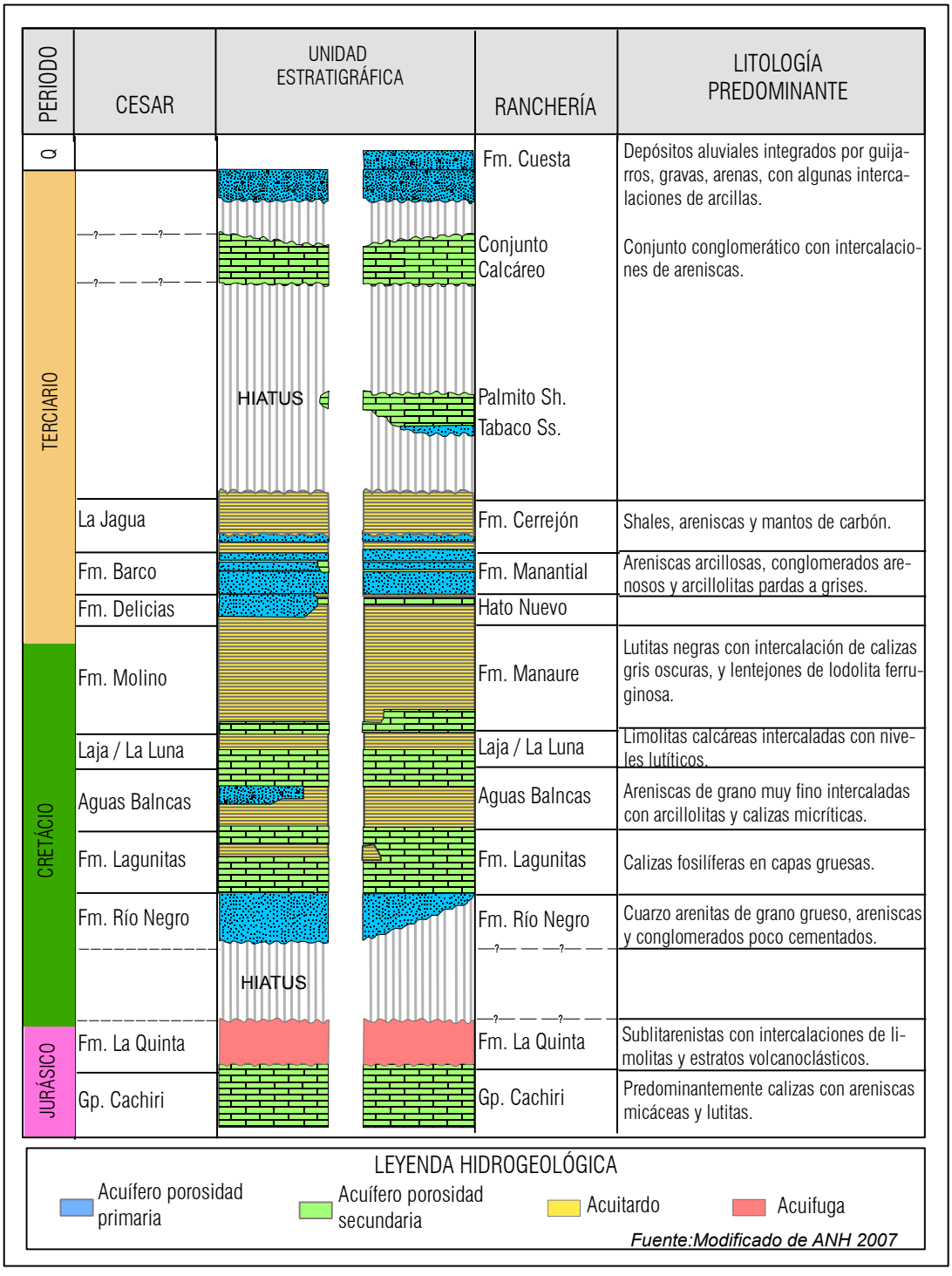


Figura 4.14. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cesar-Ranchería.

4.3.5. Provincia hidrogeológica de Chocó

4.3.5.1. Localización geográfica y límites geológicos

Se localiza en el borde noroccidental de la costa Pacífica. En la parte noroccidental, limita con Panamá (*Figura 4.15*). Al oriente, con las rocas cretáceas de la cordillera Occidental; al sur, limita con la zona de Falla de Garrapatas (GFZ), y al occidente, con el océano Pacífico. La provincia del Chocó se delimitó atendiendo las características estructurales y estratigráficas que se presentan en la costa Pacífica, que difieren de las secuencias y estilos tectónicos reconocidos en la cordillera Occidental. Estos rasgos están evidenciados a partir del sistema de fallas del Atrato que bordea el litoral Pacífico, entre Panamá y Ecuador. Este sistema de fallas marca el límite oriental de la provincia hidrogeológica del Chocó. Desde el punto de vista geomorfológico, también se establece un cambio abrupto entre las geoformas características de esta provincia y las correspondientes a la cordillera.

La Falla de Garrapatas, que se extiende entre Bahía Málaga y Ansermanuevo, constituye el límite sur. Al oriente, está limitada por la Falla de Murindó (FM) y por la Cuarzodiorita de Mandé (MB), que constituyen barreras impermeables. Al occidente, la secuencia continúa mar adentro, por la plataforma marina y la serranía de Baudó. Al noroccidente, la cuenca continúa en territorio panameño.

4.3.5.2. Ambiente geológico

Corresponde a estructuras sinclinales alargadas, que forman parte de una depresión de dirección norte a nordeste. La secuencia estratigráfica (*Figura 4.16*) está suprayacida por depósitos fluviales y lacustres, y corresponde a secuencias turbidíticas que superan los 6.000 m de espesor. Las rocas sedimentarias de la cuenca están incluidas dentro de las formaciones Uva

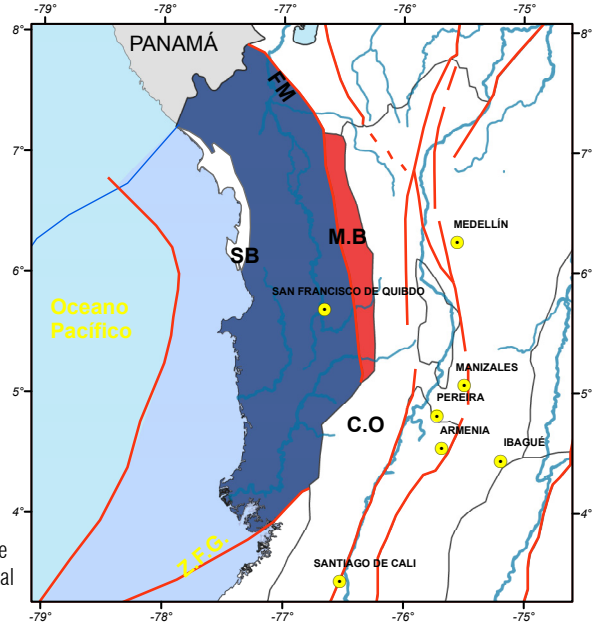
LÍMITE

N-NO: Límite Internacional con Panamá
Sur: Zona de fallas de Garrapatas(Z.F.G.)

NO: Serranía de Baudó (SB)

SO: Línea de costa actual del Pacífico

Este: Rocas quarzodioritas del Batolito de Mande (M.B.), rocas cretácicas de la Cordillera Occidental (C.O) y parcialmente la Falla de Murindó (F.M.)



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.15. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Chocó.

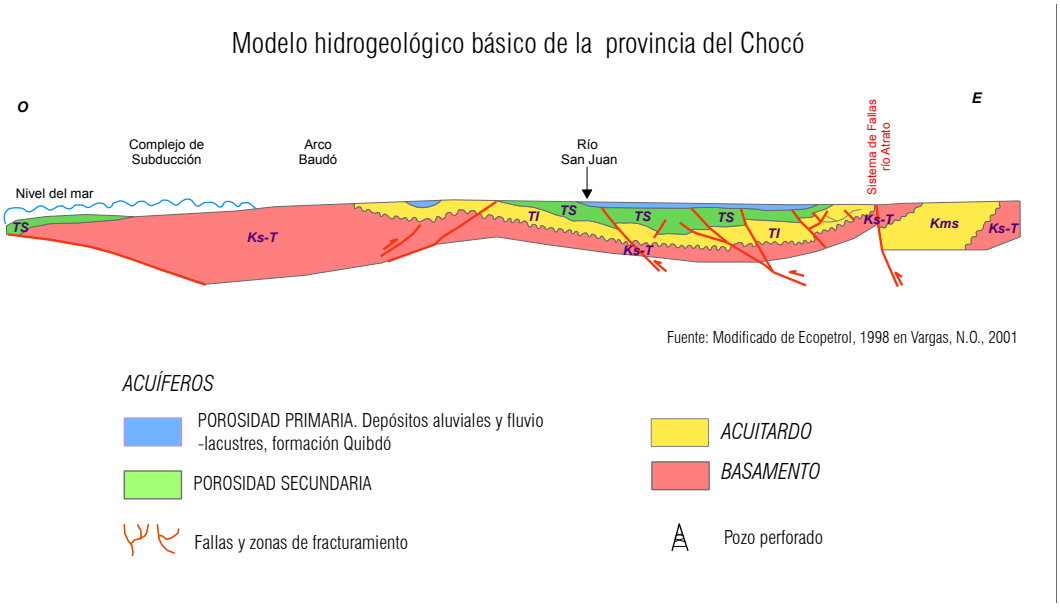


Figura 4.16. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Chocó.

(calizas con foraminíferos), Napipi (lodolitas nodulares y calizas), Sierra (limolitas calcáreas y lodolitas) y Munguidó (lodolitas calcáreas que incluyen areniscas de grano medio y algunos conglomerados).

4.3.6 Provincia hidrogeológica de Cordillera Oriental

4.3.6.1. Localización geográfica y límites geológicos

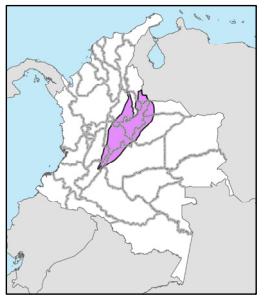
Esta provincia intramontana se localiza en la parte meridional del país, y coincide con la secuencia plegada sedimentaria de la cordillera Oriental que se extiende en dirección suroeste-noreste (*Figura 4.17*). Por el norte, limita con rocas metamórficas del macizo de Santander. Por el oriente, está delimitada por el sistema de fallas del piedemonte de la cordillera Oriental. En el sur, limita con el sistema de fallas de Algeciras-Garzón (AGFS) y con el macizo del mismo nombre; y en el occidente, por el sistema de fallas Suaza, Prado-Bituima y La Salina.

La cordillera Oriental constituye una secuencia cretácica sedimentaria plegada. La provincia, cuya morfología es diferente en la Llanura Oriental, al oriente, y en el valle del Magdalena, al occidente, estratigráficamente no tiene similitudes litológicas con las otras cordilleras y su comportamiento hidrogeológico difiere de estas unidades tectónico-sedimentarias. Por estas razones, se ha limitado la provincia al oriente, con la Falla de Guaicáramo; al occidente, con el sistema de fallas del este del Magdalena (Suaza-Prado-Bituima, Salinas); al norte, con la Falla de Santa Marta-Bucaramanga y el Macizo de Santander-Floresta; y al sur, con el Macizo de Garzón.

4.3.6.2. Ambiente geológico

Desde el punto de vista geológico, el área de análisis pertenece a la cuenca pericratónica distal de la cordillera Oriental, en la cual el principal rasgo estructural se relaciona con fallas que afectan el basamento y resultan de la reactivación de una deformación preestructural de "horst y graben", cuya expresión en superficie toma la forma de amplios anticlinales

y sinclinales estrechos, cubiertos por depósitos cuaternarios fluviolacustres y glaciares que suprayacen rocas sedimentarias detríticas de texturas arenosas, lutíticas y carbonatadas, que se extienden desde el Cretácico hasta el Terciario Superior *(Figura 4.18 y Figura 4.19)*.



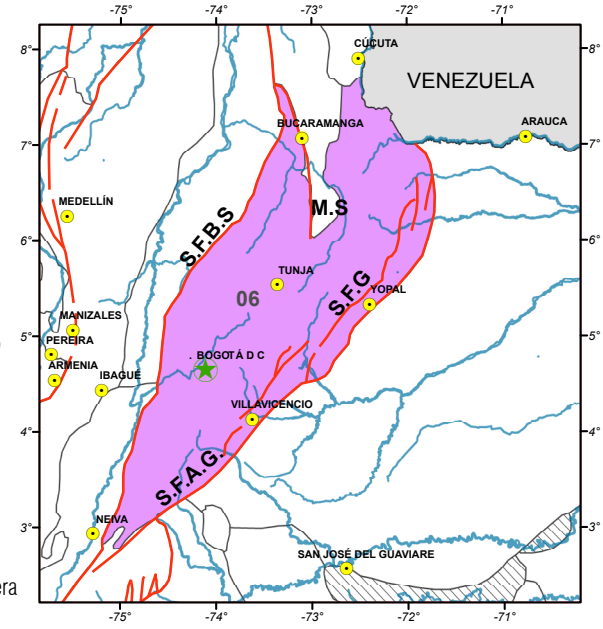
LÍMITE

Norte: Rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Santander (M.S.)

Sur: Sistema de fallas de Algeciras - Garzón (S.F.A.G.)

Oeste: Sistema de fallas de Bituima y La Salina (S.F.B.S.)

Este: Sistema frontal de empuje de la Cordillera Oriental



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.17. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Cordillera Oriental.

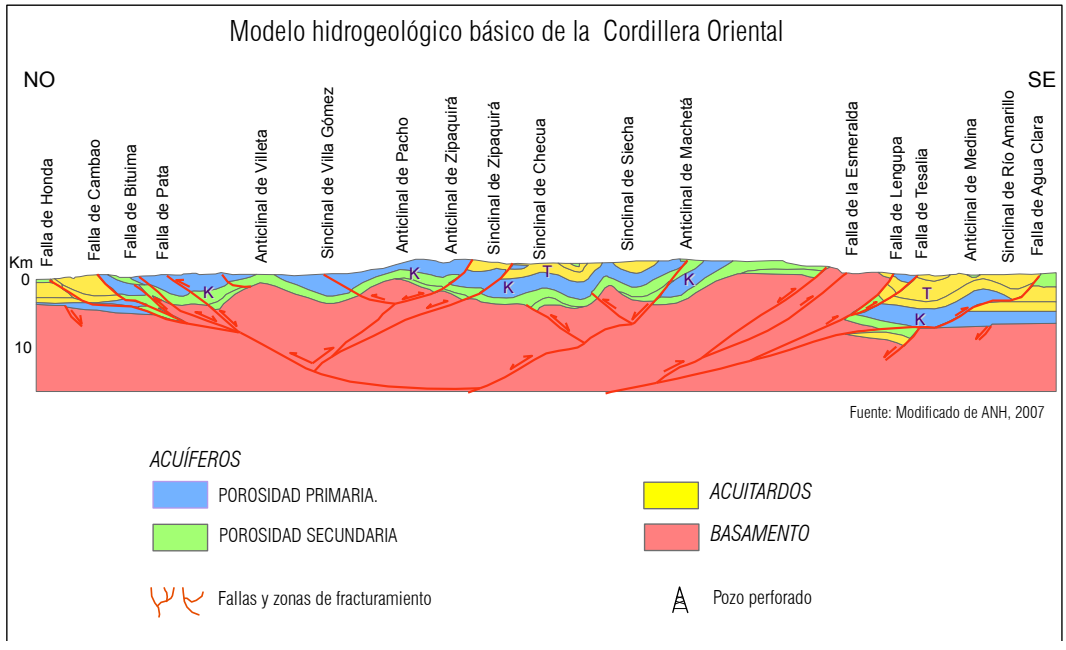


Figura 4.18. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Cordillera Oriental.

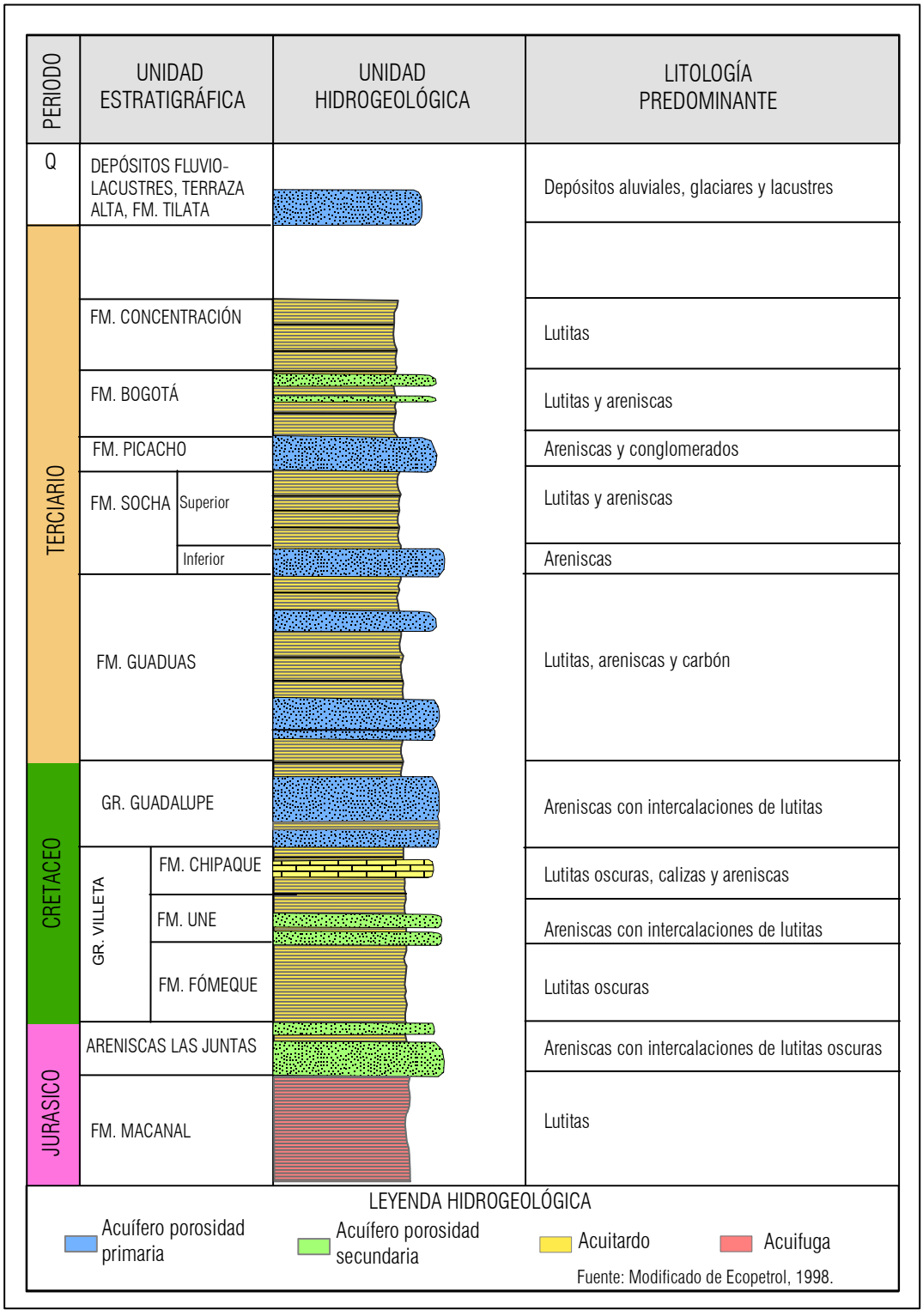


Figura 4.19. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cordillera Oriental.

La gruesa secuencia de rocas sedimentarias detríticas conforma estructuras anticlinales y sinclinales con sus flancos orientales, normalmente más empinados e, incluso, invertidos. Las estructuras plegadas, limitadas por fallas de cabalgamiento de carácter regional, se orientan con rumbo noreste-suroeste, siguiendo la tendencia general de las estructuras principales de la cordillera Oriental (McLaughlin & Arce, 1975).

4.3.7. Provincia hidrogeológica de La Guajira

4.3.7.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia se localiza en el extremo nororiental de Colombia, y limita al norte y al occidente con el mar Caribe; al oriente, con Venezuela; y al sur, el límite corresponde a la Falla de Oca, que la separa de la provincia hidrogeológica de Cesar-Ranchería (*Figura 4.20*).

El criterio de delimitación de esta provincia es de carácter tectónico. La Falla de Oca, límite sur de la provincia, separa el macizo de Santa Marta y la Serranía del Perijá de la región baja plana, y afecta rocas del Cretácico Superior y del Terciario al sur de Riohacha. Aparentemente, La Guajira fue una cuenca marginal con circulación restringida desde el Cretácico Medio, razón por la cual las sucesiones estratigráficas asociadas a sus subcuencas no corresponden con las atribuibles a la provincia adyacente de Cesar-Perijá. Al norte, las principales unidades se continúan dentro de la plataforma marina; al nororiente, con las rocas impermeables del basamento y rocas jurásicas; y al oriente, continúa en territorio venezolano (Barrero et àl., 2007; Vargas, N.O., 2001.)

4.3.7.2. Ambiente geológico

En las etapas tempranas de la evolución geológica de La Guajira, se presentó actividad ígnea y hubo depositación de sedimentos detríticos, lo que se manifiesta

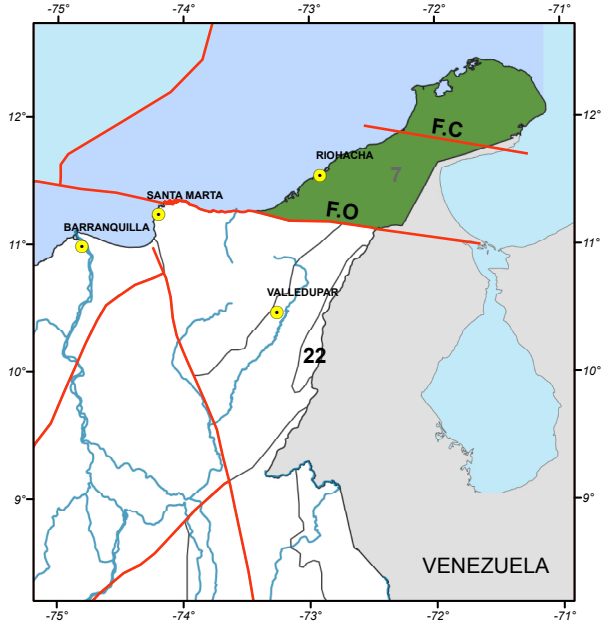
LÍMITE

Norte y Noroeste: Línea de costa del Caribe

Noreste: Línea de costa del Caribe

Sur: Falla de Oca(F.O.)

Sureste: Limite Internacional con Venezuela



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.20. Ubicación de la provincia hidrogeológica de La Guajira.

en las rocas metamórficas más antiguas de la península (Formación Corual, Cheterlo, Jipi, Batolito de Patillal, Riodacita de Los Tábanos y Volcanitas de Ipapure). Esta actividad se extiende hasta el Cretácico superior cuando ocurre una transgresión marina y se depositan las rocas calcáreas de las formaciones Guaralumay, La Luna, Cogollo y Yurima. A comienzos del terciario se presenta una orogenia que ocasiona el retiro del mar y la depositación de las formaciones Macarao y Siamana, y el desarrollo de la falla de Oca y Cuisa. En

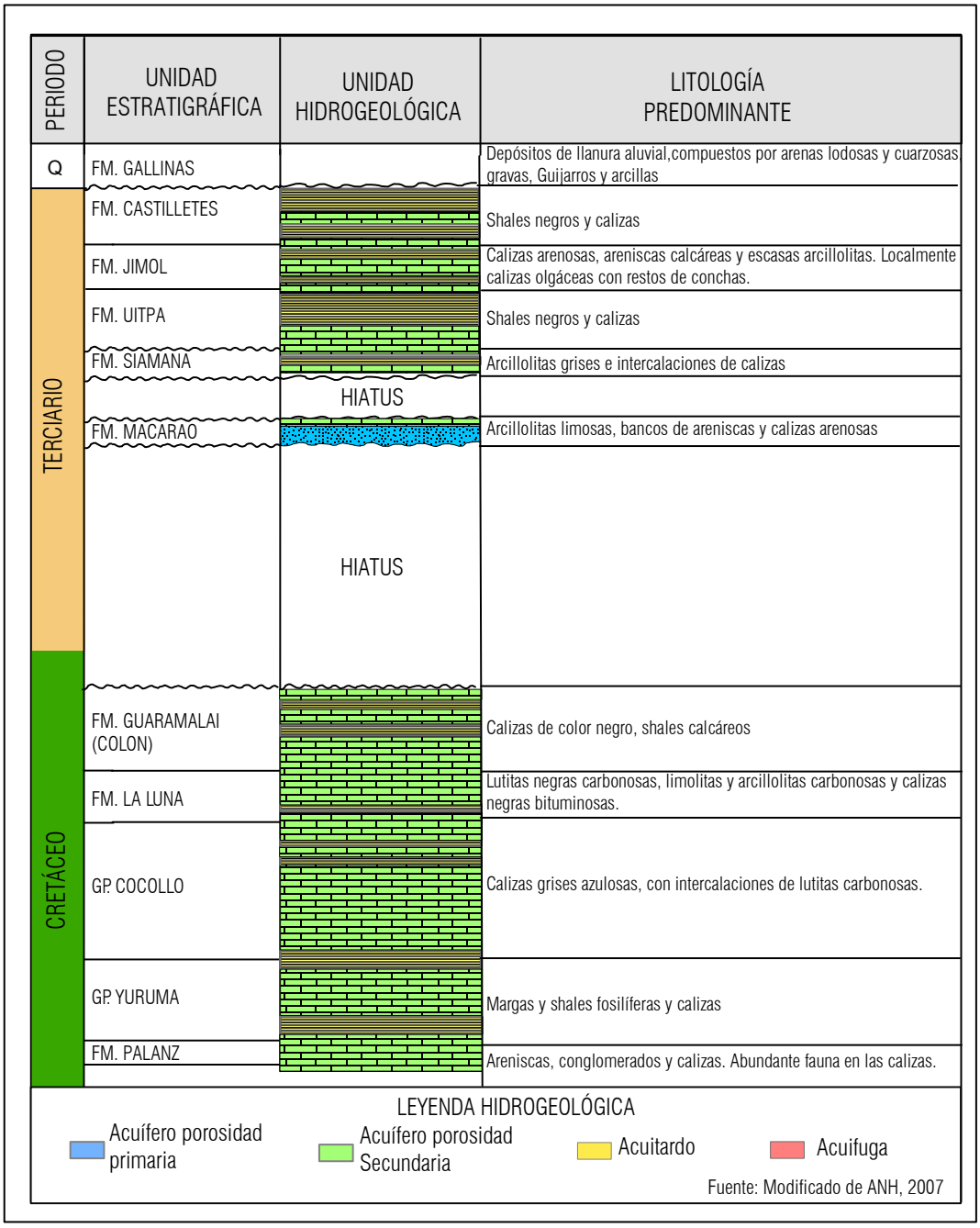


Figura 4.21. Columna estratigráfica generalizada de la provincia La Guajira.

el Mioceno, se presenta la depositación de sedimentos por ingreso del mar, representada en la Formación Uitpa, Posteriormente, se depositaron los sedimentos de la Formación Monguí, que cubre la Media Guajira (*Figura 4.21* y *Figura 4.22*). En el pleistoceno, cesa la depositación marina y comienza una depositación continental litoral, fluvial y eólica que da origen a las geoformas actuales (Ingeominas, 1988).

4.3.8. Provincia hidrogeológica de la isla de San Andrés y Providencia

4.3.8.1. Localización geográfica y límites geológicos

El Archipiélago de San Andrés y Providencia –localizado entre los paralelos 12º y 16º latitud norte, y los meridianos 78º y 82º de longitud oeste, de Greenwich– se encuentra en el sector occidental del mar Caribe, a 770 kilómetros, aproximadamente, de Cartagena de Indias. Está conformado por las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y algunos cayos y bajos menores (*Figura 4.23*). Las islas de San Andrés y Providencia están ubicadas en el mar Caribe, por lo cual su delimitación de los acuíferos existentes está definida de manera clara por las coordenadas geográficas descritas antes.

4.3.8.2. Ambiente geológico

Isla de San Andrés. Está conformada por calizas arrecifales y depósitos sedimentarios del terciario, así como por depósitos marinos del cuaternario sobre un basamento ígneo volcánico. Estas rocas están representadas por dos formaciones de diferente edad: San Andrés y San Luis, con contactos discordantes entre sí (Burgl, 1960). Por su parte, la Formación San Andrés se levanta en el centro de la isla, conformando una serranía alargada; y la Formación San Luis, más joven, constituye la mayor parte plana de la isla, bordeando a la anterior. Sobre estas formaciones, y de manera esporádica, se encuentran depósitos de edad cuaternaria (*Figura 4.24* y *Figura 4.25*).

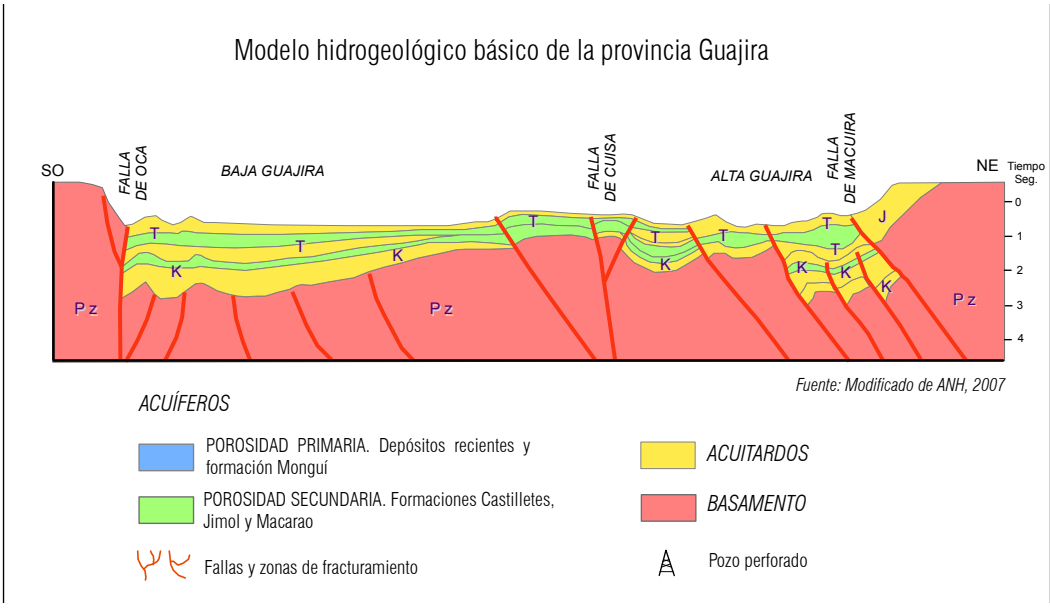
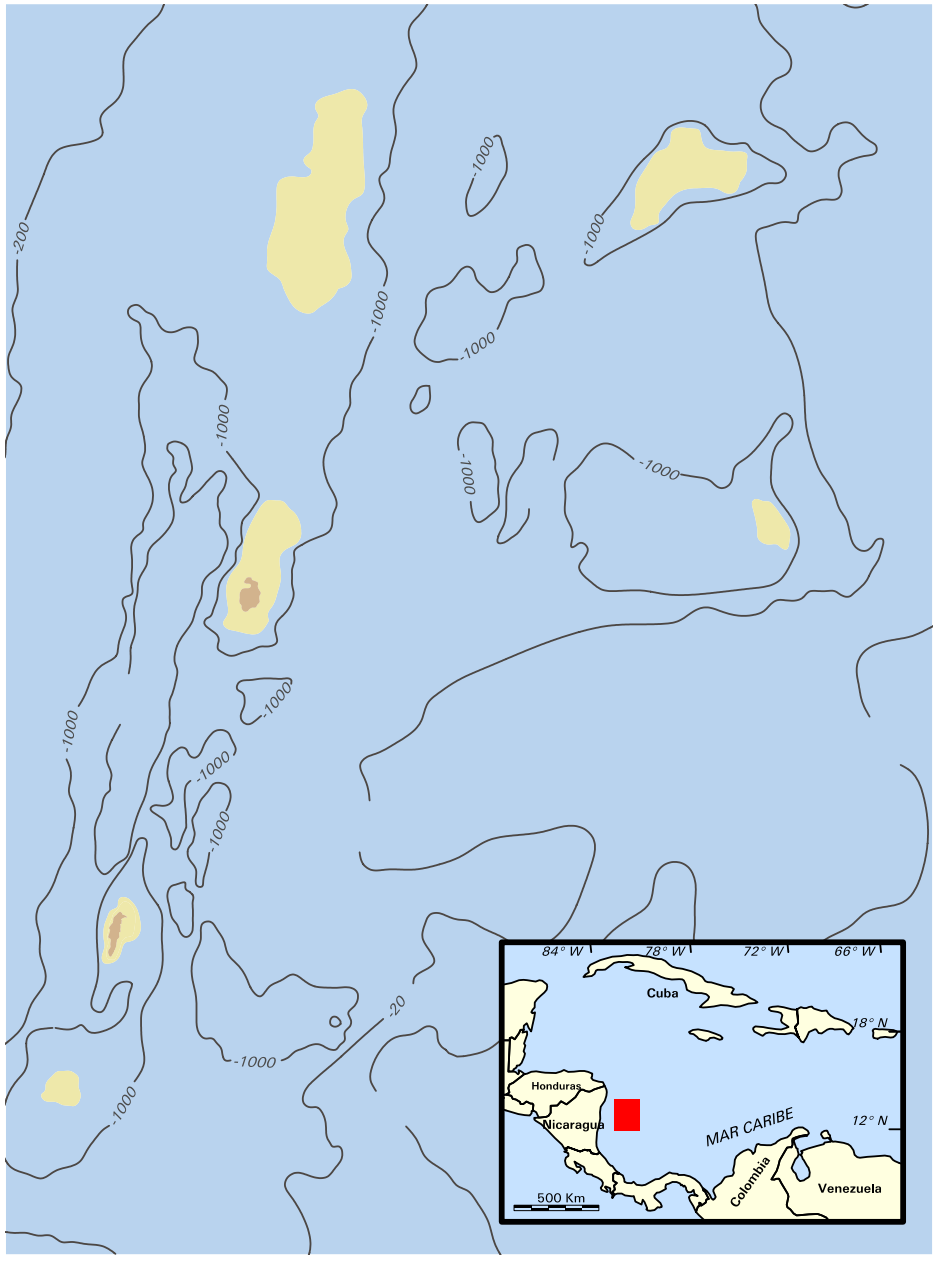


Figura 4.22. Modelo hidrogeológico básico de la provincia La Guajira.


-200
-1000
-20
84° W
78° W
72° W
66° W
Cuba
18° N
Honduras
Nicaragua
MAR CARIBE
12° N
Colombia
Venezuela
500 Km

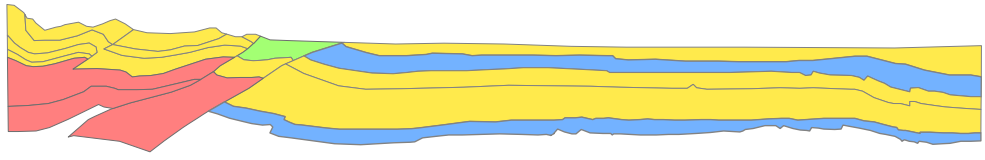
la Macarena (SM), el arco de Vaupés y las rocas metamórficas precambrianas, consideradas como barreras impermeables. Al norte, continúa en territorio venezolano. Y al oriente, por las rocas intrusivas del precambriano (cuarzomonzonitas, consideradas impermeables).

Desde el punto de vista topográfico, la provincia de los Llanos Orientales corresponde a la zona plana del oriente colombiano, que contrasta con el relieve abrupto de la cordillera Oriental adyacente.

4.3.9.2. Ambiente geológico

Desde el punto de vista geológico, la cuenca está cubierta por depósitos cuaternarios fluviolacustres que suprayacen rocas sedimentarias detríticas de texturas arenosas, lutíticas y carbonatadas, que se extienden desde el Paleozoico hasta el Terciario Superior (*Figura 4.27* y *Figura 4.28*). Esta secuencia descansa sobre la paleotopografía del basamento ígneo cristalino del escudo de la Guyana, que se levanta hacia el oriente (Ecopetrol, 1997). La gruesa secuencia de rocas sedimentarias detríticas conforma una estructura monoclinal fallada ligeramente basculada que se adelgaza hacia el oriente.

Desde el punto de vista estratigráfico, de base a techo se distinguen rocas del Paleozoico Inferior; arenas masivas y secuencias lutíticas y carbonatadas del Cretáceo Superior; arenas basales de la Formación Mirador; intercalaciones de areniscas y lutitas de la Formación Carbonera; lutitas de la Formación León; interestratificaciones detríticas de la Formación Guayabo; arcillolitas abigarradas y areniscas poco consolidadas de la Formación Necesidad; y sedimentos cuaternarios de tipo fluvial y lacustre (Ecopetrol, 1998). El espesor de esta columna litológica se ha medido en cerca de 2.500 metros. En la actualidad, se explota agua subterránea para abastecimiento y fines industriales de los niveles arenosos de la Formación Guayabo Superior, y agua de producción de las formaciones Carbonera y Mirador en los campos petroleros. En el caso del campo Caño Limón, el agua extraída es dulce.



4.3.10. Provincia hidrogeológica de Sinú-San Jacinto

4.3.10.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia Sinú-San Jacinto se localiza al noroccidente del área continental de Colombia. Limita al sur con las estribaciones de las cordilleras Central y Occidental; al oriente, se encuentra limitada por el sistema de fallas de Romeral (RFS); al suroccidente, por el sistema de fallas del río Atrato; y al norte, por el litoral Caribe *(Figura 4.29)*. En el norte, la provincia Sinú-San Jacinto se adentra en el mar Caribe. Al oriente, limita con el sistema de fallas de Romeral que, conjuntamente con el basamento, conforman barreras impermeables. Al suroccidente, limita con el Sistema de Fallas del río Atrato, y por el sur oriente con el basamento de la cordillera occidental, que constituye una barrera impermeable.

4.3.10.2. Ambiente geológico

La zona corresponde al cinturón de San Jacinto adyacente a la plataforma marina. Se caracteriza por una sucesión basal de pelagitas suprayacidas por turbiditas del Grupo Cansona, que constituyen el núcleo de los anticlinales de San Jacinto, San Jerónimo y Luruaco. La secuencia está suprayacida por interestratificaciones de areniscas y lutitas de las formaciones San Cayetano Inferior y Superior; y areniscas, lutitas y calizas de las formaciones San Jacinto, Ciénaga de Oro (Tolú viejo), Porquera, Cerrito, Sincelejo, Morroa y Betulia. En términos generales, estas secuencias estratigráficas conforman una región inestable, muy plegada sobre la corteza oceánica; y otra región, estable o de plataforma, no plegada, sobre la corteza continental, al oriente de la Serranía de San Jacinto (*Figura 4.30* y *Figura 4.31*).

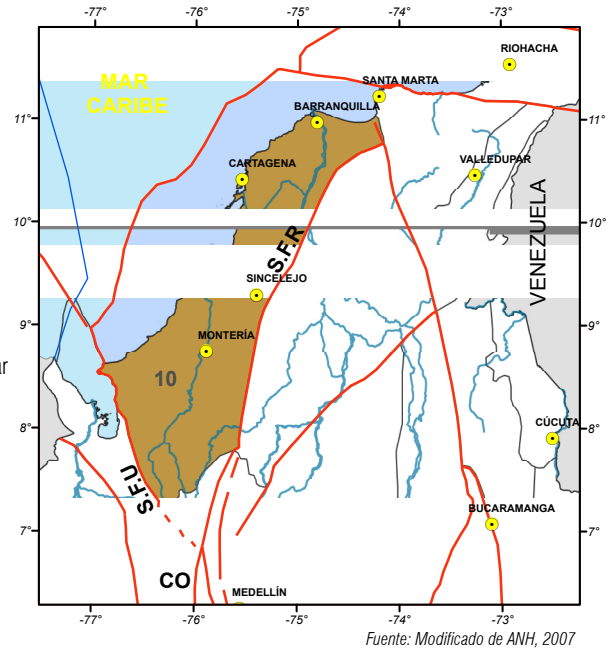
LÍMITE

Norte - noroeste: Linea de Costa Acual del Mar Caribe

Oeste: Sistema de fallas de Uramita (S.F.U.)

Sur: Rocas cretácicas de la Cordillera Occidental (C.O)

Este: Sistema de fallas de Romeral(S.F.R.)



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.29. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Sinú-San Jacinto.

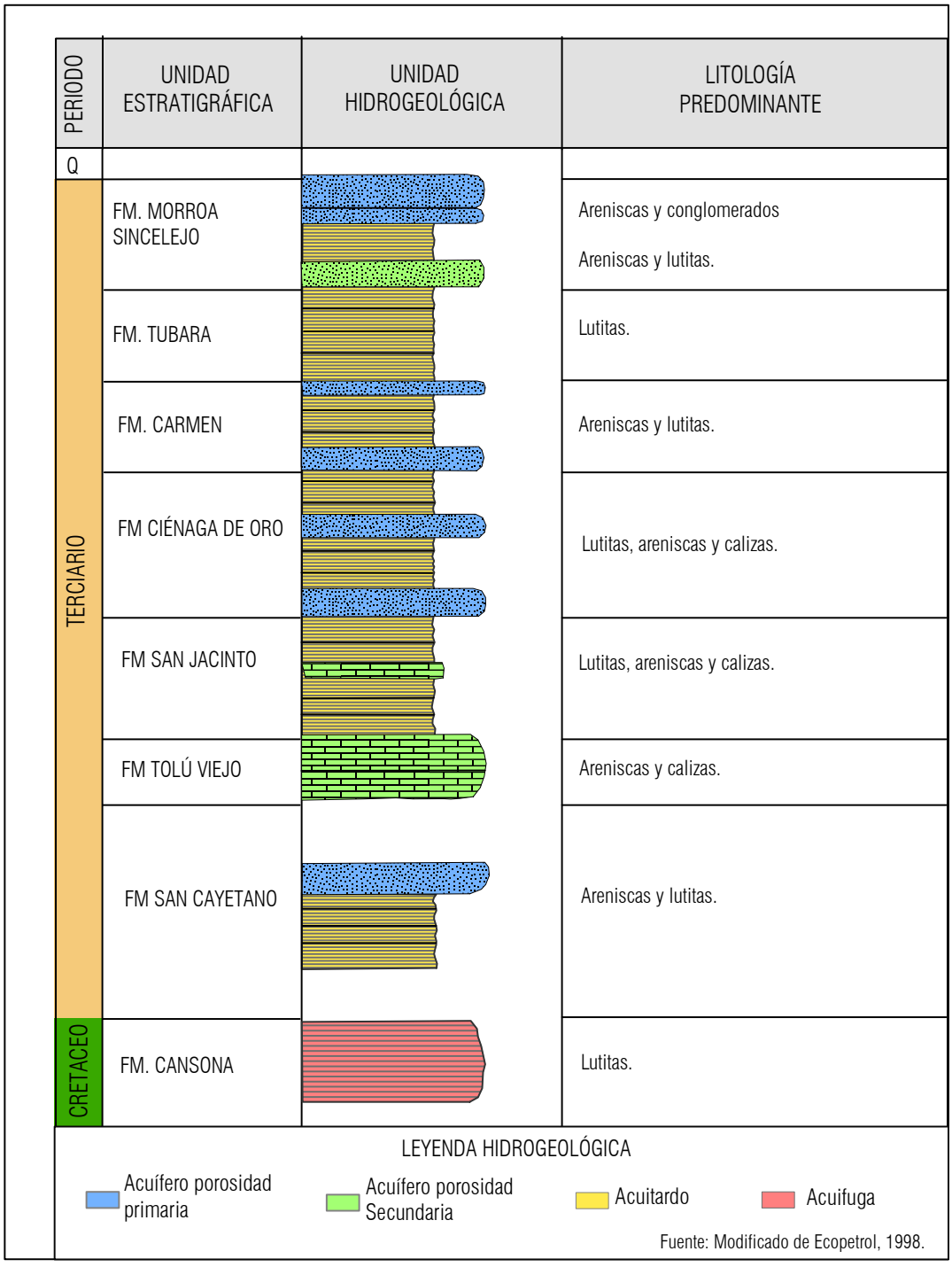


Figura 4.30. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Sinú-San Jacinto.

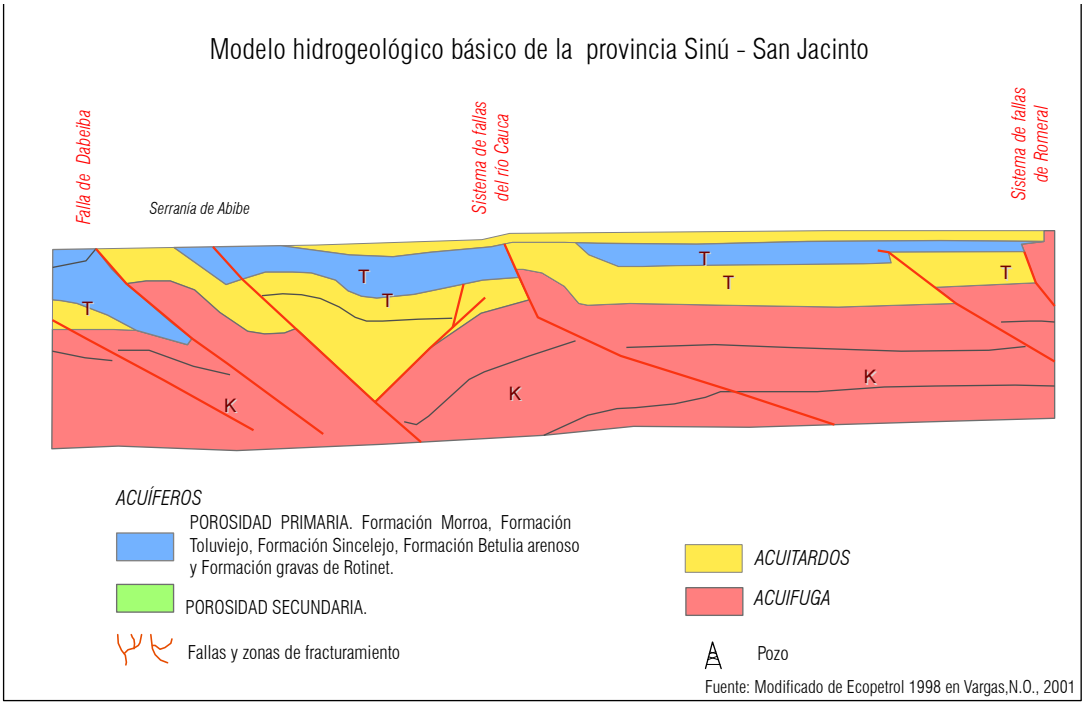


Figura 4.31. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Sinú-San Jacinto.

4.3.11. Provincia hidrogeológica de Tumaco

4.3.11.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia hidrogeológica de Tumaco se encuentra ubicada en el extremo suroccidental de Colombia. Está limitada al norte, por el sistema de fallas de Garrapatas; y al sur, llega hasta la frontera con el Ecuador. Por el oriente, el límite se halla a lo largo de las rocas cretáceas de la cordillera Occidental; y por el occidente, a lo largo de la costa del Océano Pacífico (*Figura 4.32*). La cuenca está limitada al norte por la Falla Garrapatas; al oriente, con las rocas cretáceas de la cordillera Occidental (que se consideran como una barrera impermeable); al occidente, las unidades hidrogeológicas se continúan mar adentro, bajo la plataforma marina. Al sur, las unidades hidrogeológicas se continúan en el territorio de Ecuador.

4.3.11.2. Ambiente geológico

La provincia de Tumaco está constituida por sedimentitas que se extienden hacia el sur del río Atrato dentro de la cuenca geológica Chocó-Pacífico, en donde litológicamente se han separado en las formaciones Suruco (calizas, *chert*, areniscas calcáreas, lutitas y conglomerados a la base), Buenaventura (areniscas y arcillolitas), Tumaco (lutitas calcáreas, areniscas y calizas fosilíferas), La Pato (conglomerados, limolitas, tobas y cenizas). En el borde occidental de la cordillera Occidental, se han diferenciado las formaciones Raposo y Mallorquín, que corresponden a secuencias fluviátiles derivadas de la erosión de la cordillera Occidental (*Figura 4.33*).

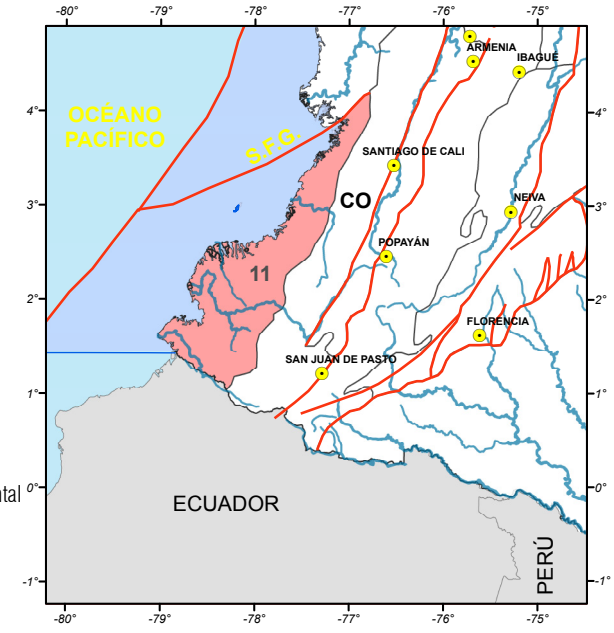
LÍMITE

Norte: Sistema de fallas de Garrapatas (S.F.G.)

Sur: Limite Internacional con Ecuador

Este: Rocas volcánicas de la Cordillera Occidental (C.O)

Oeste: Línea de costa del Oceano Pacífico



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.32. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Tumaco.

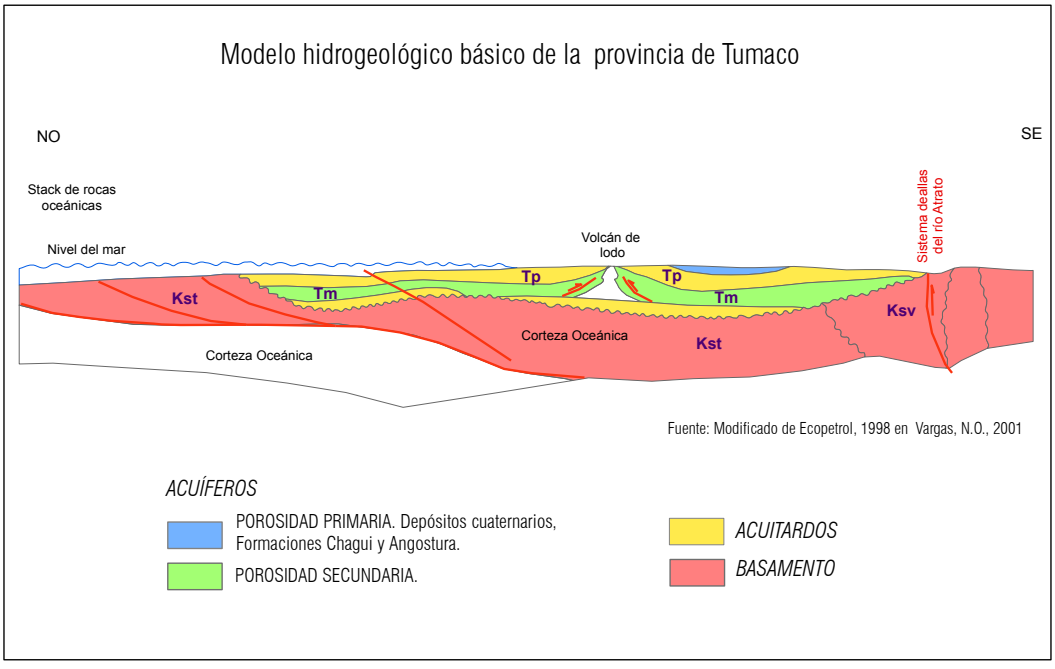


Figura 4.33. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Tumaco.

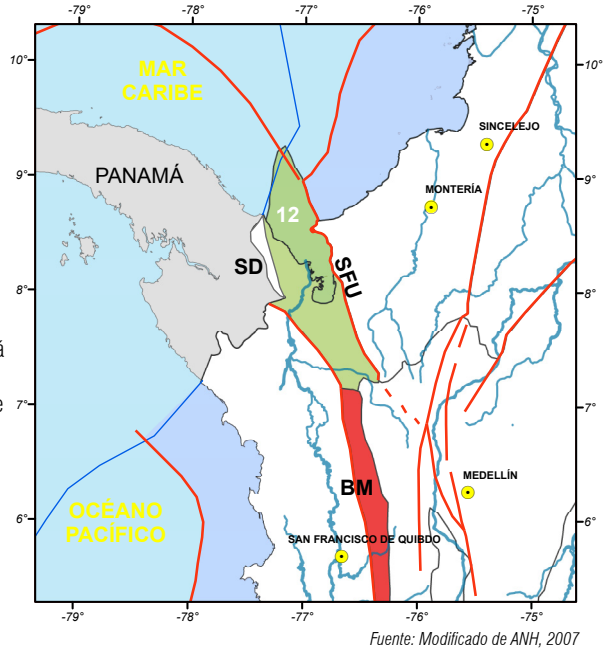
4.3.12. Provincia hidrogeológica de Urabá

4.3.12.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia de Urabá limita por el noroccidente con la frontera colombo-panameña.; por el norte, con el mar Caribe; en el oriente, está delimitada por el sistema de fallas de Uramita (UFS). Las rocas cretáceas de la cordillera Occidental la delimitan por el sur y el Batolito de Mandé, por el suroccidente. Al noroccidente, está delimitada por la Serranía del Darién (*Figura 4.34*). La provincia de Urabá está hidrogeológicamente delimitada al noroccidente por rocas volcánicas de la Serranía del Darién. Al norte, tiene continuidad en la plataforma del mar Caribe. Al oriente, está delimitada por el sistema de fallas de Uramita. Al suroriente, por las rocas volcánicas cretáceas de la cordillera Occidental; y al suroccidente, por el Batolito de Mandé y la falla de Murindó.

4.3.12.2. Ambiente geológico

La región de Urabá se enmarca en una tectónica de pliegues longitudinales con orientación general N20°E, conocida como anticlinorio Abibe-Las Palomas, en la que aflora una secuencia monótona de edad terciaria y de tipo turbidítico (lutitas y areniscas). Esta secuencia reposa sobre sedimentos marinos constituidos por areniscas y lutitas consolidadas del cretácico, y rocas ígneas plutónicas que intruyen rocas sedimentarias metamorfoseadas, que se extienden desde el Paleozoico hasta el Mesozoico *(Figura 4.35 y Figura 4.36)*.



LÍMITE

Norte-Noroeste: Límite internacional con Panamá

Sureste: Batolito de Mandé (B.M.) y falla de Murindó

Este: Sistema de fallas de Uramita (S.F.U.)

Oeste: Serranía del Darién (SD)

Sur: Rocas cretácicas de la Cordillera Occidental (CO)

N.P.D.B. Cinturón deformado del Norte de Panamá

Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.34. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Urabá.

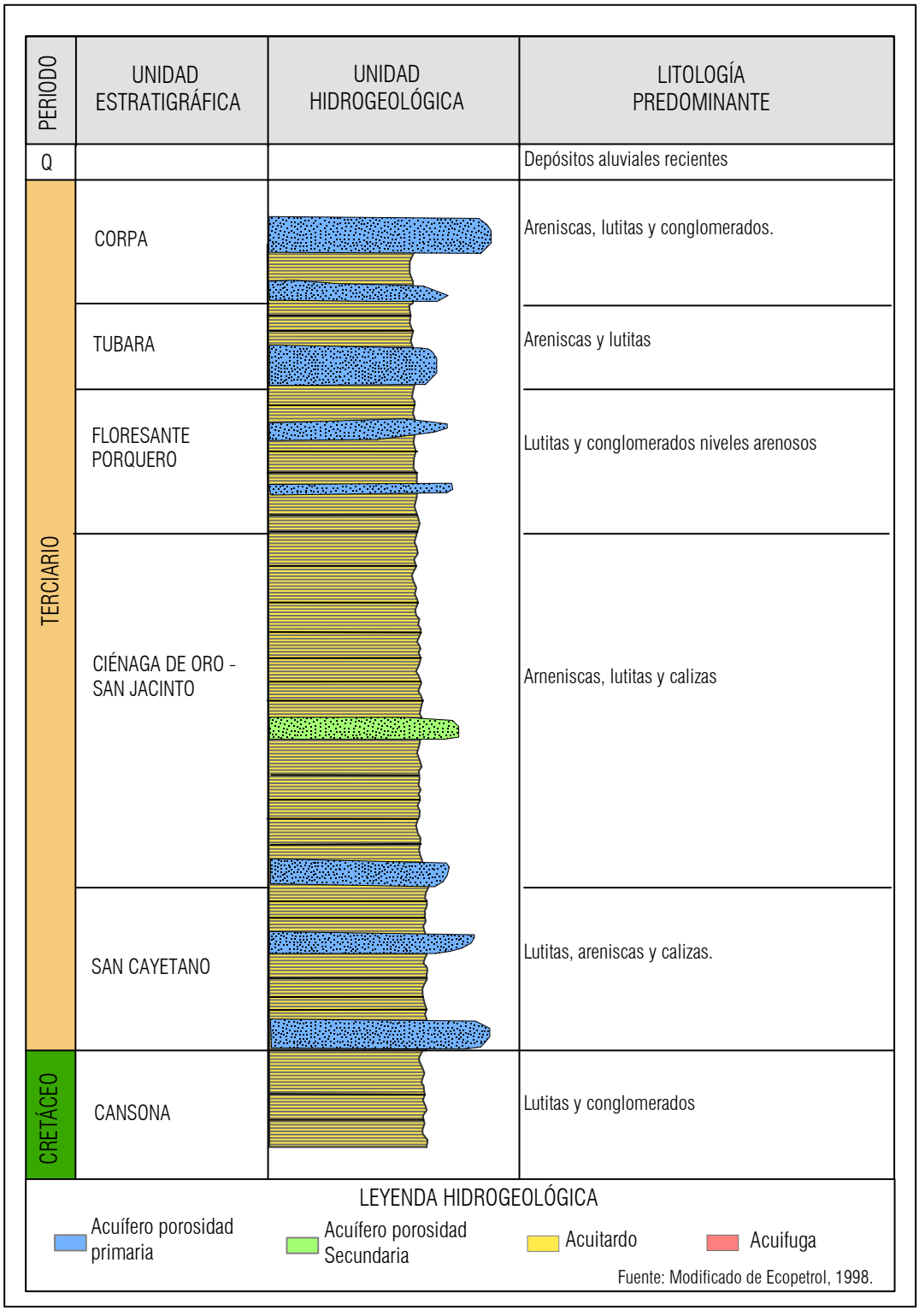


Figura 4.35. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Urabá.

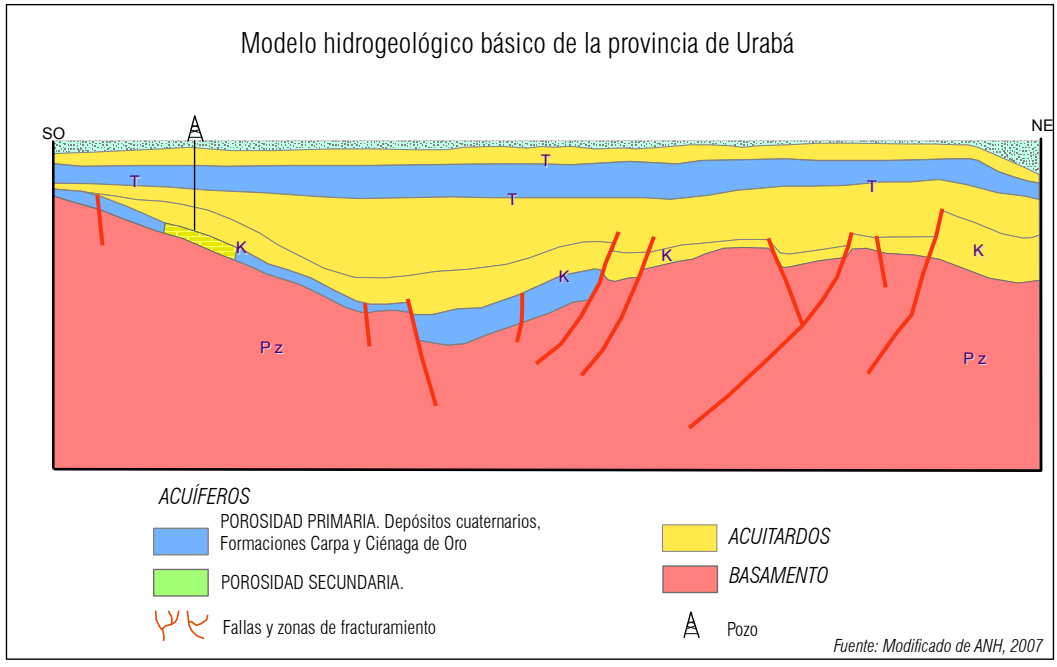


Figura 4.36. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Urabá.

4.3.13. Provincia hidrogeológica del Valle Alto del Magdalena

4.3.13.1. Localización geográfica y límites geológicos

La provincia se extiende en dirección sur-norte, Y limita al sur con el Macizo Colombiano y al norte con el cinturón plegado de Girardot (*Figura 4.37*). Al nororiente, está delimitada por el sistema de fallas Bituima-La Salina (BSFS); y al suroriente, parcialmente por el sistema de fallas Algeciras-Garzón (AGFS) Al occidente, limita con las rocas precretáceas de la cordillera Central (CC).

La provincia está delimitada al sur, con las rocas ígneas y metamórficas (barreras impermeables) que conforman el Macizo Colombiano. Al norte, con el cinturón plegado de Girardot. Al nororiente, está delimitada por el sistema de fallas Bituima-La Salina (BSFS); y al suroriente, en parte, por el sistema de fallas Algeciras-Garzón (AGFS). Al occidente limita con las rocas precretáceas de la cordillera Central (CC), caracterizadas como una barrera impermeable. En sentido geomorfológico, esta provincia separa las cordilleras Central y Oriental, y conforma ambientes restringidos a la dinámica fluvial de la corriente superficial más importante del país: el río Magdalena.

4.3.13.2. Ambiente geológico

Desde el punto de vista hidrogeológico, la depresión tectónica del Valle del Magdalena se ha rellenado en el tiempo geológico y posterior al Mioceno se depositaron las secuencias más importantes por sus características litológicas y comportamiento hidráulico. Estas unidades corresponden, en primer lugar, al Grupo Honda, caracterizado por una secuencia granodecreciente de los depósitos de canal, resultantes de controles inherentes al sistema fluvial, como avulsión, migración lateral, cambios en disponibilidad de energía o material a los sistemas fluviales, y pueden incluir

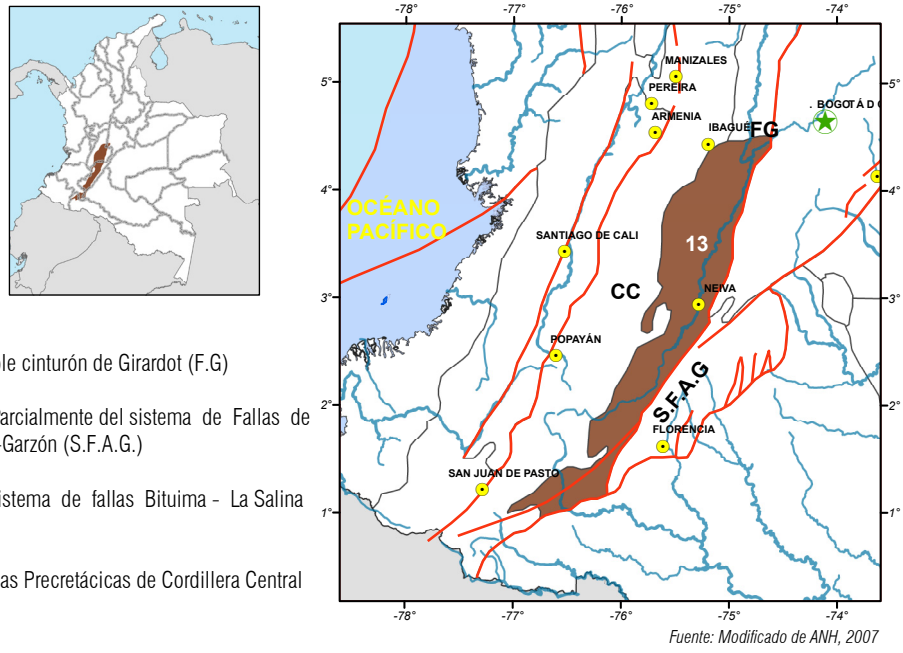


Figura 4.37. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Alto del Magdalena.

factores tectónicos, como levantamiento, subsidencia o vulcanismo. La depositación de las secuencias y sus propiedades sedimentológicas están relacionadas con las diferentes combinaciones e intensidades de controles alocíclicos. Durante los periodos de levantamiento activo o vulcanismo, estos sedimentos fueron depositados por diferentes sistemas de abanicos aluviales y eventos volcánicos, progradando sobre una amplio plano aluvial. Durante periodos intervenidos por la mayor actividad volcánica y tectónica, los abanicos aluviales llegaron a ser más reducidas en tamaño, y los sedimentos de los canales fueron depositados por sistemas fluviales trenzados y meandricos, fluyendo hacia el este de la planicie aluvial. Estas características de la depositación restringen las posibilidades de almacenamiento de agua subterránea a aquellos horizontes de areniscas y conglomerados, producto de acreción lateral, rellenos de canal, barras longitudinales y diques que se disponen en la parte superior del Grupo Honda.

Durante el Plioceno-Cuaternario, se presenta un levantamiento con incremento de la actividad volcánica en la cordillera Central. Enormes cantidades de sedimentos volcanoclásticos (lahares e ignimbritas) rellenaron el valle, especialmente hacia la parte sur del Valle Superior del Magdalena (Formación Gigante, Guacacallo).

La arquitectura aluvial y el grado de interconexión de canales son controlados por ajuste tectónico en la cuenca deposicional, migración de canales y eventos de avulsión. En eventos recientes, los flujos de escombros dominaron los abanicos aluviales a lo largo de márgenes activas configurando nuevos depósitos, con características litológicas de porosidad y permeabilidad que los habilitan para conformar acuíferos de tipo regional a local, con variaciones faciales por su ambiente y dinámica de depositación (*Figura 4.38* y *Figura 4.39*).

En síntesis, hay un marcado control tectónico que condiciona la distribución de los principales acuíferos en el Valle Superior del Magdalena, y los restringe a ambientes de depositación fluviales y de abanicos

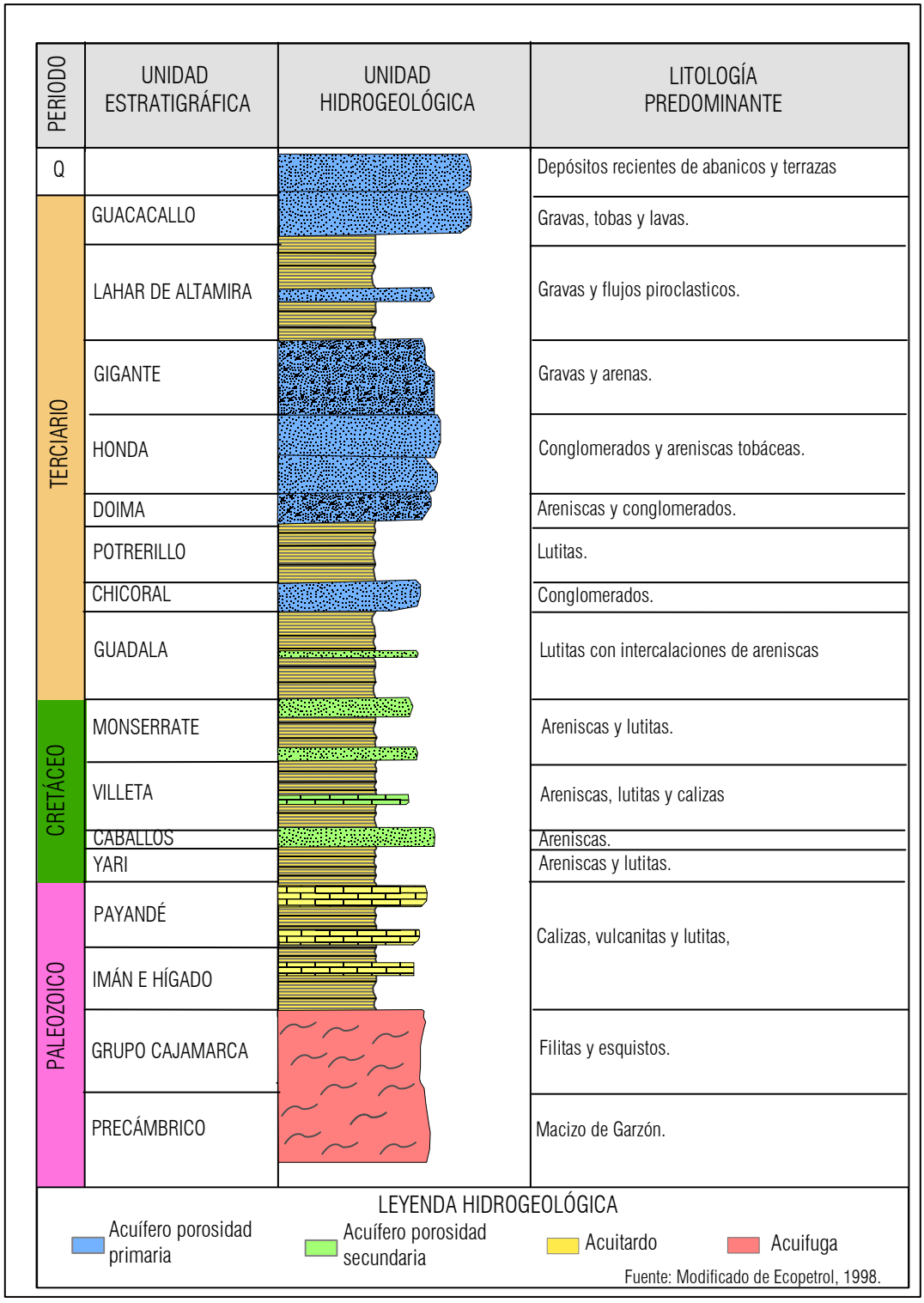


Figura 4.38. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Alto del Magdalena.

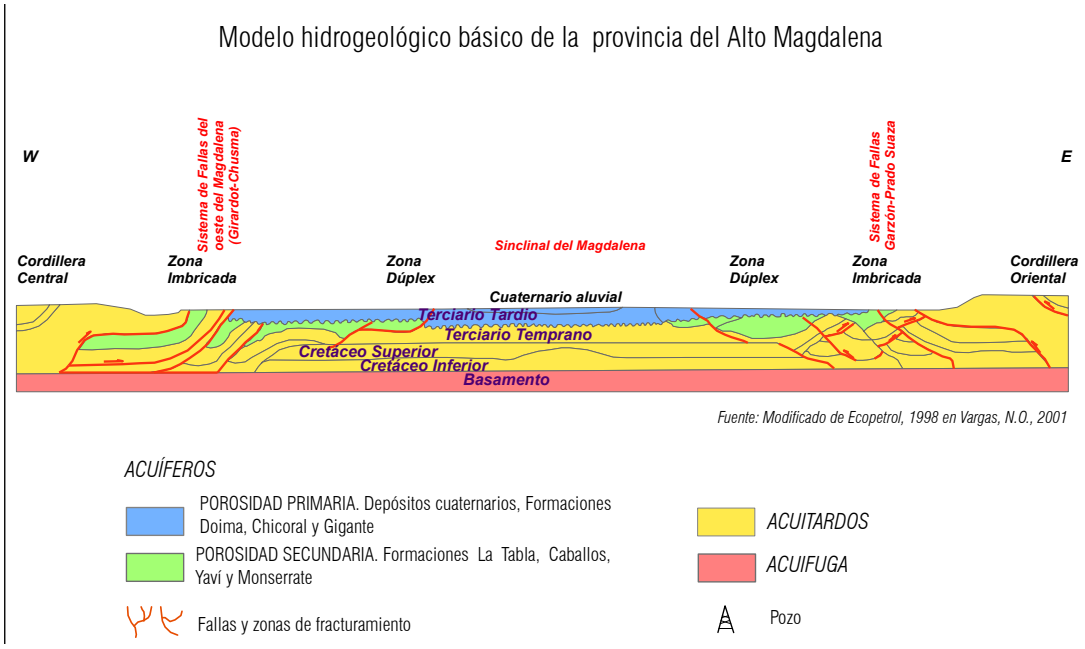


Figura 4.39. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Valle Alto del Magdalena.

fluvioglaciares con variaciones laterales de facies depositados desde el Mioceno hasta el reciente. Los almacenamientos de aguas subterráneas están limitados por la depresión tectónica que se formó a partir de eventos distensivos hasta el Cretácico y continuó con una tectónica compresiva, cuyas expresiones mayores son los sistemas de cabalgamiento de Chusma, al oriente de la cordillera Central, y Garzón-Suaza, en el límite occidental de la cordillera Oriental.

4.3.14. Provincia hidrogeológica del Valle Bajo del Magdalena

4.3.14.1. Localización geográfica y límites geológicos

Limita al norte y occidente por el sistema de fallas de Romeral (RFS); al sur, con las estribaciones de las cordilleras Central y Occidental, que se prolongan en la falla de Murrucucú. Al orientec se encuentra limitada por la Falla Santa Marta-Bucaramanga (***Figura 4.40***).

El sistema de fallas de Romeral constituye el límite occidental de la provincia. El límite oriental está determinado por las rocas ígneas y metamórficas de la Sierra Nevada de Santa Marta y por el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta. El complejo de rocas ígneas y metamórficas de la cordillera Central y Occidental marca el límite sur.

4.3.14.2. Ambiente geológico

Forma parte de la plataforma de la llanura del Caribe, en la cual se disponen los elementos tectónicos compuestos de rocas ígneas félsicas y metamórficas (precretácicas a cretácicas), que se encuentran cubiertos de manera discordante por sedimentos terciarios de tipo detrítico y carbonatado, y por sedimentos fluviolacustres de edad

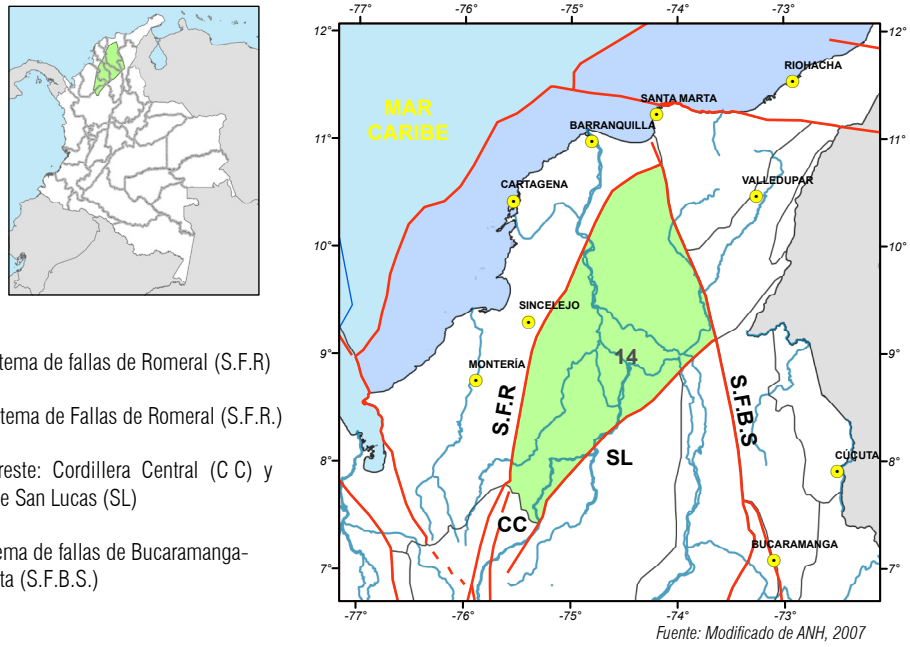


Figura 4.40. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Bajo del Magdalena.

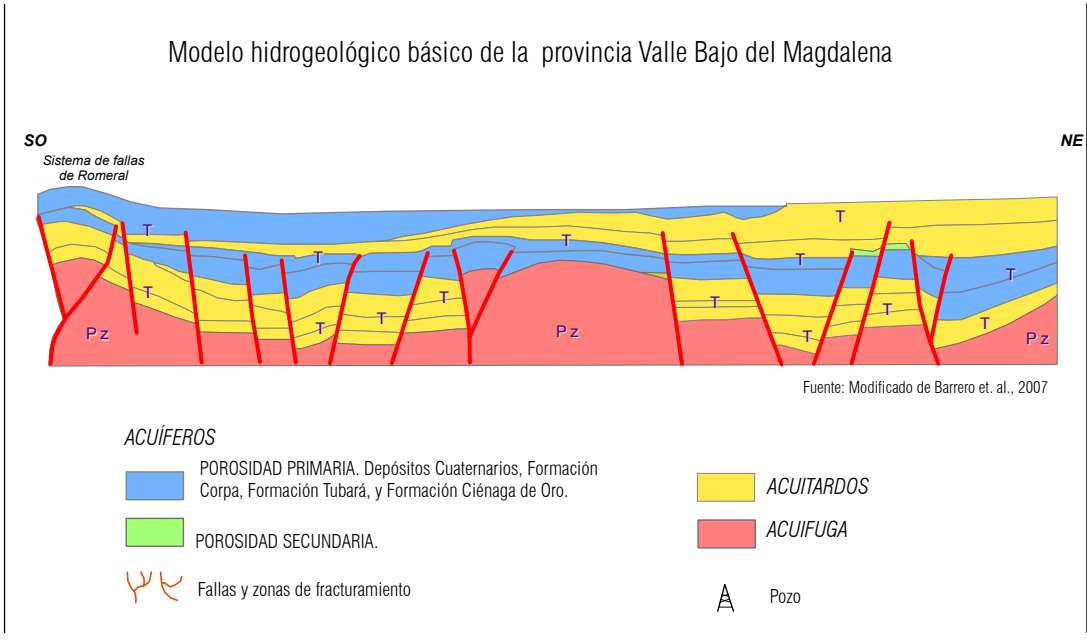


Figura 4.41. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Valle Bajo del Magdalena.

reciente que alcanzan espesores hasta de 1.500 metros *(Figura 4.41 y Figura 4.42)*. Se distinguen además las depresiones de Plato y Sucre, rellenadas con sedimentos de un espesor aproximado de 7.000 metros o más. La cobertura reciente está constituida por 1.000 m a 1.500 m de sedimentos fluviolacustres, y más de 3.000 metros de turbiditas de edad Mioceno a Plioceno (Ingeominas, 1988).

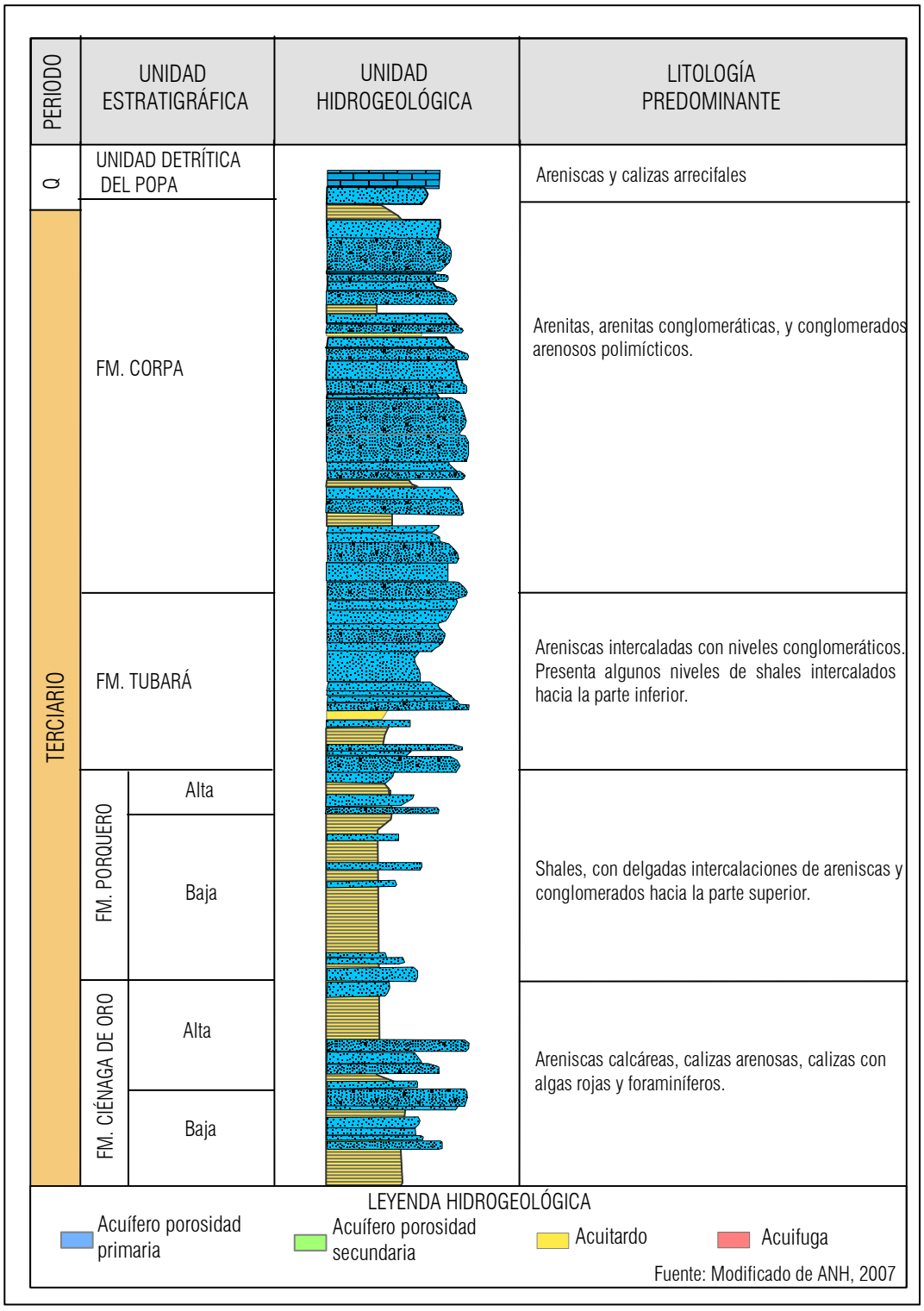


Figura 4.42. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Bajo del Magdalena.

4.3.15. Provincia hidrogeológica del Valle Medio del Magdalena

4.3.15.1. Localización geográfica y límites geológicos

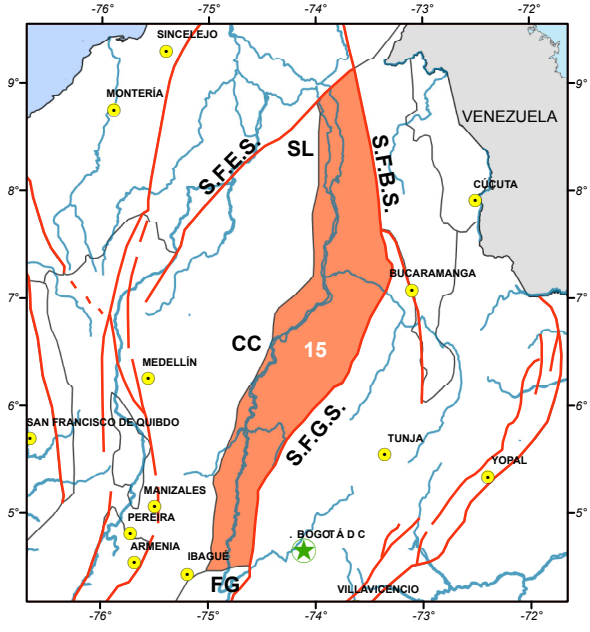
Se extiende en dirección sur-norte, y limita al sur con el cinturón plegado de Girardot. Al nororiente, limita con el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta; al suroriente, con el sistema de fallas Bituima-La Salina. Al occidente, con el piedemonte de la cordillera Central y la Serranía de San Lucas. Y al norte, con el sistema de fallas del Espíritu Santo *(Figura 4.43)*.

La provincia hidrogeológica limita al occidente por el basamento ígneo metamórfico de la cordillera Central. Al norte, está delimitada por el sistema de fallas del Espíritu Santo. Al nororiente, también está delimitada por rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico y por el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta; al suroriente, por el sistema de fallas Bituima-La Salina. Y al sur, por el cinturón plegado de Girardot.

4.3.15.2. Ambiente geológico

Se comporta como una cuenca intracordillerana basculada hacia el oriente, con tendencia homoclinal, disturbada por algunos pliegues y fallas. Ocupa una depresión estructural que se ha considerado como un semigraben basculado hacia el este, donde limita con fallas inversas, como La Salina.

Las rocas buzan hacia el este a partir de la cordillera Oriental. El Cretácico Superior está restringido a la parte más oriental del Valle. Sobre las rocas anteriores y aun sobre rocas del Grupo Girón, reposan discordantemente sedimentos terciarios del Eoceno hasta el Plioceno. Esta secuencia se acuña hacia el occidente. La distribución de los sedimentos pospaleocenos está marcada por rasgos estructurales que controlan sus límites (*Figura 4.44* y *Figura 4.45*).



LÍMITE

Sureste: Sistema de fallas de Bituima La Salina (S.F.B.S.)

Norte: Sistema de fallas Espiritú Santo (S.F.E.S)

Oeste: Sedimentos cuaternarios superiores de la Serranía de San Lucas (SL) y Basamento de la Cordillera Central (CC)

Sur: Doble cinturon de Girardot (FG)

Noreste: Sistema de Fallas Bucaramanga -Santa Marta (S.F.B.S.)

Fuente:Modificado de ANH 2007

Figura 4.43. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Medio del Magdalena.

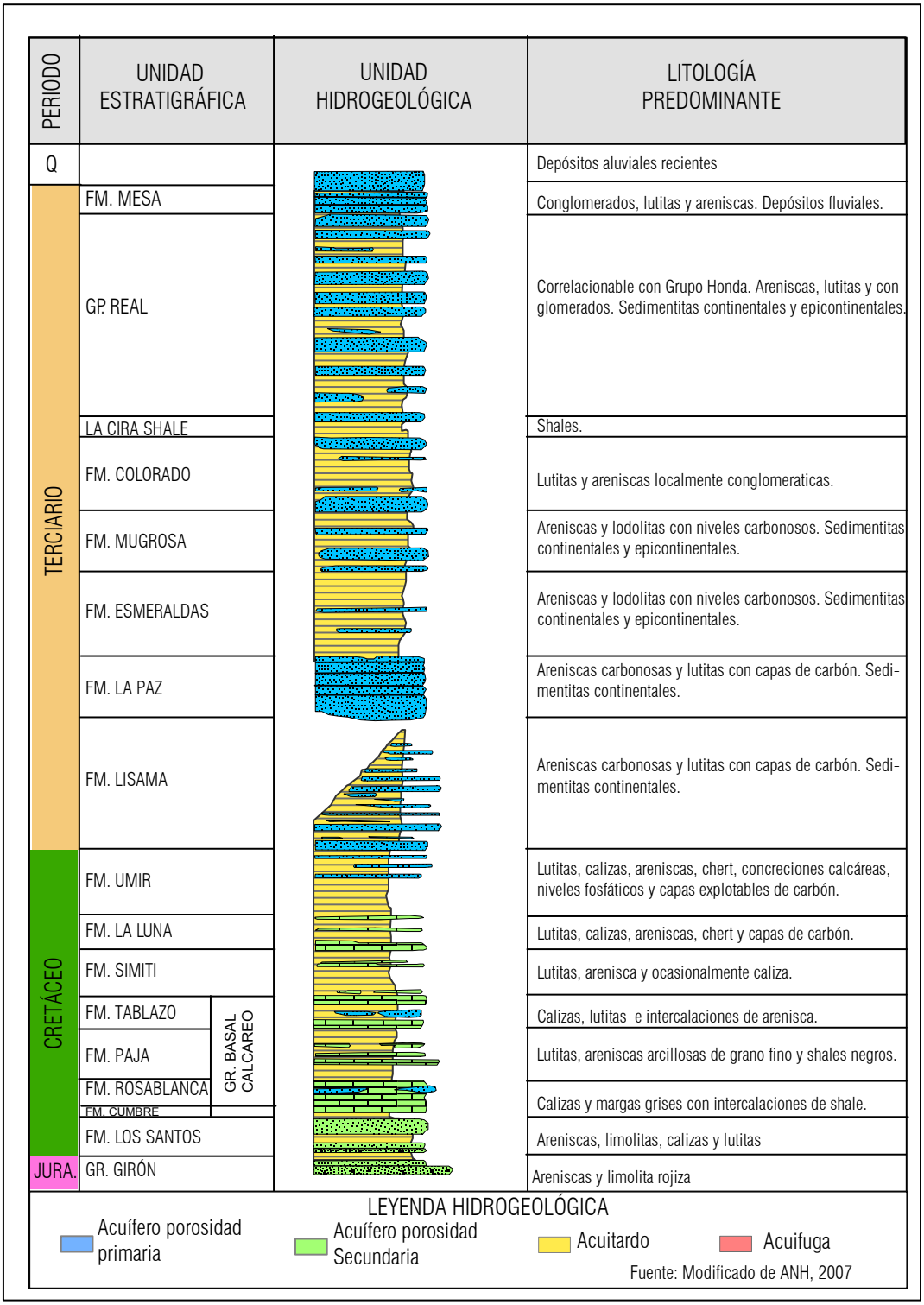


Figura 4.44. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Medio del Magdalena.

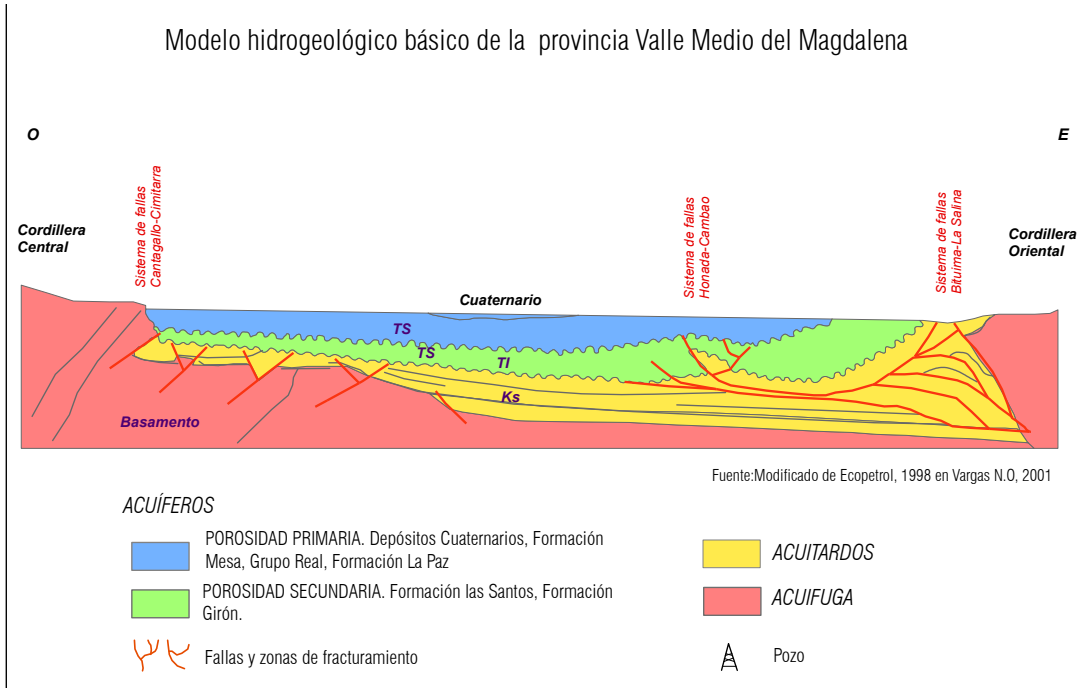


Figura 4.45. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Valle Medio del Magdalena.

La sedimentación terciaria es de tipo continental y los depósitos cuaternarios son depósitos lacustres, abanicos aluviales formados por ríos y quebradas cuando llegan al río principal, terrazas y aluviones recientes. La secuencia terciaria puede alcanzar en este sector un espesor de 762 metros hasta llegar al contacto con el basamento ígneo (Vargas, 2001).

4.3.16. Provincia hidrogeológica de Vaupés-Amazonas

4.3.16.1. Localización geográfica y límites geológicos

Se encuentra ubicada en la margen suroriental del país; limita con Brasil al oriente; con Perú al sur; al occidente limita con el alto estructural que incluye la Serranía de Chiribiquete (SCH); al norte limita con el alto estructural de Vaupés; y con rocas metamórficas precambrianas al nororiente (*Figura 4.46*).

La cuenca hidrogeológica del Vaupés está delimitada al occidente por un alto estructural regional levantado por ajuste tectónico, que incluye la Serranía de Chiribiquete. Otro alto estructural la delimita al norte; y rocas metamórficas precambrianas caracterizadas, como acuifugas, al nororiente. Al oriente, continúa en territorio del Brasil; y al sur, en territorio del Perú.

4.3.16.2. Ambiente geológico

Desde el punto de vista litológico, el departamento está conformado por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas y depósitos sedimentarios, con edades que varían desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente (*Figura 4.47* y *Figura 4.48*).

En esta provincia, las unidades estratigráficas se adelgazan progresivamente desde el occidente hasta la frontera con el Brasil, en donde afloran rocas cristalinas precámbricas que constituyen el núcleo

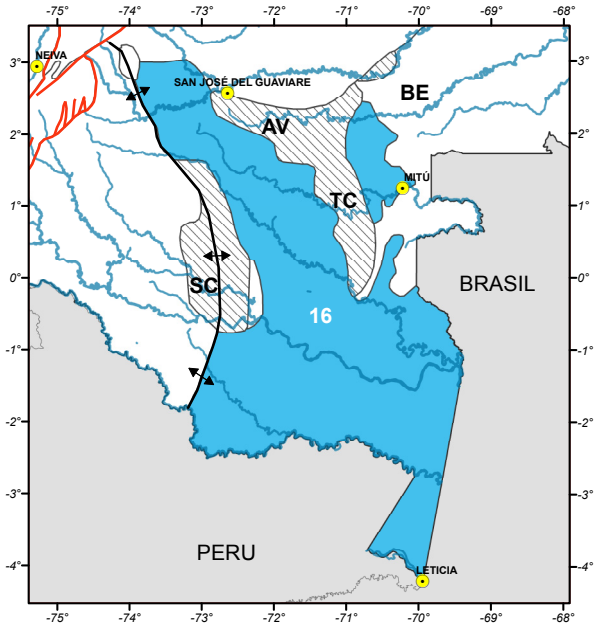
LÍMITE

Norte: Arco del Vaupés (AV)

Sur -Sureste: Fronteras de Perú y Brasil

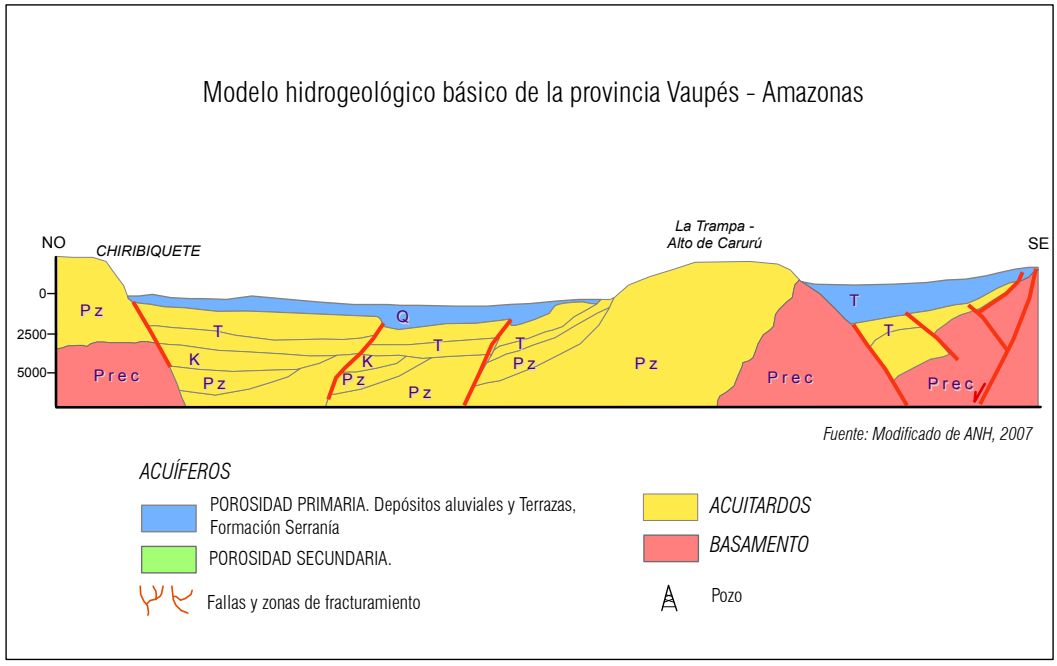
Oeste: Basemento Alto. Serranía de Chiribiquete (SC)

Este: La Trampa - Alto de Carurú (TC)



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.46. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Vaupés-Amazonas.



Fuente: Modificado de ANH, 2007

Figura 4.47. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Vaupés-Amazonas.

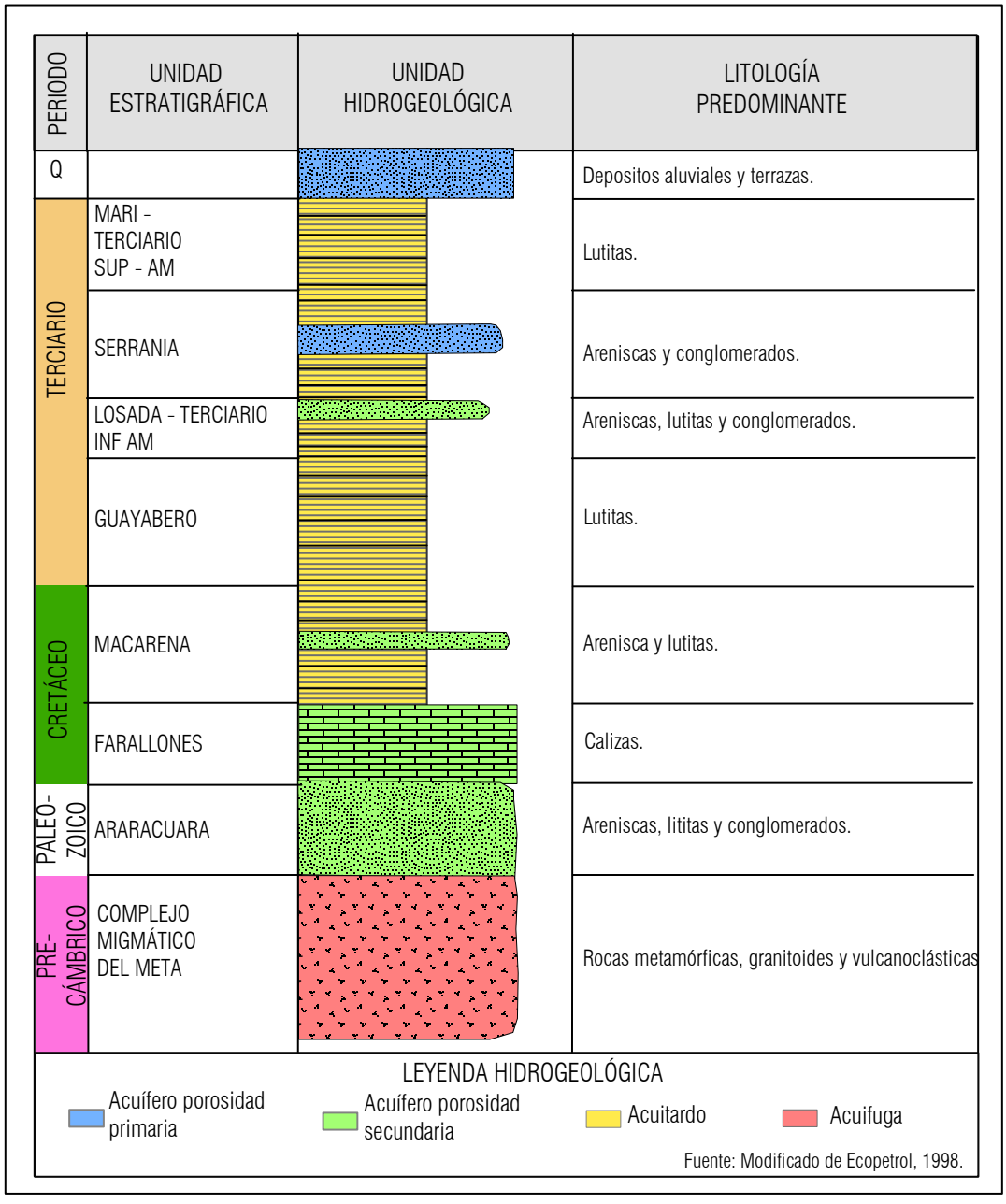


Figura 4.48. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Vaupés-Amazonas.

continental primitivo de Suramérica. La cobertura terciaria corresponde a sedimentitas de origen marino a continental lacustre que descansa sobre rocas sedimentarias del Paleozoico Inferior. En las márgenes de los ríos se presentan acumulaciones detríticas, terrazas y aluviones.

En la *Tabla 4.2*, se presentan las características generales de las dieciséis provincias hidrogeológicas.

4.4. Reservas de agua subterránea en Colombia

El cálculo de las reservas de las provincias hidrogeológicas, cuyos resultados se presentan en la *Tabla 4.2*, se realizaron teniendo en cuenta los conceptos y consideraciones metodológicas que se ilustraron en el *capítulo 1*, en el *capítulo 2* y en este mismo capítulo.

Salta a la vista en la *Tabla 4.2* que el 74,5% del territorio nacional está cubierto por provincias hidrogeológicas y solo el 25,5% (291.620,04 km^2) por rocas ígneas, metamórficas o por ambientes con posibilidades hidrogeológicas desconocidas, limitadas o restringidas, lo cual indica por sí solo una riqueza de recurso hídrico subterráneo que no ha sido objeto de evaluación formal.

Pero, por otro lado, también se observa en la *Tabla 4.2* que el 52% (593.359 km^2) de las provincias se encuentran en la Amazonía, la Orinoquía y en el Chocó, donde el recurso no es prioritario por el alto rendimiento hídrico de estas zonas geográficas y el bajo porcentaje de población que ocupa este territorio. Así pues, el 48% del área cubierta por provincias hidrogeológicas es de importancia en el territorio nacional y a este recurso se deben enfocar las estrategias prioritarias futuras para garantizar la sostenibilidad.

Una aclaración que es necesario realizar tiene que ver con el hecho de que el área total de cada provincia no coincide, por lo general, con las áreas tomadas para el cálculo de reservas, ya que la mayoría de los acuíferos no cubren la extensión de toda la provincia. Para los cálculos, se ha tomado la extensión lateral de cada sistema acuífero. Así mismo, es de resaltar que, en estos cálculos, la recarga no es significativa, puesto que se están calculando reservas hasta los 3.000 metros de profundidad, que son mucho mayores al valor de recarga expresado en la variación de la reserva.

El volumen total de aguas subterráneas es del orden de 5.848x10^9 metros cúbicos (5.848 km^3). En la *Figura 4.49*, se presenta la distribución de las reservas por provincias.

Distribución porcentual de aguas subterráneas en Colombia

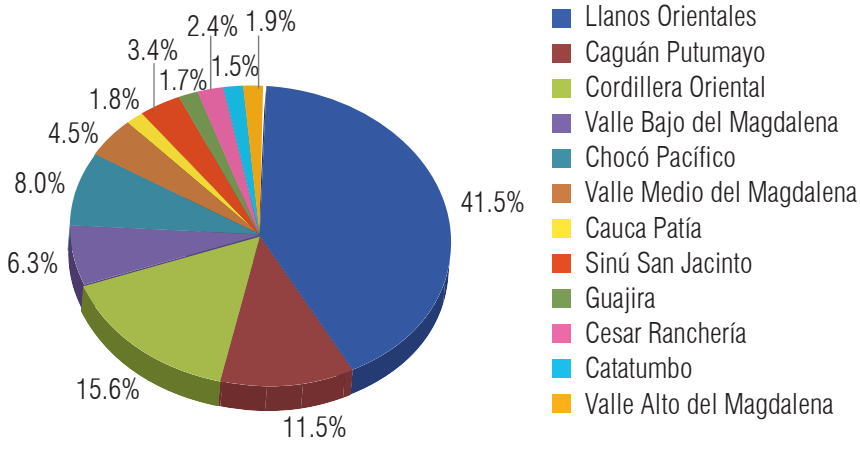


Figura 4.49. Distribución de las reservas de agua subterránea por provincia hidrogeológica.

Tabla 4.2. Características y reservas de las provincias hidrogeológicas.

PROVINCIA HIDRO-GEOLÓGICA	FORMACIONES GEOLÓGICAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO	TIPO DE ACUÍFERO	ÁREA (km^2)	Espesor acuífero (m)	Rendimiento específico	RESERVAS (m^3*10^{10})
Llanos Orientales	Mirador Guayabo/Caja Necesidad Corneta Depósitos reciente de tipo aluvial y terrazas.	Acuíferos libres a semiconfinados en los sedimentos aluviales y de terraza. Confinados para el resto de unidades.	265.547,29	550	0,02-0,08	239,06
Vaupés-Amazonas	Depósitos recientes aluviales y terrazas subrecientes a recientes. Niveles arenosos de las Formaciones Serranía, Araracuara y Guejar (?)	Acuíferos libres a semiconfinados en los sedimentos aluviales y de terraza.	126,050,61	250	0,01-0.05	2,42
Caguán-Putumayo	Depósitos recientes aluviales y terrazas subrecientes a recientes. Niveles arenosos y conglomeráticos de las formaciones Caimán, Caballos y Pepino (?)	Acuíferos libres a semiconfinados en los sedimentos aluviales y de terraza.	140.000,00	360	0,02-0,06	66,11
Cordillera Oriental	Depósitos recientes de origen aluvial y terrazas. Formación Tilata, Formación Regadera. Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe, Formación Cacho y Socha Inferior en el altiplano cundiboyacense. Secuencias clásticas de las formaciones Mesa, Cimarrona, Tabla y Hoyón hacia el piedemonte occidental.	Acuíferos libres a semiconfinados para las unidades recientes. Libres a confinados para el resto de unidades.	59.933,77	3400	0,005-0,1	90,07
Cauca-Patía	En el valle del río Cauca: capas de arenas, gravas y algunas veces cantos rodados, intercalados entre capas de arcillas. Se reconocen tambien como acuíferos los horizontes permeables clásticos y vulcanoclásticos de las formaciones Popayán, Galeón, Patía y Armenia (Glacis del Quíndio).	Acuíferos libres a semiconfinados en la Unidad A y en los niveles arenosos de las formaciones Armenia, Paila, Galeón, Popayán y Patía. Confinados en la Unidad C.	12.500,00	250	0,01-0,15	10,1
Urabá	Depósitos de terraza y llanura aluvial de los ríos principales. Capa de arenisca en matriz arcillosa, interestratificadas con lentes de conglomerado y lodolitas que agrupa las formaciones La Risa, Ciénaga de Oro, Floresanto y Tubará. Formación Carpa constituida por intercalaciones de lodolitas, areniscas y conglomerados.	Acuíferos libre en las unidades de terrazas y llanura aluvial. Semiconfinados a confinados en las Unidades T1 y T2.	5264,43	250	0,01-0,04	0,79
Sinú-San Jacinto	"Sedimentos arenosos y de gravas, areniscas friables y conglomeráticas de la Formación Morroa, Sincelejo, Cerrito, Ciénaga de Oro, San Cayetano, Gravas de Rotinet.	Acuíferos libres a semiconfinados para las unidades recientes. Libres a confinados para el resto de unidades.	37.770,88	970	0,005-0,13	19,40
Valle Bajo del Magdalena	Sedimentos arenosos y gravas de la Formación Betulia. Sedimentos de terraza, aluviales recientes, de cauce aluvial y de ciénaga que conforman acuíferos libres a semiconfinados y los depósitos arenoso del grupo Tubará-Porquero. Areniscas y conglomerados de la Formación San Jacinto.	Acuíferos libres a confinados.	44.917,64	900	0,01-0,05	36,22
Guajira	"Un acuífero libre conformado por las unidades recientes (depósitos de llanura aluvial, de cauce aluvial, de playón, de barra y de dunas). Un acuífero confinado formado por el conjunto detrítico terciario Uitpa y Monguí.	Acuíferos libres a confinados.	13.323,08	580	0,01-0,1	9,99

Continuación ***Tabla 4.2.*** *Características y reservas de las provincias hidrogeológicas.*

PROVINCIA HIDRO-GEOLÓGICA	FORMACIONES GEOLÓGICAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO	TIPO DE ACUÍFERO	ÁREA (km^2)	Espesor acuífero (m)	Rendi-miento específico	RESERVAS (m^3*10^{10})
Catatumbo	FORMACION MIRADOR FORMACION CARBONERA GRUPO GUAYABO COMPLEJO DE LIMOS Y CANTOS RUBIFICADOS TERRAZAS Y ALUVIONES RECIENTES.	Acuíferos libres a semiconfinados en terrazas y aluviones recientes, y confinados en niveles arenosos de las formaciones Mirador, Carbonera y Guayabo.	6.963,31	1150	0,02	8,36
Cesar-Ranchería	Formacion Aguasblancas Formación Molino Formación Barco Formación Cuesta Terrazas altas Terrazas medias Depósitos lacustres y cenagosos Unidades recientes de llanura aluvial (Valle del río Cesar, Los Venados, Ariguaní, Codazzi-Sicarare, Becerril-La Loma, Rincón Hondo, Astrea-San Alberto), de aluviones recientes (Planicie del río Cesar), de abánicos aluviales (Abanicos de Valledupar, de Manuare, de Codazzi, de La Jagua, de Pailitas y de Aguachica) y de terrazas en la esquina nororiental del departamento. Formaciones La Luna y Cogollo	Acuíferos libres en unidades recientes de llanura aluvial, aluviones recientes y terrazas, y Formación Cuesta. En el resto de unidades se conforman acuíferos confinados.	10.099,79	1470	0,005-0,09	14,00
Chocó-Pacífico	Sedimentos fluviales y transicionales del cuaternario localizados en la márgenes de los ríos Atrato, Baudó y San Juan. Niveles arenosos de las formaciones Quibdó y Munguidó.	Acuíferos libres en sedimentos recientes.	31.762,53	800	0,03-0,05	43,86
Tumaco	Sedimentos fluviales y de playa. niveles arenosos de las formaciones San Agustín, Tumaco y localmente Raposo, Mallorquín, Chaguí y Naya podrían representar potencialmente acuíferos discontinuos.	Acuíferos libres a semiconfinados pobres en depósitos recientes y libres a confinados en formaciones terciarias.	23.749,42	570	0,02-0,03	7,18
San Andrés	Formaciones San Luis y San Andrés.	Acuíferos libres a confinados.	25	90	0,01-0,04	0,00196
Valle Alto del Magdalena	Terrazas aluviales antiguas, aluviones recientes y lahares. Abanico de Ibagué compuesto por lahares, flujos piroclásticos y depósitos de canales y el Abanico de Espinal. Conos coalescentes menores conformados por depósitos aluviales de flujos de escombros. Formaciones Honda Gigante y Guacacallo. De menor importancia formaciones Gualanday, Monserrate, Caballos.	Acuíferos libres a semiconfinados en formaciones recientes y del Terciario Superior. Libres a confinados para formaciones más antiguas.	14.686,77	850	0,02-0,01	11,11
Valle Medio del Magdalena	Depósitos aluviales recientes y de terraza, sedimentos detríticos poco consolidados (areniscas, conglomerados) de la Formación Mesa y el Grupo Real.	Acuíferos libres a semiconfinados en unidades recientes y del Terciario Superior. Libres a confinados en unidades más antiguas.	27.533,52	3500	0,005-0,08	26,08
TOTALES			850.127,56			584,753

De esta *Figura 4.49* se puede colegir que las mayores reservas del país se encuentran en las provincias de los Llanos Orientales, Caguán-Putumayo y Cordillera Oriental. Paradójicamente, las provincias con mayor aprovechamiento, como Cauca-Patía, tienen menor cantidad de reservas, aunque suficientes para suplir necesidades actuales y ser incorporadas a estrategias de uso conjunto en el marco de la Gestión Integrada de Recurso Hídrico (GIRH).

Las reservas de aguas subterráneas así estimadas corresponden al 72% de la oferta total de agua superficial y subterránea, lo que las convierte en una alternativa estratégica para hacer frente a disminuciones de caudal por variabilidad y cambio climático.

El valor así calculado es representativo en orden de magnitud, de tal manera que (en gracia de discusión), con cualquier otro cálculo que se realice (incrementando los valores del rendimiento específico o del espesor efectivo de los acuíferos), el resultado final seguirá siendo del mismo orden de magnitud. Lo mismo ocurrirá en el caso de que los parámetros involucrados en cálculos posteriores sean menores en algún porcentaje.

En el futuro, cuando se disponga de mayor información y de valores más precisos, los resultados se deberán revaluar. Es de esperarse, sin embargo, que el cálculo de las reservas se vaya incrementando para la mayoría de las provincias, ya que para el ENA 2010, los parámetros utilizados se consideran bajos en casi todos los casos y, por lo tanto, los valores calculados pueden estar subestimados para la mayoría de las provincias.

4.5. Uso del agua subterránea

La determinación del uso del agua subterránea para cada provincia hidrogeológica se hizo con base en la información disponible sobre caudales extraídos mediante pozos, en los estudios regionales realizados por las autoridades ambientales. Esta información se presenta consolidada por sectores económicos, de manera general. La información reportada por las corporaciones debe ser validada a futuro, pues no obedece al rigor de los registros administrativos, en la mayoría de los casos. En este sentido, se permite aclarar que la información presentada es apenas indicativa y que este deberá ser uno de los temas de profundización de los estudios nacionales de agua en el futuro, para consolidar estadísticas de uso robustas, provenientes de registros administrativos consistentes.

Las provincias con mayor aprovechamiento de aguas subterráneas en la actualidad se relacionan en la *Tabla 4.3*, en términos de uso de las aguas subterráneas para los sectores doméstico, agrícola, industrial, pecuario, servicios y otros.

En esta *Tabla 4.3,* se puede observar que el sector agrícola es el que mayor uso hace del agua subterránea (75%), seguido de lejos por el sector doméstico (9%) y el industrial (7%). El uso de agua subterránea más extendido en el sector agrícola se da en el Valle del Cauca, que consume el 58% del total consumido por el sector en todo el país. El uso en sectores pecuario y de servicios apenas alcanza el 6% en total.

En la *Figura 4.50,* se presenta la distribución de uso según áreas de jurisdicción de corporaciones.

En esta *Figura 4.50,* queda claro que los mayores consumidores de agua subterránea en el país son los usuarios de las áreas de jurisdicción de CVC, CAR, Cortolima, Corpamag, Corponor, Corpoguajira, Carsucre, Corpourabá y Cormacarena. El consumo más alto, sin embargo, está concentrado en los departamentos del Valle del Cauca y Cundinamarca, más en el primero que en el segundo.

Tabla 4.3. Uso del agua subterránea según jurisdicción de la autoridad ambiental.

AUTORIDAD AMBIENTAL	DOMÉSTICO m³/año	INDUSTRIAL m³/año	AGRÍCOLA m³/año	PECUARIO m³/año	SERVICIOS m³/año	OTROS m³/año	TOTAL m³/año	Distribución uso por AA (%)
CORNARE	4.280.221	2.388.467	1.570.074	204.002	48.833	3.869	8.495.467	0,79
CORALINA	1.257.425	0	4.316		3.267.749	0	4.529.491	0,42
CDA	15	3	0	0	0	0	18	0,00
CORPOAMAZONIA	899.608	621.266		91.520	207.520	78.577	1.898.491	0,18
CVS	0	862.825	0	707.352	667.302		2.237.479	0,21
CORPONOR	2.913.687	502.970	25.600.385	44.680	221.920	566.475	29.850.117	2,78
CARDIQUE	4.939.175	774.840	720.014	996.538	0	546.519	7.977.085	0,74
CRC	4.280.221	2.388.467	1.570.074	204.002	48.833	3.869	8.495.467	0,79
CVC	8.598.999	19.600.384	383.850.779	0	0	0	412.050.162	38,41
CARDER	4.316.017	13.251.427	7.884	93.536	154.842	0	17.823.706	1,66
DAGMA	92.843	4.401.281	276.175	0	2.517.753	0	7.288.052	0,68
CORPOCESAR	65	1.443	2.577	0	3.900	0	7.985	0,00
AMVA	83	122	0	0	181	0	386	0,00
DAMAB	14.400	2.530.151	0	0	972.749	0	3.517.301	0,33
CRQ	371.494	867.240	50.458	0	0	27.752	1.316.943	0,12
CORPOGUAJIRA	6.271.096	422.701	3.021.281	2.360.801	0	9.585.608	21.661.488	2,02
CAR	45.713.952	0	164.255.826	27.731.008	2.348.724	19.765.381	259.814.891	24,22
CORTOLIMA	5.106.057	1.589.541	54.434.290	576.194	252.288	79.881	62.038.250	5,78
CARSUCRE	SI	SI	SI	SI	SI	SI	42.000.000	3,91
CORPOURABA	388.457	5.568.753	15.566.710,3	3.120	0	0	21.527.040	2,01
CORPAMAG	3.780.000	4.260.000	63.860.000,0	0	0	94.000	71.994.000	6,71
CRA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	6.035.745	0,56
CRC	0	596.556	429.169,0	0	0	14.215.318	15.241.043	1,42
CARSUCRE	23.055.002	72.808	105.408	732.569		49.433	24.015.220	2,24
SDA	52.012	4.506.084	140.662	62.298	120.926	1.043.338	5.925.320	0,55
CORPONARIÑO	505.958	35.417	47.433			342.152	930.960	0,09
CVS	80.743	271.334	408.592	109.016		2.179.302	3.048.987	0,28
CORPOBOYACA	5625088	282636	565698				6473422	0,60
CORANTIOQUIA	1555200	78071	124416	373248			2130935	0,20
CORMACARENA	22.673.295	1.425.686	-	0	0	205.286	24.304.267	2,27
CORPOCHIVOR	181.260	0	8.515,0	11.116	7569	0	208.460	0,02
CORPO-ORINOQUIA	15.768	0	0	0	5.676	0	21.444	0,00
TOTAL	**146.968.142**	**67.300.472**	**716.620.735**	**34.301.000**	**10.846.766**	**48.786.760**	**1.072.859.620**	**100,00**
Distribución uso por sector (%)	9%	6%	75%	4%	2%	4%		

Fuente: Información reportada al Ideam en 2010 por las Autoridades Ambientales

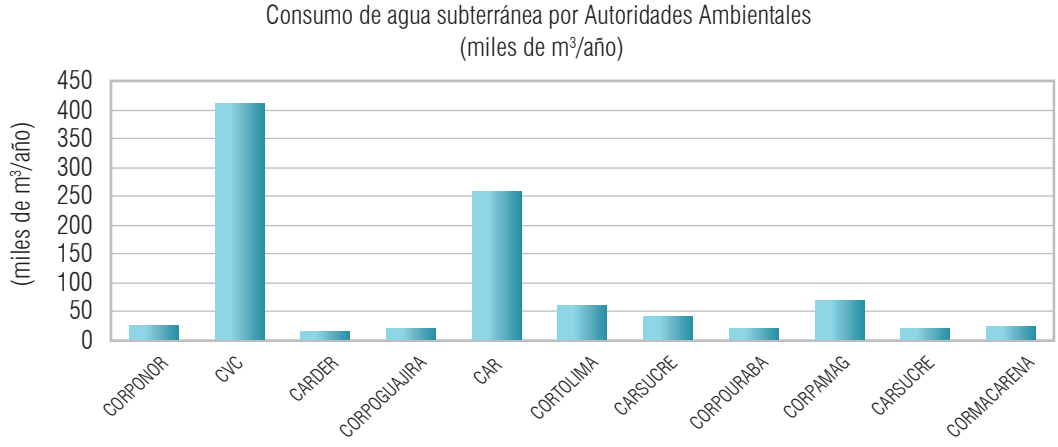


Figura 4.50. Distribución de uso según áreas de jurisdicción de corporaciones.

Si se realiza este análisis por provincias hidrogeológica (*Tabla 4.4*), los resultados corroboran las anteriores aseveraciones.

Tabla 4.4. Distribución del uso de aguas subterráneas por provincia hidrogeológica.

No.	Provincia	Uso Millones de m^3/año	Porcentaje Nacional
1	Cauca - Patía	420	51%
2	Cordillera Oriental	266	32%
4	Sinú San Jacinto	27	3%
5	Guajira	22	3%
6	Urabá	21	3%
7	Valle Bajo del Magdalena	14	2%
9	Llanos Orientales	24	3%
11	Islas de San Andrés y Providencia	5	1%
12	Catatumbo	30	4%

Aquí de nuevo se evidencia que el 83% del consumo de aguas subterráneas está concentrado en las provincias de Cauca-Patía y de Cordillera Oriental. Solamente en la provincia de Cauca-Patía está el 51% de consumo total nacional de aguas subterráneas por los diferentes sectores.

4.6. Conclusiones y recomendaciones

Para efectos de la evaluación cuantitativa de las aguas subterráneas, se seleccionó y aplicó un modelo determinístico que pudiera cumplir con características de simplicidad y que fuese reproducible de manera fácil en el futuro. Las reservas de agua subterránea existentes en Colombia son del orden de 5.848×10^9 metros cúbico (5.848 km^3); esto equivale al 72% del total de oferta superficial y subterránea.

En posteriores estudios y evaluaciones, la información y los resultados se irán revaluando; en todo caso, es de esperarse que el cálculo a las reservas se vaya incrementando en la mayoría de las provincias, ya que para el ENA 2010 los parámetros de cálculo utilizados (espesores de los acuíferos y rendimiento específico) se consideran conservadores y, por lo tanto, los valores calculados están subestimados en un buen número de provincias.

La determinación de las reservas de agua subterránea a nivel de provincias hidrogeológicas servirá para orientar las investigaciones y evaluaciones que, a menor escala, se tendrán que realizar en el país a nivel de cuencas y subcuencas. Igualmente, se podrán tener en cuenta para planear el desarrollo regional y establecer la política nacional de gestión integrada de recursos hídricos que se vaya a plantear a corto, a mediano y a largo plazo, por parte de las instituciones responsables de ello.

La evaluación de los recursos de agua subterránea a nivel de cuencas y subcuencas deberá realizarse en el futuro trabajando a escalas adecuadas, labor que es competencia, más que todo, de las autoridades ambientales (las CAR), previa definición de los alcances y de la metodología específica para cada una de ellas.

Las reservas calculadas para las diferentes provincias hidrogeológicas señalan la presencia de recursos de agua subterránea que se hallan almacenados en el subsuelo, susceptibles de aprovechamiento. La decisión de aprovechar tales recursos de agua subterránea es, por lo general, una decisión política, que nace de la importancia y de la orientación general que el Estado asigne a los sectores de agua potable, riego, uso industrial, recreativo, etc.

Aún no son consistentes las estadísticas de uso del agua subterránea por la dispersión de información y todavía no se utiliza el Formulario Único Nacional de Inventario de Aguas Subterráneas (FUNIA) para recolectar la información. Es necesario fortalecer los sistemas de información con registros administrativos que cumplan con todos lo requisitos para el acopio y transferencia de datos. Aun así es claro que el uso de agua subterránea en el país está concentrado en los departamentos del Valle del Cauca y Cundinamarca, con énfasis en el primero, que consume el 51% del total nacional. Asimismo, es importante resaltar que el sector agrícola es el consumidor más importante de agua subterránea, por el volumen que extrae anualmente, que corresponde al 75% del aprovechamiento total nacional.