

**ELABORACIÓN DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE
MEDIO DEL RÍO RANCHERÍA ESCALA 1:25.000, ENTRE LOS
MUNICIPIOS DE FONSECA Y ALBANIA, DEPARTAMENTO DE LA
GUAJIRA**

FEDERICO RUEDA CHAPARRO



Universidad Industrial de Santander
Facultad Ingeniería Físicoquímicas
Escuela de Geología
Bucaramanga
2004

**ELABORACIÓN DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE
MEDIO DEL RÍO RANCHERÍA ESCALA 1:25.000, ENTRE LOS
MUNICIPIOS DE FONSECA Y ALBANIA, DEPARTAMENTO DE LA
GUAJIRA**

FEDERICO RUEDA CHAPARRO

Tesis de Grado modalidad Práctica Empresarial para optar el título de
Geólogo

Director

Jorge Enrique Zambrano

Geólogo

Codirector

Henry García Camacho

Geólogo

Universidad Industrial de Santander

Facultad Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2004

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado y todos mis logros a mi familia ya que es a ellos a quienes debo todo lo que soy y en especial a mi madre: la mujer mas excepcional y maravillosa **Nhora Clemencia Chaparro Pinto**, a mis hermanos **Gustavo, Laura, Nicolás, Andrés y Cristian** y a mi padre **Serafín Rueda Meneses**.

AGRADESIMIENTOS

A la compañía Carbones del Cerrejón por haber permitido la realización de mi Practica Empresarial, a mi tutor Henry García por compartir sus conocimientos, a Juliano Maran, a Richar Leseur, a Arnoldo Mendoza una muy buena persona y aquellos que directa o indirectamente me ayudaron a realizar este documento.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	4
2. MARCO GEOLÓGICO	6
2.1 ESTRATIGRAFÍA	8
2.1.1 Cretácico	9
Formación Lagunitas	9
Formación Aguas Blancas	9
Formación la Luna	9
Formación Molino	10
Terciario	10
Formación Hato Nuevo	10
Formación Manantial	10
Formación Cerrejón	10
Formación Tabaco	11
Formación Palmito	12
2.1.2 Cuaternario	12
Aluvión Ranchería	13
Aluvión Bruno	13
Aluvión Tabaco	13
Aluvión Inundación	13
Aluvión Patilla	13

Aluvión Cerrejón	13
Aluvión Palotal	14
Aluvión la Quebrada	14
Aluvión Palomino	14
Aluvión Paladines	14
Aluvión Tabaco 1	14
Aluvión no Identificado	14
2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	14
3. DEFINICIÓN DE TERMINOS HIDROGEOLÓGICOS	18
3.1 ACUÍFEROS	18
3.2 TIPOS DE ACUÍFEROS	18
3.3 GRADIENTE HIDRAULICO	19
3.4 POROSIDAD	20
3.5 PERMEABILIDAD	20
3.6 TRANSMISIVIDAD	21
3.7 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	21
4. HIDROLOGÍA DEL CERREJÓN	22
4.1 PARAMETROS HIDRÁULICOS DE LOS ACUÍFEROS	25
5. METODOLOGÍA	26
5.1 REGISTROS DE POZO	26
5.1.1 Rayos Gamma	26
5.1.2 Densidad	27
5.1.3 Resistividad	28
5.2 INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS DE POZO	28
5.2.1 Ejemplos	32
5.3 CARTOGRAFÍA PRELIMINAR DEL ALUVIÓN	37
5.4 VALIDACIÓN DE CAMPO	38

5.5 TABLA DE BASE Y TECHO DEL ALUVIÓN	41
5.6 MINEX	42
6. RESULTADOS	43
6.1 MAPA HIDROGEOLÓGICO	43
6.1.1 Trazado de la Línea de Contacto	43
6.1.2 Digitalización de la Línea de Contactos	43
6.1.3 Corrección de las Mascaras	44
6.1.4 Impresión y Correcciones	44
6.2 MAPA ISOPACO	47
6.3 MAPA BASE DEL ALUVION	48
6.4 MAPA DE ISOPIEZAS	49
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	56

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Propiedades Hidráulicas de los Aluviones.

25

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Localización Geográfica	5
Figura 2: Esquema Tectonoestratigrafico generalizado	8
Figura 3: Columna Estratigráfica generalizada	16
Figura 4: Mapa Geológico	17
Figura 5: Corte esquemático de una Acuífero Libre y Confinado	19
Figura 6: Esquema para la determinación del Gradiente Hidráulico	20
Figura 7: Pozo 04925	32
Figura 8: Pozo 02509	33
Figura 9: Pozo 03913	34
Figura 10: Pozo 08325	35
Figura 11: Pozo 02016	36
Figura 12: Tabla de la Base y el Techo del Aluvión	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa Hidrogeológico

Anexo 2: Mapa Espesor del Aluvión

Anexo 3: Mapa Base del Aluvión

Anexo 4: Mapa Hidrogeológico. Isopiezas de Acuíferos Cuaternarios

Anexo 5: Mapa Hidrogeológico. Isopiezas de Acuíferos Terciarios

INTRODUCCIÓN

El proceso de extracción a cielo abierto del mineral de interés, en este caso el Carbón, lleva consigo un trabajo multidisciplinario en el cual la labor de cada eslabón es muy importante y la falla en alguno de estos podría llevar a grandes pérdidas económicas y poder afectar el medio ambiente.

Detrás de la explotación de un mineral hay todo un proceso de definición del yacimiento como tal y de la elaboración del diseño de minería encaminado a la máxima recuperación del recurso optimizando los procesos de minería. Para ello los profesionales involucrados en estas tareas, tales como Geólogos e Ingenieros de Minas, entre otros; elaboran un modelo geológico del recurso mineral en aras de definir la geometría y magnitud del yacimiento e identificar las estructuras que este conforma para así diseñar el proceso de explotación del recurso.

Previo a la explotación minera como tal se realizan diferentes tipos de estudios tales como geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, mineros y ambientales en muchos de los cuales se identifican los posibles impactos ambientales que la minería a cielo abierto podría causar durante y después de la explotación del recurso. En nuestro caso es necesario conocer el comportamiento hidrogeológico de la futura zona de explotación; es así como la Hidrogeología entra a jugar un papel muy importante en el desarrollo de la explotación minera y el subestimar su importancia podría llegar a convertirse en un gran problema.

Una de las tareas de la Hidrogeología es la identificación y caracterización de los cuerpos rocosos contenedores de agua que podrían ser afectados al

cambiar su estado de equilibrio por los trabajos propios de la minería, y a partir de esta información entender y modelar el comportamiento del fluido frente a la explotación.

Las aguas subterráneas son el tema de estudio en el presente trabajo de grado, el cual esta encaminado a la identificación de aquellos cuerpos rocosos que la contienen: los Acuíferos. En el área de estudio se presentan acuíferos en dos litologías diferentes: unos dados en los mantos de carbón (Formación Cerrejón) y otros presentes en los aluviones, siendo estos últimos el objeto de interés de este estudio. Los aluviones están formados por sedimentos continentales no consolidados, depositados por corrientes de aguas superficiales a lo largo de su cauce, con características texturales y composicionales propias de cada uno. En la zona de estudio se presentan varios acuíferos de este estilo, denominados Acuífero del Ranchería, Acuífero Bruno, Acuífero Patilla, Acuífero Inundación, Acuífero Tabaco, Acuífero Cerrejón, Acuífero Palomino, la Acuífero Quebrada entre otros.

En el siguiente informe se describirá la metodología utilizada para la elaboración del mapa Hidrogeológico, mapa Isópaco, mapa Base del Aluvión y el mapa de Isopiezas iniciando con la interpretación de los Registros de Pozos que se han corrido dentro del área de estudio, tales como el registro de Rayos Gamma, Resistividad y Densidad principalmente; continuando con la delimitación de las unidades hidrogeológicas (aluviones y formaciones Terciarias) de acuerdo con los rasgos topográficos, contactos que fueron corroborados con salidas a campo en puntos de control específicos escogidos en oficina, realizando una descripción de los afloramientos con el fin de confrontar y precisar el limite entre las unidades.

Además se describirá el uso de los Sistemas Informáticos en la elaboración del mapa Hidrogeológico del Valle medio del Río Ranchería utilizando el

Software MINEX 4.0, con el cual se procesan los datos obtenidos en la interpretación de los registros de pozo, los datos obtenidos de trabajos realizados anteriormente sobre los aluviones suministrados por la compañía y la información obtenida de las salidas de campo.

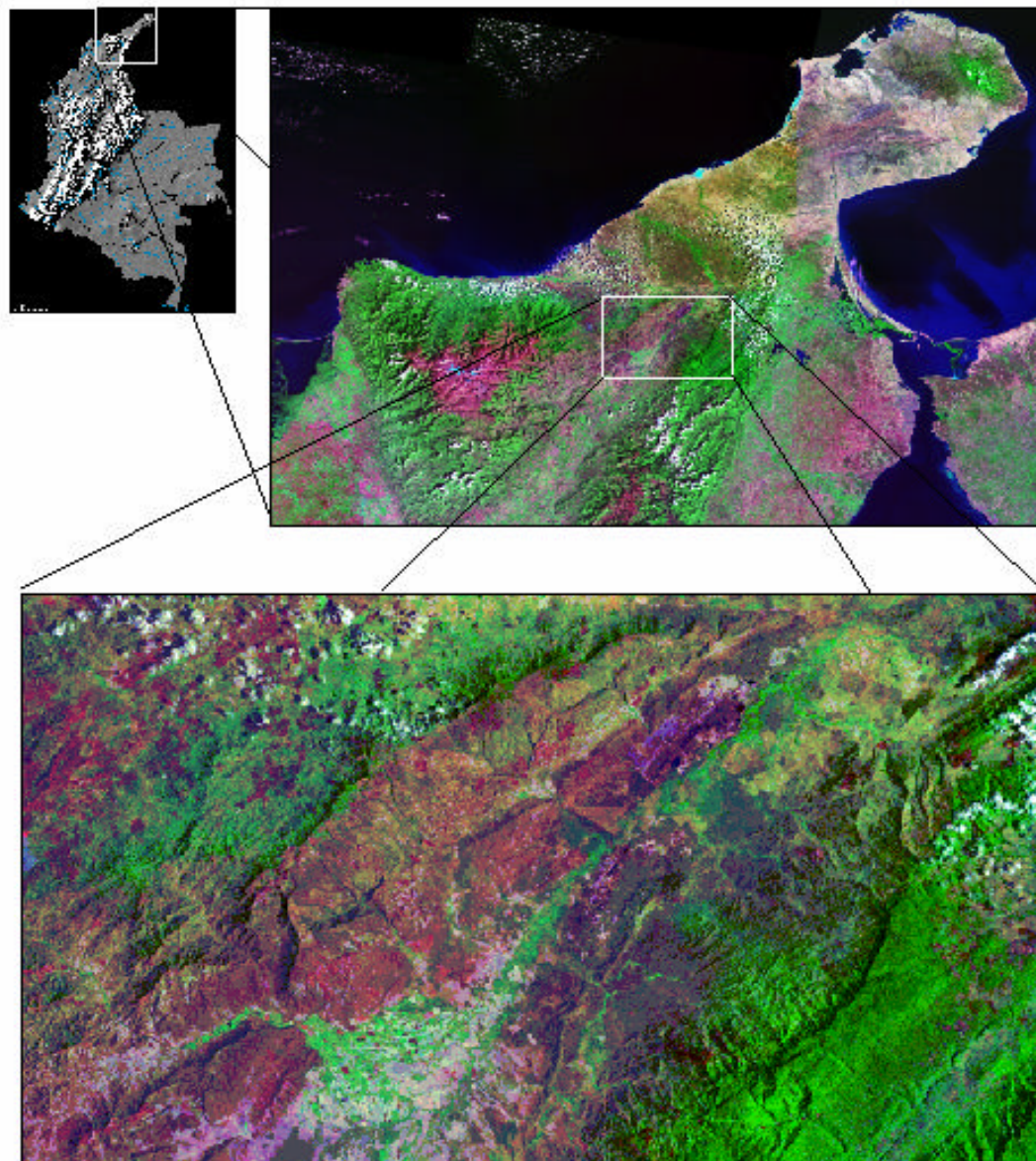
Con esta herramienta informática se elaboró el mapa de espesores del Aluvión (Isópaco), el mapa de la Base del Aluvión, el mapa de Líneas equipotenciales y direcciones de flujo y el mapa Hidrogeológico de la zona de estudio.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El Complejo Carbonífero del Cerrejón esta ubicado al Norte de Colombia, Departamento de la Guajira, entre los municipios de Fonseca y Albania; en el extremo Norte del Valle medio del Río Ranchería (Figura 1).

Limita al Este con la Serranía del Perijá y al Oeste con las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. La zona esta influenciada por la red hidrográfica del Río Ranchería.

Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio. *Arriba Derecha:* Imagen satelital de la Península de la Guajira. *Abajo:* Imagen satelital de la zona de estudio. Se observa el Valle Medio del Río Ranchería como una faja verde con dirección NE iniciando en el abanico de Fonseca (Abajo izquierda) y termina en la Falla de Oca (Arriba derecha). Escala aproximada 1: 300.000.



2. MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio corresponde a la Cuenca Geológica del Cesar – Ranchería, en una área plana entre 80 y 120 m.s.n.m. Esta cuenca se encuentra delimitada al Este por la Serranía Motilones - Perijá, al SW por la Sierra Nevada de Santa Marta, al Norte por la Falla de Oca.

Morfológicamente la cuenca es una semifosa hundida entre el bloque de la Sierra Nevada de Santa Marta el cual comprende rocas metamórficas, rocas ígneas intrusivas y volcánicas del Precámbrico hasta el Eoceno, y rocas sedimentarias del Pérmico y el Triásico; y el bloque Serranía de Motilones - Perijá al Oriente el cual comprende rocas metamórficas del Precámbrico y Cámbrico - Ordovícico, rocas sedimentarias marinas del Devónico hasta el Pérmico y rocas sedimentarias continentales y volcánicas del Jurásico.

La cuenca comprende una sucesión sedimentaria Cretácica con las Formaciones Río Negro, Lagunitas, Aguas Claras, La Luna y Molino; del Paleoceno con las Formaciones Hato Nuevo, Manantial y Cerrejón; del Eoceno con las Formaciones Tabaco y Palmito y sedimentos del Cuaternario.

La evolución geotectónica al No roeste de la parte Norte de Sur América esta relacionada con los dos grandes eventos tectónicos dados en esta zona: Periodo temprano (Triásico a Cretácico medio; 245 - 125 m.a) en el cual la tectónica extensional esta relacionada con la separación de los continentes de Norte y Sur América; y el periodo Andino el cual se inicio en el Cretácico tardío - Paleoceno (74 m.a) en respuesta a la convergencia noroeste - sureste que involucró la subducción entre la placa oceánica del Caribe y la placa continental de Sur América.

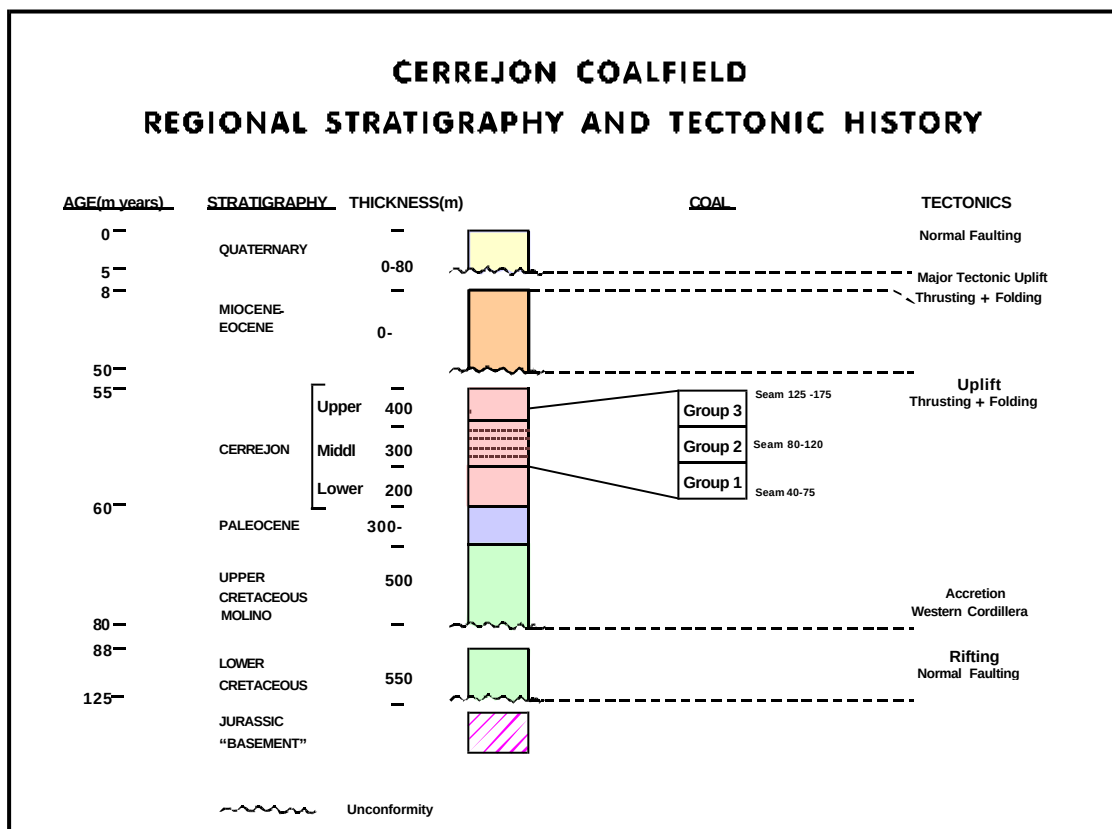
Para la primera etapa, un rifting relacionado con la separación de Norte y Sur América controló la sedimentación desde los principios del Mesozoico hasta el Cretácico tardío (245 - 125 m.a). La megasecuencia sinrift empezó con depósitos continentales hasta llegar a depositar los sedimentos de ambientes más profundos en el Cretácico temprano seguido por una transgresión marina. En el Cretácico tardío y Paleoceno temprano, la extensión continuó resultando un adelgazamiento de la litosfera, seguido por una inversión tectónica y la formación de la cuenca back-arc. La cuenca pudo haber sido intracontinental pero expuesta al océano abierto durante el Cretácico Tardío. (AATS, Geophysical Department, 1999)

En la Orogenia Andina, la subducción que se generaba ya desde el Jurásico más hacia el Oeste es el marcador de este periodo con la acreción de la Cordillera Occidental. En el Paleoceno tardío - Eoceno, la acreción y cierre de la cuenca marginal tomo lugar desde el oeste - noroeste. Gracias al plegamiento y cabalgamiento, efecto del acortamiento cortical; dio como resultado un aumento en la carga litostática y la exposición de paquetes rocosos los cuales fueron erosionados por ríos donde las planicies de deltas más bajas estaban afectados por condiciones marinas. Canales arenosos y barras de arenas estaban separados por bahías interdistributarias siendo en las partes más bajas donde se dio lugar a la preservación de turba.

Por último, en el Eoceno - Presente la convergencia de las placas es reactivada llevando así a que las condiciones marinas fueran reactivadas también durante el Mioceno medio. Este corto evento transgresivo fue seguido por la depositación de una gruesa capa de sedimentos molásicos. Periódicas peneplanaciones del paisaje a lo largo de este periodo dieron resultado en un gran número de discordancias regionales las cuales fueron controladas tectónica e isostáticamente.

Un esquema tectonoestratigráfico generalizado de la historia evolutiva de la cuenca del Cesar - Ranchería se presenta en la Figura 2.

Figura 2: Esquema tectonoestratigráfico generalizado.



AATS, Geophysical Department. 1999.

2.1 ESTRATIGRAFÍA

La secuencia estratigráfica de la cuenca ha sido estudiada y definida por diferentes autores (Muñoz, 1988; INGETEC, 1987; Estudios y Asesorías, 1986; AATS, 1999 entre otros) de los cuales se extrajo la descripción

litológica de las formaciones que afloran en el área de interés, presentándose a continuación:

En la Figura 3 se presenta la Columna Estratigráfica generalizada.

2.1.1 Cretácico

✍ Formación Lagunitas: Constituida por calizas fosilíferas de color pardo gris a gris oscuro intercaladas con lutitas calcáreas de color rojo. Esta formación fue depositada en condiciones intermedias de mar abierto, rico en carbonatos y con abundancia de materia orgánica. Teniendo en cuenta su contenido fosilífero se determinó la edad en la parte inferior del Cretácico. Su espesor aproximado es de 200 m.

✍ Formación Aguas Blancas: Constituida por calizas de color gris claro a oscuro fosilíferas con moluscos del tipo de Lamelibranquios y Gasterópodos, ocasionalmente se encuentran Corales y Amonites; intercaladas con lutitas calcáreas de color negro. Su ambiente de formación es de mar abierto, rico en carbonatos con abundante materia orgánica. Con base a su contenido fosilífero se considera de edad Albiano superior. Su espesor estimado es de 300 m.

✍ Formación La Luna: Constituida por calizas fosilíferas intercaladas con lutitas fosilíferas de color negro. Se presentan nódulos de Chert de 3 a 10 cm de diámetro los cuales están en los niveles de Areniscas. Descansa discordantemente sobre la Formación Aguas Blancas. Su ambiente de depositación es de mar tropical con circulación restringida, rico en materia orgánica. De acuerdo con sus fósiles se asigna una edad para el Coniaciano. Su espesor estimado es de 60 m.

✍ Formación Molino: Constituida por una secuencia de Limolitas con pequeñas intercalaciones de areniscas calcáreas de grano fino. Suprayace concordantemente con la Formación La Luna. De acuerdo con su contenido fósil, el ambiente de formación es de mar profundo y se considera de edad Coniaciano superior al Maestrichtiano. Su espesor se estima en 350 m.

2.1.2 Terciario

✍ Formación Hato Nuevo: Constituida por calizas micríticas intercaladas con delgadas capas de areniscas micáceas a subarkósicas y lutitas calcáreas negras. Descansa discordantemente sobre la Formación Molino. Con la depositación de la Formación Hato Nuevo se inicia la regresión regional. Su ambiente de depositación es marino de aguas someras. Por su contenido fosilífero, esta formación se considera de edad Paleoceno inferior. Su espesor se estima en 320 m.

✍ Formación Manantial: Constituida por areniscas calcáreas intercaladas con lutitas y calizas masivas de color gris o pardo. Suprayace concordantemente (contacto transicional) a la Formación Hato Nuevo. Se depositó en un ambiente de transición (marino de aguas someras a continental). De acuerdo con su posición estratigráfica su edad es Paleoceno inferior. El espesor estimado es de 145 m.

✍ Formación Cerrejón: Suprayace concordantemente la Formación Manantial y consiste en una serie de sedimentos marinos de plataforma somera de aproximadamente 900 m de espesor, principalmente de Areniscas grises oscuras, Arcillolitas y Limolitas grises, Lutitas grises oscuras a negras y mantos de carbón; localmente se presentan delgados bancos de Calizas hacia la base de la formación. Los mantos de carbón se encuentran

distribuidos más o menos regularmente a lo largo de toda la sección cuyos espesores varían de pocos metros hasta los 15 m, su rumbo es aproximadamente Noreste - Suroeste buzando hacia el Sureste. De acuerdo con la distribución y espesor de los mantos de carbón, para propósitos de correlación; la formación ha sido dividida en tres miembros informales:

Miembro Inferior: Desde manto 25 al manto 35, con 180 m de espesor, caracterizado por mantos irregularmente distribuidos en espesores que fluctúan entre pocos centímetro hasta 2 m, intercalados con estratos de calizas que alcanzan espesores hasta de 4 m, y capas de areniscas y lutitas.

Miembro Medio: Desde manto 40 al manto 100, los carbones son más gruesos (0.9 a 6 m) y el espaciamento entre ellos es bastante uniforme, dentro de la sección que alcanza 300 m de espesor.

Miembro Superior: Desde el manto 102 al manto 175, con 400 m de espesor, esta caracterizado por un mayor espaciamento entre los mantos, pero estos a su vez presentan los mayores espesores, que fluctúan entre 1.4 y 10 m.

Considerando el contenido de plantas fósiles y las determinaciones palinológicas realizadas, se ha definido la edad para esta formación del Paleoceno medio. El ambiente de formación fue cambiando gradualmente de marino a continental. La parte inferior de la secuencia presenta influencia marina y la parte superior representa un ambiente continental con influencia de aguas frescas

✍ Formación Tabaco: Rocas sedimentarias clásticas gruesas con un espesor aproximado de 120 m. El contacto basal es neto, discordante de geometría angular con la Formación Cerrejón. Esta conformada hacia la base por Areniscas grises cuarzosas de tamaño de grano medio a grueso

con intercalaciones de delgados niveles conglomeráticos compuestos de Chert negro bien redondeado y guijas de cuarzo en una matriz arenosa y ocasionalmente carbonacea; y Arcillolitas. Hacia la mitad de la formación se presentan areniscas gris verdosas de grano medio a conglomeráticas. Ya hacia el techo de la unidad se encuentran areniscas subarkósicas gris claras de tamaño de grano medio a grueso, arcosas gris verdosa de tamaño de grano medio a grueso con abundante cuarzo; las cuales gradan normalmente hacia el tope de la secuencia. Dentro de las estructuras sedimentarias se presenta la estratificación cruzada. El espesor estimado es de 120 m.

✍ Formación Palmito: Constituida por sedimentos clásticos de tamaño de grano fino. Hacia la base se presentan Areniscas de grano fino a medio que varía de composición entre cuarzo - feldespáticas a Arcosas. Hacia el techo de la formación se encuentran areniscas arcillosas y Lodolitas calcáreas y ocasionalmente capas de yeso. El ambiente de formación es árido a semiárido de acuerdo a los niveles evaporíticos. Su espesor varía esta entre 180 y 300 m.

2.1.3 Cuaternario

Los sedimentos cuaternarios aluviales consisten principalmente de bloques, gravas y/o arenas en una matriz de arena, limo y/o arcilla que cubren gran parte del Valle del Río Ranchería y el de sus afluentes. Estos sedimentos se depositaron principalmente sobre las Formaciones Cerrejón y Tabaco, determinando una morfología de pendientes suaves con algunas colinas que sobresalen, constituidas por rocas Terciarias.

Se identificaron las unidades aluviales bien diferenciadas con base a su composición, tamaño del material y matriz; ellas son:

✍ Aluvión Ranchería: Arenas gruesas a finas subangulares compuestas principalmente de Cuarzo (70% - 90%) y fragmentos de Rocas Ígneas (30%) en matriz arcillosa. Armazón: 80%, Matriz: 20%. Espesor promedio: 6m.

✍ Aluvión Bruno: Constituido por cantos y gravas de Calizas (80%) ligeramente meteorizados y fragmentos de Areniscas y Limolitas (20%) en una matriz areno-arcillosa. Armazón: 80%, Matriz: 20%. Espesor promedio: 8 m.

✍ Aluvión Tabaco: Localizado a lo largo de los Arroyos el Bobo y la Puente. Compuesto por clastos de tamaño de gravas de rocas sedimentarias de color rojo (50%) y en menor proporción fragmentos de Calizas (35%) y Areniscas (15%) en una matriz limo-arenosa. Armazón: 60%, Matriz: 40%. Espesor promedio: 5,5 m.

✍ Aluvión Inundación: Localizado en las partes bajas del Valle del Río Ranchería. Compuesto por clastos de tamaño de gravas y arenas de Calizas (35%), Areniscas (25%), Sedimentos rojos (15%), Cuarzo (15%) y fragmentos de Rocas Ígneas (10%) en matriz arcillosa (40% – 70%). Armazón: 30%, Matriz: 40% - 70%. Espesor promedio: 5.5 m.

✍ Aluvión Patilla: Gravas y arenas gruesas de Rocas Ígneas, Chert rojos y calizas en una matriz limo-arenosa. Espesor promedio: 3.8 m.

✍ Aluvión Cerrejón: Conformado por cantos, gravas y arenas de Areniscas de grano fino de color rojo (70%), Limolitas amarillas y gris claras (15%), Rocas Ígneas efusivas rosadas y verdes (10%) y Cuarzo (5%) en matriz arcillo-arenosa. Armazón: 55%, Matriz: 45%.

✍ Aluvión Palotal: Bloques, cantos, gravas y arenas redondeadas a subredondeadas de Caliza micrítica (55%) y Areniscas de grano fino de color marrón (45%) en una matriz areno-arcillosa. Armazón: 45%, Matriz: 55%

✍ Aluvión la Quebrada: Cantos, guijas y guijarros de Calizas (70%), Cuarzo (25%) y Rocas Sedimentarias con material ferruginoso (5%) en matriz areno-arcillosa. Armazón: 45%, Matriz: 55%

✍ Aluvión de Palomino: Bloques, Cantos y guijarros Calizas biomicríticas (70%) y Areniscas competentes de color rojo grisáceo (30%) en una matriz arcillosa. Las partículas son subredondeadas. Armazón: 45%, Matriz: 55%

✍ Aluvión Paladines: Cantos y arenas gruesas de Calizas, Rocas Ígneas y areniscas en una matriz areno-arcillosa. Armazón: 45%, Matriz: 55%

✍ Aluvión Tabaco 1: Compuesto por clastos de tamaño de gravas de rocas sedimentarias de color rojo (45%), fragmentos de Calizas (30%) y Areniscas (15%) y Cuarzo (10%) en una matriz limo-arenosa. Armazón: 55%, Matriz: 45%.

✍ Aluvión No Identificado: Aluvión diferenciado por su expresión geomorfológica pero del cual no existen descripciones texturales ni composicionales ya que no hay perforaciones sobre este.

2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El ambiente estructural de la cuenca esta controlado por un marco tectónico regional que a su vez controla también el ambiente de depositación, el cual

ha generado estructuras regionales tales como la Falla de Oca y Ranchería ocasionando así alteraciones en la secuencia estratigráfica. Las estructuras son generadas a partir de esfuerzos compresivos debido a la convergencia de las Placas de Sur América y Caribe.

Los rasgos estructurales más importantes son las fallas, de las cuales las más importantes se encuentran la Falla de Oca la cual limita el Valle medio del Río Ranchería hacia el norte truncándolo abruptamente. Tiene una dirección E-W y es una falla de rumbo dextrolateral.

La Falla del Cerrejón define el límite entre la Serranía del Perijá y el valle medio del río Ranchería, tiene una dirección NE-SW y una inclinación del plano de falla de 10° a 15° hacia el SE. Esta es una falla inversa de bajo ángulo la cual originó el cabalgamiento de las formaciones del Cretácico sobre las formaciones del Terciario, y frecuentemente esta cortada por fallas locales de rumbo dextrolateral paralelas a la Falla de Oca.

La Falla de Ranchería se ubica hacia el centro del valle con dirección NE-SW. Esta es una falla inversa de alto ángulo.

Asociado a estas fallas se encuentran pliegues dentro de los cuales se destacan el Anticlinal de Tabaco localizado en la parte central de la zona siendo un anticlinal simétrico cuyo eje tiene una dirección NE-SW con cabeceo hacia el Sur, el Sinclinal de Tabaco esta localizado al Oeste del Anticlinal de Tabaco siendo un sinclinal asimétrico y el Sinclinal de Tomarrazón esta localizado al Este de la Falla Manantial y es asimétrico con cabeceo hacia el NE. (Correa, V. 1989)

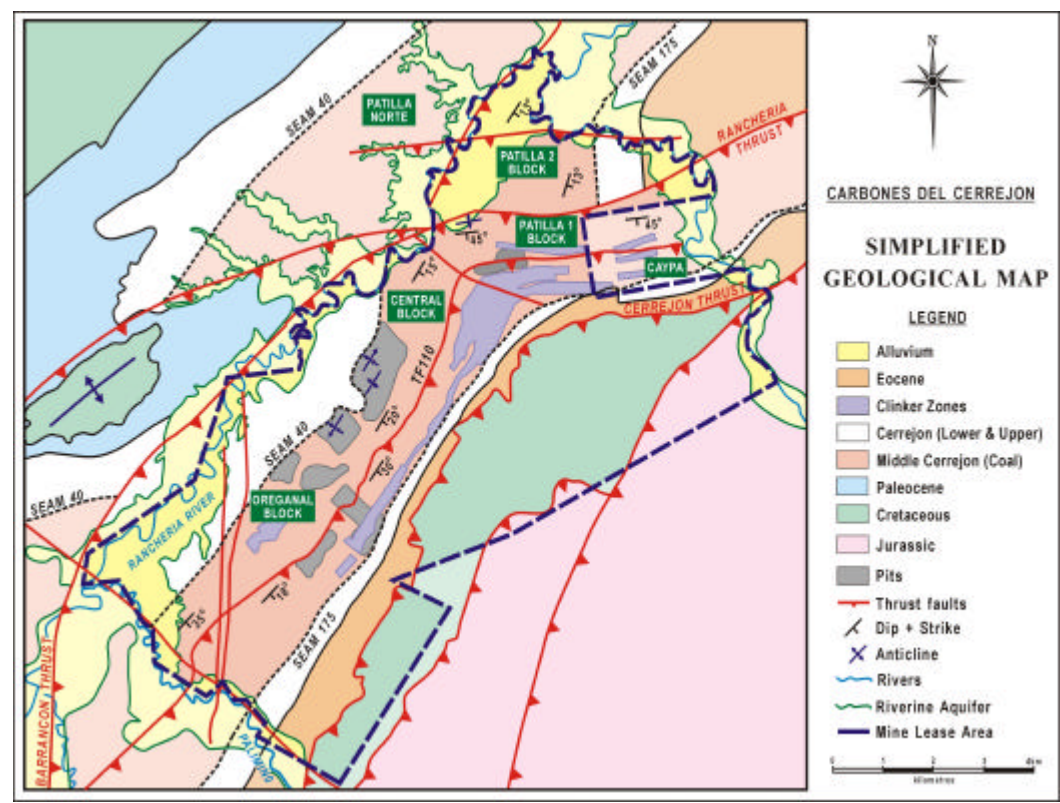
En la figura 4 se presenta el Mapa Geológico generalizado de la zona de estudio.

Figura 3. Columna Estratigráfica generalizada.

ESTRATIGRAFIA					
STANDARD NOMENC.	SYMBOL	DESCRIPCION TIPICA	LITOLOGIA		
COLUVION	Qc	LIMOS, ARCILLAS,ARENAS Y GRAVAS		HOLOCENO	CUATERNARIO
ALUVION	Qal	ARENA LIMOSA, ARENA GRAVOSA		HOLOCENO	
TERRAZA	Qt	ARENA LIMOSA Y GRAVAS		HOLOCENO	
ABANICO ALUVIAL	Qab	GRAVA-CONGLOMERADO LIMOSA, ARENOSA Y GRAVOSA		PLEISTOCENO	TERCIARIO
FM PALMITO	Tpep	ARCILLOLITA BLANCA,PARDUZCA Y VERDOSA CON OCC ARENISCA LIMOSA / YESIFERA		OLIGOCENO EOCENO	
FM TABACO	Tpet	CONGLOMERADOS GRAVOSO, CALIZAS FOSILIFERA CON MATRZ ARENOZA-CAOLINITICA		EOCENO	
FM CERREJON	Tpc	ARCILLOLITA LIMOSA CARBONACEA CON MANTOS DE CARBON, CALIZAS FOSILIFERAS Y LIMOLITAS		PALEOCENO SUPERIOR	
FM MANANTIAL	Tpm	CALIZAS LUMAQUELICAS ESPARITICAS Y ARENISCAS CALCAREA Y SHALES		PALEOCENO MEDIO	
FM HATO NUEVO	Tphn	SHALES GRIS OLIVA Y ARENISCAS INTERESTRATIFICADAS CON CALIZAS ARENOSAS		PALEOCENO INFERIOR	
FM MOLINO	Ksm	SHALES Y LIMOLITAS LIGERAMENTE CALCAREAS GRIS A PARDAS		SUPERIOR	CRETACEO
FM LUNA	Ksl	CALIZAS MICRITICAS NEGRAS INTERESTRATIFICADAS CON ARENISCAS Y CHERT			
FM AGUAS BLANCAS	Kmab	CALIZAS ESPARITICAS FOSILIFERAS GRIS PARDUZCAS, CALIZAS ARENOSAS		MEDIO	
FM LAGUNITAS	Kml	CALIZAS MICRITICAS MASIVAS Y MICROFOSILIFERAS GRIS CLARO		INFERIOR	
FM RIO NEGRO	Kirn	ARENISCAS ARCOSICAS DE GRANO GRUESO A CONGLOMERATICAS Y CONGLOMERADOS GRAVOSOS ARCOSICOS			
FM LA QUINTA	Jqi	BRECHAS VOLCANICAS, LAVAS MAFICAS NEGRAS Y ROJAS, ARENISCAS TOBACEAS			PRECAMBRICO
PALEOZOICO SEDIMENTARIO	Pzs	ARENISCAS ROJAS Y LIMOLITAS CON OCC.CONGLOMERADOS NARANJA - PARDUSCOS, CALIZAS		PERMICO	PALEOZOICO
METAMORFICO PALEOZOICO	Pzm	GABROS Y ROCAS METASEDIMENTARIA		ORDOVICICO CAMBRICO	
LOS MANGOS GRANULITA	PC	ANFIBOLITAS/GRANULITAS		PRECAMBRICO	

SRK Consulting, 2002

Figura 4: Mapa Geológico Generalizado.



Integral, 2002

3. DEFINICION DE TERMINOS HIDROGEOLOGICOS

Los acuíferos cumplen las funciones de almacenamiento y transmisión de agua. El flujo que se da a través de la formación esta regido por la ley empírica de Henry Darcy, la cual es la expresión matemática básica a partir de la cual se inicia el modelamiento hidráulico de un acuífero.

$$Q = A * K * I$$

Donde Q: Caudal (m³/h)

A: Área transversal de flujo (m²)

K: Permeabilidad (m/h)

I: Gradiente Hidráulico

3.1 ACUIFERO

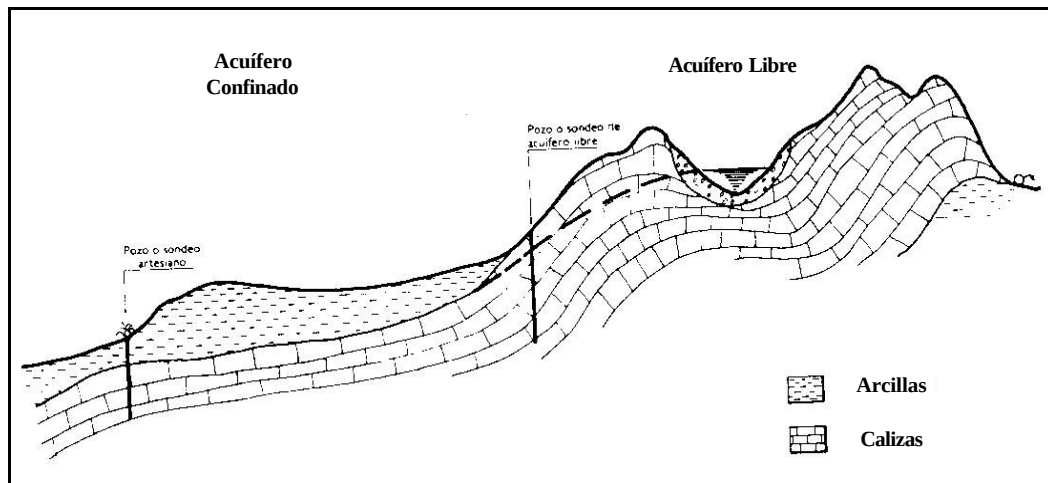
Unidad Geológica de estructura permeable que permite el almacenamiento y movimiento de agua a través del material que lo constituye.

3.2 TIPOS DE ACUIFEROS

Libre: Formación geológica que permite que el agua subterránea este sometida a la presión atmosférica, sin ningún tipo de confinamiento. (Figura 3)

Confinado: Formación geológica que disponga de rocas o sedimentos impermeables que separan el agua del acuífero con la actuación directa de la presión atmosférica. (Figura 5)

Figura 5: Corte esquemático de un acuífero libre y confinado.



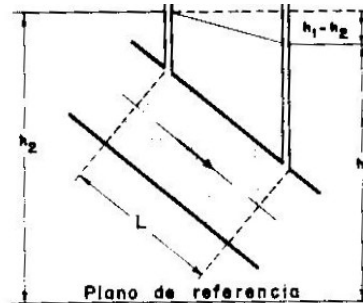
Pulido, 1978

3.3 GRADIENTE HIDRAULICO

El Gradiente Hidráulico es la pérdida de carga que experimenta el agua subterránea a través del acuífero. El movimiento del agua subterránea se debe a la diferencia de potenciales desplazándose esta de potenciales altos a más bajos. El Gradiente Hidráulico esta definido por:

$$I = \frac{h_2 - h_1}{L}$$

Figura 6: Esquema para la determinación del Gradiente Hidráulico.



Pulido, 1978

3.4 POROSIDAD ($\emptyset$)

Volumen de la formación geológica que consiste de aberturas o espacios no ocupados por material sólido. La Porosidad se expresa generalmente como un porcentaje del volumen total del material.

3.5 PERMEABILIDAD (K)

Es el caudal de agua que se filtra a través de una sección unitaria, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario. La Permeabilidad es la capacidad de un medio poroso para transmitir agua. El valor numérico corresponde a una velocidad y sus unidades de medida normalmente son m/día. Este valor está influenciado por la naturaleza del fluido (Densidad y Viscosidad), por el valor medio de los poros y por la Temperatura.

Para la determinación de la Permeabilidad se realizan ensayos de campo o de laboratorio.

3.6 TRANSMISIVIDAD (T)

Razón a la cual fluye el agua a través de una franja vertical del acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado cuando el gradiente hidráulico es unitario y temperatura constante. Este coeficiente indica cuanta agua se mueve a través de la formación.

La Transmisividad esta definida por

$$T = k * h \text{ (m}^2 \text{ / día)}$$

Donde k: Permeabilidad (m/día)

h: Espesor del acuífero saturado (m)

3.7 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S)

Volumen de agua tomada del acuífero por unidad de área superficial cuando se produce un cambio unitario de gradiente hidráulico. El coeficiente de almacenamiento es un termino adimensional. Este coeficiente indica la cantidad de agua que puede ser obtenida por bombeo o drenaje. Para la determinación de este parámetro se realizan las pruebas de bombeo en la cual ya calculado el valor de la Transmisividad se reemplaza en la ecuación:

$$S = \frac{2,25 * T * t_0}{R^2}$$

donde T: Transmisividad (m²/día)

t₀: Punto donde el abatimiento es cero (día)

R: Distancia del pozo de bombeo al pozo de observación (m)

4. HIDROGEOLOGÍA DEL CERREJÓN

El río Ranchería es la principal fuente de agua superficial de la región, el cual nace en la Laguna La Cuchilla de Cincanema, ubicada a los 3500 m.s.n.m al NE de la Sierra Nevada de Santa Marta.

El Valle medio del río Ranchería con una extensión aproximada de 60 km de longitud, es un amplio valle con abanicos aluviales, terrazas y una planicie aluvial de 2 a 2.5 km de ancho.

La cuenca hidrográfica del Río Ranchería está formada por numerosos afluentes con aporte permanente de agua tales como Arroyo Cerrejón, Tabaco y Bruno entre otros, y arroyos perennes tales como Palomino y La Quebrada entre otros.

El cauce del río Ranchería tiene un tramo aproximado de 220 Km., con una dirección Suroeste - Noreste. Su recorrido se divide en Valle alto que inicia en su nacimiento hasta la Chorrera el cual corresponde a 58 km. El drenaje en esta zona es juvenil de tipo dendrítico sobre un conjunto de rocas ígneas homogéneas de topografía abrupta.

El valle medio ubicado entre La Chorrera y la Falla de Oca el cual corresponde a 62 km de su recorrido con drenaje meandriforme variado desde angular a subangular donde drenan dos unidades orográficas: la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá. El río Ranchería se comporta como una corriente madura con desarrollo de meandros y barras de arena.

El Valle inferior se ubica desde la Falla de Oca hasta su desembocadura los cuales son los últimos 100 km, con drenaje escaso de tipo meándrico y dendrítico que en el invierno forma una serie de corrientes caóticas que generalmente inundan el valle del río (Hidroambiente Ltda, 1989).

La precipitación en esta cuenca es de 936 mm/año en la estación climatológica Tajo Tabaco y de 781 mm/año para Tajo Sur. Tiene dos periodos de mayores lluvias entre los meses abril a junio y de agosto a noviembre (Gómez, Cajiao y Asociados, 2003).

La evapotranspiración alcanza los 562 mm/año. Los caudales promedios de la escorrentía tomados en el Río Ranchería son entre 8.6 m³/s y 11,7 m³/s. Tanto el río Ranchería como sus afluentes son torrenciales, que varían grandemente sus caudales en los periodos de lluvia. La temperatura promedio mensual es de 27.9° C, con un valor máximo registrado de 37.5° C.

El complejo carbonífero El Cerrejón presenta un marco hidrogeológico complejo ya que existen unidades litoestratigráficas contenedoras de agua tanto de tipo acuífero libre como de acuíferos confinados. Los acuíferos libres están conformados por los depósitos aluviales del Cuaternario y los acuíferos confinados están conformados por las formaciones Terciarias tales como Formación Cerrejón y Formación Tabaco.

En algunos sectores del complejo minero estas formaciones afloran en superficie lo cual las convierte en acuíferos libres ya que el agua que ellas contienen esta siendo afectada directamente por la presión atmosférica, siendo esta la característica de los acuíferos libres.

Los acuíferos libres están conformados por los aluviones siendo estos depósitos de clastos erodados de las unidades orogénicas que limitan el Valle del Río Ranchería (Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del

Perijá), compuestos de fragmentos de rocas Ígneas, Metamórficas y Sedimentarias con partículas de tamaño variable desde bloques redondeados hasta arenas finas, embebidos en matriz de arena, limo y/o arcilla.

Los acuíferos confinados están relacionados a los mantos de carbón presentes en la Formación Cerrejón que se comportan como pequeños acuíferos independientes entre sí ya que el material estéril tiene muy baja permeabilidad. El agua que estos acuíferos albergan se aloja en los espacios vacíos que hay en las fracturas. Por otra parte, la Formación Tabaco se comporta como acuífero confinado almacenando agua en los poros existentes entre los granos de arena gruesa a conglomerática que la conforman. De acuerdo con los estudios realizados (INGETEC, 1987) este acuífero presenta buenos rendimientos con Transmisividades promedio de $30.5 \text{ m}^2/\text{día}$ (T: $23.2 \text{ m}^2/\text{día}$ para PZT-1 y T: $37.8 \text{ m}^2/\text{día}$ para PZT-2)

Los acuíferos de interés para nuestro proyecto están conformados por depósitos aluviales del Río Ranchería y sus afluentes donde el sistema de recarga es por infiltración directa desde el cauce del Río Ranchería y sus afluentes en épocas de alta esorrentía y/o por infiltración directa de la precipitación sobre la planicie aluvial.

La calidad del agua del acuífero aluvial es dulce, clorada-cálcica-sódica-bicarbonatada, con altos valores de dureza total, Fe y Mg (Aluvión del Ranchería). Este recurso es explotado por la compañía para uso domestico e industrial.

Por otra parte, la calidad del agua de los acuíferos de los mantos de carbón es básica, químicamente activa con altos contenidos en sólidos disueltos, sulfatos, magnesio y cloruros no apta para el consumo humano. Este recurso

es extraído con el fin de disminuir la presión de poros en el Footwall y es utilizada para el control de polvo. (Correa V., 1989)

4.1 PARAMETROS HIDRAULICOS DE LOS ACUIFEROS

Las siguientes son los resultados de los ensayos que se han realizado sobre los diferentes aluviones. Las características hidráulicas de los acuíferos varían de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades Hidráulicas de los Aluviones.

ALUVIÓN	T (m ² /d)	S	K (m/d)
Ranchería	326 - 350	$7.6 - 9.2 \times 10^{-3}$	55
Bruno	200 - 250	8×10^{-2}	10 - 12
Inundación	10 - 11	3×10^{-4}	3 - 5
Tabaco	50 - 100	3×10^{-4}	5
Cerrejón	4 - 12	-----	1.5
Patilla	-----	8×10^{-3}	55*
Palotal	-----	-----	5.2

55*: Valor estimado a partir de las características litológicas.

Hidrogeocol, 1999

5. METODOLOGIA

La metodología que se utilizó para la elaboración de los mapas Hidrogeológico, Isópaco, Base del aluvión y de Isopiezas de los Acuíferos Cuaternarios y Terciarios fue la siguiente:

- ✍ Recopilación Bibliográfica.
- ✍ Caracterización de la composición litológica y textura de los aluviones según las descripciones de los rips de perforación y delimitación de las unidades Hidrogeológicas.
- ✍ Interpretación de los Registros de Pozo y elaboración del archivo de la base y techo de los aluviones.
- ✍ Digitalización del mapa Hidrogeológico.
- ✍ Impresión y Correcciones.

5.1 REGISTROS DE POZO

Los registros de pozo que se utilizan para la identificación y determinación del espesor del aluvión son principalmente:

5.1.1 Rayos Gamma

Registro basado en la medición de la radiación natural de Rayos Gamma proveniente de los elementos radioactivos presentes en las formaciones rocosas las cuales presentan diferentes cantidades de estos elementos.

La cantidad de radiación es registrada de acuerdo a la emisión radioactiva de los Rayos Gamma en función de la profundidad. Las unidades utilizadas para cuantificar esta medida son los API (American Petroleum Institute).

Este registro es utilizado en la industria gracias a la diferencia que existe entre los materiales que conforman la roca, por ejemplo los minerales arcillosos entre ellos la Illita, dentro de su composición química contiene elementos radioactivos tal como el Potasio que emite rayos Gamma esporádicamente. En la mayoría de los casos las Arcillolitas, Lutitas y Shales presentan un alto contenido de estos minerales haciendo así que el registro tenga un valor alto en comparación a las areniscas y las calizas que presentan un pequeño contenido de minerales arcillosos.

Para la toma de datos, se introduce la herramienta que consta de un dispositivo en donde se inserta un detector de rayos Gamma ya sea un conductor Geiger - Mueller o un contador de centelleos. Se introduce la sonda en el pozo y al ascender por éste el circuito de conteo ubicado en la superficie convierte el número de pulsaciones eléctricas que envía el detector a voltajes o potenciales que son registrados en forma continua.

5.1.2 Densidad

Este registro se vale de la interacción de una partícula enviada por la herramienta con la formación la cual se esta registrando. La herramienta consta de una cabeza de elemento radioactivo, generalmente Cesio, el cual emite rayos Gamma hacia las formaciones. Al viajar esta partícula a través de la roca choca con los electrones de niveles superiores de los átomos haciendo que pierda energía (Efecto de Compton) y que la partícula cambie de dirección. A lo largo de este proceso, los rayos Gamma emitidos por la

fuerza chocan sucesivamente con los electrones de la formación cambiando de dirección hasta llegar a ser registrados por los detectores que lleva la herramienta. Gracias a esto, se puede calcular la densidad y la porosidad de las formaciones lo cual permite diferenciar el tipo de roca. La unidad de medida para este registro es de volumen y generalmente se presenta en gramos por centímetro cúbico (g/cc).

5.1.3 Resistividad

Este registro consiste en la medida de las resistividades aparentes de las formaciones. La resistividad es una propiedad cuantificable que presentan las rocas de acuerdo con su composición y contenido de fluidos.

Las rocas pueden contener fluidos entre sus poros haciéndola más o menos resistiva, por ejemplo; una arenisca con agua salada es menos resistiva que una arenisca saturada con agua dulce.

La herramienta consta generalmente de una sonda con un electrodo de corriente y dos electrodos de potencial. El electrodo de corriente envía un pulso y los electrodos de potencial registran la caída en relación con un voltímetro ubicado en superficie. La herramienta asciende a través del pozo registrando la caída de potencial de las rocas.

5.2 INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS DE POZO

La identificación de la base y techo del aluvión se basa en la interpretación de las formas de las curvas de cada uno de los registros entendiendo el comportamiento del registro el cual responde a las características de las

rocas, y con la ayuda de las descripciones de los ripios las cuales se ajustan al registro.

Sin embargo, estas curvas están sujetas a problemas propios de la herramienta, del estado del pozo y otras variables las cuales pueden registrar una respuesta incorrecta pudiendo ser esta erróneamente interpretada. Por ello es necesario el conocimiento del funcionamiento de la herramienta, del principio físico bajo la cual esta se rige y de las propiedades de las rocas a las cuales se toma el registro.

El Registro de Rayos Gamma para nuestro caso, en formaciones no consolidadas marca principalmente lechos de arcillas en donde la intensidad de los rayos Gamma aumenta y capas de arenas cuando la intensidad del registro disminuye. Sin embargo, hay que tener presente que los aluviones son depósitos de río donde se presenta una mezcla de estos materiales encontrando niveles areno-limosos, arcillo-arenosos o de material aun mas grueso soportado por una matriz arcillosa o limosa. Es por ello que existe un rango amplio de la intensidad de la curva del registro de rayos Gamma para los aluviones lo cual implica una determinación no tan precisa del aluvión y de la base y el techo de este. En algunos casos la curva del aluvión es similar en intensidad a la curva de una Arcillolita o a la de una Arenisca llevándonos a pensar que es la formación la que esta aflorando siendo esta una conclusión errónea. Para resolver este problema se acude a la curva de Densidad.

Los aluviones son depósitos inconsolidados que presentan una porosidad relativamente alta reflejándose en la disminución de la intensidad de la curva del registro de densidad. Esta herramienta es útil para resolver algunos de los problemas del registro de rayos Gamma ya que los aluviones presentan menor densidad que las Arcillolitas y la Areniscas por que estas ultimas son rocas que han sufrido procesos de litificación y compactación disminuyendo

el porcentaje de espacios vacíos. Sin embargo hay dos puntos a tener en cuenta: Los aluviones pueden albergar fluidos (en este caso agua) haciendo que la curva de densidad aumente en intensidad asemejándose a la curva de densidad de las areniscas, por ejemplo; y que las rocas como las Areniscas pueden presentar un valor de porosidad relativamente alto siendo en algunos casos similar a la curva de densidad del aluvión. Queda así pues otra inconsistencia en la determinación del aluvión dentro del registro. Por último se acude a la curva de Resistividad.

La curva de resistividad cuantifica la capacidad de conducir o no una corriente eléctrica. Las rocas como tal presentan una resistividad alta a la corriente eléctrica por ser materiales masivos y su comportamiento es aislante generalmente; por otro lado los aluviones al contener fluidos (agua dulce) la resistividad disminuye, ya que existe un medio conductor de la corriente que es el agua dulce.

En conclusión, para poder determinar correctamente que tipo de litología fue la que se registró se tuvo en cuenta cada uno de los registros que se corrieron en el pozo, se analizó detenidamente el comportamiento de las curvas para un mismo nivel y se cuestionó su confiabilidad teniendo como base el conocimiento de la estratigrafía y de la geología estructural de la zona de estudio. También se utilizó las descripciones de los ripios de perforación teniendo en cuenta que en muchos casos los espesores que se reportaban para determinado nivel no era el que registraba las curvas debido a derrumbes en las paredes de los pozos o al desfase de la toma de muestras para descripción.

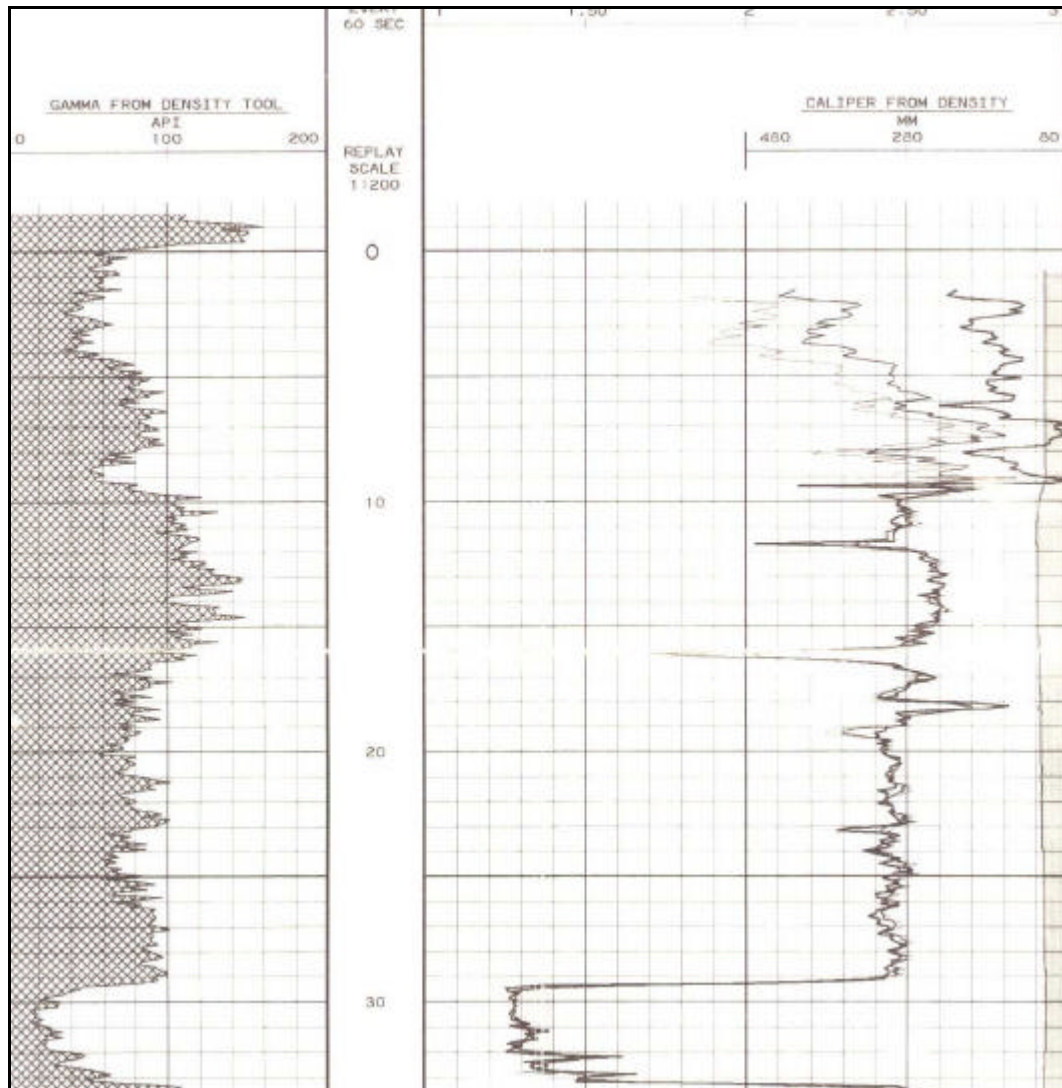
Ya después de la identificación del aluvión dentro del registro, se procedió a determinar la base y el techo de este, creando así una base de datos en Excel, en la cual se anotaba el nombre del pozo, coordenadas, cota, tipo de

pozo (Corazonado o Tricónico), base, techo y una breve descripción de las características de aluvión de acuerdo con los ripios. Esta base de datos es la entrada de la información necesaria para la creación de los mapas por medio del software MINEX, del cual se explicara más adelante el manejo del programa y la elaboración de los mapas.

Dentro de los pozos descritos, se identificaron pozos donde las formaciones Terciarias (Formación Cerrejón o Tabaco principalmente) afloran; en este caso y para fines de elaboración de los mapas, se determino un espesor supuesto del aluvión de 0.1 m.

5.2.1 Ejemplos

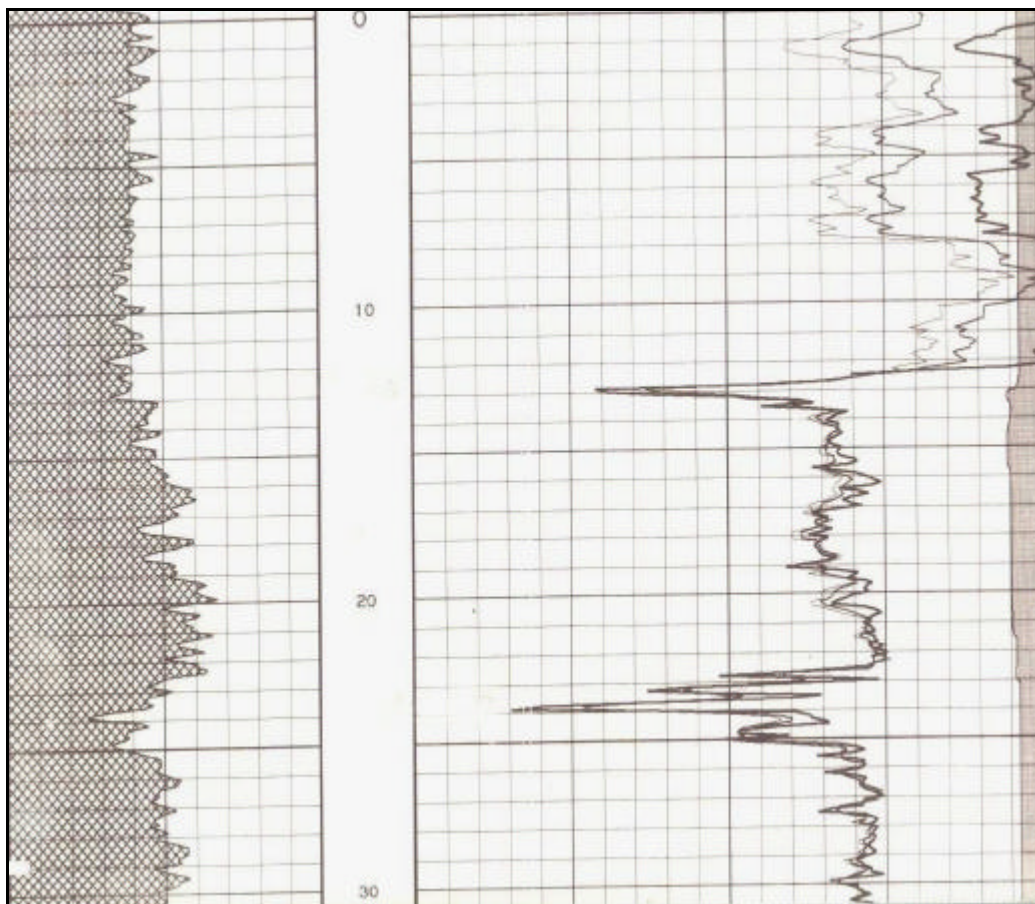
Figura 7: Pozo 04925



Este registro nos marca un espesor del aluvión de 8 m, entre los 0 y 8 m de profundidad. En este registro se puede observar que el aluvión presenta niveles formados por diferentes tipos de material: En el intervalo de 0 a los 4.3 m de profundidad la curva del registro de Rayos Gamma (izquierda) es relativamente baja, formado por material grueso con poco contenido de arcillas; y en el intervalo entre 4.3 y 8 m la intensidad de la curva aumenta

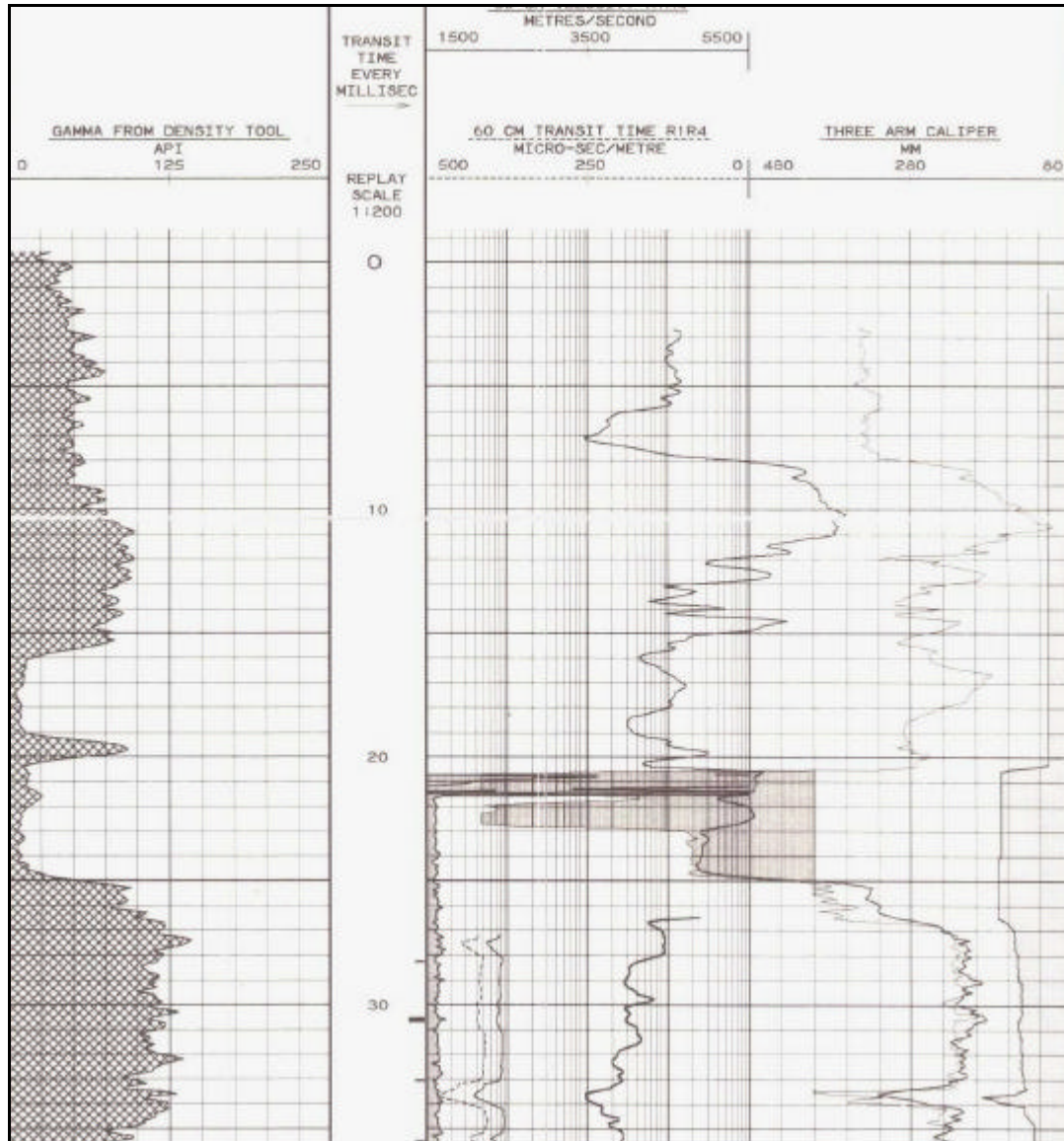
debido a la presencia de un nivel con alto contenido de arcillas. También se observa la diferencia de intensidades entre las capas de areniscas y las de arcillolitas, aunque las areniscas presentan una intensidad en la curva de Rayos Gamma igual a la del aluvión. Detallando la curva de Densidad (derecha) se puede notar la diferencia de densidades entre las areniscas y los niveles finos.

Figura 8: Pozo 02509



En el registro se observa la diferencia en intensidad en la curva del registro Gamma Ray (izquierda) entre el Aluvión y las Arcillolitas. El Aluvión tiene un espesor de 13 m entre los 0 y 13 m de profundidad. También es de anotar la diferencia del comportamiento de la curva de Densidad (derecha) de acuerdo con la litología.

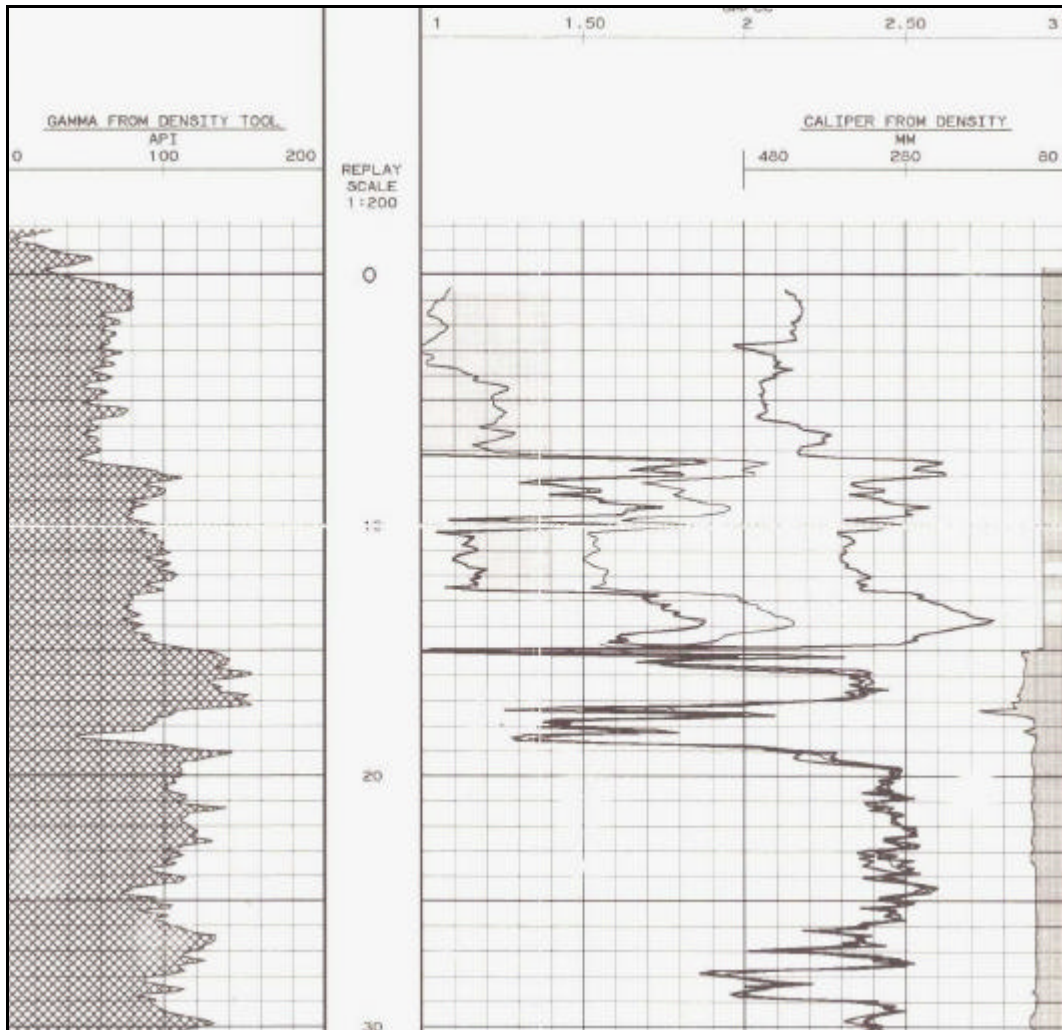
Figura 9: Pozo 03913



El registro nos marca un espesor del aluvión de 9 m en el intervalo de 0 a 9 m de profundidad. En este se aprecia la diferencia de intensidad de la curva rayos Gamma (izquierda) entre el aluvión y las Arcillolitas que lo infrayacen. En este registro se aprecian también dos matos de carbón entre los 15.6 y 19.3 m y los 20 y 25 m de profundidad marcados por el descenso de la curva de los rayos Gamma debido a la carencia de material que contenga

elementos radioactivos dentro de los mantos; y por la curva de Densidad la cual disminuye al llegar a los mantos de carbón.

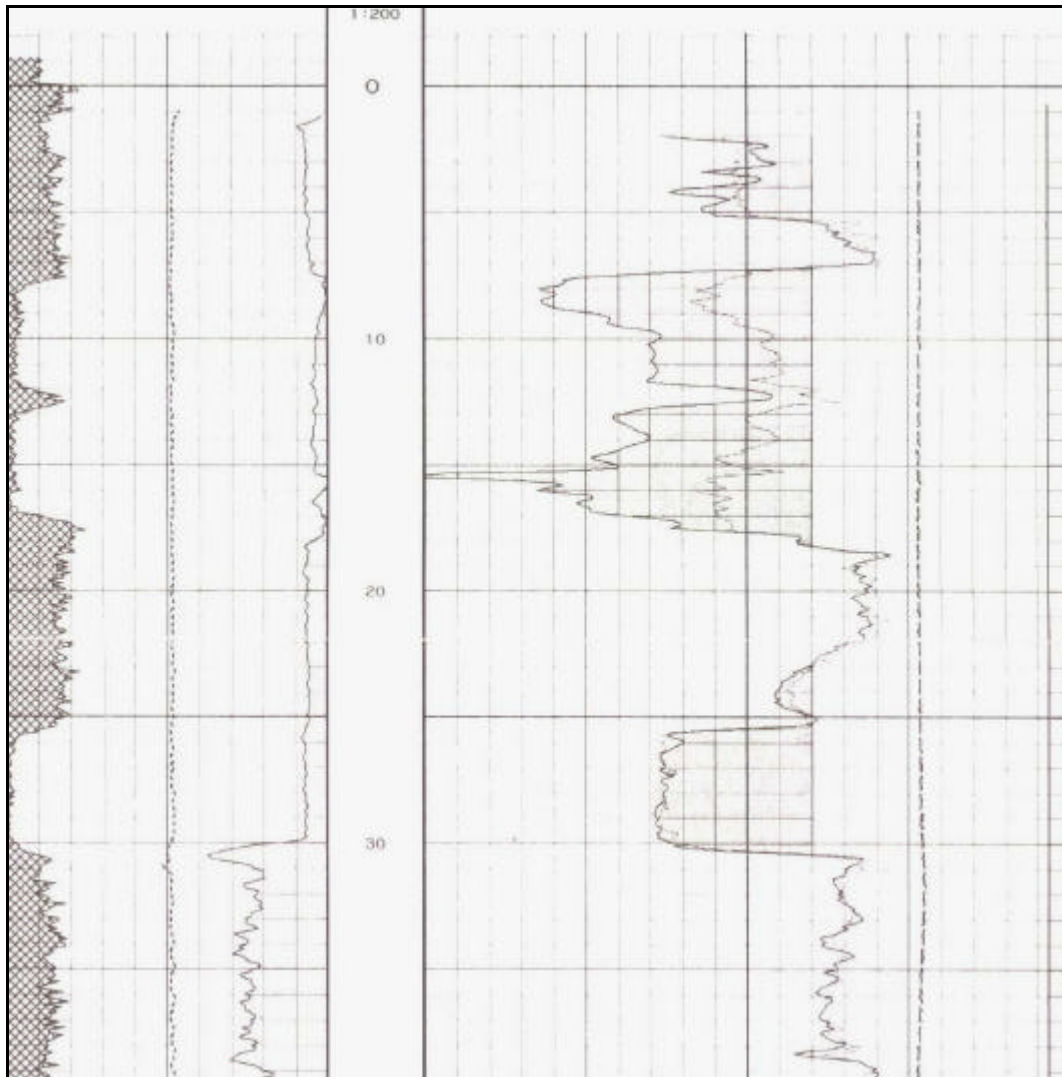
Figura 10: Pozo 08325



Este registro marca un espesor para el aluvión de 7.3 m en el intervalo de 0 y 7.3 m de profundidad. El cambio de litología esta marcado por el aumento en la curva del registro Gamma (izquierda). La zona meteorizada también influye en la respuesta de los registros como se aprecia en el cambio de

comportamiento de la curva de Densidad (derecha) a los 15 m de profundidad (nivel base de meteorización).

Figura 11: Pozo 02016



En este registro se define un espesor para el aluvión de 5.5 m en el intervalo de 1.2 a 6.7 m de profundidad. Los primeros 1.2 m están marcados por suelo conformado principalmente por arcillas rojas y materia orgánica (descripción según ripios), las cuales hacen que la curva del registro de rayos

Gamma (izquierda) aumente marcando el techo del aluvión. Seguido, se presenta el aluvión conformado por gravas y arenas alcanzando los 6.7 m de profundidad. A este lo infrayace una capa de Arcillolitas entre los 6.7 y 7.6 m de profundidad marcadas por el registro Gamma y Densidad (derecha). También se observan 3 mantos de carbón bien diferenciados por los registros de rayos Gamma y de Densidad.

5.3 CARTOGRAFÍA PRELIMINAR DEL ALUVIÓN

Ya obtenida la mayor información posible de los registros de pozo, se procedió a la realización de la cartografía preliminar del aluvión. De acuerdo con la información obtenida de los pozos, con la interpretación de los rasgos geomorfológicos y topográficos se trazó el contacto entre el aluvión y las formaciones que afloran en el área de estudio. Para trazar la línea de contacto entre el aluvión y las formaciones, se tuvo en cuenta la pendiente del relieve la cual marca un cambio litológico fácil de reconocer ya que las formaciones son competentes reflejado en el cambio abrupto de la pendiente entre el aluvión y la formación.

Un punto importante aquí, es que con base a las descripciones de los ripios se identificaron diferentes aluviones de acuerdo a su composición litológica y su textura. Así pues, se cartografiaron y delimitaron cada uno de los aluviones teniendo como límite entre ellos las divisorias de agua de las microcuencas hidrográficas.

El mapa se realizó a escala 1:10.000, en el cual se observa la topografía con intervalos de contorneo de 1 m y la distribución espacial de los pozos analizados.

El mapa aquí generado es preliminar ya que no se ha validado la información descrita lo cual hace de este mapa un bosquejo que sirve como guía para programar las salidas de campo a puntos específicos y confrontar esta información.

5.4 VALIDACIÓN DE CAMPO

Con base en el mapa generado, se determinaron los puntos de control para la salida de campo, en aras de validar el contacto sugerido.

Se levantaron nueve puntos de control tomando los datos de ubicación espacial (X, Y y Z) con un GPS de mano con un radio de error de 5 m. Estos puntos se ubicaron sobre el mapa preliminar validando así la veracidad de este.

Las descripciones de los afloramientos son las siguientes:

✍ Punto 1: (X: 1'146.520, Y: 1'707.332) Aluvión de espesor aproximado de 3 m depositado sobre la Formación Cerrejón (Arcillolitas amarillas). Está compuesto por guijarros hasta de 10 cm. de diámetro, subangulares; de areniscas de grano medio con cemento silíceo y de color rojo, rocas ígneas efusivas de color verde e intrusivas intermedias y cuarzo; soportadas por una matriz de arenas medias a finas y limos. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 45% (Cantos y grava)

Matriz: 55% (Arcillo-arenosa)

✍ Punto 2: (X: 1'150.029, Y: 1'711.290) Aluvión con un espesor aproximado de 5 m, depositado sobre la Formación Cerrejón (Arcillolitas amarillas). Constituido por cantos con diámetros que alcanzan los 40 cm.,

redondeados, de caliza micrítica con bioclastos y areniscas de grano fino de color marrón rojizo predominando las calizas, gravas gruesas del mismo material, pobremente sorteado; en una matriz de arenas medias y arcilla. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 40% (Cantos y guijas)

Matriz: 60% (Areno-arcillosa)

✍ Punto 3: (X: 1'149.569, Y: 1'710.828) Aluvión de espesor aproximado de 8 m. Compuesto de cantos con diámetros hasta de 50 cm. redondeados a subangulares; de calizas y areniscas finas predominando las calizas, soportados por una matriz de arenas gruesas y arcilla. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 40% (Cantos y guijas)

Matriz: 60% (Areno-arcillosa)

✍ Punto 4: (X: 1'146.739, Y: 1'708.739) Aluvión de espesor aproximado de 8 m depositado sobre la Formación Cerrejón (arenisca finas amarillas). Compuesto por bloques y cantos redondeados a subangulares de areniscas finas de color rojo, rocas ígneas efusivas de color verde y rosado, limolitas amarillas, y gravas soportadas en una matriz areno-arcillosa. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 50% (Bloques, cantos y gravas)

Matriz: 50% (Areno-arcillosa)

✍ Punto 5: (X: 1'145.873, Y: 1'707.557) Aluvión compuesto principalmente por gravas, arenas medias y finas subangulares de cuarzo, feldespatos, fragmentos de rocas ígneas, bien sorteados en matriz arcillosa. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 65% (Gravas y arenas)

Matriz: 35% (Arcilla)

✍ Punto 6: (X: 1'148.893, Y: 1'708.105) Aluvión compuesto de bloques hasta de 50 cm. de diámetro, cantos y guijas redondeados a subangulares de Caliza micrítica con esparita en matriz limo-arcillosa. La relación entre los componentes texturales es:

Amararon: 50% (Bloques, cantos y guijas)

Matriz: 50% (Limo-arcillosa)

✍ Punto 7: (X: 1'148.316, Y: 1'706.873) Aluvión depositado sobre la Formación Cerrejón, compuesto de bloques y cantos subredondeados de areniscas de color rojo grisáceo y calizas con fósiles, soportados en una matriz arcillosa. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 45% (Bloque y cantos)

Matriz: 55% (Arcilla)

✍ Punto 8: (X: 1'148.268, Y: 1'708.603) Aluvión depositado sobre la Formación Cerrejón, compuesto de bloques y cantos bien redondeados de calizas y areniscas predominando las calizas, y gravas en matriz arcillo-arenosa. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 60% (Bloques, cantos y gravas)

Matriz: 40% (Arcillo-arenosa)

✍ Punto 9: (X: 1'146.272, Y: 1'705.225) Aluvión compuesto por algunos bloques y cantos redondeados a subangulares de areniscas de grano fino y rocas ígneas, soportado por una matriz areno-arcillosa. La relación entre los componentes texturales es:

Armazón: 50% (Bloques y cantos)

Matriz: 50% (Areno-arcillosa)

5.5 TABLA DE BASE Y TECHO DEL ALUVIÓN

Este archivo se creó en el Programa Excel con el objetivo de organizar la información obtenida de los pozos analizados.

El archivo está creado en una hoja de cálculo en el cual se encuentra el nombre del pozo, las coordenadas Este y Norte (origen Bogotá), la cota de altura (Collar), la profundidad de la perforación, la profundidad del techo y la base del aluvión y una breve descripción de la composición litológica y de la textura del aluvión de acuerdo a los rípios de perforación. Ver figura 7.

Figura 12: Tabla de la Base y el Techo del aluvión creada en Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Pozo	Este	Norte	Collar	Profundidad	Tipo	Alu	West	Techo	Base	Descripción
1											
2	1173A	1153694,00	1712989,36	136,29	120,40	TC	Alu	West	7,7	11,0	Frag. Caliza, Areniscas, Gravas
3	1173B	1150772,41	1712813,83	112,80	126,00	TC	Alu	West	0,9	8,0	Frag. Caliza, Areniscas, Gravas
4	1037A	1150265,44	1712650,33	115,86	134,00	TC	Alu	West	3,2	12,8	Arenas y Gravas de R. efusivos, Gz
5	1175A	1150688,35	1712665,10	116,27	139,50	TC	Alu	West	0,0	4,3	
6	49969	1150026,85	1712478,97	119,64	200,29	TC	Alu	West	0,0	2,0	
7	Ranch06	1150272,30	1712624,12	117,58	150,13	CC	Alu	West	9,0	11,5	
8	775B	1148629,42	1710735,81	121,19	47,24	TC	Alu	West	6,0	0,4	Frag. Caliza, Areniscas, arenas gruesas subangulares
9	781A	1148895,92	1710822,81	122,70	134,10	TC	Alu	West	3,3	8,8	Gz lechoso, frag. Calizas y Areniscas
10	831A	1148751,92	1710873,15	119,39	120,40	TC	Alu	West	0,0	7,0	Frag. Caliza, Areniscas en matriz arcillosa
11	832A	1148624,92	1711054,58	120,19	111,25	TC	Alu	West	8,0	9,5	Calcareo arenoso
12	1179A	1151134,91	1712374,47	129,20	125,00	TC	Alu	West	0,0	0,1	
13	C140	1151073,07	1712462,29	125,73	139,80	CC	Alu	West	0,0	3,5	Frag. Calizas, R. igneos y Arcillolitas, cemento color
14	1177A	1151001,58	1712526,88	120,30	139,86	TC	Alu	West	0,0	0,1	
15	C141	1150942,39	1712614,62	118,32	145,80	CC	Alu	West	5,0	6,0	
16	Ranch07	1150337,18	1712557,67	117,60	150,31	CC	Alu	West	0,0	0,1	
17	1038A	1150393,93	1712557,07	118,96	120,42	TC	Alu	West	2,5	6,8	Arenas finas a medias de Gz, R. volcánicas
18	Ranch06	1150403,37	1712488,96	117,60	150,28	CC	Alu	West	7,2	14,0	
19	1233A	1150417,72	1712475,04	115,48	147,86	TC	Alu	West	3,0	5,1	Frag. Caliza, Areniscas, Gravas subangulares
20	Ranch06	1150476,25	1712409,84	117,84	150,07	CC	Alu	West	2,0	5,0	
21	1231A	1150564,30	1712327,56	117,07	161,56	TC	Alu	West	0,0	0,1	
22	1234A	1150723,71	1712153,22	124,51	161,54	TC	Alu	West	0,0	0,1	
23	13640	1148841,14	1710924,71	113,32	108,00	TC	Alu	West	0,0	2,8	
24	1281A	1150029,72	1712273,62	119,55	161,54	TC	Alu	West	0,5	2,0	Frag. Areniscas, matriz de arcilla, gravas subangulares
25	C171	1150473,11	1712410,69	117,02	143,25	CC	Alu	West	0,0	0,1	
26	C172	1150664,81	1712241,78	119,68	149,81	CC	Alu	West	0,0	0,1	
27	C173	1150827,20	1712056,81	128,26	125,26	CC	Alu	West	0,0	0,1	
28	753A	1148703,92	1710462,81	122,79	74,59	TC	Alu	West	4,0	5,5	Arenas y granos subredondos
29	C78	1148681,92	1710474,11	122,59	116,83	CC	Alu	West	0,0	0,1	
30	837A	1148522,92	1710621,81	120,89	102,10	TC	Alu	West	3,8	7,5	
31	838A	1148351,92	1710778,81	123,48	102,13	TC	Alu	West	5,5	10,5	

En esta tabla se encuentran consignados los datos de 1347 pozos analizados de los cuales se tomo la descripción de los rípios de perforación y la interpretación de los registros de pozo.

5.6 MINEX

El programa utilizado para la elaboración de los mapas propuestos es MINEX 4.0, elaborado por la compañía australiana ECS Mining Software Systems el cual utiliza ambiente Windows. (ECS Mining Software Systems, 1999)

El programa tiene varios sistemas internos con los cuales se llevan a cabo diferentes tareas, todos basados en un modulo central llamado VISTA CAD.

Los sistemas son:

Horizon: Evaluación de depósitos de mantos de carbón,
Génesis: Evaluación geológica de yacimientos metálicos,
Apollo: Planeación minera a largo plazo en minería a cielo abierto,
Orión: Planeación minera a corto plazo en minería a cielo abierto,
Eclipse: Planeación minera de carbón en minería subterránea, y
Aurora: Planeación de minería subterránea de metales en rocas duras.

Para la elaboración de los mapas de la zona de estudio se utilizo el sistema Horizon. (ECS Mining Software Systems, 1996)

6. RESULTADOS

6.1 MAPA HIDROGEOLOGICO

La elaboración del mapa Hidrogeológico se llevo a cabo utilizando la siguiente metodología:

6.1.1 Trazado de la Línea de Contacto

Para definir la línea de contactos se trabajó sobre mapas de la zona de estudio escala 1:10.000, en los cuales se plotearon los pozos perforados y las cotas de altura con intervalos de contorno de 1 metro, con el fin de observar la morfología característica de cada unidad.

Ya analizados los pozos y las descripciones de los ripios se trazaron los contactos entre los aluviones de acuerdo a sus características litológicas (composición de los materiales) y texturales, siguiendo la expresión geomorfológica de estas unidades reflejada en la topografía.

Para el trazado de la línea de contactos se analizaron 1347 pozos.

6.1.2 Digitalización de la Línea de Contactos

Luego de haber definido la línea de contactos en cada uno de los mapas analizados, se llevaron a la mesa digitalizadora conectada a un computador y utilizando el programa MINEX se digitalizó la línea de contactos de cada

unidad nombrándolas una por una en el sistema con el fin de identificarlas y poder hacer los cambios que fueran necesarios.

6.1.3 Corrección de las Mascaras

Cada unidad se representa en el sistema como una máscara con diferentes atributos propios para cada una como los son nombre, identificador, clase, color entre otras.

La corrección de las máscaras se realizó buscando que la líneas de contacto entre cada una de ellas sea la misma ya que en el proceso de digitalización se pueden presentar errores en la forma de esta.

6.1.4 Impresión y Correcciones

Ya corregidos en pantalla los errores para cada una de las máscaras, se ploteó el mapa con el fin de identificar los pequeños detalles a corregir y realizar las correcciones en pantalla de acuerdo al caso.

El resultado es un mapa Hidrogeológico de la zona de estudio de aproximadamente 500 km² conformado por unidades hidrogeológicas presentes en los aluviones Cuaternarios depositados por el río Ranchería y sus afluentes de los cuales los más importantes son el del río La Quebrada, río Palomino, Arroyo Cerrejón y Arroyo Bruno, y por formaciones Terciarias tales como las Formaciones Tabaco y Cerrejón.

Los aluviones están ubicados de Norte a Sur de la siguiente manera: Aluvión Bruno, Aluvión Tabaco 1, Aluvión Tabaco, Aluvión Inundación, Aluvión Cerrejón, Aluvión Palotal, Aluvión Patilla, Aluvión Paladines, Aluvión Palomino, Aluvión la Quebrada y Aluvión Ranchería, los cuales cubren las formaciones Terciarias aflorando de estas las partes más altas donde no ocurre depositación de sedimentos arrastrados por las corrientes superficiales.

Los aluviones fueron nombrados de acuerdo al río o arroyo que los depositó o al sitio donde estos se ubican; así por ejemplo encontramos hacia el Suroeste el Aluvial de Palomino depositado por la Quebrada Palomino o hacia el Norte el Aluvial Tabaco nombrado así por la población Tabaco.

La fuente de los sedimentos esta dada por las formaciones rocosas que conforman la Sierra Nevada de Santa Marta hacia el Suroeste del valle de la cual se erodan cuerpos ígneos intrusivos y extrusivos y rocas metamórficas, y por las formaciones rocosas de la Sierra del Perijá la cual aporta sedimentos erodados de cuerpos ígneos intrusivos, sedimentos rojos y por formaciones Cretácicas como la Formación Lagunitas.

Es por ello que encontramos una mezcla de materiales para cada uno de los acuíferos aunque existe un patrón en la composición de acuerdo a la fuente de los sedimentos, por ejemplo; el Aluvial Tabaco 1 esta compuesto por material calcáreo y por arenas cuarzosas de tamaño medio a grueso provenientes de la Formación Tabaco razón por la cual se puede diferenciar el Aluvión de Tabaco 1 de el Aluvión de Tabaco.

En el área de estudio se encuentran 2 tipos de unidades hidrogeológicas conformadas por Acuíferos y Acuitardos. Dentro de los acuíferos están el Acuífero la Quebrada (Qalq), Acuífero Palomino (Qalp), Acuífero Palotal (Qalpa), Acuífero Patilla (Qalpt), Acuífero Paladines(Qalpd), Acuífero

Inundación (Qali), Acuífero Cerrejón (Qalc), Acuífero Tabaco 1 (Qalt1), Acuífero Tabaco (Qalt), Acuífero Bruno (Qalb), Acuífero Ranchería (Qalr) y Acuífero no identificado (Qalni) dados en los depósitos aluviales cuaternarios; y los Acuíferos Areniscas de Tabaco (Tpet) y Acuífero Cerrejón (Tpc) dados en las formaciones terciarias.

Dentro de los acuitardos encontramos el Acuitardo de Hato Nuevo (Tphn) y Acuitardo no identificado (Tni) dado en las formaciones Terciarias.

Los acuíferos que representan mayor importancia son el Acuífero del Ranchería (Qalr) ya que este es recargado directamente por el Río Ranchería y presenta un alto valor de Transmisividad, y el Acuífero Cerrejón (Tpc) ya que puede generar inestabilidad en los taludes tanto en el Footwall como en el Highwall. Sin embargo es importante resaltar que todas estas unidades actúan como contenedores de agua los cuales juegan un papel muy importante en la minería a cielo abierto ya sea por infiltración de agua hacia el tajo, tubificación de corrientes superficiales de agua o por alta presión de poros creando inestabilidad en los taludes.

Es importante resaltar que el mapa Hidrogeológico que aquí se propone busca únicamente la delimitación espacial, identificación y caracterización litológica y textural de las unidades hidrogeológicas que afloran en la zona de estudio soportado en la interpretación de los ripios de perforación, en la interpretación de los registros de pozo y en la validación de campo.

Uno de los alcances de este mapa es la identificación de las zonas de mayor riesgo para la minería y el medio ambiente, sobre lo cual se pueden proponer trabajos de mayor precisión en sitios estratégicos los cuales lleven a definir exactamente los contactos entre las unidades hidrogeológicas, los parámetros hidráulicos, el modelamiento del flujo del agua subterránea dentro de estas unidades, etc; según sea el caso.

6.2 MAPA ISOPACO

Para la elaboración de mapa Isópaco del aluvión se utilizó la tabla de datos de la base y techo de los aluviones sumado con la información de los pozos analizados anteriormente por la compañía, en la cual se encuentra el nombre del pozo analizado, las coordenadas Este y Norte, Cota, Profundidad de perforación, Techo y Base del Aluvión definido con base a los registros de pozo.

El archivo de la tabla de datos de la base y techo del aluvión creado en una hoja de calculo de Excel con extensión *.xcl es transformado a un archivo con extensión *.pnr con el fin de exportar estos datos al programa MINEX.

Ya exportados los datos se procede a la elaboración del mapa Isópaco, escogiendo intervalos de contorneo cada 2 m de espesor.

Para la elaboración de este mapa se interpretaron 5506 pozos ubicados a lo largo de la zona de estudio.

El mapa Isópaco representa gráficamente cuáles son las zonas donde se encuentran los mayores y menores espesores del aluvión, así por ejemplo se ve como hacia la parte más Suroccidental el espesor del aluvión alcanza los 180 m de profundidad y hacia el Nororiente solamente llega el aluvión a espesores de 7 y 10 m.

En general, Los aluviones se adelgazan cerca y en los contactos del aluvión con las formaciones Terciarias aunque el espesor promedio de los aluviones esta entre los 7 y 15 m.

6.3 MAPA BASE DEL ALUVIÓN

Para la elaboración de mapa Base del Aluvión se utilizó la tabla de datos de la base y techo de los aluviones sumado con la información de los pozos analizados anteriormente por la compañía en la cual se encuentra el nombre del pozo analizado, las coordenadas Este y Norte, Cota, Profundidad de perforación, Techo y Base del aluvión definido con base a los registros de pozo.

El archivo de la tabla de datos de la base y techo del aluvión creado en una hoja de calculo de Excel con extensión *.xcl es transformado a un archivo con extensión *.pnr con el fin de exportar estos datos al programa MINEX.

Ya exportados los datos se procedió a la elaboración del mapa Base del Aluvión escogiendo intervalos de contorneo cada 3 m de espesor. Para la elaboración de este mapa se interpretaron 5506 pozos ubicados a lo largo de la zona de estudio

El mapa Base del Aluvión representa la geometría del techo de la formación que este suprayace. Con este mapa podemos identificar los paleocanales marcados por la forma de las curvas; por ejemplo, en el Endwall oriental del Tajo la Puente se encuentra un paleocanal marcado por el cierre y sucesión de las curvas mas profundas en este sector. A partir de esta particularidad podemos deducir cual podría ser la dirección de flujo del agua subterránea de acuerdo con la pendiente que marca el paleocanal, conclusión muy importante ya que con ella se pueden tomar acciones preventivas con el fin de minimizar o eliminar problemas en los procesos de minería con el agua subterránea. Así por ejemplo se pueden ubicar estratégicamente pozos de desagüe sobre los acuíferos evitando el flujo del agua subterránea hacia los

tajos o en últimas cambiar la ubicación de los límites de los tajos según sea el caso.

6.4 MAPA DE ISOPIEZAS

Para la elaboración de los mapas de Isopiezas se tomaron los datos reportados por el monitoreo de piezómetros y pozos de despresurización llevado a cabo por la compañía. El dato reportado es la cota de la tabla de agua para cada uno de los pozos o piezómetros monitoreados.

Los datos suministrados fueron seleccionados de acuerdo los periodos de lluvias tomando los datos de cota de la tabla de agua para los Acuíferos Cuaternarios y Terciarios en temporada de mas baja precipitación comprendida entre los meses de Diciembre y Marzo según Gómez, Cajiao y Asociados, 2003.

Se creo una tabla de datos con el Programa Excel para las lecturas de la cota de la tabla de agua en los acuíferos Cuaternarios donde se reporta el nombre del pozo o piezómetro, coordenada Este y Norte (Origen Bogota), profundidad de perforación y cota de la tabla de agua.

El archivo de la tabla de datos de la cota de la tabla de agua de los acuíferos Cuaternarios y Terciarios con extensión *.xcl es transformado a un archivo con extensión *.pnr con el fin de exportar estos datos al programa MINEX.

Para la elaboración del mapa de Isopiezas de los Acuíferos Cuaternarios se tomaron los datos de monitoreo de 131 pozos y piezómetros escogiendo un intervalo de contorno entre las Isopiezas de 1 metro.

Para la elaboración del mapa de Isopiezas del Acuífero Terciario Cerrejón (Tpc) se tomaron los datos de monitoreo de 196 pozos y piezómetros escogiendo un intervalo de contorno entre las Isopiezas de 1 metro.

CONCLUSIONES

✍ Se identificaron 16 unidades Hidrogeológicas aflorantes en la zona de estudio, de las cuales 14 son Acuíferos conformados por depósitos aluviales (Aluvión Bruno, Aluvión Tabaco 1, Aluvión Tabaco, Aluvión Inundación, Aluvión Cerrejón, Aluvión Palotal, Aluvión Patilla, Aluvión Paladines, Aluvión Palomino, Aluvión la Quebrada, Aluvión no identificado y Aluvión Ranchería) y formaciones Terciarias (Formación Cerrejón y Formación Tabaco); y 2 son Acuitardos conformados por formaciones Terciarias (Formación Hato Nuevo y Formación Palmito?)

✍ Se identificaron las características litológicas y texturales de cada uno de los aluviones utilizando las descripciones de los ripios de perforación y las descripciones de campo. Con base a las diferencias composicionales y texturales entre los aluviones y siguiendo su expresión geomorfológica evidenciada en la topografía se trazaron los contactos entre las unidades hidrogeológicas.

✍ Con base al mapa Hidrogeológico y las descripciones de las características litológicas de los aluviones (composición y textura) se puede inferir sobre las propiedades hidráulicas de los acuíferos ya que en últimas estas son respuesta y están directamente relacionadas con su composición y en especial con su textura.

✍ Se compilaron los parámetros hidráulicos más importantes para algunos aluviones de acuerdo con los resultados de los estudios hidrogeológicos sobre depósitos aluviales llevados a cabo por empresas contratistas.

✍ De acuerdo con el mapa Isópaco del aluvión se identificaron las zonas de mayor y menor espesor dentro del área de estudio, con lo cual se puede estimar el volumen de materia estéril que hay que remover en el momento de la apertura de un tajo en un área determinada.

✍ El mapa de la Base del aluvión es de gran importancia ya que con el se pueden identificar la ubicación de los paleocanales marcados por el cierre y sucesión de las curvas de mayor isoprofundidad y a partir de ello inferir cuáles podrían ser las direcciones de flujo definidas por la ubicación del paleocanal y por la pendiente que este presenta.

✍ La dirección de flujo en los Acuíferos dados en los depósitos Cuaternarios en las cercanías al río Ranchería es la misma dirección de flujo que presenta el agua de escorrentía del río, y en los costados del río es perpendicular y se dirigen hacia el lo cual indica que los acuíferos están aportando agua al Río Ranchería.

✍ La dirección de flujo del agua subterránea en el Acuífero de la Formación Cerrejón (Mantos de Carbón) es un tanto aleatoria aunque en general presenta un comportamiento similar a las direcciones de flujo de los acuíferos dados en los aluviones. Es importante tener en cuenta que las direcciones de flujo de este acuífero se encuentran controladas por un patrón estructural el cual crea una dirección de flujo preferencial de acuerdo a los planos de fallas o diaclasas que se presentan en la formación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda determinar específicamente las propiedades hidráulicas de los acuíferos de interés de acuerdo a las necesidades de la Compañía (Límites de las futuras zonas de minería), realizando trincheras y pozos para la ubicación exacta de los contactos entre los acuíferos y la realización de pruebas de bombeo; teniendo como base el mapa Hidrogeológico aquí presentado.

Se recomienda la ubicación de Piezómetros en la zona Sur para identificar el comportamiento (direcciones de flujo) del agua subterránea en los Acuíferos Cuaternarios.

El mapa Hidrogeológico presentado es un mapa preliminar en el cual se delimitan espacialmente los Acuíferos presentes en el área de estudio. Para la construcción de obras civiles que permitan la extracción del recurso mineral se recomienda profundizar en los estudios Hidrogeológicos tales como la determinación de las propiedades hidráulicas, ensayos de laboratorio para la determinación de porosidades y permeabilidades, etc; con el fin de tener un modelo hidrogeológico más detallado.

BIBLIOGRAFIA

ANGLO AMERICAN TECHNIQUES SERVICES. Feasability Study. Expansion to 9 MTPA. 1999.

CARRILLO, P. Hidrogeología Práctica. España: Urmo S.A., 1978.

CORREA, Victoria. Evaluación Hidrogeológica de los Depósitos Aluviales del Río Ranchería en el Bloque B del Cerrejón. 1989

ECS MINING SOFTWARE SYSTEMS. Getting Started with Vista. Training Tutorial. 1996

ECS MINING SOFTWARE SYSTEMS. Minex 4.0. Reference Manual. 1996

GÓMEZ CAJIAO Y ASOCIADOS. Estudio Hidrogeológico de las Áreas cercanas a la Falla de Oca en el Valle del Río Ranchería (guajira). 2003.

HIDROAMBIENTE LTDA. Estudio Caudales Máximos Arroyo Aguas Blancas. Cerrejón Zona Norte.1990.

HIDROGEOCOL. Estudio Clase V para la Delimitación Areal del Acuífero Aluvial del Río Ranchería. 1999.

INTEGRAL. Pit Slope Stability, Geotechnics and Water Management for the Cerrejón Central Expansion. Prefeasibility Geotechnical Study. Report on Field Investigation. 2002.

JHONSON, E. El Agua Subterránea y los Pozos. Minnesota: Jhonson Division, UOP Inc., 1975.

SRK CONSULTING. Carbones del Cerrejón. Geotechnical and Water Management Study for the Cerrejón Central. Feasibility Study. Management Summary. 2003.

ANEXOS

(En Papel)

Anexo 1: Mapa Hidrogeológico

Anexo 2: Mapa Espesor del Aluvión

Anexo 3: Mapa Base del Aluvión

Anexo 4: Mapa Hidrogeológico. Isopiezas de Acuíferos Cuaternarios

Anexo 5: Mapa Hidrogeológico. Isopiezas de Acuíferos Terciarios