
MODELO GEOLÓGICO DEL SUBSUELO DE UN SECTOR DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA, COMO HERRAMIENTA EN LA EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS E HIDROCARBUROS

Rubén D. Arismendy M., José H. Caballero A. y Maria V. Vélez O.

Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín

ruben_arismendy@yahoo.com

Recibido para evaluación: 20 de Agosto de 2004 / Aceptación: 09 de Noviembre de 2004 / Recibida versión final: 19 de Noviembre de 2004

RESUMEN

Este artículo presenta el modelamiento tridimensional del subsuelo de un área de 470 km² correspondiente a los municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare del departamento de Antioquia, Colombia, en el Valle Medio del Magdalena. El conocimiento de esta zona y su modelamiento ha estado condicionado al conocimiento que las diferentes compañías petroleras han tenido de él, haciendo énfasis solo en zonas de interés para la explotación de hidrocarburos. Teniendo en cuenta diferentes herramientas geológicas, geomorfológicas, y geofísicas se logró construir un modelo geológico tridimensional de la región, que permite conocer los diferentes materiales aflorantes en la zona, su distribución espacial tanto arealmente como en la vertical, y las diferentes relaciones en profundidad de los materiales Terciarios y Cuaternarios con el basamento cristalino. El modelo geológico resultado de este estudio se plantea bajo hipótesis geomorfológicas, estratigráficas y geofísicas que a su vez fueron correlacionadas con información secundaria de la zona. El resultado final se presenta como una herramienta para la exploración de aguas subterráneas e hidrocarburos.

PALABRAS CLAVES: Modelamiento, Estratigrafía, Geomorfología, Geofísica, Geoelectrica, Aguas Subterráneas.

ABSTRACT

This paper presents the three-dimensional modeling of a 470 km² underground area that corresponds to the municipalities Puerto Berrío and Puerto Nare (Valle Medio del Magdalena), Antioquia, Colombia. The knowledge of this area and its modeling have been conditioned to the knowledge that the different oil companies have of it, emphasizing just on the interest areas for hydrocarbons exploitation. Considering different geologic, geomorphologic and geophysics tools, a three-dimensional geologic model of the region was constructed. This model allows to identify the different kinds of outcropping materials of the area, its areally and vertically spatial distribution and the different relationships in depth between Tertiary and Quaternary rocks with the crystalline bedrock. The model constructed is based on geomorphologic, stratigraphic and geophysics hypothesis which are correlated with the geologic information existent of some sectors in the area. The model is presented as a tool for underground water and hydrocarbons exploration.

KEY WORDS: Modeling, Stratigraphic, Geomorphology, Geophysics, Electrical Resistivity, Groundwater.

1. INTRODUCCIÓN

El área de estudio ubicada en el Valle Medio Valle Medio del Magdalena está compuesta principalmente por rocas blandas terciarias y cuaternarias de origen continental las cuales presentan una estratigrafía característica, que permite la acumulación de agua subterránea y de hidrocarburos.

El conocimiento de la geología del subsuelo en esta zona es de carácter local y sólo se ha concentrado en aquellos puntos donde se tiene interés para la explotación de hidrocarburos y el manejo y difusión de la misma está controlada por dichas empresas petroleras.

El único documento en el cual se ha intentado modelar las diferentes rocas blandas de la zona es "*Condiciones Hidrogeológicas para un Acueducto de Agua Subterránea en Puerto Berrío, Departamento de Antioquia*" elaborado para el Instituto Geológico Nacional por Diezemann y Delgado en 1956, En este estudio se menciona la existencia de condiciones hidrogeológicas favorables para la explotación y utilización del recurso agua subterránea, la presencia de dos formaciones porosas terciarias y una cuaternaria, modelando los diferentes niveles estratigráficos. El modelamiento y entendimiento del subsuelo permite conocer las diferentes relaciones entre los materiales existentes en la zona, las geoformas que dichos materiales generan, sus diferentes límites espaciales y barreras geológicas, todo esto clave para el modelamiento y entendimiento de posibles zonas de acumulación de aguas subterráneas e hidrocarburos.

2. GENERALIDADES

La zona de estudio se encuentra en la jurisdicción de los municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare localizados al Este del departamento de Antioquia (Figura 1) y comprende un área aproximada de 470 km². El municipio de Puerto Berrío, situado a 125 msnm, tiene una extensión total de 1184 km² de los cuales, la cabecera municipal ocupa 2.1 km², está a 125 msnm y tiene una temperatura promedio de 27°C. El municipio limita con las localidades de Puerto Nare, Yondó, Maceo, Caracolí y el río Magdalena.

El municipio de Puerto Nare tiene una extensión total de 660 km² de los cuales, la cabecera ocupa 2.3 km². Esta última tiene una altura sobre el nivel del mar de 125 m y una temperatura promedio de 27°C. Limita con las localidades de Puerto Triunfo, San Luis, Caracolí, San Carlos y Puerto Berrío.

Para el estudio se delimitó un área de 470 km² de la siguiente manera: al oriente con el río Magdalena, al norte con la coordenada 1°35'000" N, al occidente con la Troncal de La Paz hasta el casco urbano del municipio de Puerto Nare y de ahí hacia el sur con la cota 200 msnm, y al sur con el río Cocorná tal como se muestra en la Figura 1.

3. GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra ubicada en el valle interandino del Magdalena (Figura 2), el cual se desarrolla entre las cordilleras Central y la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos. La Cordillera Central está compuesta por un basamento polimetamórfico pre-Mesozoico que incluye rocas oceánicas y continentales (McCourt et al. 1984 en Taboada et al, 2000), intruido por varios plutones mesozoicos y cenozoicos (Taboada, et al 2000). El flanco este de la Cordillera Central está compuesto principalmente por rocas ígneas y metamórficas, con edades que van desde el Precámbrico hasta el Jurásico y que se extienden hacia el Valle Medio del Magdalena y son suprayacidas por rocas sedimentarias de edades Jurasicas hasta Terciarias. Por otro lado la Cordillera Oriental esta compuesta por un basamento polimetamórfico de edad Precámbrica y Paleozoica, deformada durante varios eventos orogénicos pre-Mesozoicos (e.g., Irving, 1971 en Taboada et al, 2000). El Valle Medio del Magdalena es una depresión geomorfológica limitada al norte por la falla de Bucaramanga y al sur por la falla de Cambao, límites cercanos a las poblaciones del Banco (Magdalena) y Jerusalén (Cundinamarca) respectivamente. Cubre un área aproximada de 28.300 km², su altitud a nivel del río Magdalena, fluctúa entre 50 y 150 msnm.

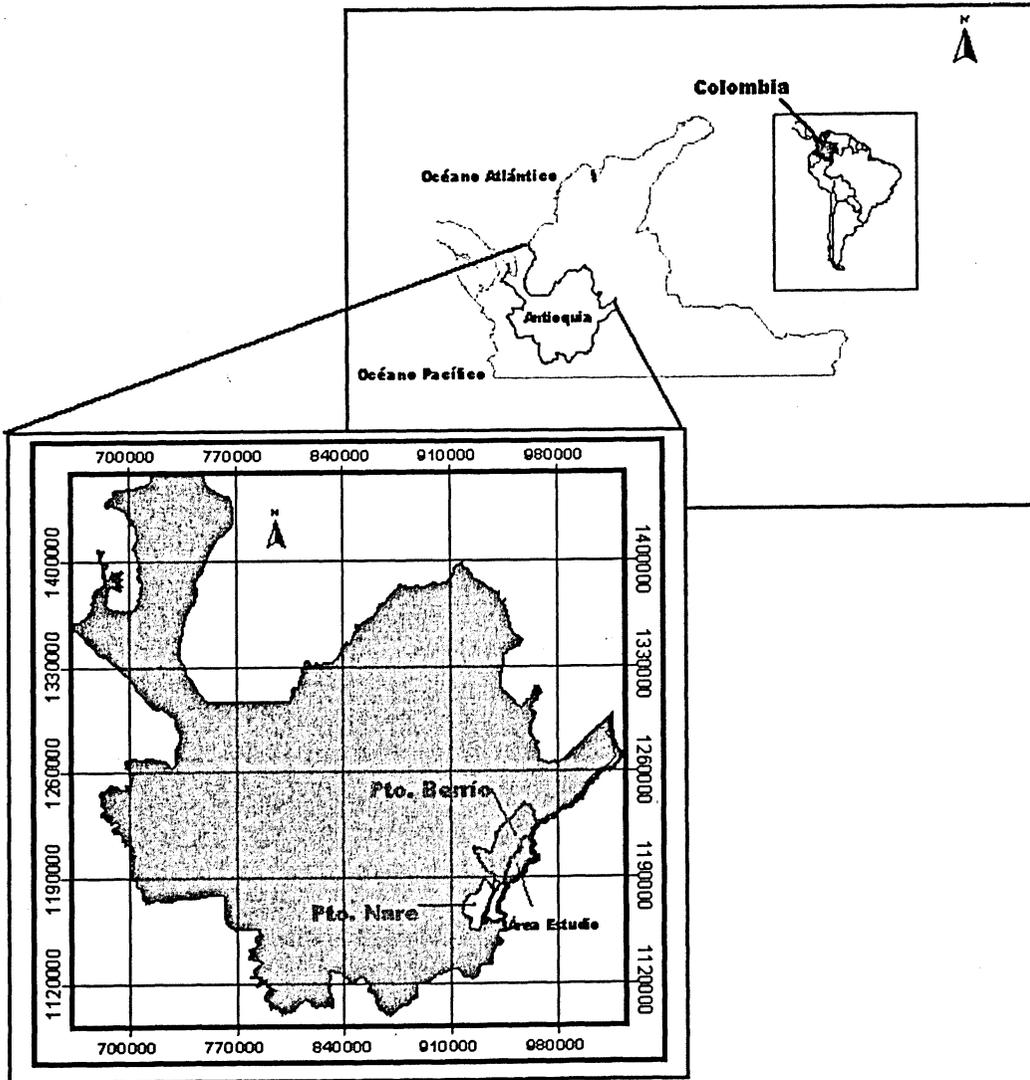


FIGURA 1.
Localización del área de estudio.

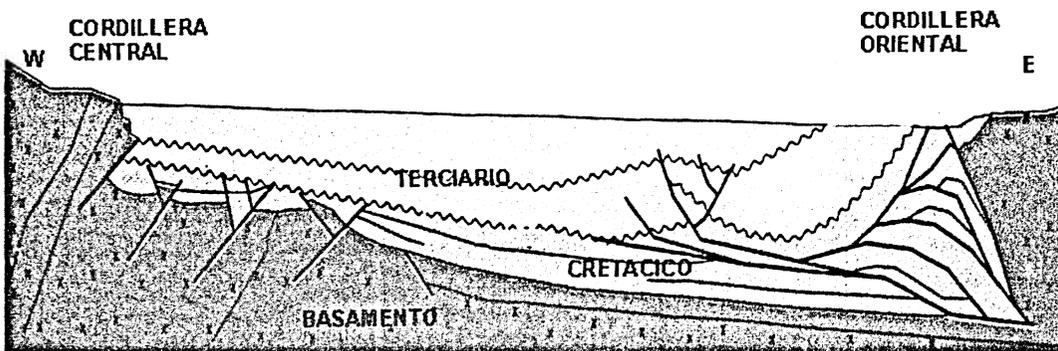


FIGURA 2.
Sección esquemática del valle medio del Magdalena (Ecopetrol 1996).

4. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

A nivel regional la zona de estudio se encuentra ubicada entre la Cordillera Central y la Cordillera Oriental, siendo una cuenca intracordillerana con una dirección general Sur - Norte. Hacia la parte oriental de la Cordillera Central el paisaje se caracteriza por una topografía montañosa fuertemente disectada y fisiográficamente madura, con pendientes que varían entre 20° y 40°, o más. El relieve decrece de oeste a este hacia el río Magdalena. El único nivel plano de gran extensión o de terrenos suavemente ondulados ocurre sobre sedimentos terciarios y cuaternarios a lo largo del Valle del Magdalena (Feininger et al, 1972).

Estratigrafía Regional

El conocimiento estratigráfico del Valle Medio del Magdalena a estado condicionado a la exploración petrolera, la cual de acuerdo con sus intereses a hecho diferentes aportes que ayudan a entender sus características y evolución.

En el valle Medio del Magdalena en términos generales se caracteriza por una sucesión de depósitos continentales de edad Jurásica, seguidos por sedimentos cretácicos, ambos calcáreos y silicoclásticos, de origen transicional a marino, suprayacidos por rocas sedimentarias de edad terciaria correspondientes o correlacionables con la formación Mesa y depósitos cuaternarios del río Magdalena, todo sobre un basamento ígneo-metamórfico pre-Mesozoico. Es importante resaltar que en esta secuencia sedimentaria se presentan notables truncaciones de las formaciones cretácicas en lo que corresponde a los sedimentos instalados sobre la Cordillera Central (Mojica y Franco, 1990).

5. TECTÓNICA REGIONAL

El valle medio del Magdalena es una depresión tectónica asimétrica con dos márgenes bien diferentes. Así al occidente contra la Cordillera Central se tiene un borde pasivo con fallas normales cuyo juego ha causado adelgazamientos de las distintas formaciones Meso y Cenozoicas en especial en las formaciones cretácicas. Por el contrario, hacia la Cordillera Oriental la deformación se incrementa de manera continua con fallamiento inverso y/o ángulo bajo, pasando a un complicado margen compresional (Mojica y Franco 1990). Este Valle está limitado por fallas de carácter regional como lo son la falla de Bucaramanga al norte, en cercanías a la población del Banco (Magdalena), al sur por la falla de Cambao, en inmediaciones de Jerusalén (Cundinamarca) (Mojica y Franco 1990), al occidente la falla de Palestina la cual es una falla de rumbo con movimiento dextralateral y tendencia general N-S y que está conformada por un grupo grande de fallas de muy buena expresión morfológica entre las que se destacan las de Cocorná, Otú y el Bagre. Al occidente, también, cabe resaltar la presencia de la falla Mulato-Jetudo-Casabe y de la falla de Cimitarra, ambas subparalelas y con rumbo NNE. Por último, al oriente en límites con la cordillera oriental el valle está limitado por la falla de Salinas que afecta unidades sedimentarias terciarias y las pone en contacto parcial con unidades Cretácicas, esta falla es de tipo inverso con rumbo N-S a N-NE y llega al norte hasta la falla de Bucaramanga. En medio de las Fallas Casabe y Salinas, se desarrollan dos fallas de menor magnitud, también de tipo inverso y con rumbo N-NE, guardando paralelismo con las fallas laterales. Estas son, al este la Falla de Arrugas y, al oeste, la Falla de Infantas y afectan en superficie solamente unidades sedimentarias terciarias. El Grupo Real ligeramente plegado y fallado, está subyaciendo la Formación Mesa del Plioceno de manera discordante. La Formación Mesa tiene pliegues suaves, pliegues y fallas de poco desplazamiento, aunque está esencialmente horizontal.

6. GEOLOGÍA LOCAL

El área de estudio se encuentra conformada por rocas sedimentarias principalmente, y en menor proporción por rocas ígneas y metamórficas, además de depósitos aluviales y de ladera recientes (Figura 3).

Las rocas metamórficas presentes en la zona corresponden a *Cuarcitas (Pzq)*, que hacen parte de la unidad litodémica llamada "*Complejo Cajamarca*" que aflora en la parte occidente de la zona de estudio.

Las rocas ígneas están representadas por el *Batolito de Segovia (Jdse)* y el *Volcánico de La Malena (Jvm)*. El *Batolito* esta compuesto principalmente por dioritas y cuarzodioritas de edad Jurásico y que afloran en el limite occidental de la zona de estudio, mientras que el *Volcánico de La Malena* aflora en el sector occidental del área de estudio y está constituido por flujos volcánicos riolíticos a riodacíticos, brechas volcánicas y tobas hacia la parte superior del conjunto, diques basálticos y pórfidos andesíticos. Las rocas sedimentarias constituyen la mayoría del área de estudio y están representadas principalmente por la *Formación Mesa (Ngm)* y una pequeña parte por las *Sedimentitas del este de Segovia (Ksh)*. En la Formación Mesa los estratos yacen horizontales o buzan ligeramente al oeste, aumentando su espesor hacia el Este, donde son disectadas por el Río Magdalena, ésta es cubierta por sedimentos recientes, y por ello es probable que áreas cartografiadas como Formación Mesa correspondan en realidad a depósitos de edad más reciente. Está compuesta por sedimentos débilmente cementados, bien estratificados y compuestos por conglomerados, areniscas bien o mal seleccionadas y limolitas. Esta formación ha sido caracterizada en cercanías al municipio de Honda por su morfología particular semejante a una mesa, generada por procesos de tipo erosivo, de edad Plio-Pleistoceno; está conformada por materiales de origen sedimentario y volcanoclástico, entre ellos conglomerados con cantos de cuarzo, chert, rocas volcánicas y rocas metamórficas. Las edades asignadas a la Formación Mesa varían según los autores y oscilan entre el Mioceno y el Plioceno. La composición y geomorfología que presenta lo que se ha llamado Formación Mesa en el área de estudio, es muy diferente a los materiales y geofomas presentes en el área tipo de Honda y descritas anteriormente, ya que es claro en el valle medio del Magdalena en lo que corresponde a la zona de estudio, la ausencia de cantos de rocas efusivas y de la morfología con topes planos en forma de Mesa.

Por otro lado las Sedimentitas del este de Segovia Afloran al suroccidente del área de estudio y litológicamente están conformadas por lutitas carbonosas de color negro que al meteorizarse toman un color grisáceo, estratificadas con limolitas, areniscas, conglomerados intraformacionales con fragmentos de lutilas negras, cantos de conglomerado cuarzoso, lodolitas y rocas volcánicas básicas, de color gris verdoso.

Sobre las unidades anteriormente descritas y de manera discordante se presentan *Depósitos Aluviales (Qal)* no consolidados de edad recientes conformados por gravas, arenas y materiales finos de origen aluvial y lacustre que conforman terrazas, llanuras de inundación, bajos y complejos cenagosos. El espesor de estos sedimentos aún no ha sido definido con claridad pero en la zona de Omimex de Colombia ubicada en el sur de la zona de estudio se reportan espesores promedio de unos 17 metros. Los aluviones a lo largo del río Magdalena son depósitos de poca elevación compuestos por material meteorizado, poco estratificado y mal seleccionado o con unos pocos horizontes bien seleccionados.

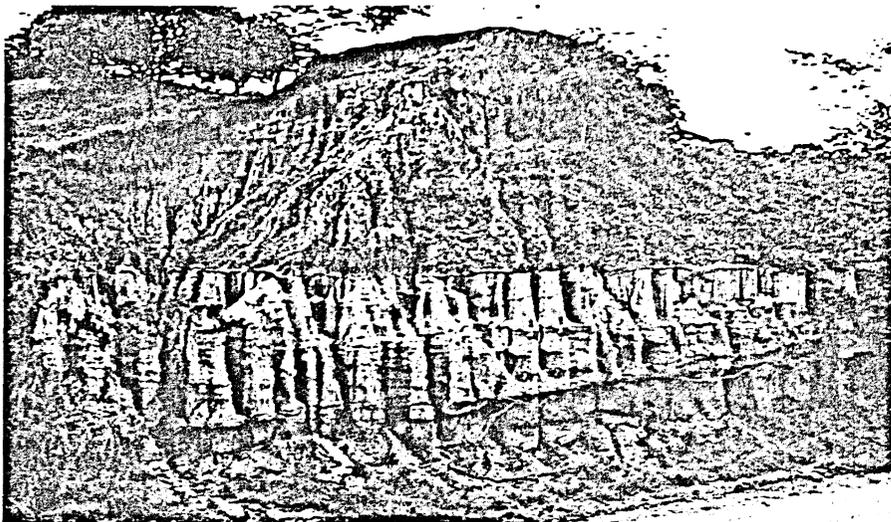


FOTO 1.
Afloramiento de la Formación Mesa? sobre la carretera de la Paz.

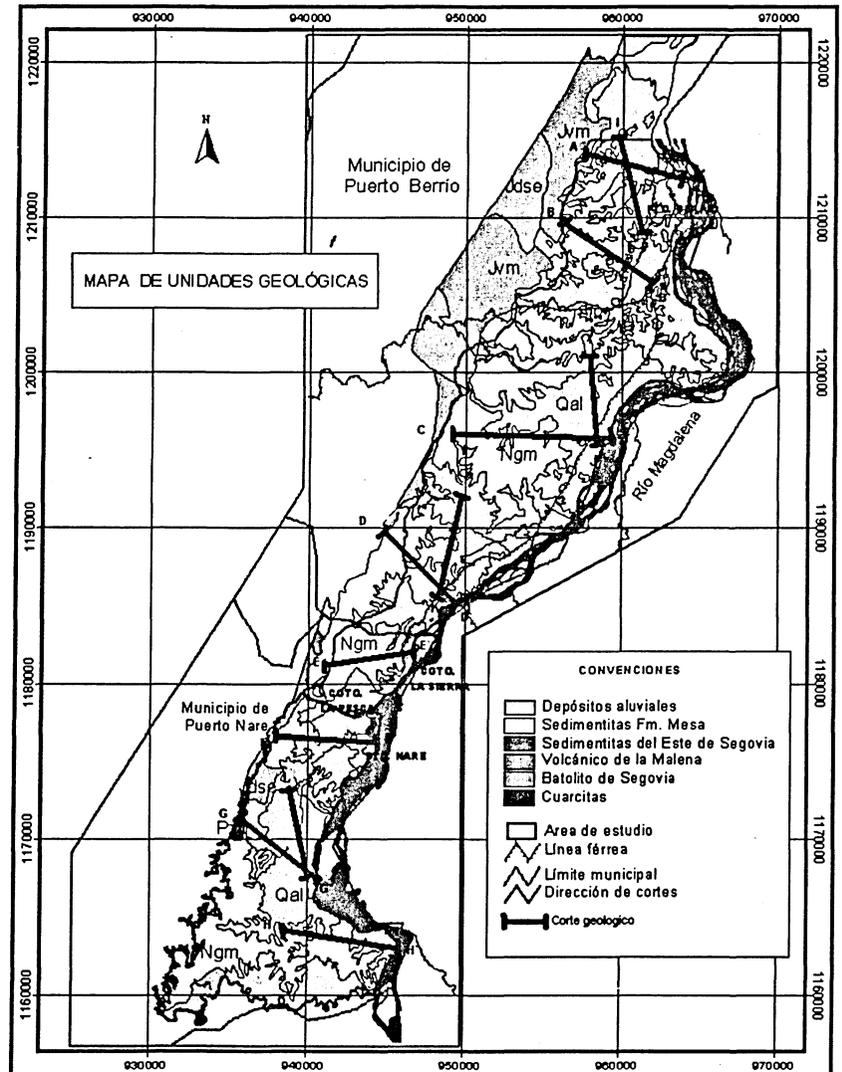


FIGURA 3.
Mapa de unidades litológicas y ubicación de cortes geológicos

7. ESTRATIGRAFÍA SUPERFICIAL

Con el fin de obtener un mejor conocimiento los materiales superficiales de edad terciaria y cuaternaria aflorantes en la zona y dada su importancia pues es la unidad predominante y la de mayor potencial desde el punto de vista hidrogeológico, se realizaron 84 ensayos geoelectrónicos y se levantaron 28 columnas estratigráficas con espesores entre 2 y 28 m., asociadas a cortes de carretera. Las columnas estratigráficas muestran secciones litológicas caracterizadas por estratos horizontales a levemente inclinados ($< 3^\circ$), con intercalaciones arrítmicas de materiales finos a gruesos poco consolidados, estratos bien delimitados sin intervalos erosivos y contactos tajantes en la mayoría de los casos (Foto 1). Se evidencian condiciones predominantemente fluviales con características energéticas variables en el tiempo, que permitieron depositaciones de diferentes tamaños de material, en donde su origen es asociado a las rocas aflorantes en la cordillera Central. El material más característico es el cuarzo lechoso, componente principal en las arenas, fragmentos líticos de rocas ígneas y rocas metamórficas; también hay presencia en menor cantidad de chert, hornblenda, feldspatos y micas. Los materiales terciarios están mal cementados, confundiendo en muchos casos con depósitos más recientes. La forma de las partículas varía desde angulares, hasta redondeadas y se observan estructuras sedimentarias tales como

estratificación cruzada y lentes de material conglomerático, ambas típicas de ambientes fluviales y acentuadas por horizontes o niveles de costras ferruginosas, que alcanzan desde pocos centímetros, hasta 10 cm de espesor. Los depósitos recientes en especial los que componen la llanura de inundación del río Magdalena a nivel superficial, están compuestos principalmente por arenas, limos y arcillas y en algunas zonas es posible observar interdigitaciones de materiales arrastrados por corrientes tributarias del Magdalena con materiales depositados por éste. Las columnas estratigráficas levantadas permitieron conocer las áreas con condiciones depositacionales similares, suponiendo así que éstas se mantenían hasta la profundidad de interés del proyecto (250 m), y con ellas también se correlacionaron los registros geoelectrónicos. En la Figura 4 se puede observar una columna generalizada de la zona de estudio.

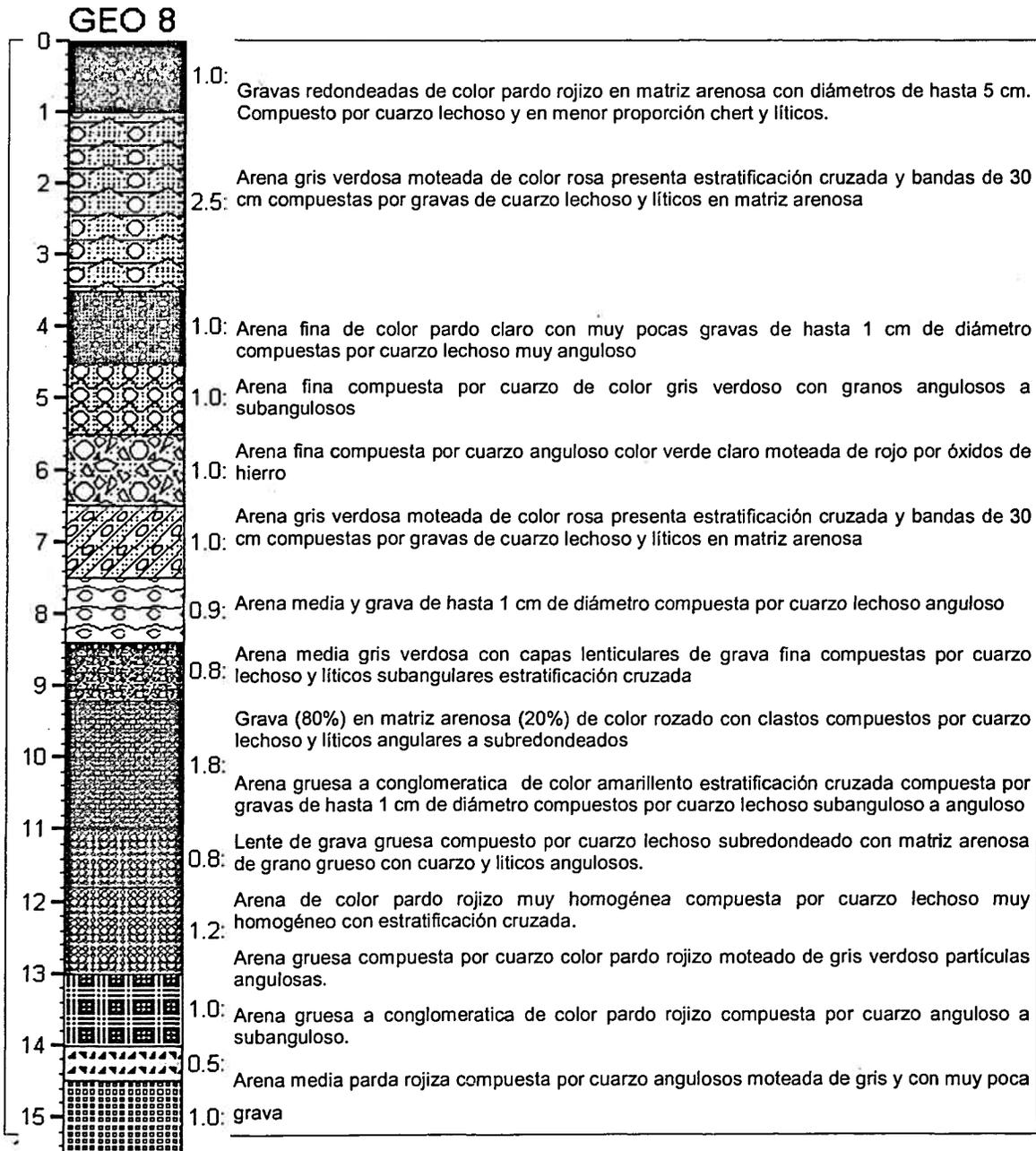


FIGURA 4.

Columna estratigráfica que muestra las características generales de los sedimentos terciarios de la zona de estudio. Finca la Unión N 1'203.205, E 952.425.

8. TECTÓNICA LOCAL

Los municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare se ubica regionalmente dentro de la cuenca del Valle Medio del Magdalena en una depresión tectónica de estilo estructural distensivo o Graben (Bloques Caídos que se encuentran limitados por fallas normales). "Su geografía hace parte del denominado Terreno Geológico Payandé - San Lucas". Los lineamientos más importantes de la zona corresponden a las expresiones morfológicas de las Fallas de Palestina, El Bagre, El Nus y Otú. En la cordillera Central existen condiciones estructurales diferentes marcadas por el sistema de fallas de Palestina predominantemente de rumbo. Se considera que el límite occidental del Valle Medio del Magdalena es la traza principal de la falla de Palestina que se identifica a unos 20 Km al oeste de Puerto Berrío.

En termino generales las fallas que se encuentran en la zona de estudio son:

-Falla Casabe: Es más conocida por la exploración petrolera debido a la dificultad de cartografiarla por la presencia de los aluviones espesos del río Magdalena, aparece cartografiada muy próxima al curso actual del río Magdalena con rumbo NNE. De acuerdo con la interpretación hecha por los petroleros (Julivert, 1961), esta falla es casi vertical, inversa en profundidad y normal en superficie.

-Falla de Cocorná Sur: Es una falla de rumbo llamada así, por el río Cocorná Sur, presenta una longitud conocida de 47 Km y un desplazamiento de 26 Km lateral derecho. En el área de los Contratos Cocorná y Nare de Omimex de Colombia S.A el entrapamiento de los hidrocarburos esta controlado principalmente por la falla de Cocorná y fallas menores relacionadas a ella.

-Falla de Jetudo: Es llamada así, por una quebrada al noreste de Aquitania, tiene una longitud conocida de 40 km y un desplazamiento de 12 km lateral izquierdo.

9. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Las unidades geomorfológicas se diferenciaron con ayuda de la fotointerpretación, análisis de imágenes de satélite y el trabajo de campo en donde se obtuvieron seis unidades geomorfológicas (I, II, III, IV, V, y VI), para lo cual se tomaron como base la pendiente, litología, altura y geoformas desarrolladas como resultado de la evolución geológica. A continuación se presenta una descripción resumida de las diferentes unidades geomorfológicas diferenciadas en la zona de estudio (Figura 5):

La UG I, Sistemas de colinas bajas y redondeadas con valles amplios, corresponde litológicamente a rocas sedimentarias, correlacionables con la Formación Mesa, representa el 4.2% del área de estudio sistemas de colinas alargadas y ramificadas, con tope redondeado, en donde algunas colinas se encuentran como remanentes de los sistemas, indicando zonas de alta actividad erosiva Presenta drenajes subdendrícos, con valles amplios con forma de U suave o abierta, planos a suavemente ondulados. Por otro lado la UG II, Sistemas de colinas medias y redondeadas con valles medianamente desarrollados, representa el 8% del área de estudio y es muy similares a la UG I, diferenciándose en el grado de evolución de sus valles y colinas, indicando entonces que la UG II es anterior en evolución con respecto a la UG I. Y se presenta como núcleos de sistemas de colinas que han sido labradas en menor grado por los agentes erosivos y con valles intercolinas menos desarrollados y alturas mayores que las de la UG I, sus drenajes son subdendrícos en U abierta a U levemente cerrada, son suavemente ondulados y no están incisados por drenajes.

La UG III fue definida como sistemas de colinas medias y redondeadas con valles cerrados y corresponde al 10% del área de estudio, caracterizandose por presentar colinas de tope angosto y redondeado, con vertientes cortas, con superficies de homogéneas a rugosas por procesos de reptación, drenajes subparalelos a subdendrícos y valles muy angostos y en forma de V suave o abierta. Las rocas ígneas y metamórficas de la zona están representadas por la UG IV, sistemas de colinas altas y redondeadas, que cubre el 0.8% del área de estudio. Se caracteriza por colinas de tope redondeado, de

laderas suavizadas en la base. La tendencia que sigue la mayoría de los drenajes en esta zona es subparalela y sus valles conservan la forma de V abierta con variaciones en la parte mas baja de la ladera a forma de U abierta. Estas colinas se caracterizan por presentar grandes bloques de roca en sus vertientes, muy diaclasados y con características de meteorización esferoidal. Estos bloques son muy similares a depósitos de vertientes tipo Talus pero se logró corroborar que se encontraban in situ, dando indicios de los altibajos del basamento.

Por ultimo se tiene la UG V en la cual se incluye la UG VI; llanuras de inundación, la cual es una de las unidades geomorfológicas más extensas de la zona cubriendo el 77% del total del área estudiada y está ubicada a lo largo de los ríos, quebradas y caños y se presenta como terrenos planos a suavemente inclinados con pendientes entre 0° y 10°. En algunos tramos del río Magdalena se pudieron observar canales y brazos abandonados y se pudo separar la UG VI, sistemas de orillares caracterizada por zonas bajas formadas por la migración del río especialmente en sectores sinuosos en el lado donde hay depositación de arenas. En dicho proceso se forman numerosos canales y sus respectivos diques, de poca altura, que van siendo abandonados a medida que el río se desplaza lateralmente.

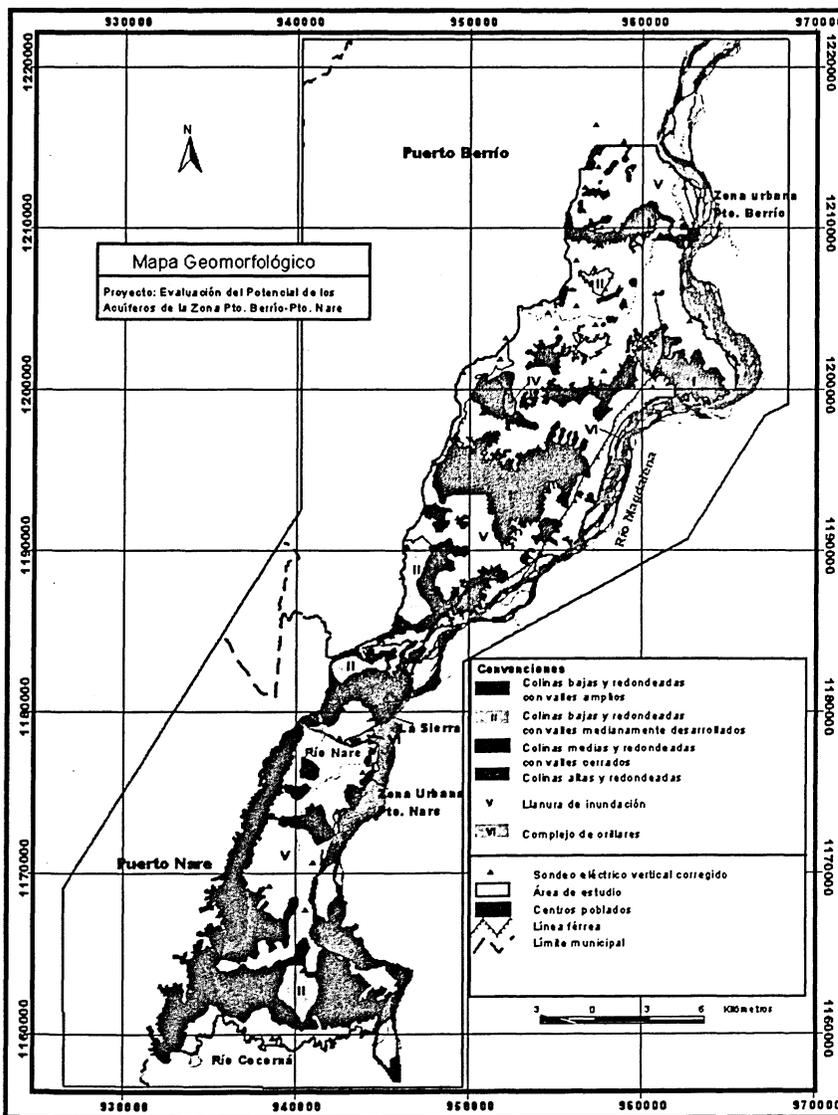


FIGURA 5.
Mapa geomorfológico con las unidades clasificadas en la zona.

10. MODELO GEOLÓGICO DEL SUBSUELO

La reconstrucción de las características generales del subsuelo se hizo mediante el uso de diferentes herramientas geológicas, geomorfológicas y geoeléctricas, las cuales permitieron establecer correlaciones en la zona de estudio, delimitando espacialmente las diferentes unidades de interés para el proyecto. A continuación se describen algunas herramientas e hipótesis claves en la construcción del modelo geológico.

10.1 Geomorfología

La determinación de las unidades geomorfológicas fue muy importante ya que permitió distinguir las diferentes características morfológicas de las rocas aflorantes de la zona. Entre estas características se resaltan para la elaboración del modelo geológico del subsuelo, la observación de bloques de roca correspondientes litológicamente al Volcánico de Malena, presentes en el sector noroccidental de la zona de estudio. Estos fragmentos de roca aparecen en algunas laderas de la unidad geomorfología IV y aflorantes en algunas colinas de la unidad geomorfología II.

La posición de los bloques llevó a pensar, inicialmente, en depósitos de vertiente tipo Talus; después de inspeccionar cuidadosamente se nota que los bloques mayores se encuentran "in situ" y que debido a su alto grado de diaclasamiento y fracturamiento permiten que otros bloques de menor tamaño caigan por gravedad. Este carácter in situ de los bloques se pudo corroborar en la quebrada Santa Cruz, en donde se observa un afloramiento de dicho material. Percibiendo estas características del paisaje se pudo concluir que estos bloques correspondían al basamento cristalino que en algunos sectores estaba siendo destapado por efectos de erosión, dejando ver lo que correspondería a altibajos en el basamento cristalino, característica que es mencionada en la tectónica regional en donde se plantea un borde pasivo con fallas normales con levantamientos y hundimientos de bloques por efectos tectónicos distensivos.

Otra característica importante de las unidades geomorfológicas I y II, es la hipótesis asociada a la formación de los valles de dichas unidades permite pensar en acumulaciones recientes no muy potentes, producto de la meteorización y erosión de las colinas adyacentes, y sin la influencia de procesos fluviales, pues en estos valles no se presentan canales de corrientes actuales ni antiguas que permitan asociar su formación a dichos procesos. No se deben, por lo tanto esperarse contrastes geoeléctricos perceptibles entre unidades cuaternarias y terciarias, ya que ambas estarían compuestas por materiales equivalentes y su competencia sería muy similar

10.2. Geología y Estratigrafía

El conocimiento de las diferentes unidades geológicas aflorantes en la zona ya descritas en la Geología superficial, en donde cabe resaltar el levantamiento de las columnas estratigráficas y las diferentes correlaciones, permitió tener una primera visión de la superficie de la zona y plantear hipótesis sobre las diferentes características en profundidad.

La información secundaria aportada por la Compañía petrolera Omimex de Colombia Ltd, muestra las diferentes unidades estratigráficas conocidas en la zona explotada actualmente, la cual se encuentra en el extremo suroriental de la zona de estudio. La nomenclatura utilizada por la compañía petrolera es diferente a la estandarizada en el léxico estratigráfico para dicha zona, pero la caracterización y la edad de las diferentes formaciones permite correlacionar la información a un contexto regional.

Según la información entregada por Omimex en el área que corresponde a los contratos de la Asociación Cocorná y Nare, se presenta una secuencia sedimentaria de origen fluvial que alcanza un espesor de 3000 pies en la parte este del bloque, la cual reposa discordantemente sobre un basamento complejo compuesto por rocas ígneas (granitos y granodioritas) y metamórficas. Esta secuencia sedimentaria corresponde a edades terciarias que van desde el Eoceno hasta el Plioceno y a rocas cuaternarias de edad Pleistoceno.

Por correlación regional en esta área, la compañía Texas Petroleum le ha atribuido edades a las diferentes formaciones permitiendo determinar sus equivalentes a nivel regional. Estas formaciones terciarias reportadas, por la compañía petrolera Omimex de Colombia Ltd permiten observar que en la zona de la petrolera se tiene sobre el basamento, el Grupo Chorro conformado a nivel regional por la Formación La Paz y La Formación Esmeraldas, encima de este se tiene el Grupo Chuspas conformado por la Formación Mugrosa y la Formación Colorado, posteriormente reposando discordantemente sobre la serie anterior se encuentra la Formación el Zorro, cuyo equivalente correspondería al grupo Real y finalmente está la Formación Diamante que es equivalente a la Formación Mesa.

Por ultimo, sobre las unidades anteriormente descritas y de manera discordante se presentan depósitos recientes de gravas y arenas de origen aluvial, que pueden alcanzar en promedio unos 50 pies de espesor, los cuales fueron depositados por las corrientes actuales. Todas estas características se pueden observar en la columna estratigráfica generalizada de Omimex.

Teniendo en cuenta las características estratigráficas anteriormente descritas del flanco suroriental de la zona de estudio, hay una evidencia inicial sobre la diferencia en profundidad del basamento cristalino, pues como ya se dijo en la geomorfología, este parece estar muy cerca de la superficie en el sector noroccidental y occidental de la zona de estudio.

10.3. Geoeléctrica

Para realizar la prospección geoeléctrica se hizo un reconocimiento de campo, evaluando aquellas zonas aptas para realizar los sondeos eléctricos verticales (SEV), luego se estableció un malla, separando sus nodos una longitud mayor de 2 km y menor de 4 km.

Los valores de resistividad usados se pueden observar en la Tabla 1. Entre las características más importante encontradas en el análisis geoeléctrico, se destacan dos contrastes claramente marcados en las curvas geoelectricas y que se extienden en toda el área de estudio indicando cambios bruscos en los valores de resistividad, y caracterizados por altas pendientes en el tramo final de la curva. La interpretación de dichas curvas mostró que el primer cambio corresponde a rangos de resistividad menores de 500 ohm-m, indicando el paso entre dos formaciones sedimentarias, lo cual correspondería al contacto marcado por la formación Diamante que en esta zona ha sido correlacionada con la Formación Mesa y la formación el Zorro, cuyo equivalente correspondería al grupo Real. Este limite está marcado por una discordancia que según la petrolera se extiende a lo largo de todos los campos y mediante los ensayos geoeléctricos fue detectada a lo largo de la zona de estudio (Figura 6a).

TABLA 1.
Rangos para las Resistividades de los diferentes materiales.

Tipo de Material	Resistividad (ohm.m)	
	ρ seco	ρ saturado
Arcilla	--	5 - 10
Limo	30 - 50	10 - 15
Arenas finas	50 - 100	15 - 50
Arenas media a gruesa	100 - 250	50 - 80
Conglomerados	250 - 500	80 - 150
Roca	> 500	--

El segundo contraste corresponde al contacto de las rocas sedimentarias terciarias y el basamento cristalino, en donde los rangos de resistividad son cercanos a los 1000 ohm (Figura 6b). Estos valores de resistividades altas que representan rocas cristalinas, fueron encontrados a diferentes profundidades en el área de estudio y apoyan las hipótesis de variabilidad del basamento cristalino, presentándose como bloques hundidos y levantados, que permiten acumulaciones sedimentarias diferentes produciendo que la roca cristalina pueda aflorar por erosión

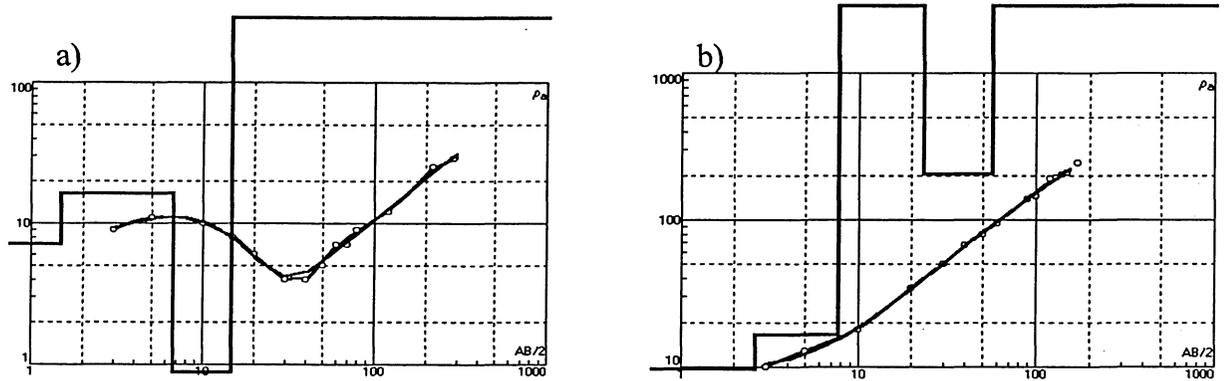


FIGURA 6.

- a) Curva geoelectrica mostrando el contraste (disconformidad) entre la roca sedimentaria correspondiente a la Formación Mesa o Diamante y la formación el Zorro o grupo Real,
- b) Curva geoelectrica que muestra el contraste entre la roca sedimentaria y el basamento cristalino.

11. CONCLUSIONES MODELO GEOLÓGICO

Teniendo en cuenta las diferentes hipótesis utilizadas se puede concluir que:

- La zona de estudio presenta un alto grado de complejidad geológica por sus características tectónicas que permiten bloques levantados y hundidos.
- Las formaciones terciarias y cuaternarias presentan variaciones significativas en su continuidad, tanto vertical como árealmente, debido principalmente a los cambios de profundidad del basamento cristalino, en donde se formaron depresiones con diferentes configuraciones que actuaron como pequeñas cuencas, permitiendo acumulaciones sedimentarias diferentes (Figuras 9, 10, 11, 12, 13).
- Los diferentes niveles del basamento se pudieron detectar, en superficie, por medio de afloramientos ubicados en el limite oeste de la zona de estudio y por características geomorfológicas. En profundidad, por ensayos geoelectricos e información suministrada por la petrolera Omimex de Colombia Ltda. Se tienen profundidades desde los 8 m en el sector de Puerto Nare, hasta 287 m en el municipio de Puerto Berrío y una gran depresión con profundidades de hasta 1000 m en el sector de la petrolera. Igualmente los sondeos geoelectricos permitieron la identificación de la disconformidad que marca el limite impermeable, entre la Formación Mesa y el grupo Real, que es el limite en la vertical de la formación terciaria mas superficial la cual es la formación de interés acuífero para este estudio, en donde se tienen profundidades entre 31 m en el municipio de Puerto Berrío y 287 m en el municipio de Puerto Nare (Figura 7).

11.1. Perfiles Geológicos

Se realizaron 12 perfiles con el fin de dar una idea general de la disposición de los diferentes materiales sedimentarios a lo largo y ancho de la zona de estudio. Se debe tener en cuenta que los perfiles deben ser corroborados con perforaciones exploratorias. Las distancias verticales y horizontales en los perfiles fueron medidas en metros y las convenciones se observan en la Figura 8.

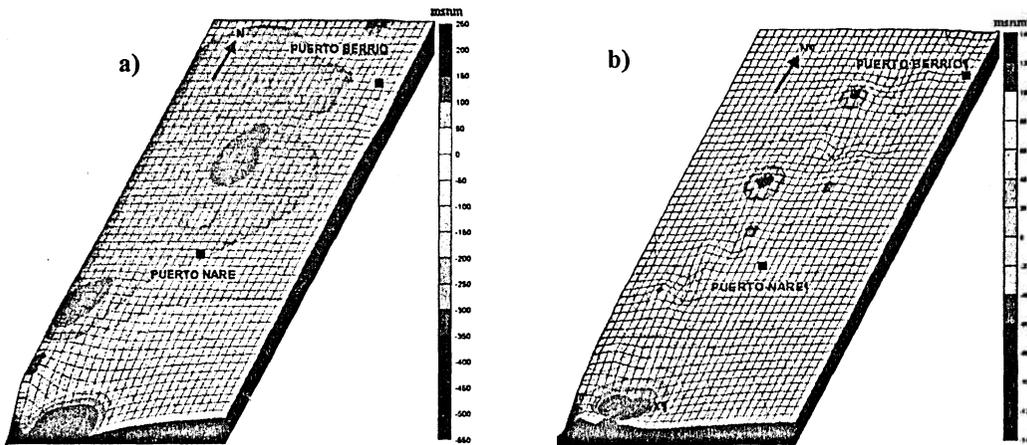


FIGURA 7.

a) Modelo tridimensional de la superficie del basamento cristalino.

b) Modelo tridimensional de la superficie sedimentaria que representa el contraste entre la roca sedimentaria correspondiente a la Formación Mesa y al grupo Real.

CONVENCIONES



FIGURA 8.

Convenciones utilizadas para la presentación de los cortes geológicos.

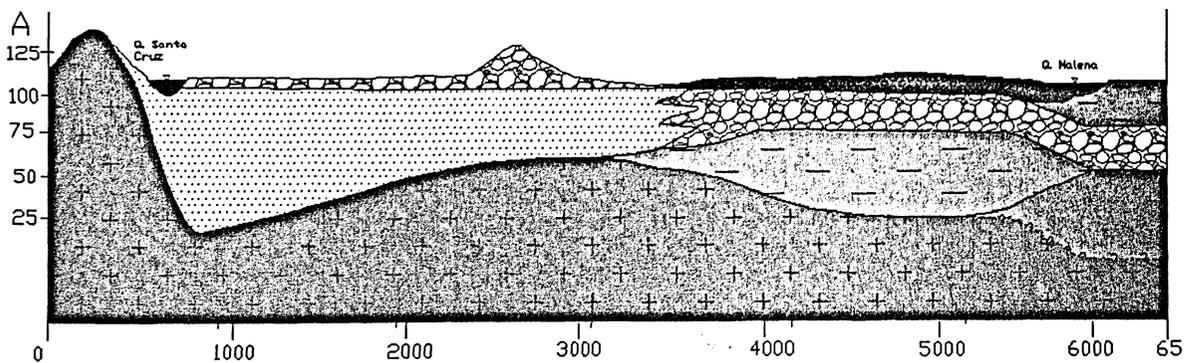


FIGURA 9.

Corte geológico A-A', en las veredas El Jardín y Murillo (Escala horizontal 1:25.000, Escala vertical 1:12.500)

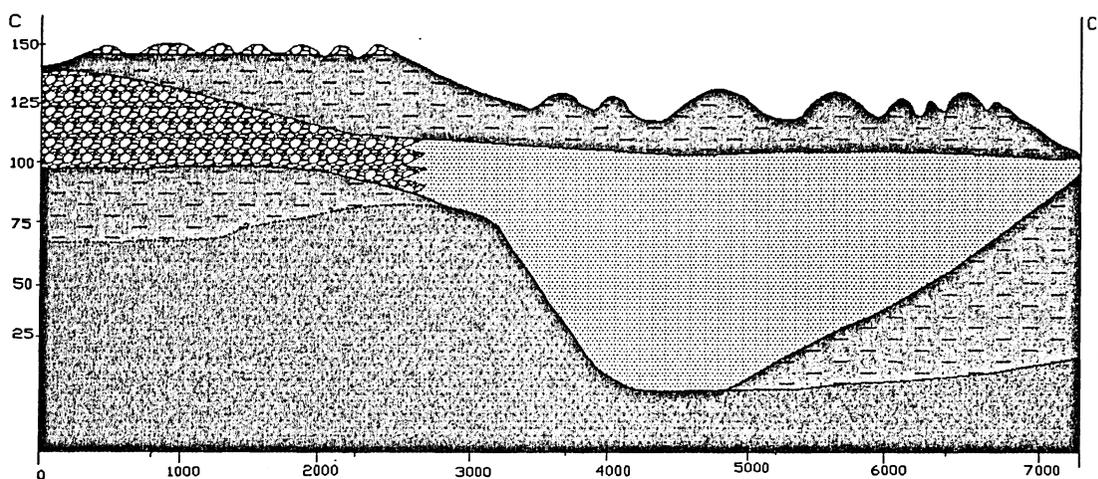


FIGURA 10.
Corte geológico C-C', en las veredas Cristalina y La Malena (Escala horizontal 1:25.000, Escala vertical 1:12.500).

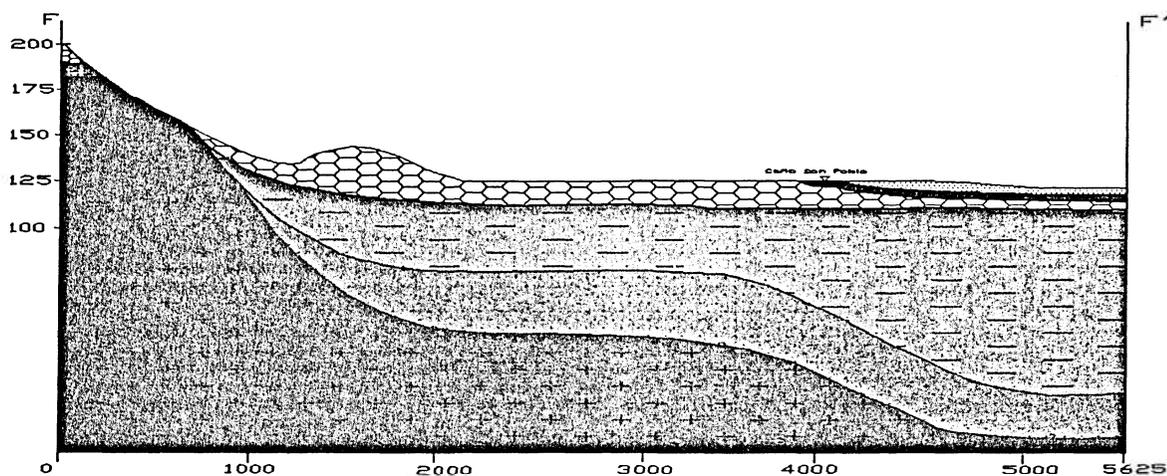


FIGURA 11.
Corte geológico F-F', en la vereda Peña Flor (Escala horizontal 1:25.000, Escala vertical 1:12.500).

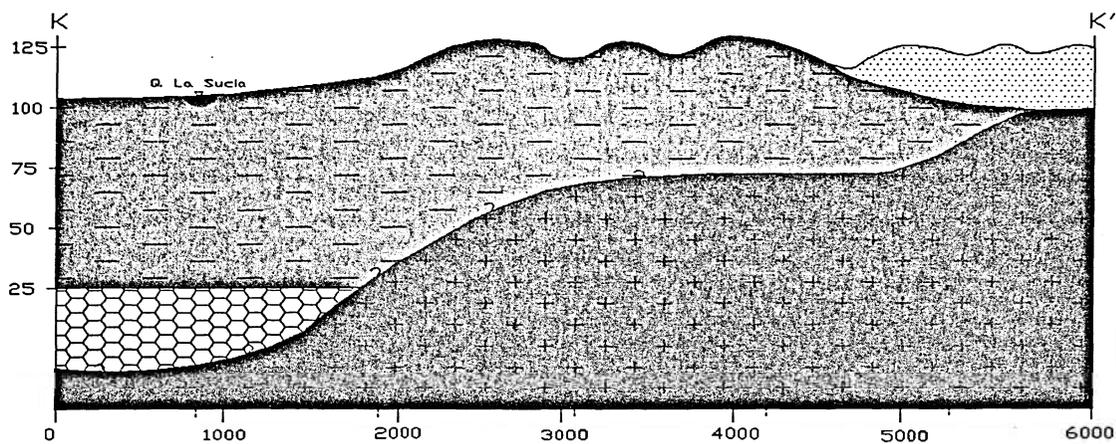


FIGURA 12.
Corte geológico K-K' en la vereda Cristalina (Escala horizontal 1:25.000, Escala vertical 1:12.500).

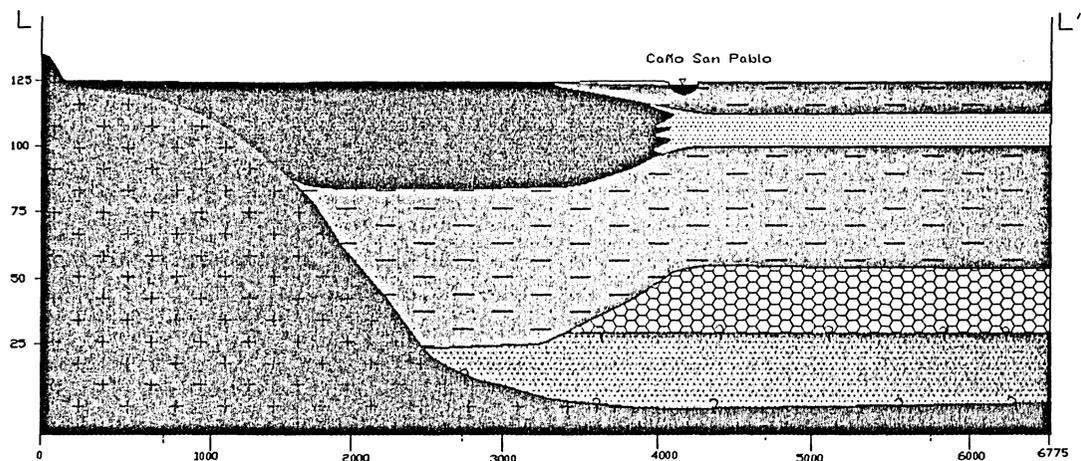


FIGURA 13.

Corte geológico L-L' en las veredas Peña Flor y Mulas (Escala horizontal 1:25.000, Escala vertical 1:12.500)

12. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades, las empresas y las comunidades de los municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare, por permitir la realización de este proyecto.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Bermudez, J. M. y Cubillos, J. 1991. Prospección Geofísica y Perforaciones en la Mina el Guayacán. Minas Unidas Puerto Nare Antioquia, informe n.IR-183.
- Boyd, T., 1999. Introduction to Geophysical Exploration. En internet: http://www.mines.edu/fs_home/tboyd/GP311/introgp.shtml.
- De Porta, J., 1965. Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el Extremo Sur del Valle Medio del Magdalena. En: Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Diezemann, W. y Delgado, C. 1956. Condiciones Hidrogeológicas para un Acueducto de Agua Subterránea en Puerto Berrío, Departamento de Antioquia. Instituto Geológico Nacional. Colombia.
- Dueñas, H. y Castro, E. 1981. Asociación Palinológica de la Formación Mesa en la Región Salán - Tolima, Colombia. En: Geología Norandina, Bogotá, Colombia. (3): 27-36.
- Feininger, T., Barrero, D., y Castro, N. 1972. Geología de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas (subzona II-B). Boletín Geológico vol. XX (2): 24-28.
- González, H., 1996. Memorias Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Ingeominas, Colombia.
- Govea, C. y Agilera, H., 1985. Cuencas Sedimentarias de Colombia. Empresa Colombiana de Petróleos. Manizales, Colombia.
- Home, M., 1969. Geologic Studies of the Mesa Group (pliocene?) Upper Magdalena Valley. Bogotá, Colombia.
- Hubach, E., 1957. Contribución a las Unidades Estratigráficas de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Huguett, A., 1989.. Mapa Hidrogeológico de Colombia 1989: Memoria Explicativa. Ingeominas. Colombia.

- INGEOMINAS. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia: Geología, Recursos Minerales y Amenazas Potenciales. Escala 1:400.000.
- IDEA UNAL, 2001. Prediagnóstico Físico Y Socio Cultural Participativo del Estado Ambiental de los Humedales del Magdalena Medio Antioqueño en la Jurisdicción de Corantioquia. Medellín, 193 p.
- Julivert, M., 1961. Estructura del Valle Medio del Magdalena y su Significación. En: Boletín de Geología, Bucaramanga, Colombia. (6): 33 - 52.
- Mojica y Franco, 1990. Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. En: Geología Colombiana. Bogotá. (17): 41-64.
- Taboada A. et al. 2000. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). Tectonics, vol. 19, N° 5, pp. 787-813

