

SISTEMA HIDROGEOLÓGICO DEL ALTIPLANO DE RIONEGRO Y DEL VALLE DE LA UNIÓN EN LA ZONA CENTRAL DE ANTIOQUIA

Hoyos P. Fabián, Vélez O. María Victoria, Múnica E. Juan Camilo y Arias Daniel E.

Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín

fhoyos@perseus.unalmed.edu.co

RESUMEN

La investigación hidrogeológica en el altiplano oriental de Antioquia, en sus pisos de Rionegro y de la Unión muestra la existencia de abundantes recursos de agua subterránea tanto en los depósitos aluviales como en las colinas saprolíticas de ambos pisos. En ellos pueden distinguirse los acuíferos libres en los aluviones, en los suelos residuales, y en las rocas fracturadas, y acuíferos confinados en el basamento rocoso. Tanto en los depósitos aluviales como en el basamento rocoso son comunes los acuíferos salados a juzgar por el bajo valor de resistividad que se ha registrado en muchos de ellos. La existencia de acuíferos salados o salobres tanto en los aluviones como en el basamento rocoso debe recibir atención especial por sus implicaciones geológicas e hidrogeológicas.

Las características y la posición de las unidades geomorfológicas mayores permiten postular que la recarga de la precipitación ocurre en su totalidad en los altiplanos de Rionegro, La Unión y Piedras Blancas Santa-Elena. La existencia de seudodolinas contribuye de manera significativa a la infiltración en estos altiplanos, en tanto que la infiltración en las laderas de las montañas que los bordean puede considerarse prácticamente nula.

ABSTRACT

The hydrogeologic exploration using resistivity methods in the Antioquia eastern highlands shows the existence of large groundwater resources both in the alluvial deposits and in the residual soils. The unconfined aquifers are common in the residual soils and in the alluvial deposits, and less common in fractured rocks; confined aquifers are common in the rock basement. Salty aquifers are common both in the alluvial deposits and in the rock basement and deserve attention because of the geological and hydrogeological implications.

The groundwater recharge is almost entirely of local origin at the different levels of the highlands. The occurrence of closed depressions known as pseudokarst contributes to the infiltration at the highlands whereas the infiltration at the slopes is almost null.

1. INTRODUCCIÓN

El Altiplano oriental de Antioquia, es una zona particularmente rica en recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos cuyo uso racional exige una cuidadosa planeación de largo plazo que, a su vez implica el conocimiento detallado del recurso y de las condiciones de demanda y uso del mismo. En el marco de los estudios de aguas subterráneas adelantados por la Universidad Nacional por convenio con la Corporación Regional Rionegro – Nare, CORNARE, hemos llevado a cabo una completa exploración geoeléctrica del altiplano de Rionegro y del valle de la Unión con el objeto de delimitar y caracterizar los recursos de agua subterránea con miras a definir los criterios de reglamentación del uso y manejo del agua subterránea.

El carácter regional del trabajo condiciona la definición de sus alcances y de la metodología utilizada en la

investigación. La exploración geoeléctrica y el modelamiento hidrogeológico han sido hechos con miras a definir un cuadro general de la ocurrencia y circulación del agua subterránea en una extensión cercana a los 1000 km², y no pretenden en modo alguno definir condiciones particulares de sitios específicos. La interpretación que se presenta es eso: una interpretación de la información disponible que debe entenderse en la escala regional del estudio que no puede remplazar los estudios detallados que deben hacerse para los proyectos específicos. El área investigada comprende el altiplano de Rionegro y el valle de La Unión, en las áreas definidas en estudios anteriores (Universidad Nacional, 1997) como de potencial hidrogeológico alto y medio. En la Figura 1 se encuentra la zona de trabajo con la ubicación de los sondeos eléctricos verticales, las perforaciones cuyos registros han sido utilizados en este estudio y algunos afloramientos identificados.

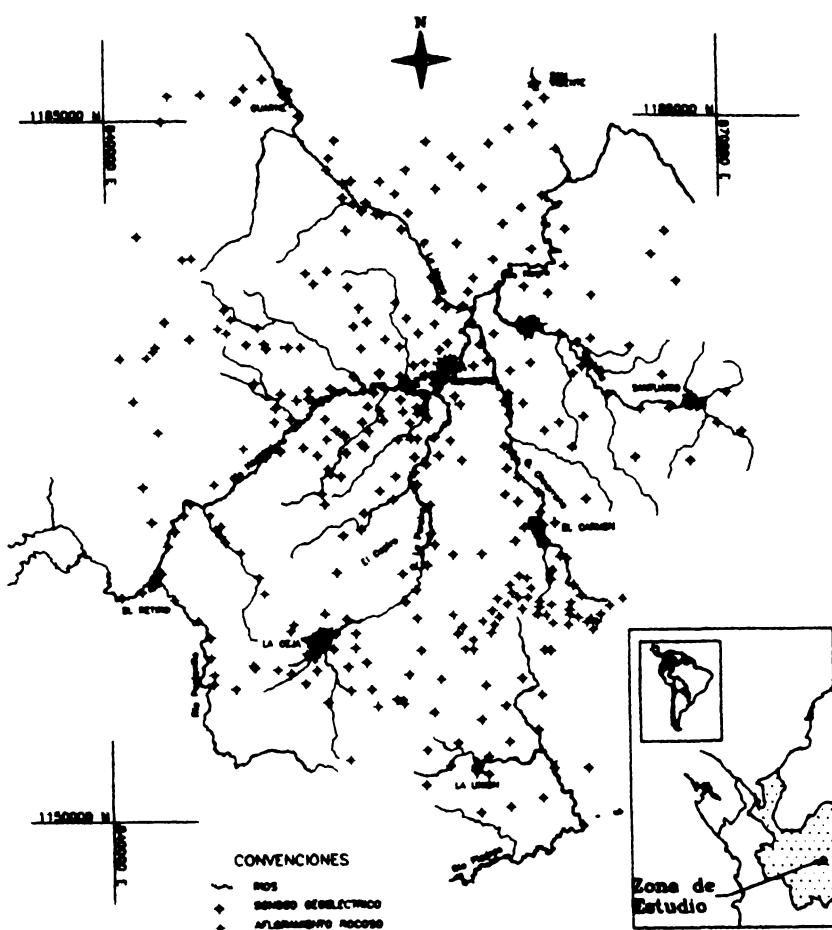


FIGURA 1. Localización de la zona de estudio

En este trabajo se ha definido la cota 2200 como límite del área de los sondeos eléctricos verticales en el Altiplano de Rionegro, en una extensión aproximada de 425 km y la cota 2500 como límite del área de los sondeos eléctricos verticales en el Valle de La Unión, en una extensión aproximada de 75 km². Las zonas aledañas a la zona de estudio en el sector de Las Palmas – Santa Elena - Piedras Blancas, y el escarpe entre los valles de San Nicolás y

La Unión, fueron investigadas en función de los objetivos y alcances del proyecto sin pretender definir allí los acuíferos con el mismo rigor que se hizo en la zona definida como área de interés en el contrato. En la Figura 2 se encuentra un mapa con el relieve generalizado del área en estudio en el que se destaca la extensión de los altiplanos de Rionegro y de La Unión.

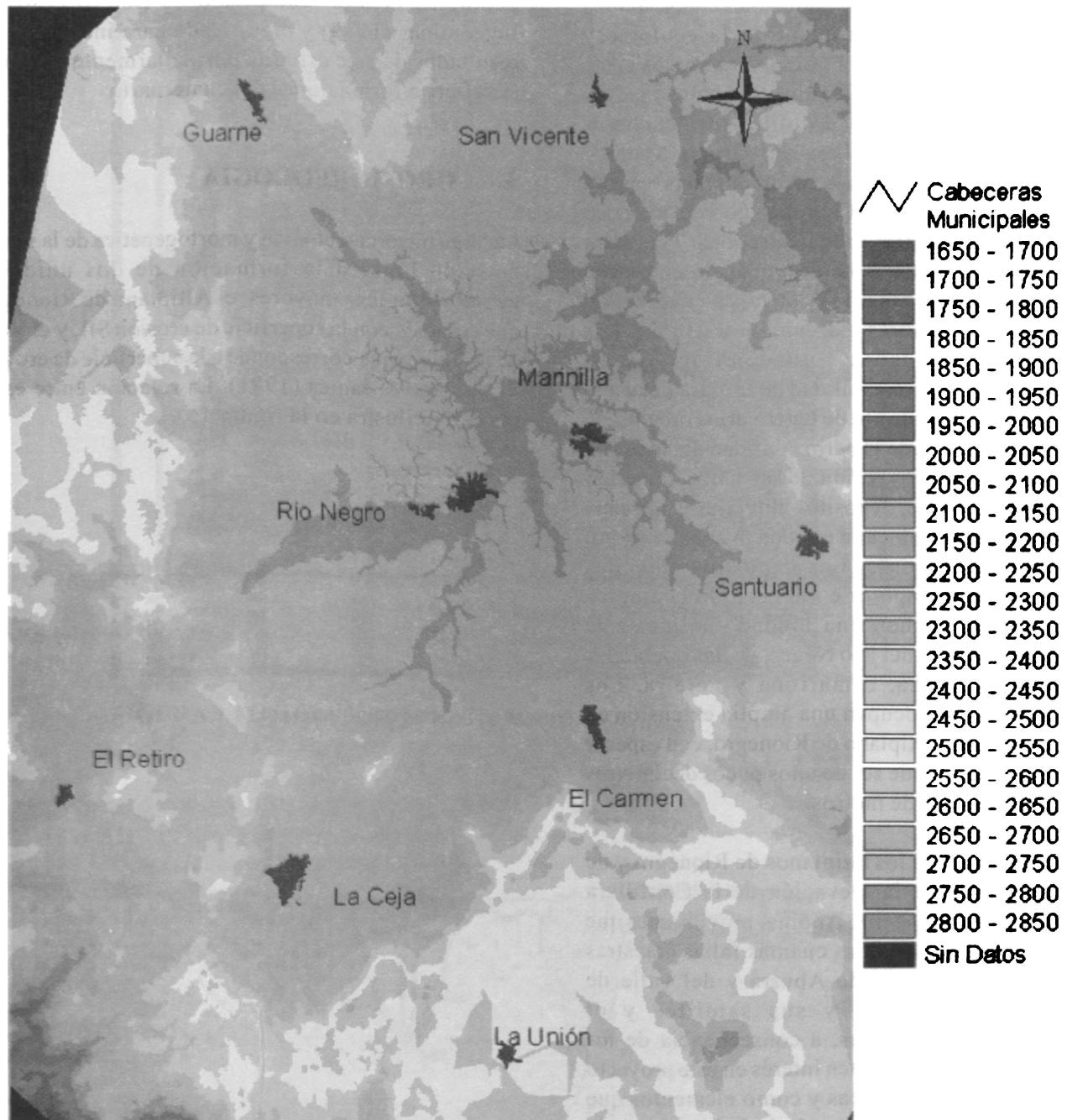


FIGURA 2 Mapa de relieve del altiplano de Rionegro y del Valle de la Unión

2. GEOLOGÍA REGIONAL

La geología e hidrogeología de esta zona han sido estudiadas con diverso grado de detalle por Botero (1963); Durango (1975), Feininger & Botero (1982), Hermelin (1978, 1980, 1992), Hoyos et al (1984), Hoyos & Arnason (1998a), Hoyos et al (1998b), Page & James (1981), Universidad Nacional (1997).

No existen discrepancias fundamentales en los aportes de los autores citados en cuanto a la geología y geomorfología de la zona. El basamento rocoso está formado por rocas cristalinas fracturadas, en particular granitoides del Batolito Antioqueño, y metasedimentos y anfibolitas del Grupo Ayurá – Montebello, de acuerdo con la terminología propuesta por Botero (1963), llamado Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central por Restrepo & Toussaint (1987). En el altiplano se ha desarrollado un grueso regolito, cuyo espesor medio es 80 m, con desviación estándar 50 m, y valores extremos 0 y 230 m. Las estructuras heredadas pueden modificar sustancialmente la permeabilidad de la masa del suelo residual que localmente puede tener varios órdenes de magnitud por encima de la permeabilidad del material en sí. Sobre los suelos residuales se han acumulado depósitos de vertiente, depósitos aluviales y una capa de ceniza volcánica ubicada en toda la zona, excepto en los escarpes rocosos. Los depósitos aluviales alcanzan su mayor espesor e interés hidrogeológico en las vegas, y forman una unidad continua que comprende las vegas del Río Negro, de las quebradas Marinilla, La Mosca, Cimarrona y Pereira. Los depósitos de terraza ocupan una amplia extensión en la parte central del Altiplano de Rionegro, con espesor muy variable que puede ser de unos pocos decímetros hasta varias decenas de metros.

La posición actual de los altiplanos de Rionegro y de La Unión resultó de la elevación de la Cordillera Central durante la orogenia Andina, movimiento que tuvo lugar a lo largo de unas cuantas fallas maestras en los bordes del Valle de Aburrá y del valle de Rionegro. Estas fallas y sus satélites y el fracturamiento de las rocas, a consecuencia de los movimientos tectónicos tienen interés en este proyecto como conexiones hidráulicas y como elementos que definen la permeabilidad secundaria de las rocas y de los suelos residuales derivados de ellas.

En la literatura geológica se han reportado sólo unas pocas fallas en esta región, la mayoría de ellas como contactos fallados entre las rocas metamórficas y el Batolito Antioqueño, con todo, los alineamientos identificables en la cartografía y en las imágenes de sensores remotos permiten postular la existencia de numerosas fallas de interés desde el punto de vista de este trabajo. En la figura 3 se encuentra la información geológica general compilada de Botero (1963) e Ingeominas (1989) y modificada para introducir los resultados de este estudio, particularmente en lo que se refiere a formaciones del cuaternario

3. GEOMORFOLOGÍA

La larga historia tectónica y morfogenética de la región ha dado lugar a la formación de dos unidades geomorfológicas mayores, el Altiplano de Rionegro, que coincide con la superficie de erosión SII, y el Valle de la Unión, que corresponde a la superficie de erosión SI de Page & James (1981). La relación entre estos niveles se ilustra en la figura 4.

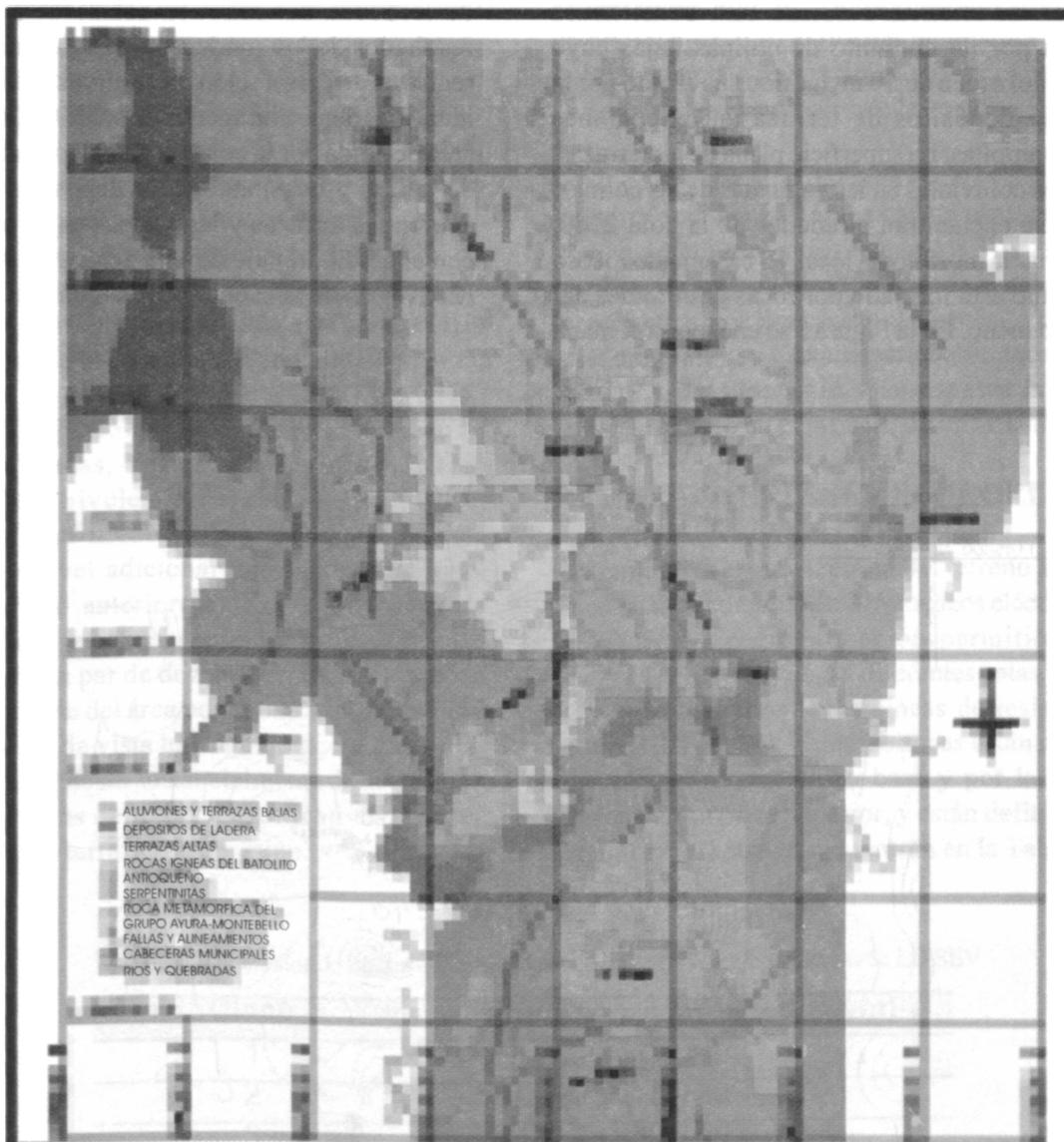


FIGURA 3. Mapa Geológico general de la zona.

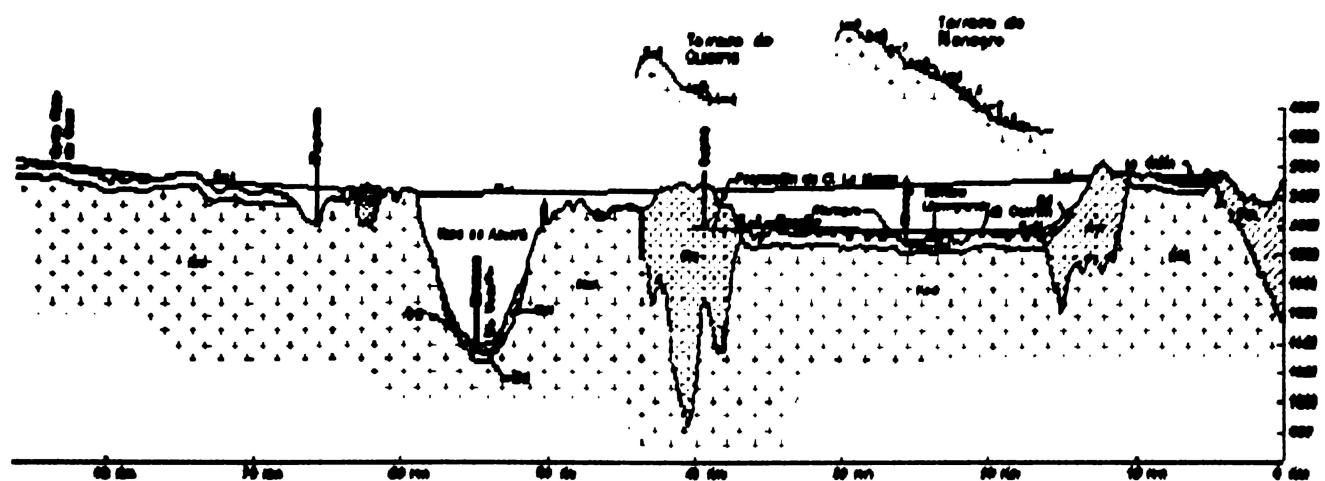


FIGURA 4. Corte esquemático del altiplano de Rionegro y alrededores, Page y James (1981).

El Altiplano de Rionegro forma una penillanura caracterizada por un conjunto de colinas bajas cuyo relieve local, del orden de 50 m, ha sido suavizado por la ocurrencia de depósitos de terraza en extensiones relativamente amplias. La superficie plana de las terrazas, y los depósitos coluviales en las vaguadas de las colinas, cuyas cimas se encuentran alrededor de la cota 2180, llegan a dominar la morfología local. El basamento rocoso de este altiplano está formado por rocas granítoides del Batolito Antioqueño. En la Figura 5 se encuentra el mapa

de isopacas del regolito definidas con base en los resultados de los sondeos eléctricos verticales y en los registros de perforación disponibles, y los alineamientos identificados en imágenes de satélite. En los bordes del área definida por la cota 2200 son comunes los depósitos de ladera y ocasionalmente depósitos coluviales que cubren las terrazas y las colinas bajas o se interdigitan con ellas. El drenaje de esta zona está dominado por el Río Negro, de la cuenca del Magdalena.

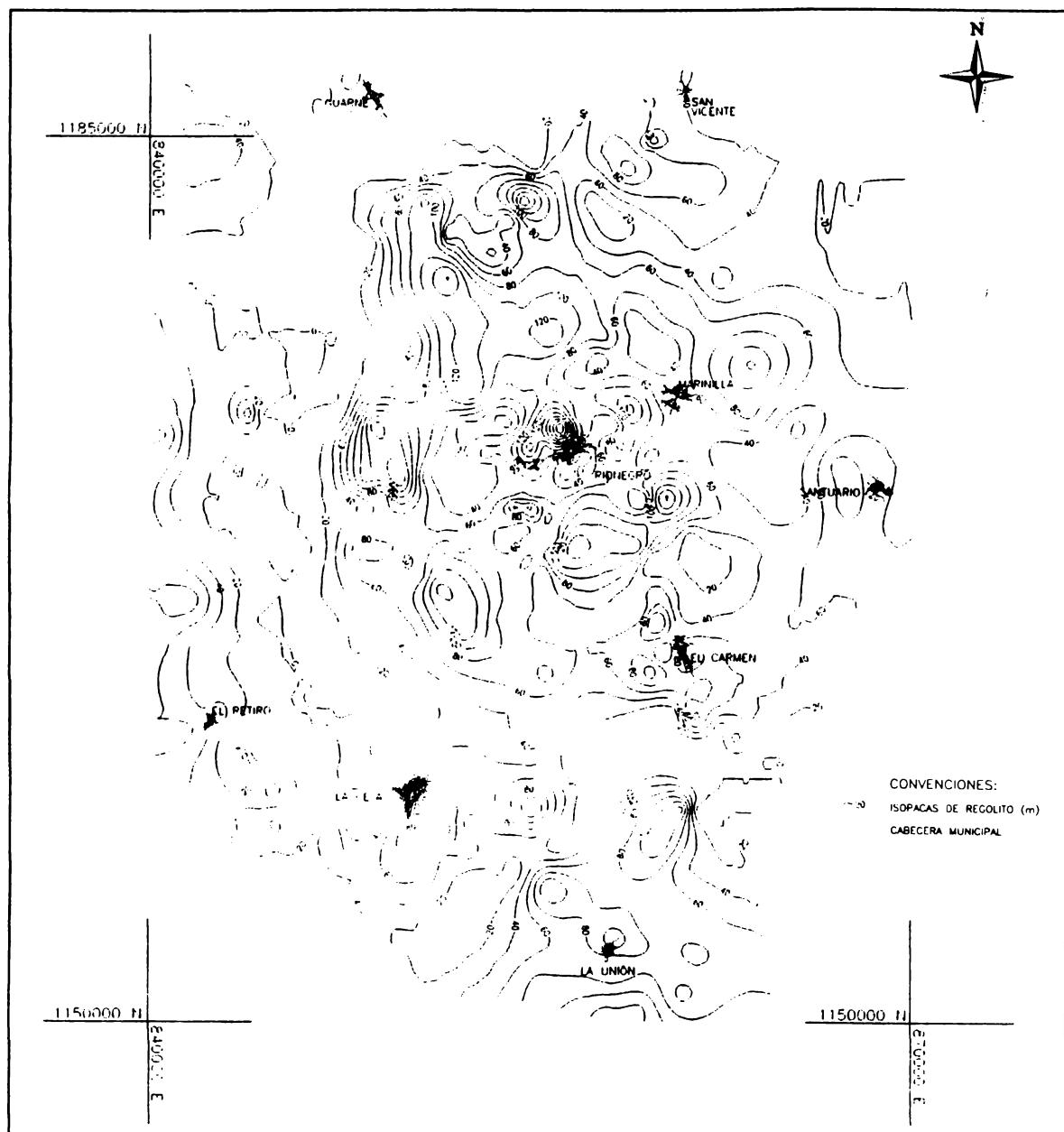


FIGURA 5. Mapa de Isopacas del regolito

El Valle de la Unión forma una especie de artesa con 75 km de extensión aproximada, que se encuentra en su mayor parte por debajo de la cota 2500. Los bordes de la artesa están formados por cuchillas que en algunas partes superan la cota 2600 hasta la 2800. En el basamento rocoso de la artesa predominan los granitoides del Batolito Antioqueño, en tanto que en los bordes de ambos altiplanos el basamento está formado por las anfibolitas y los metasedimentos del Grupo Ayurá Montebello. La corriente principal de esta zona, el Río Piedras, pertenece a la cuenca del Río Cauca.

Terrazas. En el altiplano de Rionegro se han formado un conjunto de terrazas, en las que Durango (1975) reconoció cinco niveles y Page & James (1981) identificaron ocho niveles. En este estudio se ha identificado un nivel adicional por encima del nivel superior propuesto anteriormente. Los depósitos de terraza normalmente tienen un espesor de unos cuantos decímetros hasta un par de decenas de metros y ocupan una parte importante del área por debajo de la cota 2150 m. Desde el punto de vista hidrogeológico regional las terrazas no se diferencian sustancialmente de las colinas, y más que depósitos de terraza significativos, pueden considerarse como terrazas de abrasión.

Vegas aluviales. Esta unidad está caracterizada por una superficie plana ligeramente inclinada en dirección de las corrientes, con una amplitud variable a lo largo de las corrientes principales de la zona.

En toda la extensión del área estudiada se encuentra un manto de ceniza volcánica con un espesor medio de 1.3 m que, en algunos sitios llega a los 3 m; la capacidad de infiltración de este material varía entre unos cuantos centímetros por hora hasta 0.45 m/h. La porosidad de este material y su elevada permeabilidad secundaria, su posición en superficie y su espesor hacen de él un elemento clave en el proceso de infiltración.

4. CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA

La exploración geoeléctrica del terreno se llevó a cabo mediante un conjunto de 276 sondeos eléctricos verticales (SEV) cuya regionalización permitió preparar las isolíneas de resistividad a diferentes cotas. En las Figuras 6 y 7 presentamos las isolíneas de resistividad en las cotas 2100 y 2450. Estas isolíneas están acotadas por el basamento rocoso en su base y por la superficie del terreno en su parte superior, y están definidas por clases en intervalos que se encuentran en la Tabla 1.

TABLA 1. Intervalos de valores de resistividad utilizados en la regionalización de LO SEV

Clase	Rango de resistividad ($\Omega\text{-m}$)
1	0 - 10
2	10 - 20
3	20 - 40
4	40 - 80
5	80 - 160
6	160 - 320
7	320 - 650
8	650 - 1500
9	1500 - 5000

En toda la extensión de la vega aluvial del Río Negro se encuentran limos y arenas, con resistividades entre 60 y 200 Wm, hasta profundidades del orden de 80 m. Por fuera de la vega aluvial propiamente dicha la profundidad del basamento es del orden de 80 m. En la parte más

occidental de la vega del Río Negro, se encontró una gruesa capa cuya resistividad, del orden de 1 Wm, admite como interpretación la ocurrencia de acuíferos salados, apoyada en los antecedentes de la existencia de manantiales de agua salada en esta región.

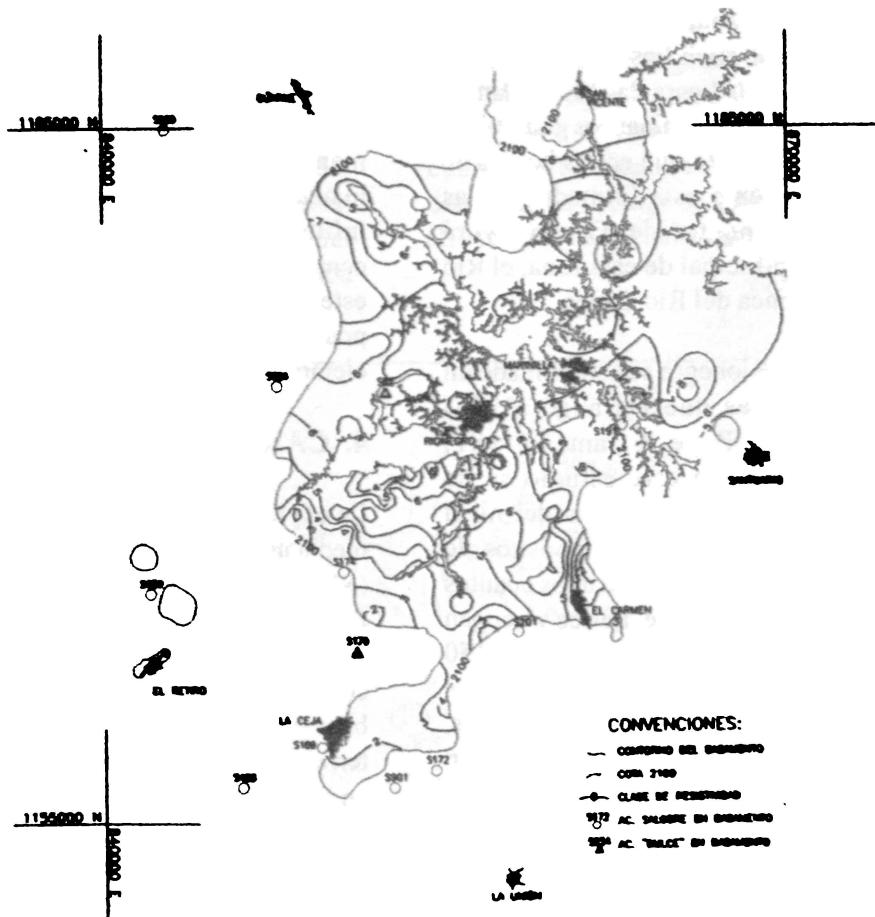


FIGURA 6. Isolíneas de clases de resistividad eléctrica en la cota 2100

Los depósitos aluviales en otras corrientes menores presentan una mayor variedad en los valores de resistividad que puede ser interpretada como una mayor heterogeneidad en su litología. El espesor de los depósitos aluviales es menor en el curso superior de todas ellas.

En las terrazas puede diferenciarse el suelo residual subyacente como limos y arenas que en la mayoría de las ocasiones se encuentran saturadas en el intervalo de valores de resistividad entre 80 y 150 Wm, en el nivel del saprolito, y en el intervalo de valores de resistividad de 250 a 400 Wm en el nivel de gruss. Estos mismos valores de resistividad se encuentran comúnmente en las colinas saprolíticas por debajo del nivel freático; por encima dicho nivel los valores de resistividad son mayores: del orden de 100 a 600 Wm en el nivel del

saprólito, y de 500 a 1000 Wm en el nivel de gruss. En la parte superior del basamento rocoso es común encontrar una fuerte oscilación de la resistividad aparente.

El descenso del valor de la resistividad real hasta valores del orden de 1000 Wm puede ser explicado por la existencia de acuíferos confinados en roca fracturada. En ocasiones el valor de la resistividad real puede descender por debajo de 100 Wm. Estos valores mínimos de resistividad en el basamento pueden ser explicados por la ocurrencia de acuíferos salados. La existencia de fuentes saladas en distintos sitios de la región apoyan esta hipótesis. En las Figuras 8 y 9 se encuentran sendas curvas de resistividad que ilustran la interpretación de la ocurrencia de acuíferos confinados corrientes y acuíferos salados en el basamento rocoso.

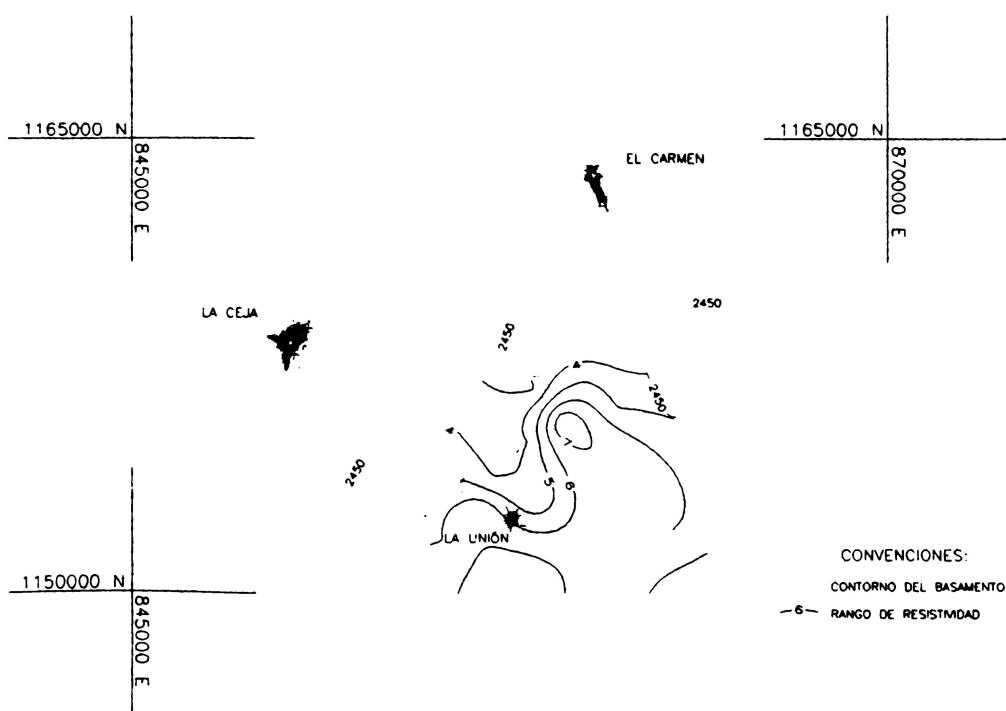
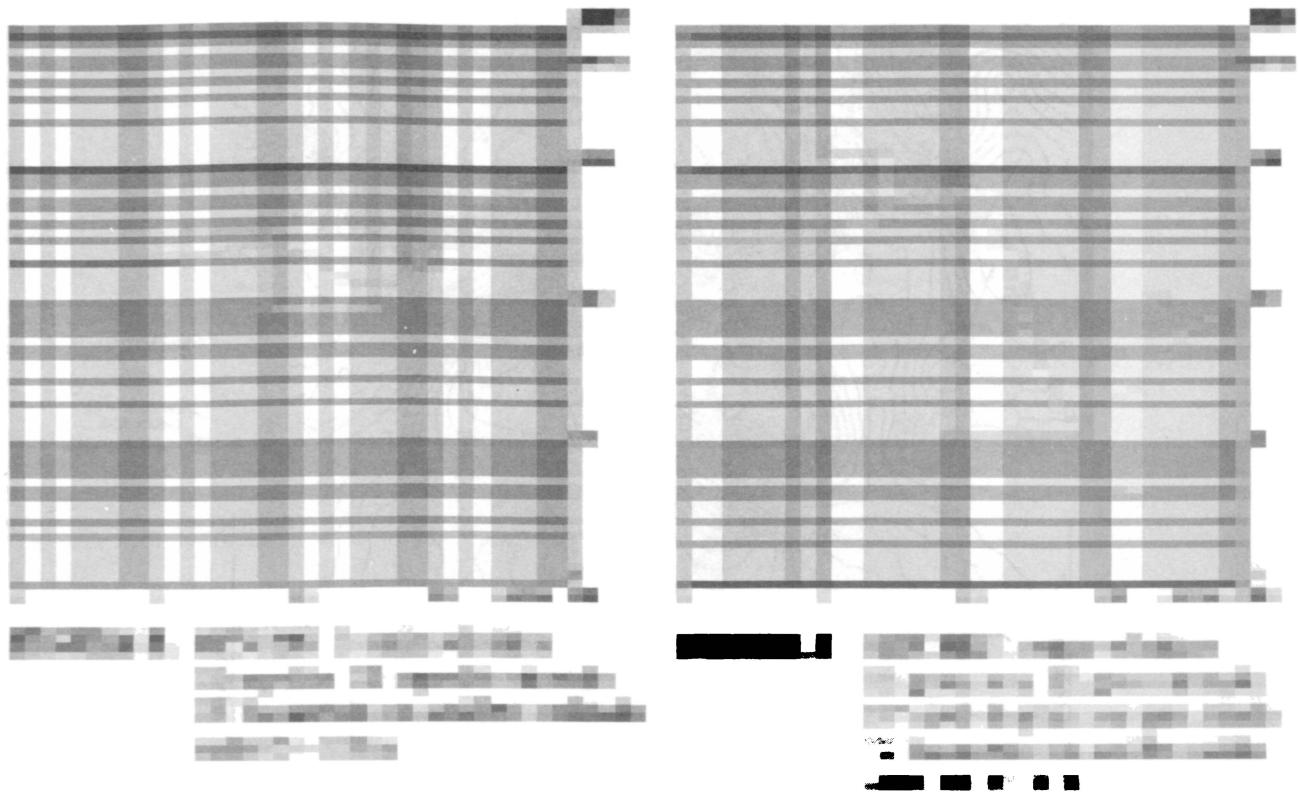


FIGURA 7. Isolíneas de clases de resistividad eléctrica en la cota 2450



5. MODELO HIDROGEOLÓGICO

La totalidad del área del proyecto tiene potencial hidrogeológico y bien puede considerarse que no existen discontinuidades hidrogeológicas mayores en sentido horizontal como lo indica la red de flujo ilustrada en la Figura 10. Los acuíferos libres en aluviones son los más atractivos por su rendimiento probable, en tanto que los acuíferos libres en suelos residuales tienen interés por su amplia distribución y su homogeneidad. Los acuíferos

libres en rocas fracturadas tienen un interés sólo marginal. La existencia de acuíferos salados o salobres tanto en los aluviones como en el basamento rocoso debe recibir atención especial por sus implicaciones geológicas e hidrogeológicas.

Con base en la información disponible puede presentarse una primera aproximación al modelo hidrogeológico regional con el objeto de orientar la exploración geoeléctrica futura y el trabajo de interpretación.

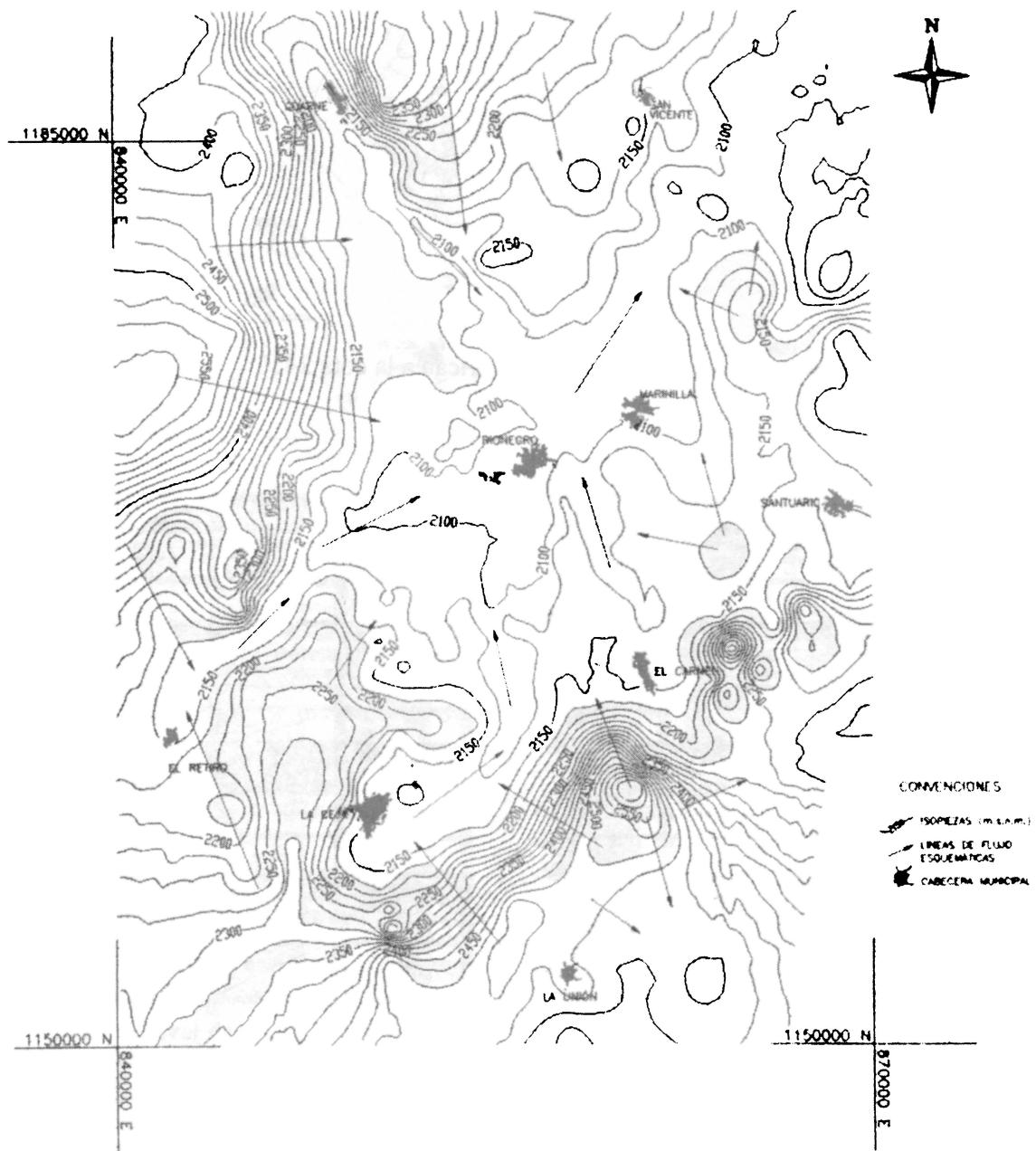


FIGURA 10. Líneas de Isopiezas y red de flujo esquemática

Acuíferos. Los acuíferos de la región pueden clasificarse en cuatro grandes categorías:

- **Acuíferos libres en aluviones.** Corresponden a las vegas aluviales y están formados predominantemente por arenas y limos y en menor medida por gravas. La recarga de estos acuíferos tiene lugar parcialmente por infiltración directa de la precipitación local y parcialmente por la recarga desde el Valle de la Unión y desde el altiplano de Las Palmas - Santa Elena - Piedras Blancas. En estos aluviones es posible encontrar fuentes saladas. En la Figura 11 se ilustra la localización y extensión en planta y profundidad de estos acuíferos.
- **Acuíferos libres en suelos residuales.** Puede considerarse que en la totalidad de la extensión del área del proyecto

por debajo de la cota 2200 en el Altiplano de Rionegro existen acuíferos libres en los suelos residuales cuya recarga tiene lugar tanto por infiltración de la precipitación local como por recarga desde los altiplanos vecinos. La misma afirmación puede hacerse del regolito por debajo de la cota 2500 en el Valle de la Unión. Es posible establecer algunas diferencias locales entre acuíferos propiamente dichos y acuitardos dependiendo de la textura y permeabilidad de los diferentes horizontes. Para efectos de la interpretación regional hemos tomado 120 Wm como el límite inferior de resistividad que caracteriza los acuíferos. Por debajo de este valor consideraremos que la formación se encuentra en la categoría de acuitardo.

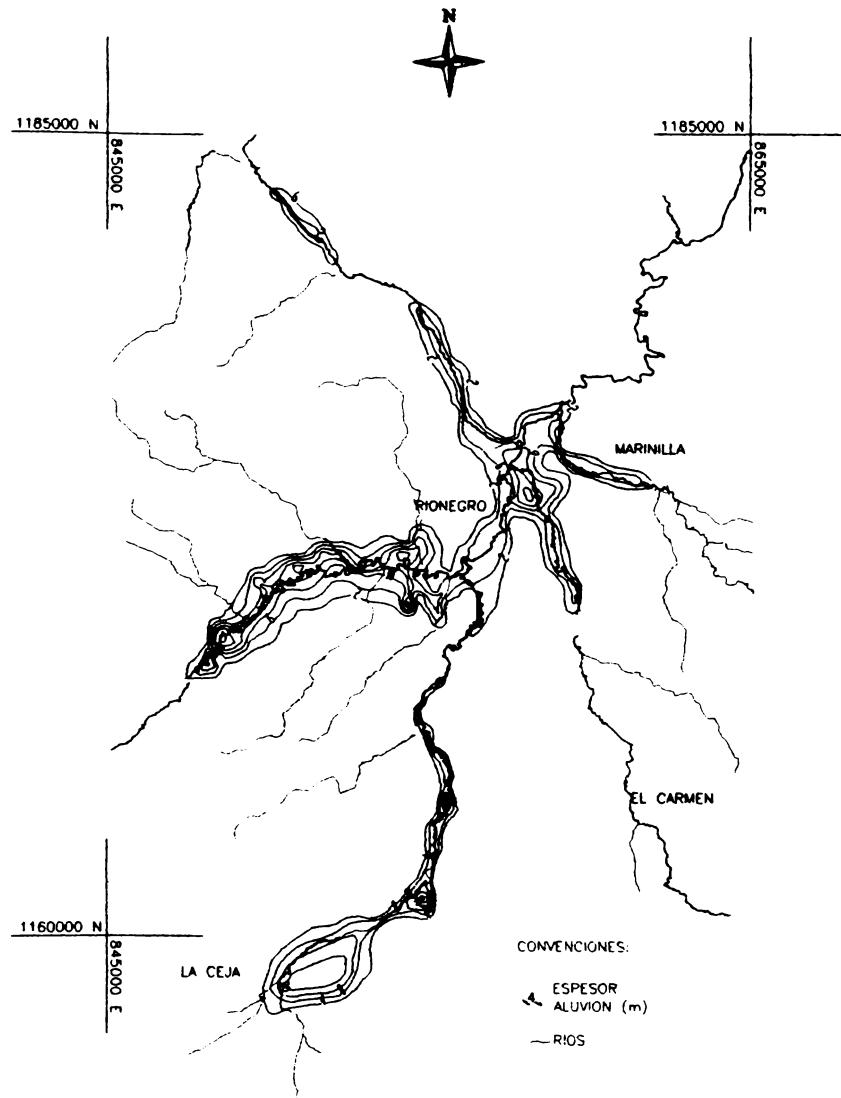


FIGURA 11. Isopacas de acuíferos libres en aluviones y terrazas bajas.

- *Acuíferos libres en rocas fracturadas.* En los escarpes rocosos entre las superficies de erosión SI y SII, donde el regolito es muy somero o inexistente, puede encontrarse acuíferos cuya ocurrencia depende principalmente de la intensidad y del patrón de fracturación de la roca. El área de recarga de estos acuíferos se encuentra en los altiplanos de la cota 2400 – 2500. Su interés es estrictamente local.
- *Acuíferos confinados en rocas fracturadas.* Cuando la variación de resistividad en la parte superior del basamento permitan interpretarla como roca fracturada con agua en las diaclasas, se interpretó éste como un acuífero confinado cuyo acuíclido corresponde al sello de limo en las fracturas de la roca. Estos acuíferos pueden ser de agua dulce en intervalos de resistividad del orden de 1000 Wm, y de agua salada en intervalos de resistividad inferiores a 100 Wm. En las figuras 12 y 13 se encuentra la distribución de los acuíferos confinados en el basamento rocoso, tanto los corrientes como los salobres en las cotas 2000 y 2300. Los acuíferos confinados en el basamento se encuentran distribuidos en una zona alargada con dirección E-W en la parte norte y sureste del Altiplano de Rionegro en las vecindades de las cabeceras de los municipios de Guarne, San Vicente y El Santuario. Los acuíferos salobres confinados en el basamento se agrupan espacialmente

en dos niveles principales y en áreas bien definidas en el Valle de La Unión, en la parte sur del altiplano de Rionegro en la vecindad de las cabeceras municipales de El Carmen de Viboral, Retiro, La Ceja y Rionegro, y en menor medida en la vecindad de la cabecera del municipio de Guarne. En la mayoría de los casos la ubicación de estos acuíferos coincide con elementos toponímicos que hacen referencia a la sal.

Zonas de recarga. Las características y la posición de las unidades geomorfológicas mayores permiten postular que la recarga de la precipitación ocurre en su totalidad en los altiplanos de Rionegro, La Unión y Piedras Blancas Santa Elena. La existencia de seudodolinas (Feininger, 1969) contribuye de manera significativa a la infiltración en estos altiplanos, en tanto que la infiltración en las laderas de las montañas que los bordean puede considerarse prácticamente nula.

La recarga en la cota 2400 – 2500 alimenta en su totalidad los acuíferos en rocas fracturadas y parcialmente los acuíferos en aluviones y suelos residuales. El peso que puede tener la recarga de estos acuíferos a partir de uno y otro piso puede estimarse con base en datos hidrológicos y de la relación entre sus áreas. La ponderación del aporte de las áreas de recarga propuestas a los diferentes acuíferos puede optimizarse mediante el uso de técnicas isotópicas (Hoyos & Arnason 1998, Hoyos et al, 1998)

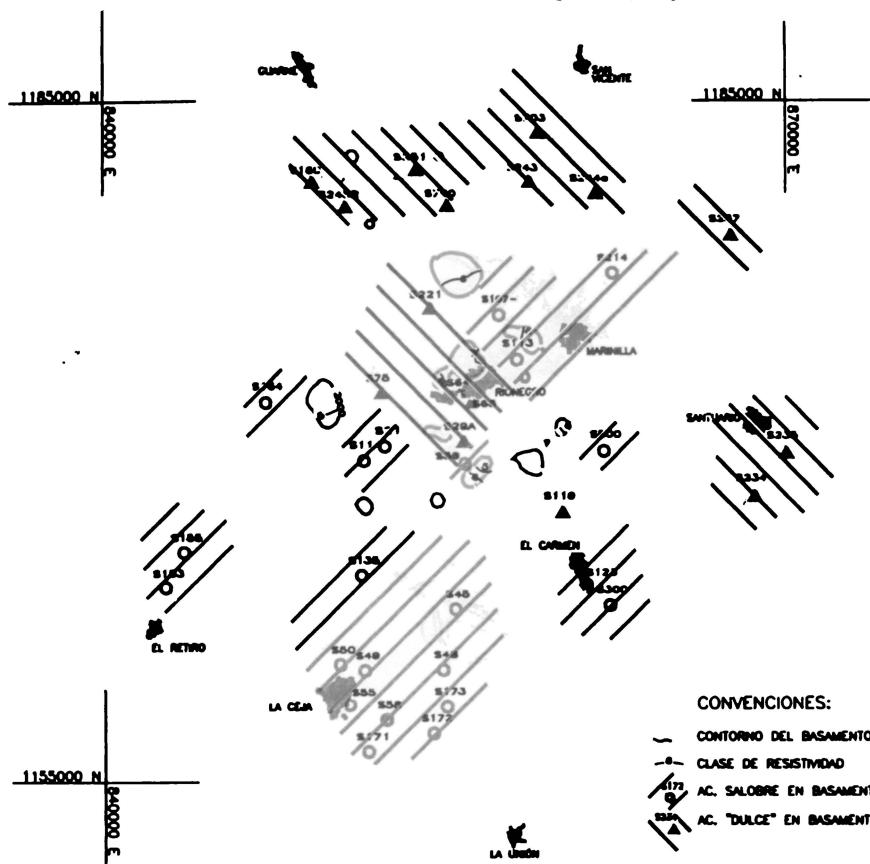


FIGURA 12. Acuíferos corrientes y salobres confinados en el basamento rocoso, cota 2000.

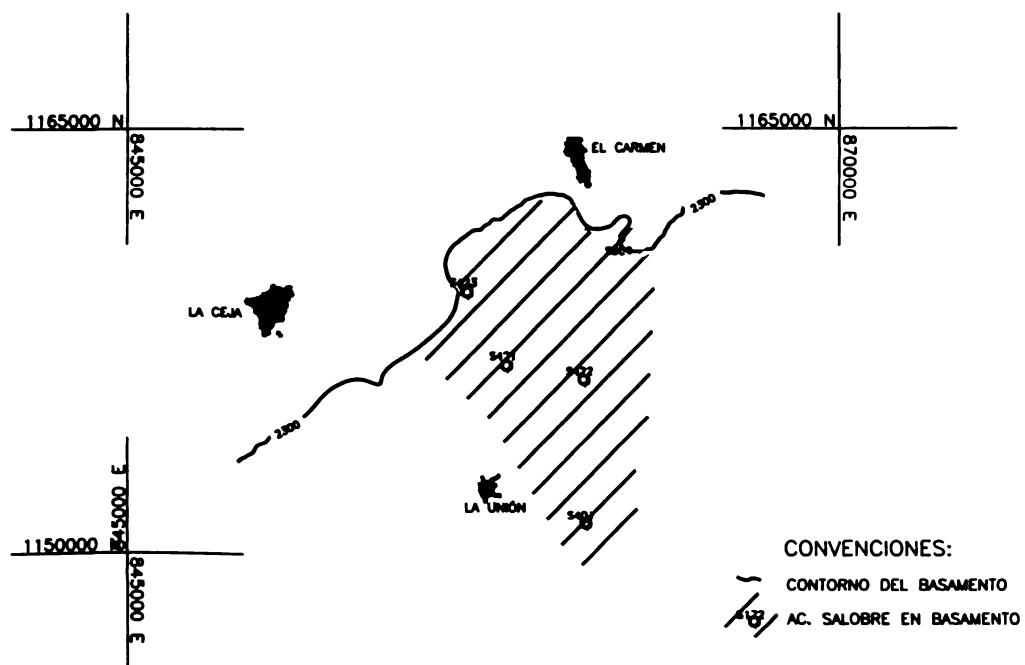


FIGURA 13. Acuíferos corrientes y salobres confinados en el basamento rocoso, cota 2300.

6. REFERENCIAS

- Botero, G., 1963, Contribución al conocimiento de la Geología de la Zona Central de Antioquia, Anales de la Facultad de Minas, 57, 101 p, Medellín.
- Durango, J., 1975, Erosión y formación de terrazas fluviales en climas tropicales, terrazas del Rionegro y de sus afluentes, Trabajo de grado, 56 p, Facultad de Minas, Medellín.
- Feininger, T. & Botero, G., 1982, The Antioquia Batolith, Publicación Especial, 12, 50 p, Ingeominas, Bogotá.
- González, H., 1978, Geología de las hojas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina) del mapa geológico de Colombia, Informe 1760. 262 p, Ingeominas, Medellín.
- Hermelin, M., 1980, Cenizas volcánicas cuaternarias en el Oriente Antioqueño, Guía de Excursión Rionegro – Santa Fe de Antioquia, Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá.
- Hermelin, M., 1992, Los suelos del oriente antioqueño un recurso no renovable, Bulletin d'Institut Français d'Etudes Andines, 21(1), 25-36.
- Hoyos, F., 1990, Efecto de infiltraciones distantes en la inestabilidad de laderas de alta pendiente, Boletín de Vías, XVII, 71, pp 97 – 128, Universidad Nacional, Manizales.
- Hoyos, F. & Arnason, B., 1998, El caso del gradiente cero: isótopos estables en la hidrogeología de la Zona Central de Antioquia, XII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Memorias, pp 195 –206., Bogotá.
- Hoyos, F., Arnason, B & Salazar, B., 1998, Del altiplano al valle: una conexión hidráulica inferida a partir de información isotópica, XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Memorias, pp 379 – 389, Guayaquil.
- Hoyos, F., Hermelin M. & Toro G., 1984, Régimen de aguas subterráneas en suelos residuales profundos derivados de rocas ígneas y metamórficas en la Cordillera Central de Colombia, Congreso Colombiano de Hidráulica.
- Page, W.D. & James, M., 1981, The antiquity of the erosion surfaces and Late Cenozoic Deposits, Memoria del Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia, Revista CIAF, 6, 1-3, pp 421 453, Bogotá.
- Restrepo, J.J. & Toussaint, J:F:, 1987, El Grupo Ayurá Montebello ¿tiene todavía validez estratigráfica? Seminario Gerardo Botero Arango, pp 167- 173, Medellín.
- Universidad Nacional de Colombia, 1997, Evaluación hidrogeológica preliminar para los municipios de El Retiro, Rionegro, La Ceja, El Carmen de Viboral, Guarne y Marinilla, Medellín.

