

RELACIÓN ENTRE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUBSUELO Y ACUÍFEROS ALUVIAL-DELTÁICOS CERCA DE TURBO, ANTIOQUIA

Víctor MUÑOZ MORA* y César RODRÍGUEZ CÁRDENAS*

RESUMEN

En los alrededores de Turbo, Antioquia, en depósitos sedimentarios de la unidad geomorfológica denominada Complejo Costanero de Urabá se realizaron estudios integrados con métodos geofísicos e hidrogeológicos.

Se investigó la resistividad eléctrica del subsuelo, que permitió determinar cinco (5) zonas geoelectricas cada una de las cuales está relacionada con un ambiente hidrogeológico específico.

La zona con el mejor potencial acuífero está conformada por arenas y gravas intercaladas con arcillas y limos, y su resistividad está comprendida entre 15 y 20 ohm-m. Existe una capa somera contaminada con agua salada de la cuña marina cuya resistividad varía de 1.5 a 5 ohm-m.

ABSTRACT

A study integrating resistivity and hydrogeologic methods was made of the Uraba Coastal Complex deposits in the northern part of banana region near Turbo, Antioquia, in order to search for fresh water aquifers.

The nature of the depth-profile curves, obtained by geoelectrical prospection determined five resistivity zones, each of which is restricted to a specific hydrogeological environment. The best zone is formed by sands and gravels interbedded between clays and silts (15-20 ohm-m), and the worse is a shallow aquifer contaminated with salt-water (1.5 - 5 ohm-m).

GENERALIDADES

En los últimos 20 años se ha utilizado en Colombia, en forma creciente, el método de resistividad eléctrica o simplemente geoelectrica, para investigar la ocurrencia de aguas subterráneas y su caracterización hidroquímica en cuanto se refiere a la salinidad.

* Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, A.A. 1027, Medellín.

La región del Urabá antioqueño, debido a las necesidades de agua potable para los asentamientos humanos, en especial de los municipios de Turbo, Apartadó, Carepa y Chigorodó, además de los requerimientos de agua de la agroindustria bananera, ha tenido que abastecerse con aguas del subsuelo.

En Turbo y sus corregimientos de Currulao, El Tres y El Dos, situados al noroeste de Antioquia (Fig. 1), se realizó una investigación geoeléctrica cuyos resultados se consignan de manera sumaria en este artículo. Se analizaron los perfiles de resistividad aparente - profundidad obtenidos de 18 sondeos eléctricos verticales, los cuales se compararon con los datos obtenidos de la geología de superficie y de las columnas litológicas de 16 pozos construidos en diferentes épocas desde 1975 hasta 1992.

De tiempo atrás, el Municipio de Turbo ha sufrido de la escasez de agua para abastecer el acueducto municipal y cuando se han perforado pozos o construido aljibes, la concentración salina del agua la ha hecho inutilizable, o bien la salinidad aumenta paulatinamente a medida que se extrae el agua, lo cual indica que la cuña de agua marina invade los acuíferos someros que tienen comunicación hidráulica con el mar.

La investigación geoeléctrica fue precedida por una interpretación fotogeológica de la región para comprender mejor las condiciones geológicas e hidrológicas y así orientar adecuadamente el plan de trabajo y la ubicación de los sondeos eléctricos verticales.

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La ciudad de Turbo y sus alrededores están asentados sobre rocas sedimentarias. Al oriente, en las colinas de la Serranía de Abibe afloran rocas consolidadas del Terciario Superior, tales como conglomerados y areniscas relativamente permeables intercalados con limolitas y arcillolitas. En la planicie entre el piedemonte y el litoral se presentan depósitos no consolidados que hacen parte del relleno aluvial transicional formado durante el Cuaternario (Figura 2.).

El Complejo Costanero de Urabá se originó como consecuencia del relleno de parte de la depresión del Golfo de Urabá, con los sedimentos de los ríos Atrato y León y de las corrientes que bajan desde la Serranía de Abibe, en un ambiente transicional fluvial-deltaico (Muñoz y Rodríguez, 1992).

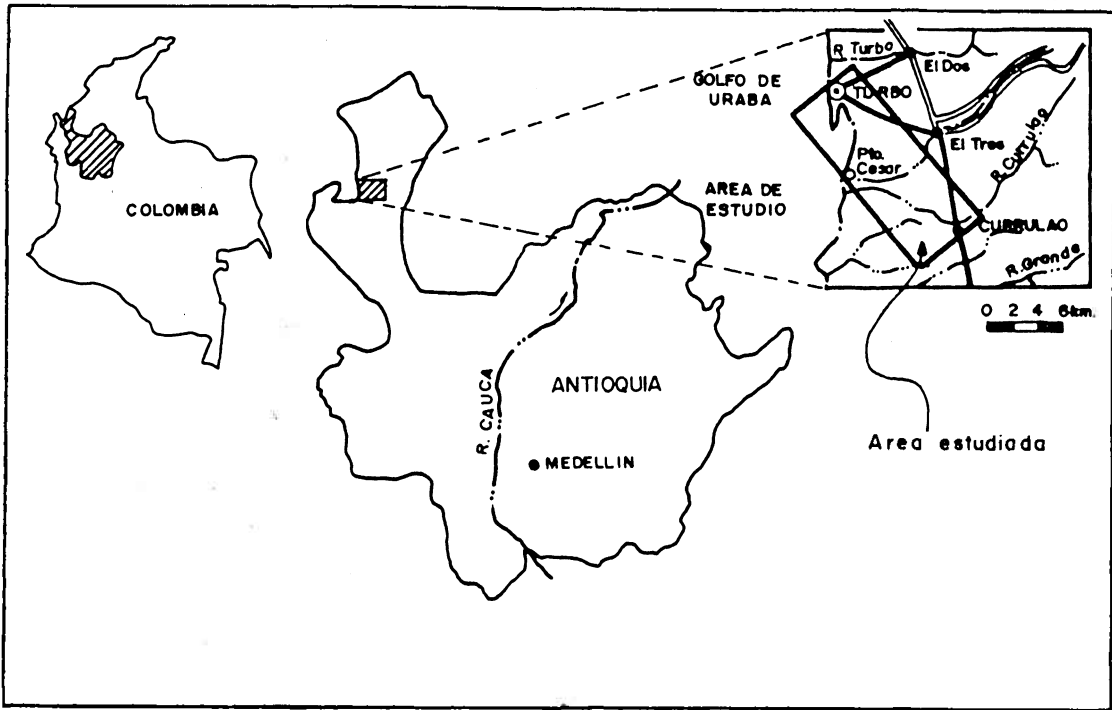


FIG.1. Ubicación del área de estudio.

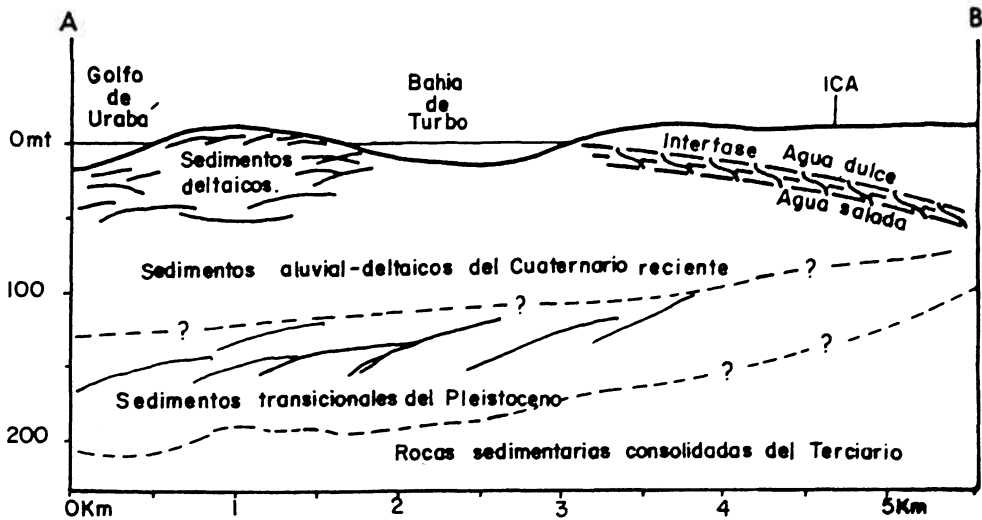


FIG.2. Perfil hidrogeológico.

En la región investigada la red hidrográfica está controlada por los ríos Turbo, Guadualito y Currulao, que recogen numerosas corrientes de agua provenientes de las colinas situadas al oriente. La capacidad de arrastre del río Turbo no es muy grande y su carga de sedimentos está representada, en su mayor parte, por limos y arenas finas, los cuales al llegar a la planicie, han formado abanicos aluviales de poca magnitud, jamás comparables a los grandes abanicos de los ríos Apartadó y Chigorodó, cuyas corrientes tienen capacidad de transportar sedimentos mucho más gruesos.

Los sitios más favorables para hallar acuíferos, son los paleocanales donde pueden existir barras o diques aluviales sepultados constituidos por arenas y gravas, cuya porosidad y permeabilidad pueden permitir el movimiento y almacenamiento del agua subterránea. La zona de divagación del río Turbo durante el Cuaternario Tardío, que cubre una franja de aproximadamente dos kilómetros de ancho por ocho de largo entre el caserío El Dos y la cabecera municipal de Turbo, tiene buenas posibilidades para hallar paleocanales. Lo mismo puede afirmarse con respecto a las zonas de divagación de los ríos Guadualito y Currulao.

En la región se han determinado dos unidades litoestratigráficas: sedimentos del Cuaternario y rocas sedimentarias del Terciario.

Sedimentos del Cuaternario

Componen el relleno aluvial de la zona baja y cubren la parte plana del sistema Atrato - León.

La superficie del terreno está cubierta por un material arcilloso y en el subsuelo se encuentra una alternancia de capas arcillosas y arenosas, dispuestas en forma imbricada.

La incidencia de antiguos correderos del río Turbo, pudieron haber dejado canales o depósitos deltáicos, cuyos materiales permeables y su conexión hidráulica favorecen el almacenamiento y transmisión del agua subterránea.

El espesor del relleno aluvial varía de un sitio a otro, dependiendo del relieve de la formación subyacente y de su ubicación con respecto al eje Atrato - León. Las perforaciones profundas realizadas en el área de Chigorodó, para la exploración petrolera, encontraron un espesor de 290 metros para el relleno aluvial (Restrepo, 1985). Hacia el área de Turbo, se espera encontrar un mayor espesor del relleno, por su distante ubicación con respecto al piedemonte

y su cercanía a la desembocadura del sistema aluvial Atrato - León.

Rocas Sedimentarias del Terciario

Afloran en las colinas y cerros de la Serranía de Abibe, y se componen de capas de areniscas y conglomerados, intercaladas con capas de limolitas y arcillolitas; localmente presentan mantos de carbón. Su espesor es mayor de 2.000 metros y presenta una mayor consolidación que los sedimentos cuaternarios.

Los sedimentos terciarios fueron depositados en un ambiente transicional y se los encuentra tanto de origen marino como continental. En la planicie, los sedimentos terciarios infrayacen a los del relleno cuaternario.

Estructuras

Los sedimentos cuaternarios yacen en posición horizontal a subhorizontal con un leve ángulo de inclinación, desde la parte alta u oriental a la baja u occidental, concordante con el gradiente de sedimentación aluvial.

Es posible encontrar, dentro del relleno cuaternario, desplazamiento de las capas ya sea por la influencia de fallas debido a la actividad tectónica, o por el carácter imbricado del depósito.

El contacto entre los sedimentos cuaternarios y las rocas terciarias es discordante y corresponde a una superficie de erosión.

Las rocas terciarias, aflorantes hacia la zona alta o Serranía de Abibe están plegadas y falladas y se observan regionalmente algunas estructuras anticlinales y sinclinales.

Los estratos del terciario que conforman las colinas bajas al oriente de la planicie aluvial están inclinados 40° a 50° hacia el occidente; estas rocas están en el flanco occidental de un anticlinal cuyo eje está situado hacia el este de las colinas (Muñoz y Rodríguez, 1992).

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Según las columnas litológicas de los pozos perforados en cercanías de la población de Turbo, los primeros 50 m.

corresponden a una sedimentación fluvio-deltáica en un medio salobre de marismas y manglares. Desde la superficie hasta los 150 metros de profundidad se han identificado dos acuíferos:

- El primero es un acuífero semiconfinado poco profundo, constituido por intercalaciones de arenas finas y gravilla entre capas de limos y arcillas, que se puede hallar a partir de los 20 metros hasta los 50 metros. Este acuífero contiene agua salobre y no se puede utilizar.

- El segundo acuífero es confinado y se puede encontrar desde 70 metros de profundidad; su nivel piezométrico está encima de la superficie del terreno, razón por la cual los pozos que lo interceptan son saltantes; consiste de arenas finas y medianas con gravas intercaladas con capas de limo y arcilla. El agua de este acuífero es dulce y se puede aprovechar para todos los usos; sin embargo, los pozos cercanos a la costa que lo captan, deben bombearse a ratas muy bajas, quizás a menos de 2 litros por segundo, de acuerdo con pruebas de bombeo realizadas en tres pozos: Casanova 1, Casanova 2 y Medellín. Si extraen caudales mayores de 2 litros por segundo, se corre el riesgo de que la cuña de agua salada avance hacia el continente y contamine e inutilice este acuífero.

Ningún pozo de la región de Turbo ha alcanzado una profundidad mayor de 150 metros; no obstante el espesor de los sedimentos es aproximadamente de 250 metros, lo cual significa que a profundidades mayores de 150 metros existen probabilidades de captar agua más abundante y de buena calidad.

A menos de 100 metros de profundidad se producen gases por la descomposición de la materia orgánica, los cuales suelen crear turbulencias que introducen violentamente las arenas finas a través de los filtros.

Las transmisividades calculadas en Casanova para el acuífero confinado varían entre 0.25 y 0.33 m³/hora/m., lo cual muestra que este acuífero únicamente puede suministrar agua para usos domésticos de pequeñas comunidades, cuando se perforan pozos a menos de 110 metros de profundidad y a una distancia menor de 2 kilómetros del litoral (Muñoz, 1994).

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUBSUELO

La Geoelectrónica en Colombia es el método geofísico de mayor uso en la exploración del agua subterránea; se utiliza para

conocer la litología del subsuelo diferenciando entre capas permeables e impermeables, estimar la profundidad y el espesor de cada capa, y suministrar información sobre la salinidad del agua de saturación; de su correlación con la geología e hidrogeología se deduce el carácter acuífero del subsuelo.

En un sondeo geoelectrico se mide, utilizando corrientes eléctricas, la resistividad de las rocas en función de su profundidad. Estas medidas se representan por medio de una curva, cuya escala vertical indica la resistividad (ohmio - metro) y la horizontal muestra la profundidad (metros) (Fig.3).

La curva del sondeo se interpreta con la ayuda de modelos matemáticos. Esta interpretación se representa en cada curva con un diagrama de líneas continuas, horizontales y verticales, en donde se visualiza la resistividad verdadera de cada capa geoelectrica, y su profundidad y espesor. Se le asigna una letra a cada capa para facilitar su identificación y correlación.

El proceso de interpretación hidrogeológica de las capas permite diferenciar la litología del subsuelo y su carácter acuífero.

Relación entre resistividad y litología

Se puede establecer que la resistividad de las capas (ρ), es función de la resistividad del agua (w) y del factor de formación (F), en un medio completamente saturado.

$$\rho = F \times \rho_w \text{ (ohm-m).}$$

Para realizar la interpretación hidrogeológica en los sondeos, hay que definir estos tres parámetros; cada uno tiene un amplio rango de variación.

La resistividad de las capas (ρ) se obtiene de la interpretación matemática de los sondeos. Así, para el área estudiada valores menores de 10 ohm-m. caracterizan las unidades arcillosas; valores entre 10 y 20 ohm-m. indican unidades arenosas; entre 20 y 40 ohm-m. predominan las gravas. Cuando la capa no está saturada los valores de resistividad son mayores a los establecidos; pero cuando están saturadas con agua de mayor salinidad, sus resistividades son menores. Una capa arenosa disminuye su resistividad a mayor porcentaje arcilloso, mientras que una capa arcillosa aumenta su resistividad con el aumento del

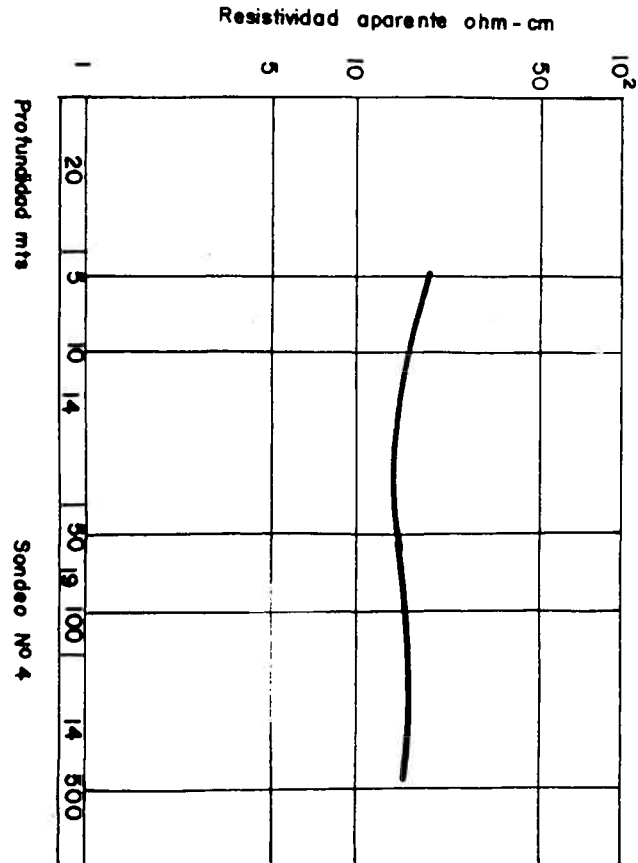
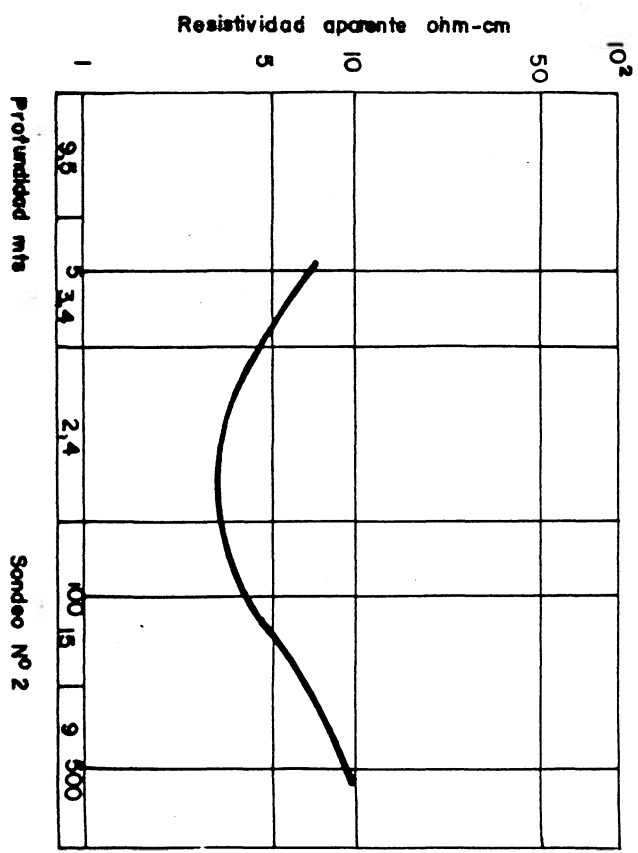
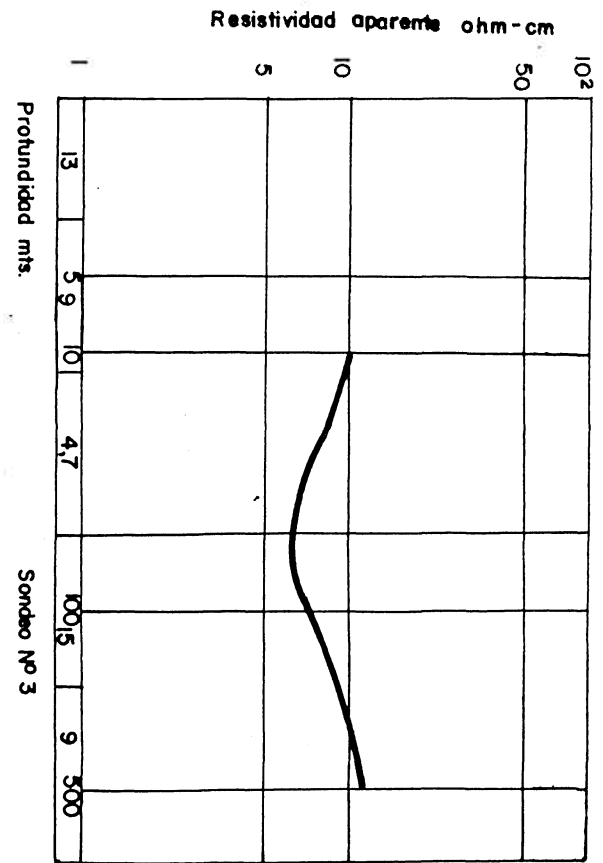
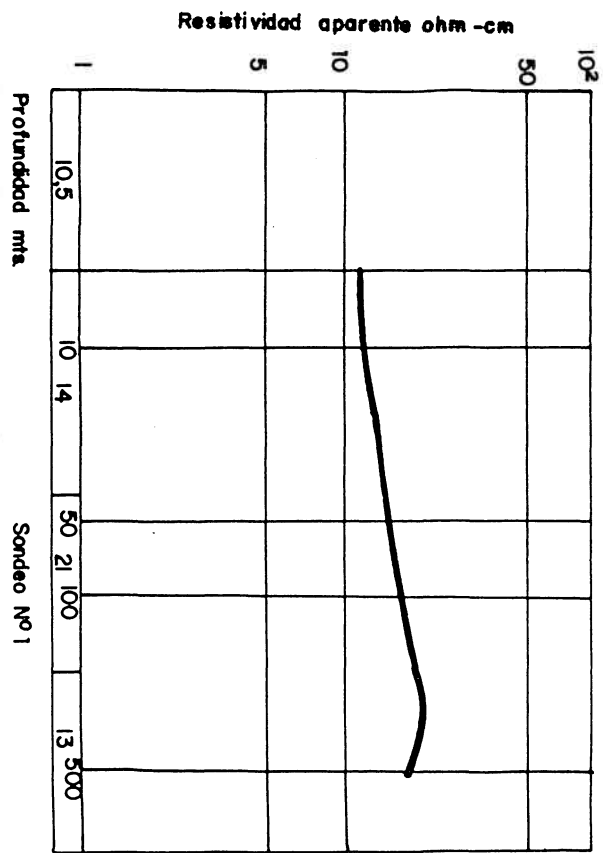


FIG. 3. Curvas de resistividad aparente - profundidad (sondeos 1 a 4).

porcentaje arenoso. El grado de compactación y el carácter conglomerático hace que la resistividad de la capa aumente.

La resistividad del agua (ρ_w) depende principalmente, entre otros factores, de su concentración química. Los iones más abundantes en el agua subterránea son los cloruros y los bicarbonatos, e influyen considerablemente en la resistividad del agua. Para el área de Turbo y Currulao se midieron valores para la resistividad del agua entre 0.5 y 10 ohm-m. y se clasificó el agua entre salada (cuña marina) y dulce, respectivamente.

El factor de formación (F) es un parámetro cuyo valor depende únicamente de la textura de la roca. De su identificación en la ecuación anterior podemos establecer el tipo de roca o sedimento; así, materiales arcillosos tienen un factor de formación menor de 2, arenosos de 3 a 4, arenas gruesas y gravas de 5 a 6, rocas consolidadas igual o mayor de 7.

Sondeos Geoeléctricos

Se realizaron 18 sondeos geoeléctricos (Fig. 4). La máxima profundidad prospectada alcanzó los 350 metros.

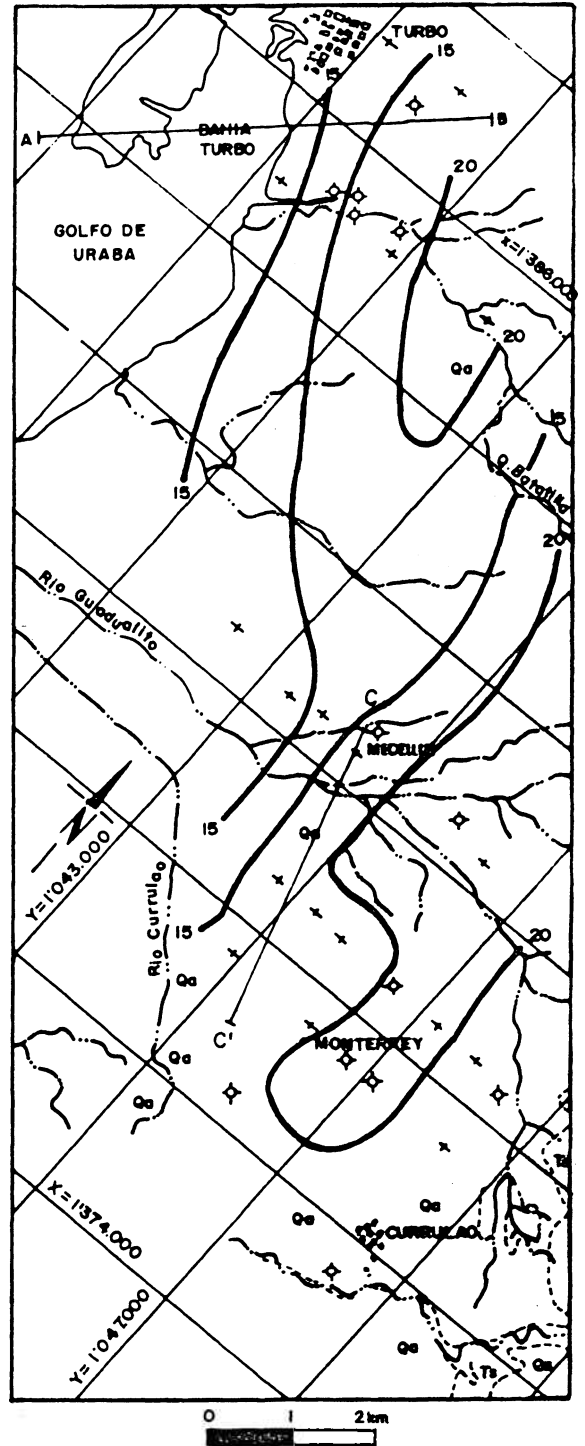
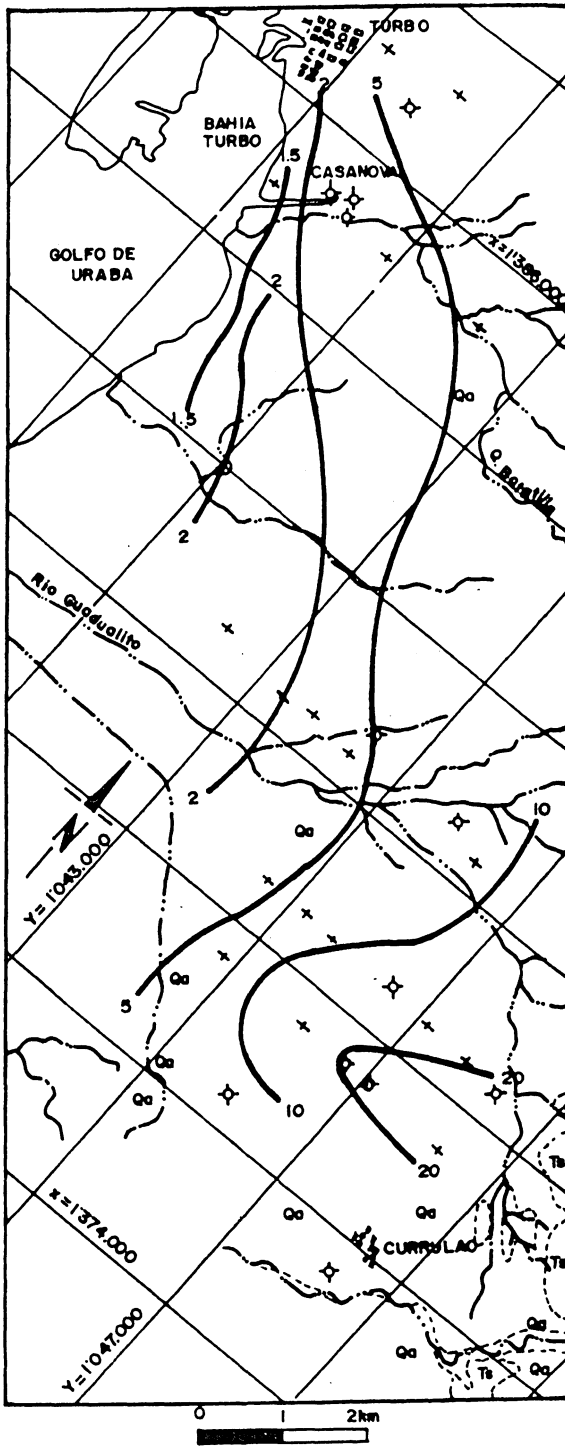
Por comodidad y de acuerdo con las condiciones topográficas se hicieron cinco (5) transversas con dirección Este-Oeste.

Interpretación de los Sondeos

Las curvas de resistividad eléctrica versus profundidad de los sondeos eléctricos verticales realizados, muestran una configuración similar que corresponde a la misma secuencia estratigráfica, variando un poco de uno a otro sondeo la profundidad de las capas o unidades geoeléctricas (Fig. 3); de ahí que se haya podido establecer una adecuada correlación de las unidades del subsuelo.

Aunque el método de resistividad del subsuelo, no es consistente para determinar con cierta precisión cuantitativa las variaciones de espesor y profundidad de las capas, en especial en aquellas áreas donde la geología no es conocida con suficiente detalle, sí permite apreciar de manera cualitativa las diferentes zonas hidrogeológicas del relleno de sedimentos no consolidados en el Complejo Costanero de Urabá.

Para el análisis de las relaciones existentes entre las diferentes zonas geoeléctricas con las características



CONVENCIONES

- - - Contacto geológico.
- + Sondeo eléctrico vertical.
- ◇ Pozo.
- ¹⁵ Línea de Isoresistividad.
- Qa Sedimentos aluvial-deltáicos.
- Ts Rocas del Terciario.

FIG.4. Mapa de iso-resistividad: izquierda a 50m. de profunda derecha a 150m. de profunda

geológicas e hidroquímicas que pudiesen establecer las correlaciones hidrogeológicas adecuadas, se elaboraron mapas donde se indican las líneas de igual resistividad (mapas de iso-resistividad). En la figura 4 se señalan los mapas de iso-resistividad a 50 y 150 metros de profundidad.

Zonas Geoeléctricas

La interpretación de los sondeos eléctricos verticales, definió cinco zonas geoeléctricas de la siguiente manera (Fig. 5):

Zona A. Es una capa superficial, caracterizada por su contenido de materia orgánica y por su composición arcillosa, es poco permeable y su resistividad varía de 5 a 40 ohm-m. No tiene posibilidades como acuífero. Se presenta desde la superficie del terreno hasta tres (3) metros de profundidad, aunque en algunos sitios llega a los ocho (8) metros.

Zona B. Está conformada por arenas sueltas permeables con intercalaciones delgadas de arcillas impermeables. Existen acuíferos libres y semiconfinados de escasa producción, contaminados o susceptibles de ser contaminados con agua salobre o salada. Su resistividad varía de 1.5 a 20 ohm-m. La capa somera de esta zona, contaminada con agua salada tiene una resistividad comprendida entre 1.5 y 5 ohm-m.

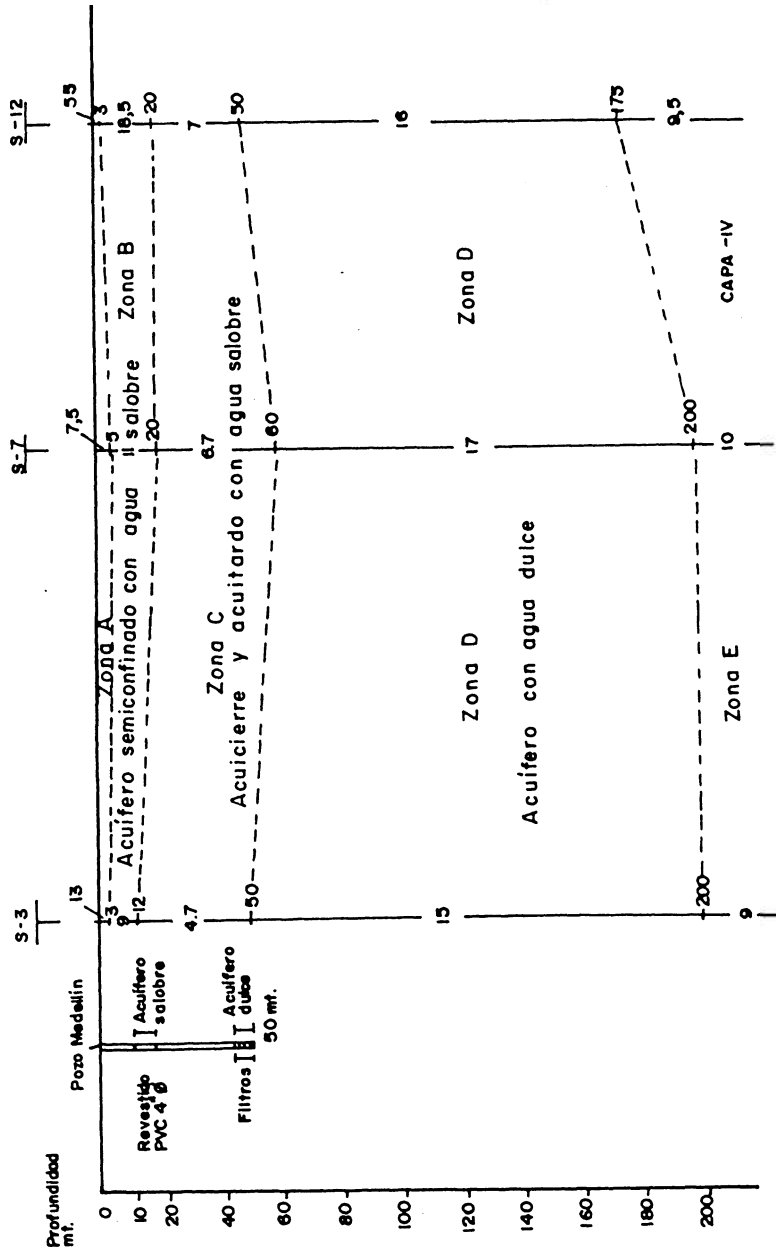
La zona B se encuentra desde 5 metros hasta 45 metros de profundidad y su espesor varía de 12 hasta 25 metros. La capacidad de producción de estos acuíferos es baja y es conveniente sellarlos, cuando se perforen pozos en cercanías de la línea costera, para evitar el avance de la cuña marina.

Zona C. Está distribuida aproximadamente desde los 15 hasta los 85 metros de profundidad, con espesores que varían de 25 a 45 metros. Consiste de sedimentos arcillosos impermeables con intercalaciones delgadas de arenas sueltas permeables y saturadas con agua salobre. Se comporta como un acuífierre. La resistividad de esta zona tiene valores desde 2.0 ohm/m. hasta 12 ohm/m.

Zona D. Las mediciones de la resistividad en esta zona dependen de las variaciones litológicas que están comprendidas desde horizontes de arena intercaladas entre lentes de arcillas, hasta gravas con muy buena porosidad y capacidad de producción alta, cuyas resistividades van

NW

SE



SECCION C-C'

CONVENCIONES

S-3 Sondeo geoelectri-
-co No 3

4,7 Límite a 50mt
+50 de profundidad
entre capas de
15 4,7 y 13

--- Correlación
geoelectrica

■ Filtros en los
pozos



desde 15 hasta 25 ohm-m. El espesor de esta zona puede llegar a 160 metros en los alrededores del pozo Monterrey 2 y su parte inferior alcanza 230 metros de profundidad. Los acuíferos son confinados o semiconfinados, saturados con agua dulce, con capacidad de producción alta; por esta razón esta zona acuífera es la más importante. (Muñoz y Valencia, 1988).

Zona E. Los valores de su resistividad, de 9 a 16 ohm-m, son más bajos que los de la zona **D**, por lo que se presume corresponde a rocas consolidadas de composición arcillosa intercaladas con estratos de poco espesor de areniscas y conglomerados. Puede contener acuíferos confinados con capacidad de producción moderada.

CONCLUSIONES

Las zonas geoelectricas resistivas muestran una estrecha relación con las características hidrogeológicas de los depósitos transicionales y aluviales del Complejo Costanero de Urabá.

Las nuevas perforaciones que se hagan serán una buena contribución para conocer con más detalle las condiciones hidrogeológicas y por tanto se harán mejores correlaciones. Con un buen control geológico, la resistividad eléctrica del subsuelo puede ser una valiosa herramienta para la búsqueda y aprovechamiento racional de las aguas subterráneas en la región costera del Municipio de Turbo.

Por otra parte, el conocimiento que se tiene hasta hoy de la presencia de agua salobre en la zona **B**, debe obligar a los perforadores a sellar adecuadamente los primeros 70 metros de los pozos que se construyan en la región.

BIBLIOGRAFÍA

MUÑOZ, V., 1994. Concepto técnico sobre el pozo profundo Casanova de Probán S.A., Informe privado. 5 p. 2 anexos.

MUÑOZ, V. y RODRÍGUEZ, C., 1992. Identificación de acuíferos en el norte de la zona bananera de Urabá. Boletín Ciencias de la Tierra (11): 15-34 Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

MUÑOZ, V. y VALENCIA, M., 1988. Modelo geoelectrico para la exploración de aguas subterráneas en fincas bananeras de

Turbo, Antioquia, Colombia. Memorias III Simposio Colombiano de Hidrogeología. Bogotá: 87 - 111

RESTREPO, L.E., 1985. Estudio hidrogeológico para la prospección de aguas subterráneas en Casanova, Probán, inédito, Turbo. 30 p.