

**ESTADO DEL ARTE PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL
DEPÓSITO DE CARBÓN EN LA ZONA DE LA MINA LA JAGUA**

DIANA PAOLA LUNA VELANDIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2016

**ESTADO DEL ARTE PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL
DEPÓSITO DE CARBÓN EN LA ZONA DE LA MINA LA JAGUA**

**Trabajo de Grado para optar el Título de Geóloga
Modalidad: Trabajo de Investigación**

Autora

Diana Paola Luna Velandia

Director

Ricardo Mier Umaña

Geólogo



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

*A LA MUJER DE MI VIDA YA LA CUAL LE DEBO TODO LO
QUE SOY.*

*MAMI GRACIAS POR ESTAR EN CADA PASO DE MI CAMINO, POR
DARME TU CONSEJO, TU VOZ DE ALIENTO, POR SER PACIENTE Y
BRINDARME TU AMOR INCONDICIONAL, ESTO ES MERITO TUYO.*

TE AMO MAMI

AGRADECIMIENTOS

*A DIOS POR SER MI FORTALEZA EN CADA MOMENTO Y LLENARME
DE BENDICIONES*

*A MI HERMANO Y TODA MI FAMILIA POR SU APOYO DURANTE ESTA
ETAPA DE MI VIDA*

*A MIS AMIGOS Y COLEGAS QUE ME BRINDARON SU AMISTAD
INCONDICIONAL, Y ME REGALARON MOMENTOS INOLVIDABLES
QUE GUARDARE EN MI MEMORIA Y MI CORAZÓN, EN ESPECIAL A
MI COLEGA JUAN PABLO ARANGO QUE SIEMPRE ME APOYO Y
ACONSEJO.*

*ALA MINA LA JAGUA POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD DE REALIZAR
MIS PRACTICAS YA TODO SU EQUIPO DE TRABAJO POR COMPARTIR
SUS CONOCIMIENTOS Y CONFIAR EN MI.*

A MI DIRECTOR RICARDO MIER POR SU INTERÉS Y APOYO.

*A MIS PROFESORES DE LA ESCUELA DE GEOLOGÍA POR BRINDARME
LAS BASES PARA SER UNA PROFESIONAL*

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. OBJETIVOS.....	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. LOCALIZACIÓN.....	18
3. GEOLOGIA REGIONAL	19
3.1. ESTRATIGRAFIA	19
3.2.1. Region Serrania Del Perija.....	20
3.3. DEPOSITOS RECIENTES.....	24
3.3.1. Terrazas. Qt.	24
3.3.2. Abanicos Aluviales. Qcal.....	25
3.3.3. Llanuras aluviales. Qlla.	25
3.3.4. Aluviones recientes. Qal.	26
4. MARCO TECTÓNICO	28
4.1. FALLAS.....	29
4.1.1. La falla Bucaramanga - Santa Marta.	29
4.1.2. La falla Oca.....	29
4.1.3. Sistema de Fallas de Perijá.	29
4.1.4. Falla Arenas Blancas.	29
5. EVOLUCION GEOLOGICA REGIONAL.....	31
6. GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO.....	37
6.1. ESTRATIGRAFÍA	37

6.1.1. Formación Cuervos.....	39
6.1.2. Cuaternario	39
6.2. ESTRUCTURAS	41
6.2.1. Sinclinal La Jagua.....	41
6.2.2. Falla la Victoria.	42
6.2.3. Falla Graben	42
7. CARBON.....	44
7.1. TIPOS DE CARBON	45
7.2. MANTOS DE CARBON EN LA MINA LA JAGUA.....	46
7.2.1. Descripción de Mantos.....	47
7.3. INTERBURDENES	53
7.4. MODELO GEOLÓGICO	55
8. EXPLORACION Y PRODUCCION	57
8.1. PERFORACION.....	57
8.1.1. Registros de Pozos.....	57
8.1.2. Muestreo.....	59
8.2. CALIDAD DEL CARBON	60
8.2.1. Humedad Total.	61
8.2.2. Humedad de Equilibrio.....	61
8.2.3. Cenizas.....	62
8.2.4. Materias Volátiles.....	62
8.2.5. Carbono Fijo. El	62
8.2.6. Azufre Total.....	63
8.2.7. Poder Calorífico.....	63
8.3. TIPO DE MINERÍA Y MÉTODO DE MINERÍA.....	65
8.4. PROCESO DE MINADO	67
8.4.1. Descapote de Mantos.....	67
8.4.2. Limpieza del Bloque de Carbón.....	68

8.4.3. Estandarización Áreas de Apilamientos (AA).....	69
8.4.4. Apilamiento de carbón.	70
8.4.5. Cargue y Acarreo de Carbón.	70
8.5 AVANCE DE LA MINERÍA	71
9. GEOLOGIA AMBIENTAL.....	72
9.1. AMBIENTAL.....	72
9.1.1. Programa de Conservación y Protección de hábitat.	73
9.1.2. Programa de Rehabilitación de Áreas degradadas.....	73
9.1.3. Programa de Manejo de Emisiones Atmosféricas, Material Particulado y Ruido	73
9.1.4. Programa de Manejo Integral de Residuos Peligrosos	74
9.1.5. Programa de Manejo para el Control de Estabilidad de Taludes	74
9.1.6. Programa de Manejo para el Control de Aguas.	74
9.1.7. Programa de Manejo para los Procedimientos de Perforaciones y Volad uras.....	74
9.2. GEOTECNIA.....	75
9.3. HIDROGEOLOGIA	77
9.3.1. Medidas de despresurización.	78
10. GEOLOGIA ECONOMICA.....	79
10.1. RECURSOS Y RESERVAS DE CARBÓN.....	79
10.2. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	83
10.3. PRECIO Y EXPECTATIVAS DE VENTAS PARA EL CARBÓN	83
11. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA.....	85
ANEXOS.....	88

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación de Espesores de Mantos de Carbón.....	48
Tabla 2. Descripción detallada interburden del depósito.	54
Tabla 3. Promedios de Calidad a 7.5% de Humedad (In Situ) y en Base Seca.....	64
Tabla 4. Tabla de calidad de la mina la Jagua y clasificación de mantos de carbón según el contenido de azufre	65
Tabla 5. Criterios de Diseño en Pit	75
Tabla 6. Secuencia Aproximada entre Mantos.	76
Tabla 7. Recursos del Sinclinal de La Jagua	79
Tabla 8. Clasificación de las Reservas Explotables del Proyecto La Jagua	80
Tabla 9. Distribución de las reservas explotables manto a manto del Proyecto La Jagua	80
Tabla 10. Exportaciones Mundiales de Carbón Colombiano, en porcentaje, por región.....	82
Tabla 11. Parámetros de Calidad de Carbón.....	83
Tabla 12. Precios de exportación de carbón en los últimos años	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización proyecto Mina La Jagua, Ortomapa Sinclinal La Jagua.	18
Figura 2. Mapa de localización de Cuenca Cesar – Ranchería.	19
Figura 3. Mapa Geológico Generalizado de la cuenca Cesar Ranchería.	20
Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Cesar, se ubica el sinclinal de la Jagua y donde se desarrolla el presente estudio.	27
Figura 5. Mapa tectónico regional.....	28
Figura 6. Evolución geológica de la cuenca del Cesar.	34
Figura 7. Columna estratigráfica de la mina la jagua.	38
Figura 8. Área con depósito aluvial en Cerro de Piedra.....	40
Figura 9. Sinclinal la jagua, explotación actual de la mina la Jagua.	41
Figura 10. Falla Graben, Pared Flanco Occidental.	42
Figura 11. Trazo de la Falla victoria y Falla Graben en el avance minero.	43
Figura 12. Formación del Carbón	44
Figura 13. Formación de los distintos tipos de Carbón	46
Figura 14. Columna estratigráfica de secuencia completa de los mantos de carbón en la Formación Cuervos.....	47
Figura 15. Pinchamiento de manto 00, zona de falla.	48
Figura 16. Fallas normales en manto M01	49
Figura 17. Manto de mayor espesor.	50
Figura 18. Falla normal manto 20	51
Figura 19. Falla normal manto 28	51
Figura 20. Tipos de carbón presentes en el manto 45.....	52
Figura 21. Respuesta de un registro gamma ray al paso por	59
Figura 22. Muestreo en canal de mantos de carbón.....	60
Figura 23. Descapote de manto de carbón con buldócer.	68
Figura 24. Limpieza de manto de carbón con tractor de llanta	69

Figura 25. Estandarización de área de apilamiento con motoniveladora.....	69
Figura 26. Apilamiento de carbón en la pata del manto.....	70
Figura 27. Cargue y acarreo de carbón	71
Figura 28. Corte longitudinal sinclinal de la Jagua.....	71
Figura 29. Rehabilitación de Áreas degradadas	73
Figura 30. Localización de los inclinómetros instalados.	77

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Secciones Transversales Típicas.....	88
Anexo B. Planta de Secciones.....	90
Anexo C. Sección Longitudinal Típica.	91

RESUMEN

TÍTULO: ESTADO DEL ARTE PARA LA CARACTERIZACION GEOLOGICA DEL DEPOSITO DE CARBON EN LA ZONA DE LA MINA LA JAGUA*

AUTORA: Diana Paola Luna**

PALABRAS CLAVES: Carbón, Geología, Mina la Jagua.

La zona carbonífera del Cesar forma parte de la Cuenca Cesar – Ranchería la cual ha sido explorada y explotada para carbones. Dentro de esta cuenca se encuentra el área carbonífera de la Jagua, en el municipio de la Jagua de Ibirico, en la región central del Departamento del Cesar. Los carbones que se encuentran allí han sido localizados en el Miembro Medio de la Formación Los Cuervos de edad paleoceno, la cual se caracteriza por presentar espesos paquetes arenosos, con niveles ferruginosos muy característicos de 0,5 – 0,7 m de espesor a través de las capas y mantos de carbón.

El Sinclinal de la Jagua se encuentra aproximadamente 5 km al nororiente del Municipio de La Jagua de Ibirico; es ligeramente asimétrico con buzamientos entre 10° y 35°, una longitud a lo largo del eje de aproximadamente 10,4Km y aproximadamente 4Km de ancho (Hernández, 2003).

En este Sinclinal se encuentra ubicado el proyecto Mina la Jagua, donde se explota carbón a cielo abierto. Los carbones son térmicos bituminosos, bajos en azufre, altamente volátiles tipo A y B y de alto contenido energético. Actualmente la secuencia carbonífera consta de 23 mantos de carbón explotables, sus espesores varían de entre 0.3 y 5,2 m. Las Reservas Básicas de carbón en el área estudiada son 105,18 millones de toneladas de carbón.

*Proyecto de grado

**Facultad de ingenieras Físico químicas. Escuela de Geología. Director Ricardo Mier.

ABSTRACT

TITLE: State of the Art for the Geological Characterization of the Coal Deposit in La Jagua Mine*

AUTHOR: Diana Paola Luna Velandia**

KEY WORDS: Coal, Geology, La Jagua Mine

DESCRIPTION

Coals deposits in the Cesar area, make part of the Cesar – Rancheria Basin, which have been explored and operated to obtain coal. Inside this basin, exactly in La Jagua de Ibirico, central area of Cesar Region, it's located the Jagua Coal Deposits. Those deposits make part of the Palaeocene age Medium Member in Los Cuervos Formation, and are characterized by having thick sandy packages, with ferruginous levels of 0,5 – 0,7m thickness, across the coals layers.

La Jagua Syncline is located 5km to the northeast of La Jagua de Ibirico area; it's slightly asymmetric dipping between 10° y 35° , it have length of 10,4km and width of 4km (Hernández, 2003).

This syncline is located in La Jagua Mine, where coal open-pit mining is developed. The coal is bituminous thermal, with low sulphur concentrations, highly volatile type A and B, with high energetic content. Currently, the coal sequences encompass 22 productive coal layers and their thickness varies between 0,3ms and 5,2m. The amount of the coal reserves in the studied area are 105'18 millions of tons of coal.

*Research Project

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director Ricardo Mier.

INTRODUCCIÓN

El carbón se define como una roca sedimentaria organoclástica de grano fino, compuesta esencialmente por restos carbonizados de plantas, que se genera por la diagénesis, a cierta presión y temperatura, de materia vegetal procedente de pteridofitas, gimnospermas y angiospermas. Corona et. Al. (2006). El carbón se caracteriza por ser el combustible fósil del que existen mayor cantidad de recursos, cifrándose en un 75% del total de las reservas estimadas. Así mismo cabe destacarse su amplia distribución geográfica, conociéndose yacimientos explotables prácticamente en todos los países.

Es así que a partir de 1990 el carbón entró a ser considerado como una de las principales fuentes energéticas mundiales y se ha convertido en objeto de producción económica, representando un energético altamente estratégico y prometedor a la economía del de un país.

El Proyecto Mina La Jagua (PLJ) se ubica en el Sinclinal de la Jagua, haciendo parte de la zona carbonífera del cesar. Sus carbones hacen parte del miembro medio de la Formación los Cuervos de edad Paleoceno.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estado del arte sobre información existente para la caracterización geológica del depósito de carbón en la zona de la Mina la Jagua.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una búsqueda y compilación bibliográfica existente de la zona de estudio.
- Ampliar el conocimiento sobre la geología de la zona de estudio con el fin de contribuir al desarrollo minero.
- Generar nuevos aportes en torno a geología del depósito.
- Recuperar y trascender el conocimiento existente de la zona de interés

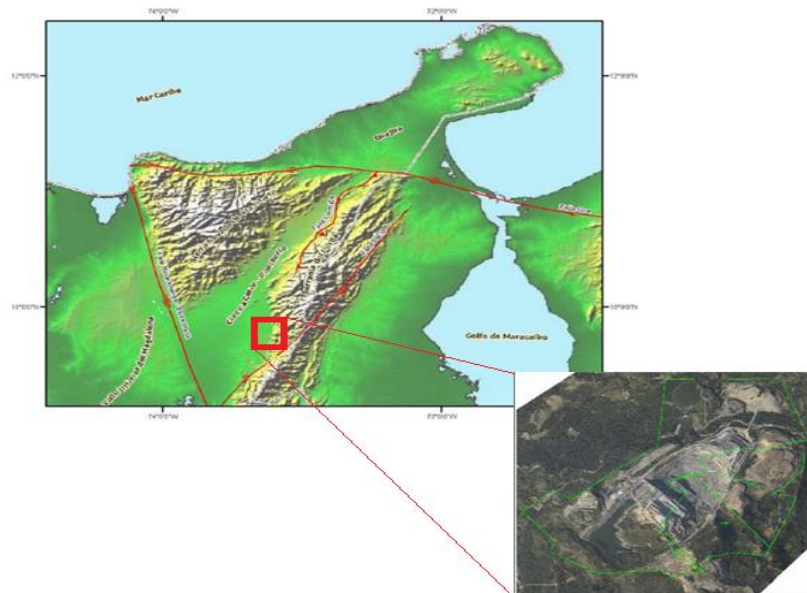
2. LOCALIZACIÓN

Mina la jagua se encuentra localizada en la zona central del Departamento del Cesar, a 5 km aproximadamente del noroeste del municipio de la Jagua de Ibirico.

El proyecto La Jagua forma parte de la Cuenca de Cesar-Ranchería; se encuentra tectónica y geográficamente limitado por: la Serranía del Perijá y Los Motilones al SE., La Sierra Nevada al NE., la Falla de Oca al N. y la Falla Santa Marta-Bucaramanga al SE. (Ver figura 1)

La zona carbonífera de La Jagua y la zona de estudio con su potencialidad, calidad y ubicación estratégica constituye el segundo mayor desarrollo minero del país.

Figura 1. Localización proyecto Mina La Jagua, Ortomapa Sinclinal La Jagua.

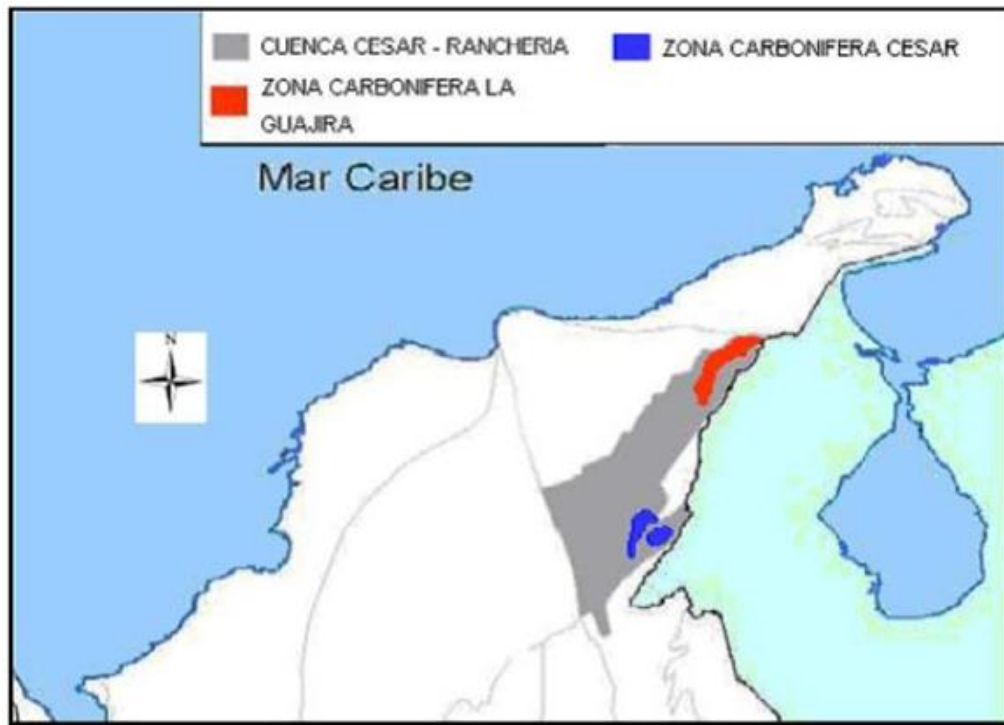


Fuente: Modificado Ingeominas 1999

3. GEOLOGÍA REGIONAL

La zona carbonífera del Departamento del Cesar hace parte de la Cuenca Cesar-Ranchería, en la cual se encuentra el Sinclinal de la Jagua, junto con los sinclinales del descanso, la loma, el boquerón, la palmita, la miel, y la esperanza forma parte del gran Sinclinorio que conforma dicha cuenca. (Ver Figura 2)

Figura 2. Mapa de localización de Cuenca Cesar – Ranchería.



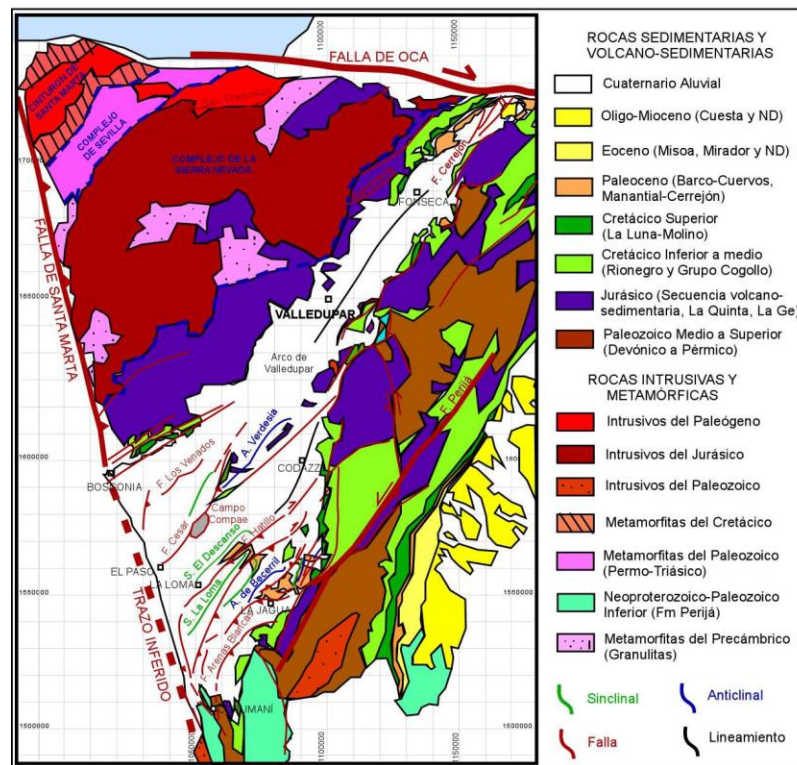
Fuente: Study of some trace elements of the Cesar – Rancheria basin (2007)

3.1. ESTRATIGRAFÍA

Las unidades de roca presentes en la Cuenca Cesar Ranchería abarcan desde el Precámbrico hasta depósitos recientes.

A continuación, se describen las unidades presentes en la cuenca, haciendo referencia a su edad, espesores, contactos, ambiente de depósito y correlación. (Ver Figuras 3 y 4)

Figura 3. Mapa Geológico Generalizado de la cuenca Cesar Ranchería.



Fuente: Tomado de Ayala (2009). Bayona et.al. (2007). Gómez et.al. (2007)

3.2.1. Región Serranía Del Perijá.

3.2.1.1. Grupo cachiri (Pzc). Liddle et al. (1943) la describe por un conglomerado basal, afectado por compresión, ya que los cantos de cuarzo que lo constituyen muestran alineación notoria. Según Forero (1972), este conglomerado puede tener 5 m de espesor; sobre él se encuentra una sucesión de areniscas ferruginosas y subgrauvacas bien calibradas de grano medio, las cuales contienen unas pocas capas de lutitas grises; a continuación, se encuentran areniscas verdes, micáceas, de grano fino que muestran manchas de oxidación rojas y que están cubiertas por

lutitas arenosas calcáreas, de color gris oscuro y de grano muy fino. La parte superior de la unidad lo constituye una caliza negra, compacta, fosilífera, en bancos delgados intercalados con arcillolitas calcáreas. La sección tipo tiene un espesor de 1.300 m en la sección al oriente de Manaure; está en contacto con rocas mesozoicas y se considera de edad Devónico Inferior - Pérmico medio (Forero, 1972).

3.2.1.2. Formación La Quinta (Jq). Se utiliza este nombre informal para describir la secuencia volcanoclástica que se presenta entre la formación Bocas y las formaciones cretáceas; característica de la unidad es presentar rápidos cambios, en su composición y textura, tanto verticales como horizontales (interdigitaciones), que hacen que prácticamente no se encuentren dos sitios con la misma sucesión litológica. Se encuentra en el sureste del municipio de la Jagua de Ibirico.

3.2.1.3. Formación Rionegro (K1r). En la serranía de Perijá, la secuencia cretácea se inicia con esta unidad, cuyo nombre se ha aplicado en el mismo sentido que en Venezuela. La Formación Rionegro se apoya sobre capas de la Unidad La Quinta y yace bajo el Grupo Cogollo. La Formación Rionegro es detrítica, de composición especialmente arcósica, su espesor máximo alcanza 3.000 m en la sección tipo, aunque varía substancialmente (Miller, 1.960) en Julivert. La Formación Rionegro presenta variaciones tanto en su geometría compactación, potencia, como en su composición (principalmente en minerales accesorios o contenidos de arcilla) y los espesores son menores en el flanco occidental de la serranía que los de la región fronteriza.

3.2.1.4. Grupo Cogollo. (K1c). Miller, en Julivert (, utilizó este término para la serranía de Perijá y el Valle del río Cesar en el mismo sentido que Sutton y Rod and Mayne, en Miller, lo divide en “Cogollo Inferior” que consta de calizas, calizas arenosas y areniscas calcáreas y tendría una edad Barremiano-Aptiano, y “Cogollo Superior”, con calizas menos macizas y de estratificación más fina, de

edad Aptiano Cenomaniano. Este grupo presenta variaciones de espesor importantes lo mismo que las formaciones Rionegro y la Luna. La anterior descripción se ajusta a propósito del presente estudio, pero agregando que en el Cogollo Superior se presenta una importante fase arenosa arcillosa descrita en varias localidades de la Serranía de Perijá. Por esta razón en los informes de Govea y Dueñas, y García, subdividen el Cogollo Superior en dos formaciones denominadas Lagunitas en la base y Aguas Blancas en el techo. Su distribución es la siguiente: al noreste de Casacará hasta al Victoria de San Isidro y al noreste de la Jagua de Ibirico cubriendo la serranía de Perijá hasta la frontera con Venezuela, y en el sureste de Curumaní

3.2.1.5. Formación La Luna. (K2I). Término introducido por Garner en 1926 en Venezuela como “La Luna Limestone” para una sucesión de lutita calcárea, negra, fosilífera con concreciones de calizas negras. Se le ha ubicado en el Cretáceo Superior entre el Coniaciano y Santoniano. En la Serranía de Perijá 21 reposa concordante y neto sobre el grupo Cogollo y en superficie no infrayace a ninguna otra unidad litoestratigráfica. García, postula un adelgazamiento de la Luna en sentido oeste y noroeste en la Cuenca del Cesar, teniendo como base el registro de la Unidad en 6 pozos perforados en los cuales la formación presenta un espesor variable entre 150 y 450 m. Consta de una secuencia alternante de lutitas negras carbonosas, limolitas, arcillolitas, calizas negras bituminosas que al partirlas expelen olor a petróleo, capas delgadas de chert y arenisca calcárea. Predomina la secuencia calcárea hacia el techo en estratos delgados a medianos, clasificada como calizas de grano medio a fino. Tiene numerosas concreciones en forma de disco, ovaladas y elipsoidales desde pocos centímetros hasta 120 centímetros o más de diámetro, en las concreciones más pequeñas generalmente se encuentra abundante pirita, algunas son ovaladas y localmente contienen fragmentos y restos de amonitas. En el informe de García, se menciona que en la formación se encuentran foraminíferos, amonitas, bivalvos y otros restos de conchas. A diferencia del Cogollo, en la parte calcárea de la formación La Luna,

no se observaron fenómenos de disolución. Aflora al este de Casacará hasta la Victoria de San Isidro, en esta última sección alcanza su mayor espesor con unos 180 mts.

3.2.1.6. Formación Barco. (E1b). Aflora en el área de estudio al norte de la Jagua de Ibirico en la zona de explotación de carbón y forma colinas aisladas al norte del Río Tucúy y al oriente del corregimiento La Palmita; en el subsuelo se halla en el 22 Descanso y la Loma. Ecopetrol lo reporta en los pozos Paso-2, Paso-3, Paso-4, Cesar F-1X y Río Maracas. La formación fue definida por Notestein y otros (1.944), en Ward y otros, en el filo oriental del Anticlinal Petrólea de la Concesión Barco, allí formada por 215 m de arenisca, shale y arcillolita intercaladas. Barco en los alrededores de la Jagua de Ibirico está conformado por areniscas amarillentas de grano fino, muy deleznable, ligeramente arcillosas y micáceas, el grano es subangular; se componen de cuarzo y en proporción muy baja feldespato y mica, se presentan en láminas delgadas paralelas y en forma de cuñas, así mismo localmente se observa estratificación cruzada. La arenisca se encuentra en bancos gruesos, hasta de 2 m de espesor, con delgadas intercalaciones de arcillolita amarillenta. Sobre esta secuencia descansa en contacto transicional la formación Los Cuervos, el contacto inferior de Barco no se observa por estar cubierto por Cuaternario.

3.2.1.7. Formación Los Cuervos. E2c. En el Departamento del Cesar la formación Los Cuervos está constituida por arcillas negras, grises, verdosas y amarillentas con delgadas intercalaciones de areniscas gris verdosa o amarillenta de grano medio, micáceas, con matriz arcillosa, y mantos de carbón que son objeto de explotación intensa. Mejía y Mateus, establecen para el Nivel T-3, que corresponde la formación Los Cuervos en el área de la Jagua de Ibirico, un espesor entre 350 y 400 m, el cual debe ser mayor ya que no se pudo determinar el tope; en el pozo Paso-3 se registraron 1066 m. Según Van der

Hammen (1.958), en Ward y otros (1.973). La edad de Los Cuervos va del Paleoceno Medio al Eoceno Inferior con base en análisis palinológicos.

3.2.1.8. Formación Cuesta. N1c. En el trabajo de García, se utiliza este nombre para describir los sedimentos semiconsolidados que conforman el tope del Sinclinal de La Loma, y que afloran en la vía entre La Jagua de Ibirico y el Corregimiento de La Loma. Afloramientos de la unidad se hallan en la localidad de Plan Bonito al oriente de La Loma en este sitio la secuencia está constituida por arenisca de color gris claro a blanco semiconsolidada, cuarzosa, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, intercaladas con conglomerados de matriz arenosa con cantos alargados denominados “Huevos de Paloma” de cuarzo ahumado de 3 cm de diámetro, areniscas con costras ferruginosas, y arcillolitas limosas de colores violeta, gris y rojizo. La estratificación es en capas delgadas y ocasionalmente media. Su espesor varía entre 160 y 400 m al E de la Loma y reposa discordante sobre el Terciario Inferior. García, reporta en el pozo Paso-1, 619 metros y considera que su espesor total puede ser de 800 m. En el campo su expresión morfológica es de leves ondulaciones con alturas que no superan los 25 mts. Esta secuencia se correlaciona con la Formación Mirador de edad Eoceno Medio que se caracteriza por el predominio de areniscas de 24 grano fino a grueso a veces conglomerática, intercaladas con conglomerados de cuarzo lechoso principalmente y de 1 a 2 cm de longitud y forma ovalada.

3.3. DEPÓSITOS RECIENTES.

3.3.1. Terrazas. Qt. Se han denominado así a los depósitos recientes que no tienen contacto directo con sedimentos que conforman la planicie del Cesar. En su mayor parte corresponde a acumulaciones en áreas pequeñas y delgados espesores que se han depositado en el fondo de valles 27 profundos de algunos ríos y quebradas, y en mesetas y sabanas donde de manera transitoria divagan y

pierden energía dichas corrientes. Su composición y textura es heterogénea, dependiendo del área fuente que aporta los materiales y los regímenes de las corrientes que los han depositado. En la serranía de Perijá los constituyentes provienen de rocas sedimentarias: conglomerados, areniscas, limolitas, arcillolitas y calizas; otros de rocas con muy bajo grado de metamorfismo (metasedimentarias) y en contadas ocasiones rocas volcánicas tipo andesita, brechas y aglomerados. Predominan los componentes de la Quinta sedimentaria (Jqs) principalmente limolitas rojas, areniscas, conglomerados y rocas volcanoclásticas (tobáceas) en menor proporción.

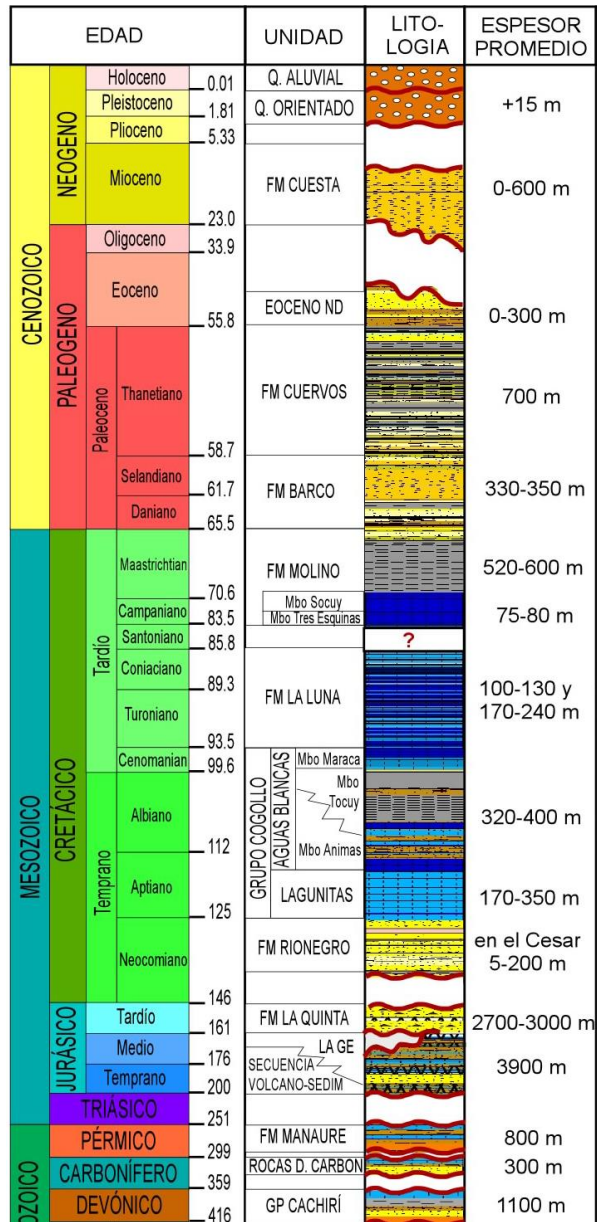
3.3.2. Abanicos Aluviales. Qcal. Representan una disminución repentina en el poder de transporte de una corriente a medida que pasa de un gradiente abrupto a uno suave; al reducir la velocidad, la corriente comienza rápidamente a vaciar su carga (Leet y Judson). En la serranía de Perijá se distingue el abanico de la Jagua de Ibirico, está constituido por cantos y bloques de hasta 3 m de diámetro, de areniscas, limolitas rojas y algunas calizas en su parte frontal. Su espesor puede alcanzar 100 m. Este abanico es uno de los más extensos y alcanzan hasta 5 km de longitud en la dimensión mayor.

3.3.3. Llanuras aluviales. Qlla. Las llanuras aluviales corresponden a los depósitos más recientes acumulados por las corrientes en la zona plana y semiplano; su expresión morfológica es una superficie horizontal (plana), donde sus componentes son observables en los cortes de ríos y quebradas. Estos sedimentos, de espesores variables, se caracterizan por una granulometría fina, compuesta por arenas, limos y arcillas que generalmente están cubiertas por un delgado nivel de gravas finas de algunos centímetros de espesor. En el norte del departamento, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, el río Cesar es el principal a portante junto con los afluentes que vienen de estos dos accidentes topográficos. Al occidente de la Sierra Nevada, el río Ariguaní y los afluentes del suroccidente de la Sierra han generado un depósito limo arcilloso de

gran potencia en la denominada Fosa de Ariguaní. En el sector norte de la Cordillera Oriental, estos depósitos están asociados a la cuenca del río Magdalena con sus afluentes provenientes de las zonas altas y que disecan a los abanicos aluviales. En el área de El Paso - La Loma - La Jagua de Ibirico, la llanura aluvial es de poco espesor; según Prodeco S. A. (1991) varía entre 5 y 25 m de profundidad; la delimitación de éstos depósitos no es muy clara, debido a que no presenta buen contraste con las rocas más antiguas, por tratarse de una planicie arrasada. En el sector sur y norte de Pailitas, entre la carretera central y la línea férrea, se observa una topografía denudada donde los sedimentos aluviales han rellenado los valles o las zonas deprimidas y alcanzan espesores menores de 30 m; en cercanías del sitio de Saloa se encuentran compuestos por arenas y gravas con cantos hasta de 20 cm de diámetro, que en este sitio son objeto de explotación. Al occidente de este límite hasta la zona de ciénagas aumenta el espesor de acuerdo con los sondeos geoelectrónicos realizados en el área.

3.3.4. Aluviones recientes. Qal. Se define aluviones recientes como una superficie relativamente plana, que corre a lo largo de un valle con un banco a manera de escalón que los separa ya sea de la planicie de inundación o de una terraza inferior. Es un remanente de un cauce primitivo de una corriente, que se ha abierto camino a un nivel inferior (Leet y Judson, 1990). En la serranía de Perijá se observan Aluviones Recientes al Oriente, siendo los de mayor extensión. Existen pequeños depósitos de Aluviones recientes en diversas corrientes pero que no son cartografiables, Su granulometría consta de gravas finas, cantos y arenas dentro de una matriz areno-limosa.

Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Cesar, se ubica el sinclinal de la Jagua y donde se desarrolla el presente estudio.



Fuente: Modificado de Intera-Bioss (1995) y Drummond (2005).

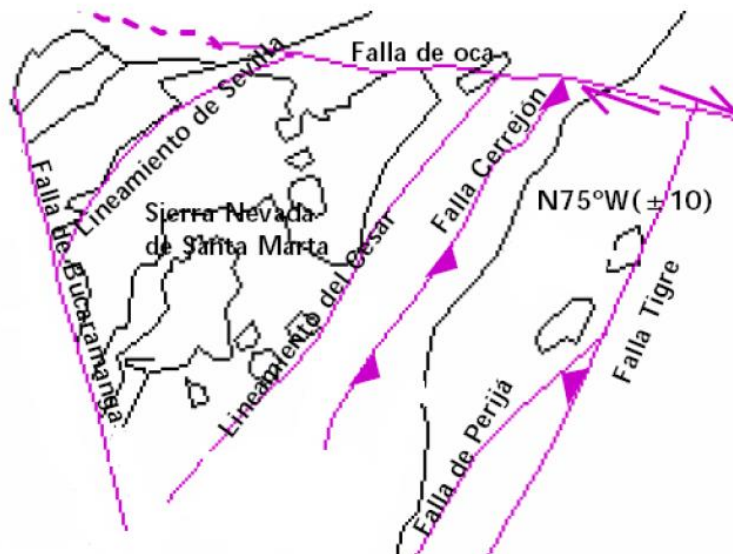
4. MARCO TECTÓNICO

La Jagua de Ibirico hace parte de la Cuenca Cesar - Ranchería y la Serranía de Perijá. La Cuenca Cesar - Ranchería está limitada geográfica y tectónicamente por la Sierra Nevada de Santa Marta al noroeste, la Serranía de Perijá al este, la Falla de Oca al norte y la Falla Bucaramanga - Santa Marta al suroeste. (Ver figura 5)

Los rasgos estructurales dominantes, plegamientos y fallas de carácter inverso, obedecen a un sistema comprensivo de esfuerzos regionales, con zonas de distensión

En cuanto a las estructuras tectónicas regionales, la zona carbonífera del Departamento del Cesar, la conforman cuatro estructuras que afectan unidades con niveles carbonosos definidas como son los sinclinales de La Jagua, El Descanso, La Loma y El Boquerón. (Ver Figura 3)

Figura 5. Mapa tectónico regional



Fuente: Modificado de Duque-caro 1991

4.1. FALLAS

A continuación se mencionarán las principales fallas asociadas a la Cuenca Cesar-Ranchería y sus características principales. La ubicación de éstas se encuentra en la Figura 5.

4.1.1. La falla Bucaramanga - Santa Marta. Es una falla transcurrete de desplazamiento sinistral, de dirección NNW-SSE, con una expresión topográfica notablemente recta y una longitud de 580 km, Irving, (1975) y corroborado con información estratigráfica a partir de núcleos de perforación, Kellogg, (1984); se le ha calculado un desplazamiento lateral de 110 a 115 kilómetros. Constituye la margen suroccidental de los macizos de Santa Marta y Santander. FIGURA 5

4.1.2. La falla Oca, falla rumbo deslizante lateral derecha de dirección este-oeste (EW), sirve de límite norte a la Sierra Nevada de Santa Marta y a la Serranía de Perijá. No se conoce evidencia directa de su deslizamiento (Irving, 1975) sin embargo este autor menciona desplazamientos de 20 km en análisis de núcleos de perforación sobre rocas

4.1.3. Sistema de Fallas de Perijá. Corresponde a fallas de orientación NE-SW, algunas de tipo sinistral. En el Centro y Oriente de la Serranía de Perijá, se resaltan dos Fallas sinestrales que pudieron estar conectadas al mismo sistema y condicionaron los espesores del Paleoceno (La Falla de Perijá, al este de la Subcuenca de Cesar, y la Falla del Tigre, al noroeste de la cuenca de Maracaibo).

4.1.4. Falla Arenas Blancas. La Falla Arenas Blancas se localiza en la Serranía de Perijá, tiene un trazo bien definido desde el oriente de La Jagua de Ibirico y se prolonga hacia el norte hasta la frontera con Venezuela. En la quebrada de San Antonio, al sureste de La Jagua de Ibirico, la falla está cubierta por depósitos cuaternarios, en el mapa de Garcia (1990), su probable trazo se continúa al oeste

hasta terminar contra el Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta la tendencia recta de la traza de la Falla Arenas Blancas sugiere un buzamiento subvertical, pero podría ser de tipo inverso que pone en contacto rocas paleozoicas sobre secuencias jurásicas o cretácicas y corresponde a la de Perijá. (Hernández 2003).

5. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL

La descripción de los diferentes eventos geológicos se puede explicar a través de la evolución geológica regional, estudiada principalmente por Maze (1984), Kellogg (1984), Cáceres et al. (1980) e Irving (1975).

Con base en las relaciones estratigráficas y estructurales del área del Cesar se establece la existencia de dos eventos principales de actividad tectónica relacionados con los patrones regionales de comprensión del valle del río Cesar. El primero de ellos se ubica entre el Eoceno y el Mioceno (Orogenia Caribe) relacionado con las primeras deformaciones que dieron origen a las estructuras como los sinclinales de La Loma y el Descanso, el segundo evento se relaciona con la Orogenia Andina (Mioceno hasta el presente), la cual da la forma actual de estas estructuras.

En el área de La Jagua de Ibiríco se pueden evidenciar estructuralmente dos zonas limitadas principalmente por la Falla Bucaramanga Santa Marta; una zona occidental que corresponde a la cuenca de Plato, caracterizada por presentar un plegamiento con sinclinales y anticlinales de dirección NNW y una zona oriental que corresponde a la Cuenca Cesar - Ranchería, que manifiesta fallas inversas y pliegues en una dirección NE - SW (Ver figura 6).

Las regiones de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá presentan formaciones desde el Precámbrico hasta el Cuaternario, con sedimentita marina y continentales, rocas metamórficas, rocas ígneas intrusivas, extrusivas y piroclásticas afectadas por movimientos tectónicos.

Se reconocen ocho fases tectónicas mayores durante el Fanerozoico, las últimas cuatro durante el cenozoico: Fase tectónica del Eoceno temprano, Orogenia Caribe del Eoceno medio, fase Oligocena tardía y Orogenia Andina Mioceno tardío al presente (Kellogg, 1984). Esta actividad tectónica cenozoica generó un sistema compresivo de dirección NW-SE, evidenciado por la orientación NE-SW de las principales estructuras regionales. Dentro del área caracteriza este campo de esfuerzos la orientación NE-SW de las fallas inversas de alto ángulo y la sucesión de estructuras plegadas como el Anticlinal Loma Corazones y el Anticlinal Nueva Granada. La Serranía de Perijá fue emplazada como un bloque alóctono durante el Jurásico como resultado de subducción, rifting asociado con la apertura del Caribe y de movimientos transcurrentes (Maze, 1984). El levantamiento principal ocurrió durante la Orogenia Andina, como un bloque cabalgante hacia el noroeste (NW) sobre el valle del río Cesar a través de una falla de cabalgamiento de bajo ángulo que se extiende hasta la mitad de la corteza, la Falla Perijá (Kellogg, 1984).

Durante el Cámbrico - Ordovícico se depositan sedimentos pelíticos interestratificados con flujos de lava transformados a esquistos de actinolita - clorita, cuarcitas y filitas de la Unidad Metasedimentaria de La Virgen por un metamorfismo regional de baja presión y alta temperatura, simultáneamente, con fases de levantamiento, plegamiento, actividad plutónica y erosión relacionadas a la Orogenia Caledoniana, durante el Silúrico a Devónico temprano.

Posterior a la Orogenia Caledoniana, durante el Devónico, ocurre una transgresión que cubre las áreas positivas y se depositan gravas, arenas, shales y shales calcáreos en forma discordante sobre las metamorfitas cambro ordovícicas.

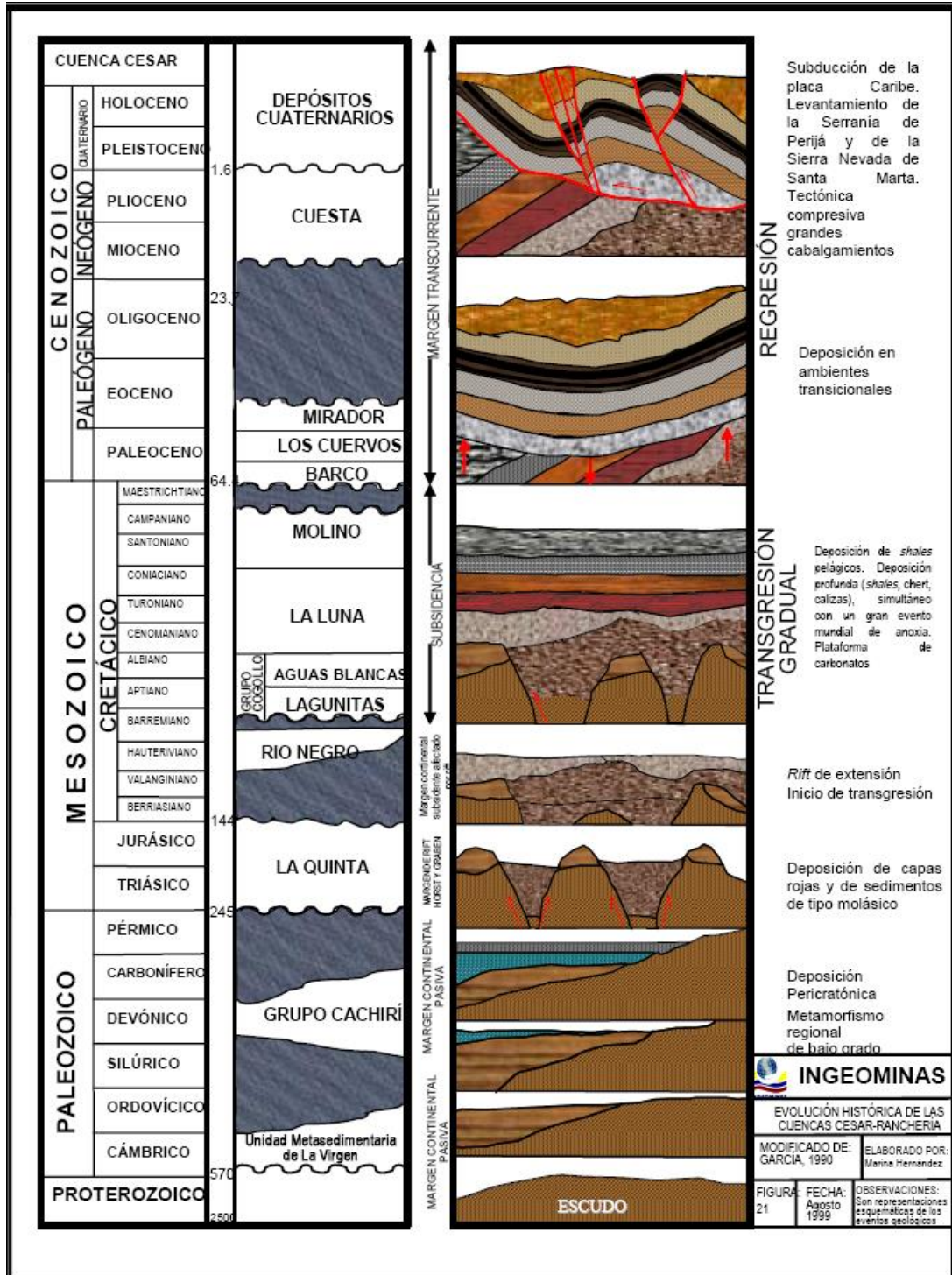
En el Devónico tardío ocurre un segundo evento tectónico importante, la Orogenia Herciniana, que se caracteriza, principalmente, por procesos de fallamiento y fuerte erosión que origina un hiato entre los sedimentos devónicos y carboníferos. La región ha experimentado eventos alternativos de sedimentación y de orogenia.

Se han identificado ocho principales fases tectónicas fanerozoicas en la Serranía de Perijá y cuencas adyacentes. Los cuatro principales episodios tectónicos Precenozoicos son del: Silúrico - Devónico temprano; Devónico tardío, Pérmico tardío - Triásico, fallamiento y vulcanismo jurásico; y los correspondientes al Cenozoico son: la fase tectónica del Eoceno temprano, Orogenia Caribe del Eoceno medio, fase del Oligoceno tardío y la Orogenia Andina del Mioceno tardío al presente. Los ocho episodios produjeron discordancias en la columna estratigráfica de la Cuenca del Cesar (Maze, 1984).

La actividad tectónica continúa a través del Carbonífero y el Pérmico como movimientos verticales que producen pequeñas depresiones y, como resultado, ciclos de regresión y transgresión que depositan secuencias clásticas y carbonatadas (Cáceres et al., 1980). El final de la Orogenia Herciniana marca el límite Paleozoico-Mesozoico. Durante el Triásico se presentan movimientos epirogénicos asociados al rifting necesario para la apertura del mar caribe, que causan levantamientos y formación de grabens, lo que permitió la deposición de secuencias molásicas (Formación La Quinta). Vulcanismo de flujo y piroclásticos contribuyó con material de flujo, cenizas y detritos a la secuencia.

La influencia de las condiciones ambientales (clima y ambientes oxidantes) sobre los sedimentos produjo una secuencia tipo capas rojas. Extensión, subsidencia y vulcanismo asociado, deposición, deformación y redeposición, especialmente a lo largo de las márgenes de grabens a través del Triásico - Jurásico. Durante el Jurásico medio, una actividad ígnea intrusiva tomó lugar, y se emplazaron batolitos félsicos a intermedios principalmente en la Sierra Nevada de Santa Marta (Cáceres et al., 1980).

Figura 6. Evolución geológica de la cuenca del Cesar.



Fuente: Ingeominas, 2003

Hacia el Cretácico Temprano comienza una subsidencia que causa una trasgresión marina, y se depositan sedimentos que dan origen a las areniscas y a los conglomerados de la Formación Río Negro, o al conglomerado basal del Grupo Cogollo que suprayace a la Formación La Quinta en forma discordante.

La subsidencia continúa y se forma finalmente un ambiente deposicional marino para el Barremiano, y predomina la deposición de carbonato de tipo químico. Este ambiente prevalece hasta el Coniaciano, cuando se depositan calizas y shales calcáreos ricos en materia orgánica (formaciones Lagunita, Aguas Blancas y La Luna). Después de la deposición de la Formación La Luna, La subsidencia alcanza su máxima tasa, y el ambiente cambia a uno de tipo marino batial, representado por la Formación Molino, de carácter lutítico predominante. Este ambiente profundo continúa hasta el Campaniano, y al final de este tiempo se inicia una lenta regresión del mar cretáceo. Durante este ciclo regresivo se depositan lutitas y calizas interestratificadas de la Formación Hato Nuevo (Cuenca del Ranchería) en un ambiente de plataforma marina superficial, seguido por una secuencia alternante de shales y arenas depositadas en un ambiente transicional cercano a la costa Formación Manantial (Cáceres et al., 1980).

Ninguna actividad tectónica significativa marcó el límite Cretáceo – Paleógeno en esta región, aunque el Mesozoico culminó con el levantamiento de la Cordillera Occidental y con un metamorfismo de facies anfibolita al noroeste (NW) de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Península de La Guajira. El comienzo del Cenozoico se caracterizó por una deposición no marina de sedimentos que dieron origen a areniscas, areniscas carbonáceas, shales carbonáceos y capas de carbón (formaciones Barco y Los Cuervos). Durante el Cenozoico se produjeron cuatro fases tectónicas asociadas con levantamientos regionales: fase tectónica Eoceno temprano, Orogenia Caribe del Eoceno medio, fase Oligocena tardía y Orogenia Andina del Mioceno tardío al presente.

Durante el Eoceno se empieza a evidenciar la Orogenia Caribe tipo Alpino que tiene su máxima expresión en el Eoceno medio y que se caracteriza por una compresión NW-SE, plegamientos y cabalgamientos.

En la fase Oligoceno tardío se inicia un estilo tectónico de bloques que involucra basamento, que culmina durante el Plioceno con el cabalgamiento al noroeste (NW) de la Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía de Perijá sobre las cuencas adyacentes. El principal levantamiento de la Serranía de Perijá ocurrió durante el Mioceno tardío - Plioceno de la Orogenia Andina. El levantamiento de la Serranía de Perijá y de la Sierra Nevada de Santa Marta, debido a la convergencia de las placas Caribe, Suramérica y Nazca, originó las fallas transcurrentes de Bucaramanga – Santa Marta y de Oca, bajo un campo de esfuerzos compresivos orientados $N40^{\circ}W + 10^{\circ}$ (Cáceres et al., 1980).

Finalmente, durante el Plioceno – Pleistoceno se formaron abanicos aluviales, terrazas y planicies aluviales que se encuentran cubriendo el valle Cesar –

Ranchería. La posición actual de estos depósitos sobre el nivel base de los ríos (200 - 300 metros) es evidencia de un rápido levantamiento producto de la deformación andina. La deformación compresional comenzó a lo largo del margen continental en el Cretácico tardío a Paleoceno con la acreción de la Cordillera Occidental al cratón suramericano. Posteriormente, el levantamiento de la Cordillera Central comenzó en el Oligoceno en cuyo tiempo las cuencas del Magdalena y la actual cordillera estuvieron en una cuenca foreland. En el Mioceno tardío - Plioceno, un cinturón plegado y cabalgado se desarrolló en la Cordillera Oriental, seguido por levantamiento regional de edad Plioceno.

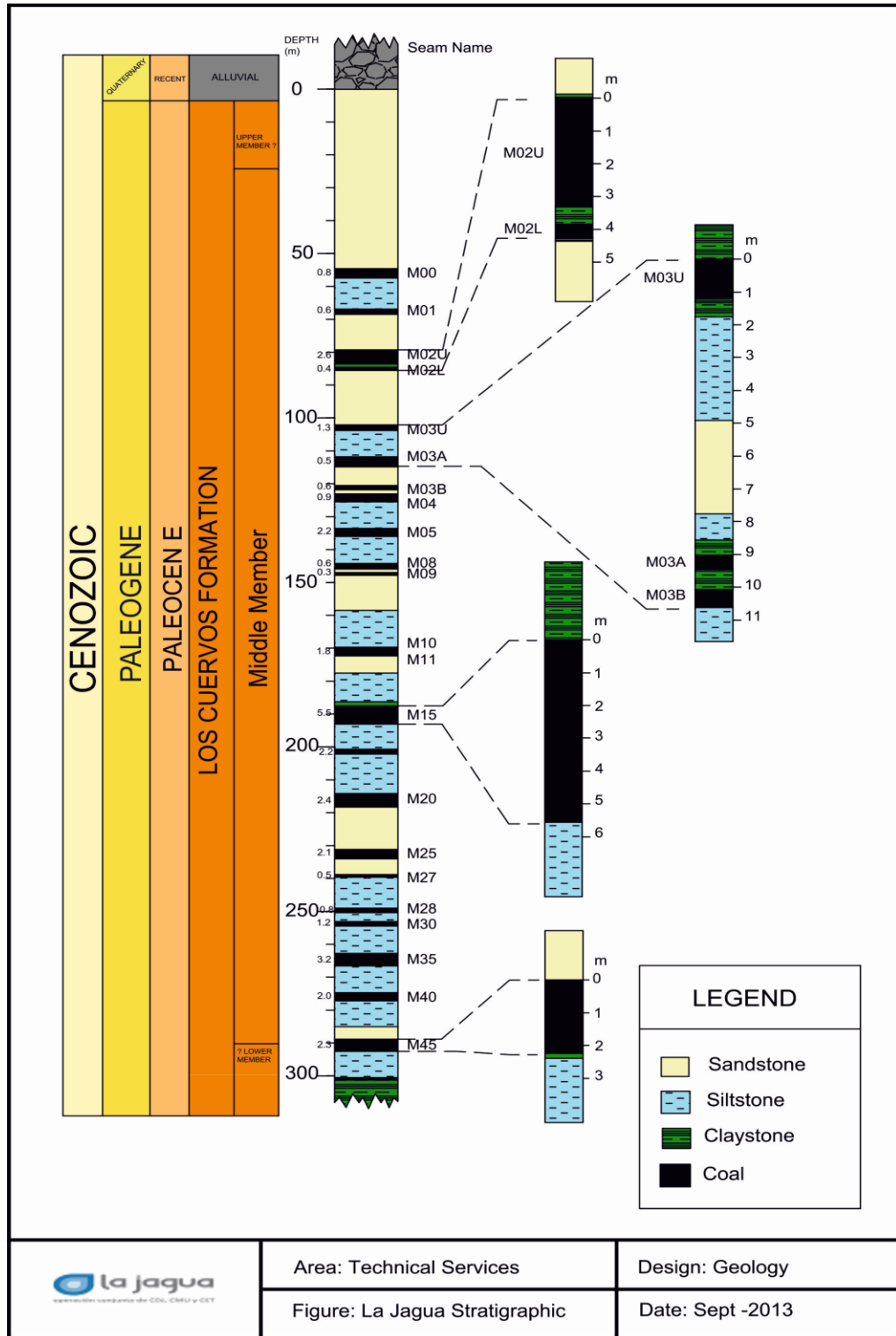
6. GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

6.1. ESTRATIGRAFÍA

Con base en las diferentes perforaciones realizadas en el depósito se determinó que en el Sinclinal de la Jagua aflora la Formación Cuervos de edad paleoceno-eoceno temprano, definida por **Notestein et al. (1944)**, tomado de Hernández, M, 2003. Y depósitos cuaternarios. (Ver Figura 7)

La explotación de carbón que se lleva a cabo estratigráficamente en el Miembro Medio de la Formación Cuervos.

Figura 7. Columna estratigráfica de la mina la jagua.



Fuente: columna estratigráfica mina la Jagua 2013.

6.1.1. Formación Cuervos

Miembro Medio

Esta unidad presenta un contenido importante de fino (arcillolitas y limolitas), la caracteriza la presencia de paquetes arenosos de importante espesor, con algunos niveles ferruginosos (70 cm de espesor) a través de las capas y mantos de carbón que oscilan entre los 0,3 y 5,2 metros de espesor, los cuales son de importancia económica ya que estos son explotables y en los cuales las operaciones mineras se concentran. Los niveles arenosos corresponden a arenas cuarzosas con alto contenido de hierro y es común la presencia de niveles ferruginosos.

Este miembro en general se caracteriza por capas gruesas de areniscas con intercalación de niveles arcillosos y limosos y algunos niveles de siderita en nódulos. El tamaño de grano de las areniscas varían de fino a medio, color gris claro a gris verdoso con algunas tonalidades rojizas producto de la alteración. Laminación planoparalela a ondulosa, con estratificación cruzada y lenticular. Las arcillolitas presentan laminación plana a ondulosa, son de color gris, con variación de tono a claro a oscuro, a veces rojizo por alteración. Algunas de estas capas son carbonosas y otras presentan nódulos ferruginosos, de color rojizo, que varían su diámetro de 1 a 3 cm. Las limolitas tienen laminación plana ondulosa

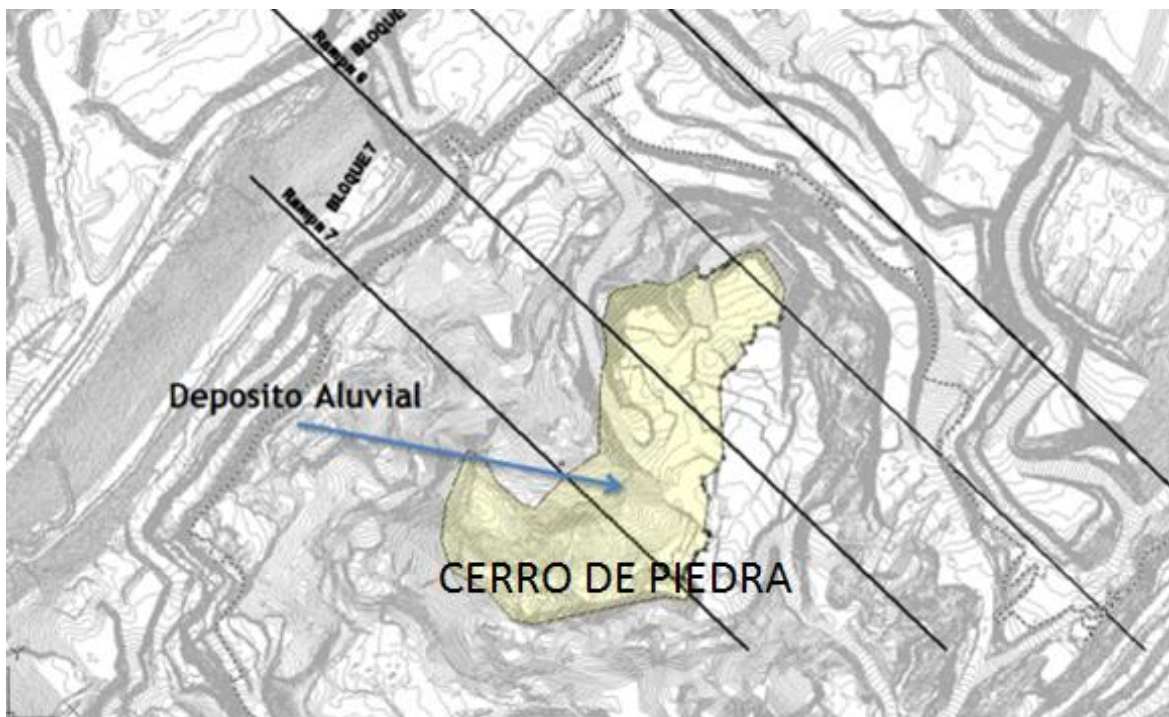
6.1.2. Cuaternario

6.1.2.1. Terrazas Aluviales Antiguas: llamadas Conglomerado de Bloques; únicamente se presentan formando los techos de todas las colinas (terrazas de relleno), pues en las partes bajas fueron erodadas. Se encuentran en Cerro de Piedra y en Cerro Largo y su espesor en algunos sectores llega a ser mayor de 100 m y están formadas por cantos de diferentes tamaños en una matriz arenosa

poco cementada de color gris de grano medio a grueso, con impurezas ferruginosas. Los Bloques son Areniscas conglomeráticas o Conglomerados de guijos de composición cuarcítica, muy compactos. Los fragmentos de los bloques son sub-angulares mal redondeados y de escasa esfericidad. Por su baja selección y lo caótico de su gradación, podría tratarse de un aluvión torrencial.

6.1.2.2. Sedimentos no consolidados recientes (Aluviones): Se encuentran en las riveras del Río Tucuy. Este aluvión está compuesto por gravas, fragmentos de roca hasta de 0.5 m. de diámetro y arenas de grano grueso no consolidado, dividido por una capa de arcilla de 0.50 m de espesor. Este aluvión tiene un espesor promedio de 12 m. (Ver Figura 8)

Figura 8. Área con depósito aluvial en Cerro de Piedra



6.2. ESTRUCTURAS

6.2.1. Sinclinal La Jagua. Se encuentra al NE del Municipio de La Jagua de Ibirico, aproximadamente a 5 km. Presenta forma un alargamiento hacia el norte, es ligeramente asimétrico, con un eje mayor de aproximadamente 10,4 km y más de 4 km de ancho. Hacia el sur, la estructura es amplia y se cierra al norte con un cabeceo al W. El eje mayor del sinclinal varia su rumbo desde N 85° E +/- 5°, presentando su mayor punto de inflexión en el sector de cerro de piedra. (Ver Figura 9)

Es un sinclinal abierto con un buzamiento en sus dos flancos entre 10° y 35°. El sinclinal afecta rocas de la Formación Los Cuervos miembro inferior y miembro medio, siendo el principal rasgo estructural que controla los depósitos que son objeto de la explotación actual minera de la zona. (Hernández 2003).

Figura 9. Sinclinal la jagua, explotación actual de la mina la Jagua.



Estructuralmente este depósito se caracteriza por fallamiento subordinado por plegamientos.

6.2.2. Falla la Victoria. Es una falla normal con un rumbo y buzamiento promedio de N70E/ 48NW, presenta estructuras secundarias ramificadas, resultantes de los procesos de propagación del plano principal, también fallas sintéticas asociadas con rumbo y buzamiento promedio N83E/52NW. (Ver Figura 11)

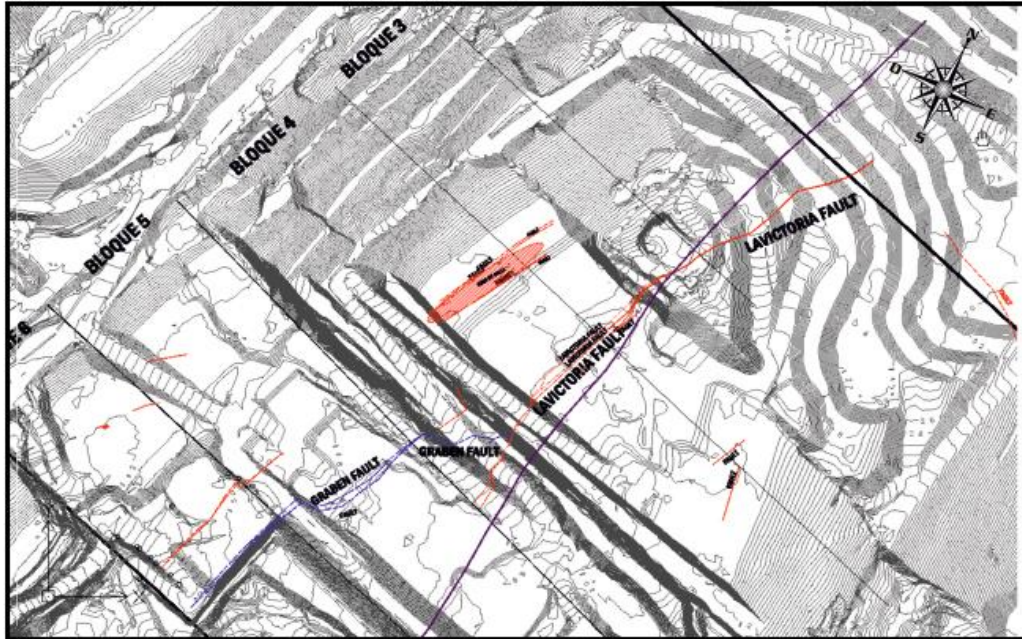
6.2.3. Falla Graben. Es una falla normal con un rumbo y buzamiento N67E/52SE, esta falla se encuentra uniéndose a la falla victoria permitiendo que se forme un pequeño graben (Ver Figura 10), esta falla solo afecta los mantos más superiores del depósito, ha llegado a generar desplazamientos máximos hasta de 6m.

El depósito por otra parte presenta una serie de fallas locales propias de cada manto de carbón. Estas se han observado a diferentes niveles de explotación. Cabe resaltar que estas fallas al ser de carácter local solo intervienen en el proceso de minado, es decir dificulta la extracción de este. Estas serán expuestas en la caracterización de cada manto.

Figura 10. Falla Graben, Pared Flanco Occidental.



Figura 11. Trazo de la Falla victoria y Falla Graben en el avance minero.



Fuente: Tomado de mapa de trazas Mina la Jagua (2015).

7. CARBÓN

El carbón es una roca sedimentaria rica en contenido de carbono, formada de restos alterados de la vegetación prehistórica que se acumularon originalmente en pantanos y ciénagas. (Ver Figura 12)

Figura 12. Formación del Carbón



Fuente: Earthly Issues

Se conocen dos etapas para la formación del carbón las cuales van a determinar el tipo de carbón que se va a generar; la primera es la etapa bioquímica en la cual las plantas son transformadas bajo condiciones principalmente anaeróbicas, donde se va a determinar la composición de los macerales (propiedades petrográficas), posterior a esto se encuentra la etapa geoquímica donde se dan

transformaciones debido a cambios de temperatura y presiones a lo largo de millones de años (Thomas, 2002);

El desarrollo de plantas superiores en la tierra se dio durante el Silúrico y el Devónico, donde se proporcionó el material necesario para la formación de los diferentes tipos de carbón que van desde la turba (menor contenido de carbono), lignito, hulla y antracita (mayor contenido de carbono). Los periodos donde se dieron las mayores cantidades de carbón son del Carbonífero y Cretácico Tardío (Cooper y Murchison, 1969; van Krevelen, 1963).

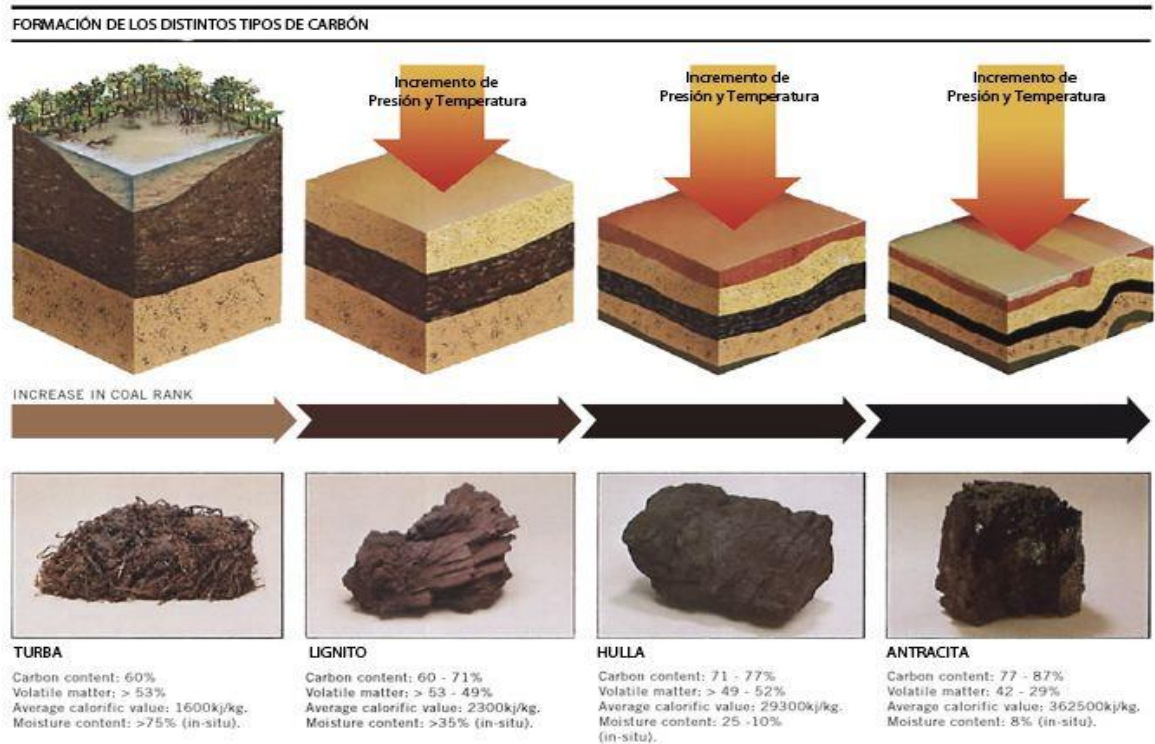
Según Corona et al 2006 Los medios más propicios en los cuales pueden darse procesos de acumulación vegetal corresponden a los siguientes:

- Zonas pantanosas, ciénagas, canales, lagos y charcas intercontinentales, con vegetación de tipos diversos (herbácea o leñosa) controlada por la profundidad del medio, sus condiciones del fondo, temperatura de las aguas, etc.
- Lagunas, estuarios y marismas, saladas o salobres. Éstas son zonas con comunicación ocasional con el mar, en las que se produce una importante actividad biológica vegetal.
- Manglares de las zonas tropicales que se encuentran bordeando a las lagunas y a los estuarios.
- Ambientes fluviales y deltaicos.

7.1. TIPOS DE CARBÓN

Los Distintos tipos de carbón en función de la presión y temperatura (Turba, Lignito, Hullas, Antracita). La turba tiene el menor contenido de carbón, mayor humedad y menor poder calorífico, al haber sufrido menor presión tras su formación.

Figura 13. Formación de los distintos tipos de Carbón

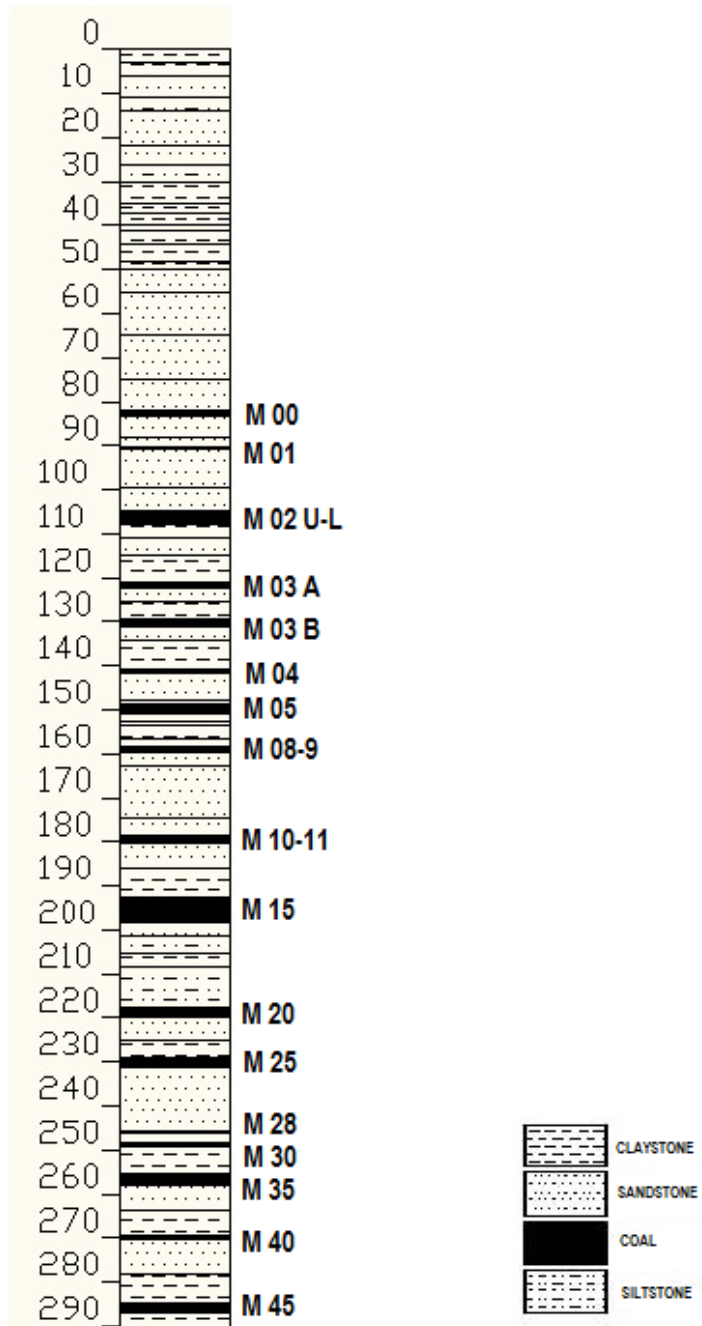


Fuente: www.acidoshumicos.com/blog/materia-organica-y-sustancias-humicas

7.2. MANTOS DE CARBÓN EN LA MINA LA JAGUA

La determinación de los mantos de carbón en la mina se realizó a partir de una clasificación y correlación de registros eléctricos tomados en los pozos perforados por CARBONES DEL CARIBE LTDA., en las diferentes etapas durante los años 1987 y 1996. Los mantos de carbón se nombraron en principio de techo a piso así: M-00, M-01, M-02, M-03, M-04, M-05, M-10, M-15, M-20, M-25, M-28, M-30, M-35, M-40, M-45, en la actualidad existen otras subdivisiones entre algunos mantos que presentan la misma estructura pero con algunas intercalaciones arcillosas entre ellos quedando clasificados de la siguiente manera M-00, M-01, M-02U, M02L, M-03U, M03A, M03B, M-04, M-05, M08, M09, M-10, M11, M-15, M17, M-20, M-25, M-28, M-30, M-35, M-40, M-45. Figura 14

Figura 15. Columna estratigráfica de secuencia completa de los mantos de carbón en la Formación Cuervos.



7.2.1. Descripción de Mantos. A continuación, se describen los mantos de mayor interés dado su espesor y sus características. (Ver figura 20) mostrando la litología y los mantos.

La secuencia carbonífera consta de 23 mantos de carbón explotables, sus espesores varían de entre 0.3 y 5,2 m. Tabla 1.

Tabla 1. Relación de Espesores de Mantos de Carbón

Espesor de carbón - Deposito La Jagua		
Espesor	Tamaño (m)	Distribución (%)
Delgado	< 1	25,1
Pequeño	1 - 2	29,9
Mediano	2 - 4	29,5
Grueso	> 4	15,5

7.2.1.1. Manto M00: Es el manto explotable más superior de la secuencia estratigráfica del Sinclinal de La Jagua, Presenta un espesor promedio de 0.8 m, es de los mantos con espesores delgados, este manto se encuentra afectado por fallamiento hacia el eje. (Ver Figura 14)

Figura 16. Pinchamiento de manto 00, zona de falla.



7.2.1.2. Manto M01: Presenta un espesor promedio de 0.58 m, es de los mantos delgados del depósito, se encuentra afectado por fallamiento hacia el eje. (Ver Figura 15)

Figura 17. Fallas normales en manto M01



7.2.1.3. Manto M02U y M02L: su espesor varía entre 2.48 y 3.35m separado por una intercalación de arcillolitas con un espesor de 40 cm en la base de este, continúa un segundo segmento de carbón (02L) con un espesor de 0.30 m. Los respaldos son principalmente arcillolitas, que se torna carbonosa hacia los contactos del carbón.

7.2.1.4. Manto M03U: Su espesor varía entre 1.35 y 1.79, con tendencia a presentar mayores espesores hacia la parte sur del depósito. Los respaldos son arcillolita que pasa gradualmente a lutita carbonosa hacia el piso.

7.2.1.5. Manto M04: Su espesor varía entre 0.6 y 1.2 m está respaldado por areniscas masivas friables hacia el techo y en el piso por limolitas arcillosas.

7.2.1.6. Manto M05: Presenta un espesor variable entre 1.73 y 2.28 m. está respaldado por limolitas que son carbonosas hacia el contacto con el carbón.

7.2.1.7. Manto 08: Desde la base de manto 05 hasta el techo del 08 existe una separación promedio de 10 m. el manto 08 tiene un espesor de 0.60. El manto 08

es tipo de carbón bastante frágil, debido que se parte con facilidad a comparación de otros mantos.

7.2.1.8. Manto M10 y M11: Se encuentran separados entre sí por una intercalación de 0.07 a 0.13 m constituida por arcillolitas de alta plasticidad, El manto 10 tiene un espesor de 1.20 m y el manto 11 de 0.51 m.

7.2.1.9. Manto M15: Es el manto más potente del depósito, con un espesor variable de 4.65 a 5.70 m. Los respaldos son estratos de arcillolitas con intercalaciones de arenisca fina con gradaciones a limolitas, a pesar de su potencia no presenta intercalaciones estériles separables. Figura 16.

Figura 18. Manto de mayor espesor.



7.2.1.10. Manto M17: Presenta un espesor variable de 0.48 m se encuentra a una distancia de 3m por encima del techo de manto 20. Este manto varía de espesor por lo cual no siempre es explotable.

7.2.1.11. Manto M20: Su espesor es de 2.05 m, los respaldos son de arcillolita con intercalaciones delgadas de arenisca al piso; al contacto con el carbón los estratos se tornan carbonosos. Figura 17.

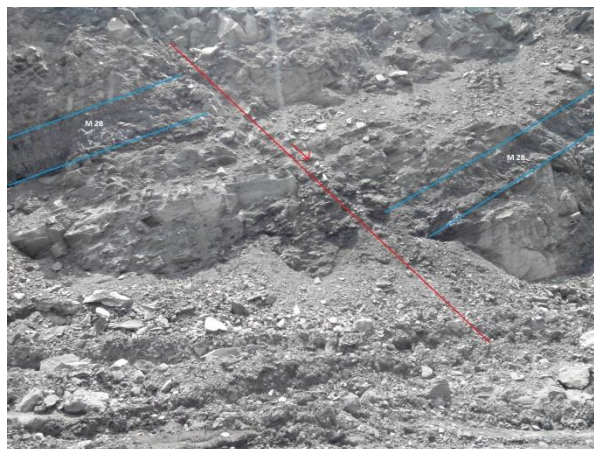
Figura 19. Falla normal manto 20



7.2.1.12. Manto M25: Su espesor es de 1.55 m y presenta una intercalación de lutita carbonosa aproximadamente a 0.85 m de su techo.

7.2.1.13. Manto M28: Su espesor 0,25 a 0,80. Hacia el sur del Sinclinal de la Jagua y en el sector de Cerro de Piedra es donde se presentan los menores espesores. Figura 19

Figura 20. Falla normal manto 28



7.2.1.14. Manto M30: Su espesor varía entre 2.49 y 3.72 m, presenta intercalaciones discontinuas de lutita carbonosa en proximidades del piso del manto con espesores promedios 0.10 y 0.15 m

7.2.1.15. Manto M40: Su espesor varía entre 1.61 y 2.46 m los respaldos son arcillolitas con laminaciones carbonosas; no muestra intercalaciones de estériles separables.

7.2.1.16. Manto M45: Su espesor varía entre 1.21 y 2.16 posee una división de 2 partes una parte superior encontramos un carbón tipo vitreño y una parte inferior de carbón tipo cannel. Este manto presenta pinchamiento hacia el sur del flanco oriental. Figura 19.

Figura 21. Tipos de carbón presentes en el manto 45



7.3. INTERBURDENES

El interburden es el material de estéril que me separa dos mantos de carbón. Es necesario caracterizar dicho material con respecto a las características litológicas y dureza, empleando dicha información para definir los patrones de malla de perforación en el proceso de voladura. La siguiente tabla resume las características litológicas, la dureza y el espesor de los interburdenes en la secuencia carbonífera del Sinclinal de la Jagua. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Descripción detallada interburden del depósito.

Manto	Interburden	Espesor interburden (m)	Escala de Dureza Interburden	Características
M00	M00	NA	Suave	Arenisca. Cuarzo feldespática friable, inestable.
M01	M0-M01	10.2	Suave	Arenisca. Cuarzo feldespática friable, inestable.
M02U	M01-M2U	15	Media	Arcillolita semilaminar, nódulos ferruginosos
M3U	M2U-M3U	11.6	Media	Arcillolita semilaminar,
M3B	M3U-M3B	8	Media	Arcillolita semilaminar,
M4	M3B-M4	11	Suave	Limolitas carbonosas.
M5	M4-M5	9.2	Suave	Limolitas carbonosas.
M8	M5-M8	9.3	Media	limolitas
M10	M8-M10	18.6	Suave	Limolitas carbonosas.
M15	M10-M15	13.2	Duro	Arcillolita y areniscas competentes
M20	M15-M20	14.71	Duro	Arcillolita y areniscas competentes
M25	M20-M25	14.6	Duro	Arcillolita semilaminar y areniscas, horizontes ferruginosos.
M28	M25-M28	16.7	Duro	areniscas competentes
M30	M28-M30	3.5	Media	limolitas
M35	M30-M35	9.35	Media	Arcillolita orgánica hacia la base
M40	M35-M40	3	Media	Lutita carbonosa
M45	M40-M45	14.8	Media	Arenisca

7.4. MODELO GEOLÓGICO

El modelo geológico del depósito del sinclinal de La Jagua se generó con el Software Minex 6.2, el cual está diseñado específicamente para el carbón y otros depósitos estratificados, este software está elaborado para evaluar recursos con precisión, donde se exploten con eficiencia, permitiendo un mejoramiento en la productividad y rentabilidad de todo el ciclo de vida de la mina.

Con el objeto de confirmar la correlación de mantos y adicionar datos litológicos a la base de datos, se revisaron todos los pozos realizados el último año en las áreas de los Contratos Mineros. Esto permitió la generación del archivo de collar y Pick files (coordenadas de los pozos). Con esta información se construyó la base de datos de pozos, la cual se validó usando las diferentes herramientas de Minex 6.2 asegurando que todos los pozos fuesen estratigráficamente consistentes y que las anomalías, tales como mantos erráticos, se pudiesen controlar.

Siguiendo el proceso de modelamiento en Minex (Borehole seam operation), los mantos fueron interpolados usando “missing seam interpolation”, (programación en Minex), con el objeto de obtener toda la secuencia de mantos observada en la información capturada con los pozos perforados, y así proceder a definir las características estructurales del sinclinal, calcular el espesor promedio y la profundidad real de los mantos en el depósito, asegurando que cada “grid” o superficie, fuese generado de un conjunto de datos consistente.

Los espesores de mantos y de estéril se modelaron usando “grids” de malla cubriendo toda el área de la Mina, de acuerdo a la consistencia y continuidad lateral de todos los mantos identificados. Se procedió inicialmente con el modelamiento del piso del manto inferior “manto M45”. Este manto inferior fue considerado como referencia para determinar la forma más precisa y real del eje del sinclinal así como sus flancos. Para tal efecto, los datos de pozos y

estructurales tales como fallas y líneas de subafloramientos fueron incorporados para generar un grid acorde con la realidad del Pit actual.

A partir de este manto, los espesores de los mantos superiores y su estéril asociado fueron modelados conservando la estructura del sinclinal reflejada en el piso del manto inferior y posteriormente, mediante el proceso de “strat build” (construcción de estratos), se procedió con el cálculo de los contornos o grids estructurales al piso y techo de cada manto.

Se construyó un Grid de la base de meteorización (BOW) para el depósito, utilizando la información obtenida en el programa de exploración e información levantada en campo con topografía en las áreas de avance de la mina. Una vez generada la estructura de los mantos y la base de meteorización, se procedió a generar el modelo geológico, limitando las proyecciones de los mantos hasta la línea de meteorizado. Solo la Falla Victoria fue modelada por ser la única que afecta el depósito, generando un desplazamiento vertical aproximado de 2 metros hasta 16 metros. Como parte de la revisión final, se generaron un conjunto de planos y secciones que permitieron corregir algunas correlaciones de mantos y excluir algunos datos de calidad que presentaban inconsistencias, después de lo cual se procedió a reconstruir el modelo.

Los perfiles geológicos son una herramienta donde se muestra de manera gráfica y en dos dimensiones lo que ocurre en el subsuelo, para este caso se va a mostrar la distribución que se tiene de los mantos de carbón en profundidad. Se presentan los perfiles geológicos longitudinales y transversales que se originaron del modelo geológico, en estos perfiles se muestra la continuidad de los mantos a través de todo el depósito, (ver anexos)

Por temas de confidencialidad de la Mina La Jagua el modelo no puede ser mostrado.

8. EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN

8.1. PERFORACIÓN

En la mina se realizan perforaciones de diferentes tipos, pozos abiertos perforaciones triconadas y perforaciones corazonadas, las cual son importantes para caracterizar el deposito. Por medio de estas se logra tener información geológica del depósito como litologías, estructuras, aspectos geotécnicos entre otros.

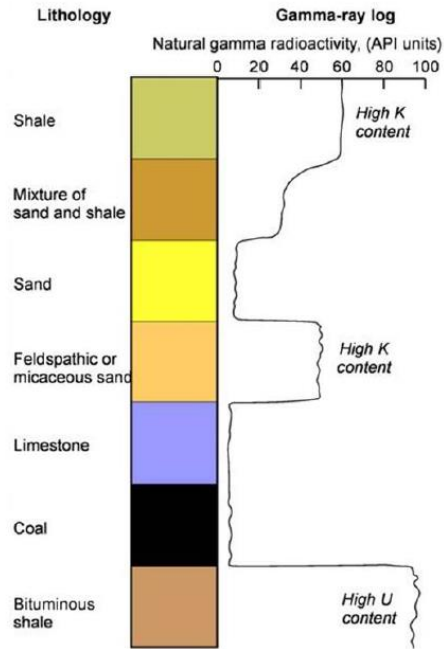
8.1.1. Registros de Pozos. En los pozos abiertos la mina cuenta con un equipo permanente de registro con el software Century el cual permite tener información de forma inmediata a la perforación, Los registros eléctricos de pozos van a permitir alcanzar información de manera indirecta sobre las propiedades de las rocas que se encuentran en profundidad y de las cuales no se tiene acceso de manera fácil, estas herramientas son una ayuda importante para la generación de modelos, interpretación de estructuras, cálculos de reservas. Para el caso de carbón, es uno de los métodos con mayor confiabilidad y el más se utilizado en la minería del carbón para poder llegar a inferir fallas que estén afectando algunos mantos de carbón, lo cual es clave para tener claro que se debe hacer al momento en que se llegue a su explotación, ya sea en la parte de voladura o en el posterior Minado. Conforme han pasado los años estos registros han venido evolucionando lo que hace más exacta y confiable la información que se obtiene de cada uno de ellos.

8.1.1.1. Registro de Rayos Gamma: Este registro mide la radioactividad natural del carbón proveniente de la desintegración de tres elementos Uranio, Torio, Potasio. Se emplea en la determinación de la arcillosidad en las formaciones permeables, puede contribuir a detectar los mantos de carbón a través del revestimiento, ya que el carbón tiene una radioactividad natural baja en comparación con otros tipos de roca (Wood et al, 2.003). (Ver Figura 21)

8.1.1.2. Registro de Densidad: El registro de densidad en un pozo, permite identificar la densidad media de las capas presentes a través de una fuente radioactiva dispuesta en una sonda, que detecta el número de rayos gamma emitidos por las rocas. A mayor densidad de las rocas más rayos gamma son absorbidos y menos retornan al detector (Wood et ál., 2.003). Las unidades empleadas para expresar el valor de densidad son gramos/cm³. La mayoría de capas de carbón poseen una densidad baja entre 0.7 a 1.8 gramos/cm³, por tanto, este registro se considera importante en la determinación de los espesores de estas capas. De acuerdo a Wood et ál. (2.003), el registro de Densidad, puede también aportar información referente a composición y rango del carbón, ya que carbones con altos contenidos de cenizas poseen un valor mayor de densidad comparado con capas de carbón con bajos porcentajes en cenizas.

8.1.1.3. Registros de Resistividad: A través de este registro, se mide la resistividad eléctrica o capacidad que presentan las rocas de conducir la electricidad cuando están saturadas por agua. Las unidades en que se expresa estas medidas corresponden a Ohm-m. Este registro se emplea entre otras, para determinar espesores de capas, teniendo en cuenta que la resistividad en una roca varía según su dureza y el fluido que contiene. Las arcillolitas presentan resistividades bajas y constantes, comparadas con el carbón, que posee resistividades altas.

**Figura 22. Respuesta de un registro gamma ray al paso por
Diferentes litologías.**

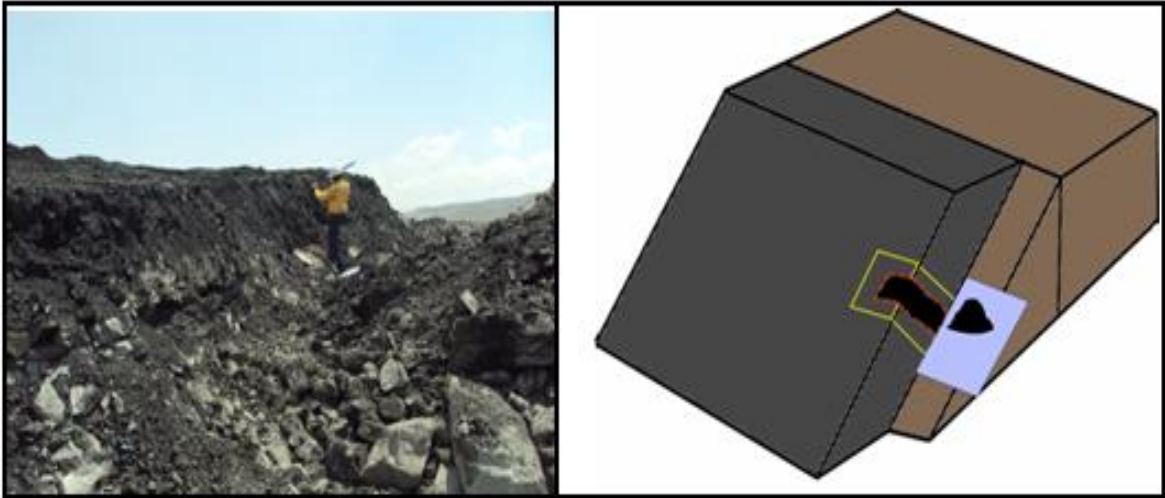


Fuente: Mier, Ricardo, 2013.

8.1.2. Muestreo. Se hace un muestreo de canal de los mantos con el objetivo de hacer un control de calidad de los carbones, este muestreo consiste en obtener una muestra mediante un corte uniforme y continuo perpendicular a la estratificación. Son muestras de volumen de carbón triturado que incluye el espesor total del manto, la muestra se toma en frentes de explotación, para asegurarse que sean muestras frescas. (Ver Figura 22)

Posteriormente las muestras son empacadas, marcadas y llevadas al centro de acopio, donde se hacen los análisis de calidad de carbón.

Figura 23. Muestreo en canal de mantos de carbón



8.1.2.1. Factores que Afectan El Muestreo: El carbón es uno de los materiales más difíciles para muestrear debido a aspectos como:

- Composición variable tanto de la materia orgánica como de la materia mineral.
- En los mantos de carbón hay variaciones laterales y verticales relacionadas al ambiente en el cual se formaron los mantos de carbón.
- En los procedimientos de explotación se rompe el carbón en pedazos desiguales en tamaño y composición.
- La diferencia de tamaños de partículas produce segregación de ellas en las pilas, bandas transportadoras, silos, vagones, volquetas, etc.
- El carbón es susceptible a la oxidación.

8.2. CALIDAD DEL CARBÓN

Durante los años 1989 – 2005, CI Carbones del Caribe S.A. Tomó un total de 184 muestras entre techos, mantos y pisos, para la caracterización de la calidad de los carbones del depósito de La Jagua. De estas muestras, 129 fueron tomadas en

canal (44 muestras de techo, 42 muestras de carbón y 43 muestras de piso) y 55 fueron tomadas en núcleos (18 muestras de techo, 19 muestras de carbón y 18 muestras de piso). Todas las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Control de Calidad de CI Carbones del Caribe S.A., que se encontraba localizado en la ciudad de Cartagena.

Los parámetros a evaluar para determinar la calidad del carbón son:

8.2.1. Humedad Total. La humedad total es la medida de la cantidad de agua que contiene el carbón, su importancia radica en que cualquier aumento de ella afecta negativamente la eficiencia térmica del carbón. No se debe olvidar que la mayor parte de los contratos de compra y venta del carbón incluyen valores máximos para la humedad, porque entre otras cosas de ella depende en gran parte la facilidad para manejo y pulverización del carbón en los procesos industriales.

El resultado de los análisis para la Mina indica que el valor mínimo de la humedad total es de 3.97% para el manto 28 en el sector de Villa Sonia y el valor máximo es de 8.80% para el manto 2 en el sector de Coogrominera.

8.2.2. Humedad de Equilibrio. La humedad de equilibrio está definida por la ASTM e ISO como la humedad retenida por el carbón húmedo a una temperatura de 30°C en una atmósfera con humedad relativa del 96%. Para la mayor parte de los investigadores es la medida de la humedad más representativa del carbón; es la humedad del depósito de carbón con la que se hacen los estimativos de la humedad teórica de embarque.

Con base en los valores por manto se encuentra una variación que abarca un rango desde 4.90% para el manto 40 en el sector de Luxemburgo, hasta un máximo de 8.49% para el manto 2 en el sector de Villa Sonia.

8.2.3. Cenizas. Las cenizas comprenden el material mineral no combustible que pasa a ser residuo luego de la combustión total del carbón; ellas provienen de las sustancias inorgánicas que contienen los vegetales originarios del carbón, de las intercalaciones estériles o de otro tipo de contaminación bien sea durante el muestreo o en la explotación.

La medida de las cenizas es un parámetro de fundamental importancia, porque de acuerdo con su proporción y características se seleccionan los equipos de molienda del carbón para combustión, la cantidad de escoria que se debe manejar después de su combustión en las calderas y otros procesos industriales y determina la necesidad de lavado cuando se encuentra con valores altos.

La proporción de cenizas en los carbones del depósito presentan un rango amplio que va desde 1.19% para el manto 10 en el sector de Santa Cruz, hasta 16.9% para el manto 25 en el sector de Coagrominera.

8.2.4. Materias Volátiles. La proporción de materias volátiles determinan las características y eficiencia de los carbones para coquizar y gasificar y define las condiciones de combustión según la longitud de su llama para el diseño de calderas.

Básicamente, las materias volátiles consisten en los materiales que se tornan gaseosos durante la combustión y comprenden esencialmente de la humedad, CO₂, hidrógeno y metano.

En cuanto a los valores individuales de los mantos, se observa una variación en la materias volátiles desde 30.57% para el manto 25 en el sector de Coagrominera, hasta 39.66% para el manto 3 en el sector de Villa Sonia.

8.2.5. Carbono Fijo. El carbono fijo se obtiene restando de 100% los valores de humedad, cenizas y materia volátil. En estas condiciones, es la proporción

porcentual de material combustible del carbón después de expeler los materiales volátiles. La cantidad de carbono fijo en un carbón define la eficiencia en los procesos de coquización o gasificación así como las características y rendimiento durante la combustión.

Se anota en los mantos individuales el rango de carbono fijo varía desde un mínimo de 44.15% para el manto 25 en el sector de Coagrominera, hasta un máximo de 54.46% para el manto 45 en el sector de Coagrominera. Los valores más altos se reflejan en el correspondiente incremento del poder calorífico.

8.2.6. Azufre Total. El azufre es un elemento químico nocivo que se encuentra en los carbones bien sea como sulfuros (pirita) o como sulfatos; ocurre ordinariamente también en combinación química con la fracción orgánica.

La importancia de su determinación radica en que según su abundancia puede generar problemas ambientales ya que en su combustión produce gases venenosos (SO_2) y lluvias ácidas, corrosión en las calderas y si está presente en carbones coquizables reduce la calidad del acero en la industria siderúrgica. Por tanto este parámetro es uno de los más importantes en la compraventa de carbón.

El resultado arrojado por los análisis de laboratorio muestra que el valor mínimo de azufre total es de 0.40 para el manto 20 en el sector de Santa Cruz y el valor máximo es de 2.45 para el manto 2 en el sector de Villa Sonia.

8.2.7. Poder Calorífico. Dentro de las características principales del carbón se debe tener en cuenta su poder calorífico, ya que representa la energía generada por la combustión de los materiales combustibles que forman el carbón. Cuanto mayor sea el porcentaje de cenizas y de humedad en el carbón menor será su potencia calorífica; por esta razón los parámetros fundamentales para la comercialización del carbón se basan en la trilogía humedad-cenizas-poder calorífico.

El resultado arrojado por los análisis de laboratorio muestra que el valor mínimo de poder calorífico es de 10706 BTU para el manto 25 en el sector de Coagrominera y el valor máximo es de 13546 BTU para el manto 45 en el sector de Coagrominera.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis de calidad en laboratorio, los carbones del sinclinal de La Operación Integrada la Jagua se clasifican como Bituminoso tipo A Y tipo B altos en volátiles. (Ver Tabla 4)

En la Tabla 3 se muestran las calidades de cada uno de los mantos del depósito a una humedad in situ base de 7.5 % para la creación del modelo de calidad y en base seca para cálculos y proyecciones.



Tabla 3. Promedios de Calidad a 7.5% de Humedad (In Situ) y en Base Seca

MANTO	Humedad Total, AR %	Humedad total In Situ = 7,5%				Base Seca		
		Poder Calorífico Lb/BTU	Azufre %	Ceniza %	Densidad Ton/m3	Poder Calorífico Lb/BTU	Azufre %	Ceniza %
M00	7.36	12,475	1.26	4.73	1.317	13,487	1.36	5.12
M01	6.76	11,777	1.21	9.89	1.367	12,731	1.31	10.69
M02U	8.49	12,404	0.57	5.83	1.337	13,410	0.61	6.30
M02L	6.94	11,971	3.92	8.23	1.350	12,942	4.24	8.90
M03U	8.17	12,763	0.50	2.98	1.317	13,798	0.54	3.22
M03A	7.00	12,166	0.80	7.14	1.344	13,152	0.86	7.72
M03B	6.81	12,027	0.87	7.71	1.350	13,002	0.94	8.33
M04	6.77	12,438	2.37	5.51	1.331	13,447	2.56	5.96
M05	7.84	12,834	0.76	3.01	1.303	13,874	0.82	3.25
M08	7.97	12,210	0.90	7.13	1.340	13,200	0.97	7.71
M09	7.80	12,010	0.78	8.97	1.351	12,984	0.85	9.69
M10	7.35	12,725	1.03	3.77	1.309	13,757	1.11	4.08
M11	5.74	12,323	2.46	6.17	1.323	13,322	2.66	6.67
M15	7.92	12,967	0.36	2.89	1.303	14,018	0.39	3.12
M17	6.36	11,873	0.55	9.72	1.352	12,836	0.59	10.51
M20	7.54	12,688	0.39	4.72	1.320	13,716	0.43	5.10
M25	6.98	12,503	0.98	5.87	1.326	13,517	1.06	6.34
M28	5.70	11,799	0.74	10.85	1.373	12,756	0.80	11.73
M30	6.77	12,463	0.47	6.18	1.325	13,473	0.50	6.68
M35	8.27	12,993	0.71	3.18	1.300	14,046	0.77	3.44
M40	5.80	12,786	1.08	4.74	1.315	13,822	1.17	5.12
M45	5.73	13,185	0.61	2.81	1.300	14,254	0.66	3.04

Tabla 4. Tabla de calidad de la mina la Jagua y clasificación de mantos de carbón según el contenido de azufre

TABLA DE CALIDAD PLJ

MANTO	ESP	TS	ASH	BTU/LB	TONS
M00	0,80	0,89	2,71	12,580	711
M01	0,58	1,05	2,68	12,821	516
M02U	2,42	0,47	1,48	12,949	2.152
M02L	0,59	2,94	5,76	12,517	525
M03U	1,53	0,43	1,85	13,051	1.360
M03A	0,46	0,86	4,91	12,574	409
M03B	0,58	0,74	6,02	12,378	516
M04	0,99	2,65	4,37	12,852	880
M05	2,25	0,62	2,73	12,893	2.001
M08	0,57	0,71	4,22	12,619	507
M09	0,35	0,78	9,00	11,963	311
M10	1,20	0,84	3,63	12,844	1.067
M11	0,63	3,16	5,29	12,844	560
M15	5,54	0,32	2,21	13,251	4.926
M20	2,38	0,42	2,84	13,106	2.116
M25	2,10	1,13	4,20	12,854	1.867
M27	0,33	0,53	23,93	9,926	293
M28	0,53	0,82	8,29	12,444	471
M30	1,29	0,46	3,83	13,002	1.147
M35	3,23	0,70	3,54	12,981	2.872
M40	2,04	1,13	4,29	13,394	1.814
M45	2,13	0,66	1,77	13,781	1.894

 Tipo B < 0.76% Azufre
 Tipo A > 0.76% Azufre

8.3. TIPO DE MINERÍA Y MÉTODO DE MINERÍA

En el planeamiento de un proyecto minero se tienen las alternativas de considerar la extracción del mineral mediante minería a cielo abierto, minería subterránea y/o la combinación de ambas.

Según las características del depósito de la Operación Integrada La Jagua, la relación de descapote y los espesores de los mantos, se ha seleccionado el tipo de minería a cielo abierto, siendo este el sistema que se continuará adoptando durante la vida útil del proyecto.

El método de minería se describe como multimanto, con buzamientos altos; se desarrolla una operación a cielo abierto, mediante sistema de palas y camiones. Todo el material estéril será acarreado hacia el área del botadero interno (Retrollenado).

La minería a cielo abierto tiene ciertos elementos característicos, tales como:

- Remoción y acopio de capa vegetal y suelo de las áreas mineras a intervenir.
- Preparación, perforación y voladura en el área de interés
- Cargue y transporte de estéril a botaderos.
- Extracción, cargue y transporte de carbón a las áreas de acopio.
- Remanejo del suelo para restitución y rehabilitación de áreas liberadas en los botaderos.
- Trituración y transporte del carbón

El carbón es extraído (ROM) y transportado a pilas en el área de acopio. Posteriormente es triturado al tamaño demandado por el mercado y transportado a la zona férrea ubicada en la Mina Calenturitas.

La planeación del proceso de extracción incluye el uso de excavadoras hidráulicas diesel y camiones. Las principales razones para la selección de estos equipos, fueron:

- Las capacidades de los equipos son críticas para este tipo de minería selectiva, en la que se requiere minimizar las pérdidas y la dilución con particular énfasis en la extracción de los mantos de carbón de menor espesor.
- La flexibilidad para variar la producción.
- No se requiere distribución de electricidad.

8.4. PROCESO DE MINADO

Procedimiento que permita la extracción de carbón en óptimas condiciones, de acuerdo a las características del depósito y de manera segura y además permite identificar y controlar los factores de pérdidas y dilución durante el flujo de carbón en el tajo, desde el descapote hasta su acopio en los patios.

DEFINICIONES

Para una mejor comprensión se definen los siguientes conceptos.

Cabeza: Sección del manto observada en el piso del nivel superior del bloque de manto.

Techo: Cara destapada del bloque de manto.

Costilla: Es la parte lateral de avance del bloque de carbón donde se puede medir el espesor real del manto y apreciar sus características litológicas, partings, etc.

Nivel de piso/Pata: Es el nivel inferior del bloque de carbón que debe estar libre de lodo, agua etc.

Traza: Exposición del manto de carbón en superficie o en un nivel de minería.

Cuelga: Longitud medida sobre el techo del manto en la dirección de buzamiento, que va desde la intersección con la cabeza hasta la pata del manto.

8.4.1. Descapote de Mantos. Para extraer el carbón, las capas de roca que cubren los mantos, son removidas en bancos de 8 metros de altura, mediante

explosiones controladas (proceso de voladura), allí son fracturadas toda la capa de material estéril que posteriormente se retira. (Ver Figura 23)

La minería en la Jagua es una operación de remoción de estéril ya que, por cada tonelada de carbón producida, es necesario remover aproximadamente 6.5 m³ banco de roca estéril. Esta operación unitaria constituye el mayor componente del costo total de operación. El material estéril extraído es depositado en botaderos de superficie o en áreas de retro llenado de tajos

Figura 24. Descapote de manto de carbón con buldócer.



Fuente: Procedimientos para Minado de Carbón en el Proyecto La Jagua

8.4.2. Limpieza del Bloque de Carbón. La limpieza de mantos de carbón que en su orden debe ser, cabeza, cuelga y pata. En esta etapa del proceso es donde se puede presentar la mayor potencial fuente de dilución y pérdidas de carbón; por lo tanto, cualquier precaución durante la limpieza que mejore las condiciones de extracción debe ser tomada en cuenta y aplicarse. Se debe supervisar la limpieza de los mantos de carbón con el fin de controlar las pérdidas que se puedan generar. (Ver Figura 24)

Figura 25. Limpieza de manto de carbón con tractor de llanta



Fuente: Procedimientos para Minado de Carbón en el Proyecto La Jagua

8.4.3. Estandarización Áreas de Apilamientos (AA). Consiste en la nivelación y estandarización de las áreas de apilamiento, con un ancho de acuerdo al volumen del manto, limpiando con la motoniveladora. (Ver Figura 25)

Figura 26. Estandarización de área de apilamiento con motoniveladora.



Fuente: Procedimientos para Minado de Carbón en el Proyecto La Jagua

8.4.4. Apilamiento de carbón. En este procedimiento se baja el carbón hasta media cuelga y de ahí se apila en la pata dejando 2m de separación de la traza.

Se debe controlar durante el minado de mantos con altos buzamientos que presenten inestabilidad por caída de talud, pinchamientos, discontinuidades, etc.; para evitar pérdidas o diluciones de carbón, este debe ser apilado en el AA garantizando la definición de la traza. Una vez apilado, debe programarse su cargue lo más pronto posible. (Ver Figura 26)

Figura 27. Apilamiento de carbón en la pata del manto



Fuente: Procedimientos para Minado de Carbón en el Proyecto La Jagua

8.4.5. Cargue y Acarreo de Carbón. El carbón se separa de la pata del manto durante el apilamiento (2m) y se realiza el cargue en diagonal hacia fuera del manto. Se optimiza el ciclo de acarreo, mediante el uso de fórmulas para el cálculo del ciclo de los camiones necesarios para un equipo de cargue, para lo cual se deberá conocer con anterioridad la información básica del acarreo del carbón. (Ver Figura 27)

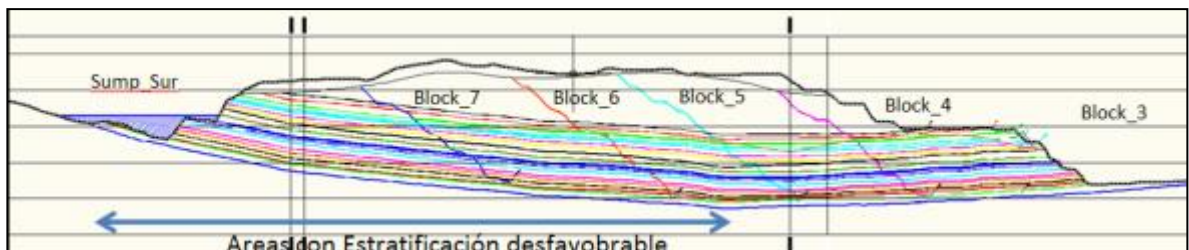
Figura 28. Cargue y acarreo de carbón



8.5 AVANCE DE LA MINERÍA

El avance de la minería en la Operación Integrada la Jagua, se lleva de Nororiente a Suroccidente. Con este sentido de avance, entre los bloques 4 a 7. (Ver Figura 27), el sentido de la estratificación es favorable a la estabilidad. En el caso de los bloques 5 al 8, el sentido de la estratificación, puede ser desfavorable para la estabilidad dependiendo de las condiciones de resistencia y saturación que presenten los taludes en estas áreas. En la figura 28, se presenta un corte longitudinal del sinclinal de la Jagua, donde se observa el sentido de la estratificación con el avance de la minería.

Figura 29. Corte longitudinal sinclinal de la Jagua.



9. GEOLOGÍA AMBIENTAL

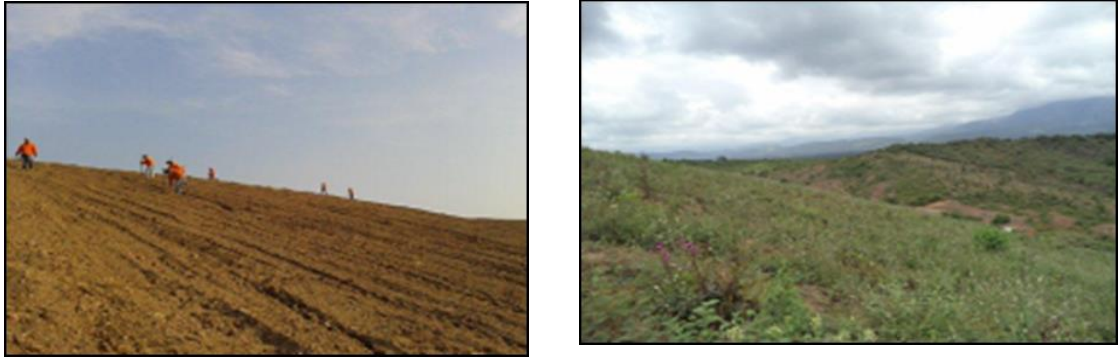
9.1. AMBIENTAL

Teniendo en cuenta la integración de las explotaciones mineras de CDJ (Carbones De La Jagua) , CMU (Consortio Minero Unido) y CET (Carbones El Tesoro), se hizo necesaria la elaboración de un Plan de Manejo Ambiental Unificado (PMAU) para el yacimiento, con el fin de manejar adecuadamente los recursos naturales renovables implicados dentro del nuevo tipo de operación, indicando claramente los planes de prevención, mitigación, corrección y compensación a desarrollar por los impactos negativos generados.

Dicho PMAU fue aprobado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - “MADS”) mediante Resolución 2375 del 18 de diciembre de 2008, por medio de la cual se aprobó el plan de manejo ambiental unificado (PMAU) que regula las actividades de control ambiental desarrolladas por las mencionadas compañías en el marco de la operación conjunta.

El desarrollo del Plan de Manejo Ambiental para los años 2014-2031 ha contemplado medidas de control, mitigación, prevención, protección, restauración y mitigación, acordes con los requerimientos y compromisos adquiridos con la autoridad ambiental competente mediante los programas de manejos y/u otro requerimiento del estado.

Figura 30. Rehabilitación de Áreas degradadas



9.1.1. Programa de Conservación y Protección de hábitat. Con el cumplimiento de este programa se pretende mitigar los impactos negativos sobre la fauna y flora producto de las actividades de remoción de vegetación y descapote del área de avance minero. Los impactos que se mitigan son principalmente la pérdida o modificación del hábitat y la pérdida directa de individuos, que se traduce en la disminución de la diversidad. Por lo anterior, se efectúan programas y proyectos con especialistas ambientales de conservación como lo es el ahuyentamiento y rescate de la fauna presente para conservar las especies en la zona.

9.1.2. Programa de Rehabilitación de Áreas degradadas. El objeto de este programa busca rehabilitar las áreas intervenidas por las actividades del proyecto, mediante la conservación del suelo con propiedades fisicoquímicas aptas para la rehabilitación de las áreas degradadas y establecer coberturas vegetales que protejan el suelo de los factores erosivos, favorecer el desarrollo de la sucesión vegetal y mitigar el impacto sobre la calidad visual del paisaje. (Ver Figura 29)

9.1.3. Programa de Manejo de Emisiones Atmosféricas, Material Particulado y Ruido. La implementación de este programa busca controlar las emisiones de material particulado y ruido generados por las operaciones mineras y sus actividades asociadas.

9.1.4. Programa de Manejo Integral de Residuos Peligrosos. El cumplimiento de este programa busca asegurar que los residuos peligrosos que se generan en la explotación minera se manejen desde su origen hasta su disposición final, incluyendo el aprovechamiento y/o tratamiento, con el fin de minimizar los posibles impactos que estos generan a las personas y el medio ambiente. Además, se busca garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental colombiana relacionada con el manejo de los residuos peligrosos producto de la actividad minera.

9.1.5. Programa de Manejo para el Control de Estabilidad de Taludes. El cumplimiento de este programa busca definir la topografía final de los taludes de zonas abandonadas, bajo criterios de estabilidad, erosión y recuperación de zonas degradadas. Además, se determina la conformación de los taludes en botaderos y zonas de retrolenado abandonadas, se estructuran programas de monitoreo, seguimiento y control en superficies geológicas, y se implementan medidas necesarias para la prevención y mitigación de movimientos de masa.

9.1.6. Programa de Manejo para el Control de Aguas. El cumplimiento de este programa busca mitigar los impactos ambientales sobre las fuentes de agua superficiales, asociados a las aguas residuales mineras (ARM) en el área de influencia directa e indirecta de la mina. Además, se orienta en controlar el sistema de drenaje de la zona de la mina, incluyendo el manejo de drenajes exteriores que se ven interferidos con el proceso de explotación minera.

9.1.7. Programa de Manejo para los Procedimientos de Perforaciones y Voladuras. El objeto de este programa busca definir las medidas de control necesarias para minimizar los eventos negativos de pérdidas estructurales y humanas y de amenazas y vulnerabilidades a centros poblados y al área de influencia del complejo minero como consecuencia de las actividades operacionales de perforaciones y voladuras.

9.2. GEOTECNIA

En el sinclinal de La Operación Integrada de la Jagua existen varios estudios geotécnicos, con los cuales se han definido los parámetros de diseño en las minas.

El diseño considera que a partir del segundo semestre del año 2013 todo el material estéril será depositado en el botadero interno (Retrollenado); es decir, el material estéril es transportado desde la cara de avance de la mina a la cara del botadero al interior del depósito. Este método permite reducir las distancias de los ciclos de acarreo de estéril, los costos de transporte de estéril (consumo de llantas, lubricantes, combustibles, etc.), las emisiones de material particulado y permite adelantar el proceso de preparación y rehabilitación de las superficies liberadas.

Los siguientes son los criterios utilizados para el diseño del Pit. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Criterios de Diseño en Pit

Criterio	Valor	Unidad
Angulo máximo en pared baja (ángulos mayores requieren descarga por estabilidad geotécnica)	21	Grados
Angulo de la cara de avance en cada bloque de minería	35	Grados
Ancho de los bloques de trabajo	350	m

Para realizar la caracterización geotécnica de las rocas en la mina, se realizaron diferentes pruebas de laboratorio sobre muestras de pozo, por ejemplo, se realizan pruebas en las muestras obtenidas de arcillolitas blandas. Todas las muestras fueron enviadas al laboratorio de geotecnia de la Universidad Nacional

de Medellín (Colombia). En las muestras en las que la cantidad de material era suficiente, se realizaron ensayos de corte directo sobre suelo; de lo contrario, se realizaron las pruebas de clasificación (límites y humedad natural). (Ver Tabla 6)

Tabla 6. Secuencia Aproximada entre Mantos.

Intervalo	Grupo Litológico	Espesor aproximado (m)	Arcillolitas	Arenisca	Láminas de Carbón
			(%)	(%)	(%)
Sobre Manto 02U	Grupo 1	130	75.3	22.5	2.2
Manto 02 a Manto 03	Grupo 2	18	100		
Manto 03 a Manto 05	Grupo 3	17	37.6	62.4	
Manto 05 a Manto 10	Grupo 4	28	68.1	31.2	0.7
Manto 10 a Manto 15	Grupo 5	12	39.1	60.9	
Manto 15 a Manto 20	Grupo 6	18	16.8	81.0	2.2
Manto 20 a Manto 25	Grupo 7	15	77.8	22.2	
Manto 25 a Manto 30	Grupo 8	18	25.3	69.2	5.4
Manto 30 a Manto 35	Grupo 2	10	100		
Manto 40 a Manto 45	Grupo 4	11	66	33	1.0

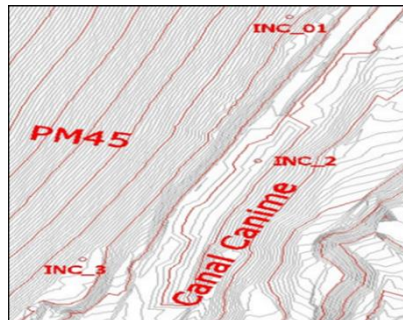
Basados en las secuencias estratigráficas de la zona descritas en trabajos anteriores: Ingeominas (1993), Hernández y Torres (1991), CMU (2000), en visitas a campo y en el registro los registros de las perforaciones, se obtuvo una secuencia generalizada de la zona. Esta secuencia se dividió en grupos litológicos, entre mantos de carbón, en los que se tomó el promedio ponderado de los espesores de las diferentes rocas (lutitas, areniscas, limolitas, etc.), con respecto al espesor total entre mantos.

Debe tenerse en cuenta que para la determinación de los parámetros geomecánicos de las rocas sobreyacentes al Manto 02U, fue necesario evaluar los efectos que la subsidencia por minería subterránea tiene sobre los materiales.

Con el fin de supervisar la estabilidad en el sector de la Fumarola, fueron instalados tres (3) inclinómetros Dos de ellos (inclinómetro 1 y 3) en el piso de M45 y el otro (inclinómetro 2) adyacente al canal Canime. Con estos se ha determinado que la superficie de deslizamiento está situada a una profundidad de 15 m por debajo de M45, un nivel asociado con intercalaciones de arcilla y carbón, perteneciente a la Formación Los Cuervos. (Ver Figura 30)

El objetivo principal de la instalación de los inclinómetros es detectar los movimientos en la pared baja a medida que se avanza en las áreas de extracción de la Fumarola (Pared de descarga Flanco Oriental) y la determinación de la profundidad de las áreas de debilidad, la ubicación y la forma de la superficie de falla, el espesor de corte, la cantidad, tasa o velocidad y dirección del movimiento.

Figura 31. Localización de los inclinómetros instalados.



9.3. HIDROGEOLOGÍA

También se tiene piezómetros instalados debajo del piso del m45 en busca de conocer las presiones de agua detrás de la pared baja, monitoreando los movimientos y permitir así realización de estudios y análisis para extraer de forma segura el M45 en este sector de la Operación. Con la información obtenida de dichos piezómetros se determinó:

- Los acuíferos confinados bajo el piso de M45 están relacionados con las cintas de carbón delgadas que infrayacen el M45 y los niveles de agua alcanzan hasta 6 metros con respecto al nivel normal.
- Algunos acuíferos han mostrado un aumento en el nivel de las aguas subterráneas, 2 días después de una fuerte lluvia.
- Algunos acuíferos responden satisfactoriamente a la ejecución de los pozos de alivio, reduciendo su nivel alrededor de unos 4 metros

9.3.1. Medidas de despresurización. Desde el año 2006 hasta la fecha, se ha ejecutado un plan de perforaciones de despresurización que han contemplado drenes horizontales y pozos de alivios verticales, con el fin de despresurizar las paredes bajas de la mina.

10. GEOLOGÍA ECONÓMICA

10.1. RECURSOS Y RESERVAS DE CARBÓN

La clasificación de recursos de carbón y reservas básicas se efectuó de acuerdo con el manual de Ecocarbón “Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón” (Mayo de 1995).

Los recursos en La Operación Integrada la Jagua fueron clasificados como Medidos e Indicados basados en la cantidad de información capturada de cada manto en todos los pozos y asociado a la distancia entre los mismos así:

Para los recursos medidos se tuvo en cuenta que el promedio de distancia entre pozos fuera menor a 250 metros, y que todos esos pozos llegaran hasta un manto específico.

Para el cálculo de los recursos indicados se tuvo en cuenta que la distancia ente pozos fuera menor a 750 metros y que todos estos pozos alcanzaran un manto específico.

Tabla 7. Recursos del Sinclinal de La Jagua

Recursos de Carbón Proyecto La Jagua		
Medidas	Indicadas	Inferidas
100	20	0

En el sector de Cerro de Piedra (Ver Figura 8) está el área que contiene los recursos indicados; en dicha área, a pesar de que la distancia entre pozos es menor a 750 metros, no todos los pozos alcanzan el M45, pero sí su gran mayoría interceptaron la secuencia hasta el M20. Debido a lo anterior, en esta área, los

recursos por encima de M20 son recursos medidos, mientras que los recursos por debajo del M20 son clasificados como recursos indicados.

Bajo esta categorización de los recursos y con los parámetros de dilución, pérdidas y diseño minero, se clasificaron las reservas explotables en probadas y probables para los contratos mineros, como lo muestra la tabla 8

Tabla 8. Clasificación de las Reservas Explotables del Proyecto La Jagua

Reservas de Carbón Explotables – Proyecto La Jagua			
CONTRATO	PROBADAS (Mton)	PROBABLES (Mton)	TOTAL (Mton)
285-95 (CDJ)	67,823	11,50	79,33
109-90 (CMU)	15,05	9,10	24,15
132-97 (CET)	0,09	0	0,09
DKP-141 (CDJ)	0,84	0,70	1,54
HKT-08031 (CDJ)	0,07	0	0,07
TOTAL	83,88	21,30	105,18

Como resultado del cálculo de reservas disponibles de carbón, la Tabla 9 muestra la distribución de las reservas disponibles manto a manto, tanto en la clasificación de probadas como probables.

Tabla 9. Distribución de las reservas explotables manto a manto del Proyecto La Jagua

Reservas de Carbón Explotables – Proyecto La Jagua			
MANTO	PROBADAS (Mton)	PROBABLES (Mton)	TOTALES (Mton)
M00	0,9	0,5	1,4
M01	0,8	0,5	1,3
M02U	2,3	0,3	2,6
M02L	0,7	0,3	1,0
M03U	2,7	1,2	3,9
M03A	0,7	0,3	1,0
M03B	1,0	0,4	1,4
M04	1,6	0,6	2,2
M05	4,5	1,6	6,1

Reservas de Carbón Explotables – Proyecto La Jagua			
MANTO	PROBADAS (Mton)	PROBABLES (Mton)	TOTALES (Mton)
M08	1,1	0,4	1,5
M09	0,2	0,0	0,2
M10	2,9	0,9	3,8
M11	1,5	0,5	2,0
M15	13,4	3,7	17,1
M17	0,9	0,4	1,3
M20	5,9	1,6	7,5
M25	6,7	1,7	8,4
M27	0,4	0,0	0,4
M28	1,8	0,4	2,2
M30	4,5	0,9	5,4
M35	11,3	2,2	13,5
M40	7,2	1,2	8,4
M45	11,3	1,6	12,9
TOTAL	83,9	21,3	105,2

Las reservas totales a explotar a partir del año 2014, serán de 105,18 millones de toneladas de carbón con una relación de descapote promedio estimada de 6,55 y un poder calorífico promedio esperado de 12.143 Btu/lb.

La masificación del consumo de gas domiciliario ha disminuido el consumo interno de carbón, lo cual junto con los precios de exportación, han generado la concentración de los productores de carbón en el mercado de exportación.

Las exportaciones colombianas de carbón térmico han crecido consistentemente hasta alcanzar en el año 2013, los 77 millones de toneladas y se espera un incremento gradual hasta llegar a los 100 millones en los próximos cinco años. (Ver Tabla 10)

Tabla 10. Exportaciones Mundiales de Carbón Colombiano, en porcentaje, por región

Región	2011	2012	2013
Europa	68%	55%	56%
Medio Oriente	12%	17%	17%
Sur América	3%	10%	14%
Norte América	11%	8%	9%
Centro América y Caribe	5%	4%	4%
Asia	0%	7%	1%
Total	100%	100%	100%

En Europa, los carbones de La Jagua deben competir en este mercado de más de 200 millones de toneladas, en el cual por su alto poder calorífico dichos carbones son bastante competitivos, especialmente por el diferencial de flete al transportar más BTU/lb por la misma cantidad de toneladas, comparado con otros carbones.

En Estados Unidos y Canadá, los carbones de La Jagua con bajo azufre (compliance) son idóneos para reemplazar la reducción en producción de este tipo de carbón de los Montes Apalaches.

En el área del Caribe y América del Sur, la calidad del carbón de La Jagua es aceptable, donde compiten principalmente con proveedores de Estados Unidos y otros proveedores colombianos existentes. Sin embargo, existen restricciones logísticas en los mercados latinoamericanos y del Caribe que incrementan el precio al momento de despacho, que a su vez tiende a dar ventajas a los carbones de mejor calidad.

En Asia y el Anillo del Pacífico no hay competitividad frente a la oferta base del Pacífico debido a la proximidad de los proveedores asiáticos a sus clientes.

En Colombia, la calidad del carbón de La Jagua es aceptable y da oportunidades de eficiencia en generación a las termoeléctricas.

10.2. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Los parámetros del producto que vende la mina integrada de La Jagua en promedio, se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros de Calidad de Carbón

Parámetro	Unidad	Valor
Poder Calorífico	Btu/Lb	12,200
Cenizas	%	7.50
Azufre	%	0.80
Materias Volátiles	%	36.00
Humedad Total	%	8.00

10.3. PRECIO Y EXPECTATIVAS DE VENTAS PARA EL CARBÓN

La exportación del carbón del depósito de La Jagua se hará principalmente a Europa, Medio Oriente, Estados Unidos, Centro América, Brasil y el Caribe. Con respecto a los precios exportación se resumen por año en la Tabla 12.

Tabla 12. Precios de exportación de carbón en los últimos años

Año	Térmico Us\$/Ton
2006	46,37
2007	48,42
2008	74,28
2009	76,95
2010	77,31
2011	96,77
2012	94,98
2013	82,82
2014	73,27
2015	58,00
2016	49,71

11. CONCLUSIONES

- La geología regional de la zona de estudio está influenciada por eventos de carácter comprensivo, dando origen a estructuras como el Sinclinal de la Jagua, donde se encuentra la Formación Cuervos la cual posee potencial para la explotación de carbón.
- La Mina La Jagua es un proyecto de minería a cielo abierto y su operación es de remoción de estéril ya que, por cada tonelada de carbón producida, se remueve 6.5 m³ banco de roca estéril.
- El depósito de carbón del Sinclinal de La jagua, tiene una secuencia carbonífera de 23 mantos que son económicamente explotables, si su espesor es mayor a 0.3 m.
- Los mantos de carbón de la Mina la Jagua se ven afectados por fallas normales de carácter local, que no afectan la geología del depósito, pero que intervienen en la operación minera.
- Los carbones de la Mina La Jagua son térmicos bituminosos, bajos en azufre, altamente volátiles tipo A y B y de alto contenido energético.
- En la planeación minera a Largo Plazo del proyecto mina La Jagua, se tuvieron en cuenta las restricciones ambientales, los límites físicos y naturales, por lo cual se diseño un Plan de Manejo Ambiental Unificado "PMAU".
- Las Reservas Básicas de carbón en el área estudiada al año 2014 son 105,18 millones de toneladas de carbón.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS, A y MORALES, C. Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Cesar. Ingeominas Bogotá.1999.

AYALA, Carolina. Análisis tectonoestratigráfico y de procedencia En la subcuenca de cesar: relación con los Sistemas petroleros. Trabajo de grado magister ciencias de la tierra. Sartenejas: universidad Simón Bolívar. Decanato de estudios de postgrado ciencias de la tierra.2009.

CARBONES DE LA JAGUA. Programa de Trabajos y Obras, contrato de concesión DKP-141. 2007

CARBONES DEL CARIBE LTDA. Informe Final de Geología e Ingeniería Asociada

CORONA, Rodolfo; Tritlla, Jordi; Benavides, María; Piedad, Noé; Ferrusquia, Ismael. Geología, estructura y composición de los principales yacimientos de carbón mineral en México. En: boletín de la sociedad geológica mexicana. 2006, Tomo LVII.

ESTEBEZ, Yudy, Quintero, Diana. Determinación del ambiente de depósito de la formación los cuervos miembro medio aplicado a la variabilidad del carbón y a las asociaciones litofaciales obtenidas de los núcleos de perforación en el sector del Hatillo La Loma Cesar. Trabajo de grado Geologo. Bucaramanga: universidad Industrial De Santander. Facultad de ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Geología, 2008.

GARCÍA, C. Proyecto Cesar Ranchería. 1:144 p. ECOPETROL – ICP. Santander. 1990

HERNÁNDEZ, M. Geología de la Plancha 48 La Jagua de Ibirico. Ingeominas. 2003.

HERNÁNDEZ, M.; MALDONADO, I. Evaluación del potencial carbonífero del área comprendida entre los arroyos Canime y Salatiel. La Jagua de Ibirico. ECOCARBON-UIS.1995.

HIGUERA, Natalia. Interpretación y análisis estadístico de registros geofísicos en la Mina de carbón el Hatillo corregimiento la Loma Cesar. Trabajo de grado Geologo. Bucaramanga: universidad Industrial De Santander. Facultad de ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Geología, 2012.

MEJIA, L.; MATEUS, L. Recursos carboníferos de La Jagua de Ibirico (Cesar). INGEOMINAS, Informe.1732. Santa Fe de Bogotá. 1978.

MINA LA JAGUA. Programa de trabajos e inversiones.2014

NELSON VERA C. Fundamentos de la Interpretación de Perfiles de Buzamientos. 1970.

NOTESTEIN, F. B., et al., Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Bull. Geol. Soc. Amer., 55:1165–1215. (Boulder, Colorado) New York. 1944.

RESTREPO, J. Análisis Estructural de la Falla La Victoria en el sector Machón - Proyecto La Jagua. 2009.

RIVAS, O. Actualización y Reestructuración de la Información para Mejorar el Modelo Geológico en la Mina Carbones de La Jagua S.A. Cesar, Colombia. CARBONES DE LA JAGUA. 2006.

RODRIGUEZ, Claudia. Caracterización e identificación de zonas con presencia de auto combustión en la Mina La Jagua. Trabajo de grado Geologo. Bucaramanga: universidad Industrial De Santander. Facultad de ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Geología, 2015.

ROMERO, Nelson. Supervisión en voladura bajo manto y control de calidad en la extracción del carbón. Trabajo de grado Geologo. Bucaramanga: universidad Industrial De Santander. Facultad de ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Geología, 2009.

SERVICIOS GEOLOGICOS INTEGRADOS LTDA. Modelo Hidrogeológico y Conceptual para el Complejo Carbonífero Sinclinal de La Jagua. 2008.

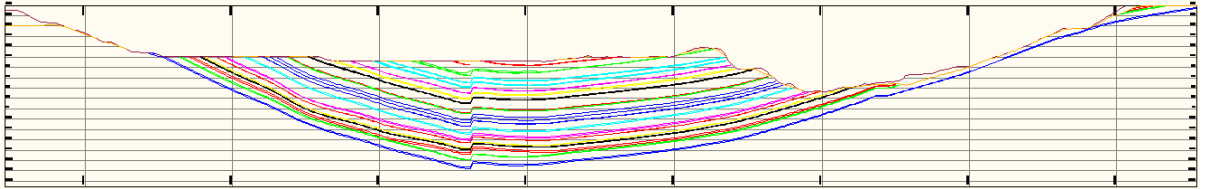
VASQUEZ, Mauricio. Caracterización geotécnica del macizo rocoso contenido en el sector explotado del sinclinal la Jagua. Trabajo de grado Geologo. Bucaramanga: universidad Industrial De Santander. Facultad de ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Geología, 2010.

TOUSSAINT, J.F. Evolución geológica de Colombia.medellin.1993.

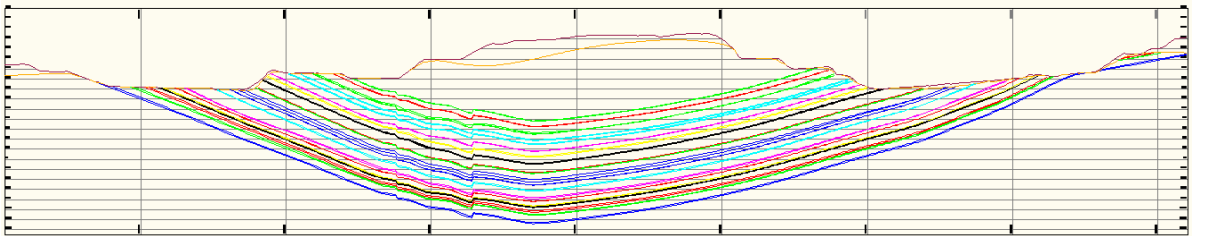
ANEXOS

Anexo A. Secciones Transversales Típicas.

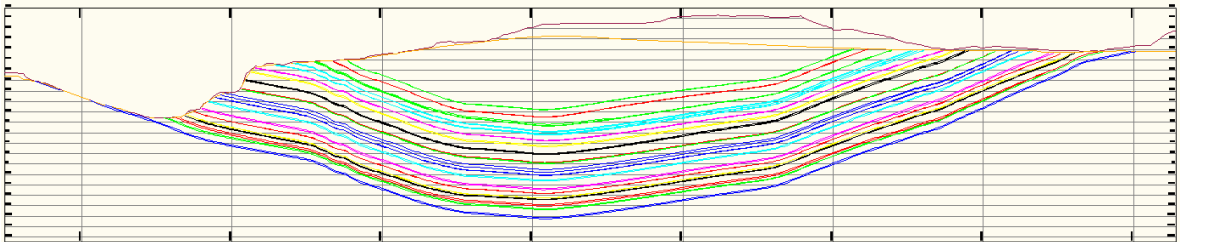
Sección 1.



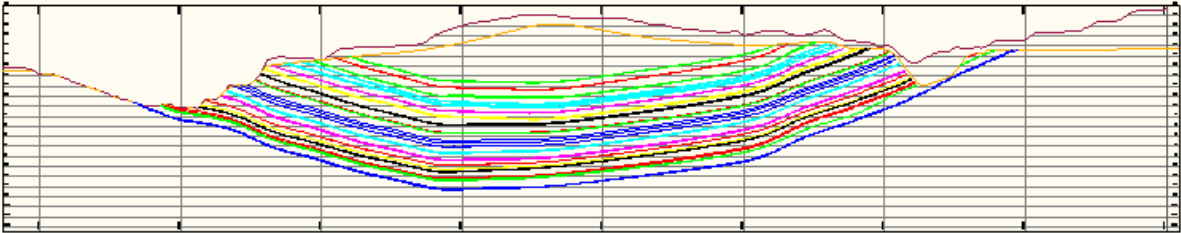
Sección 2.



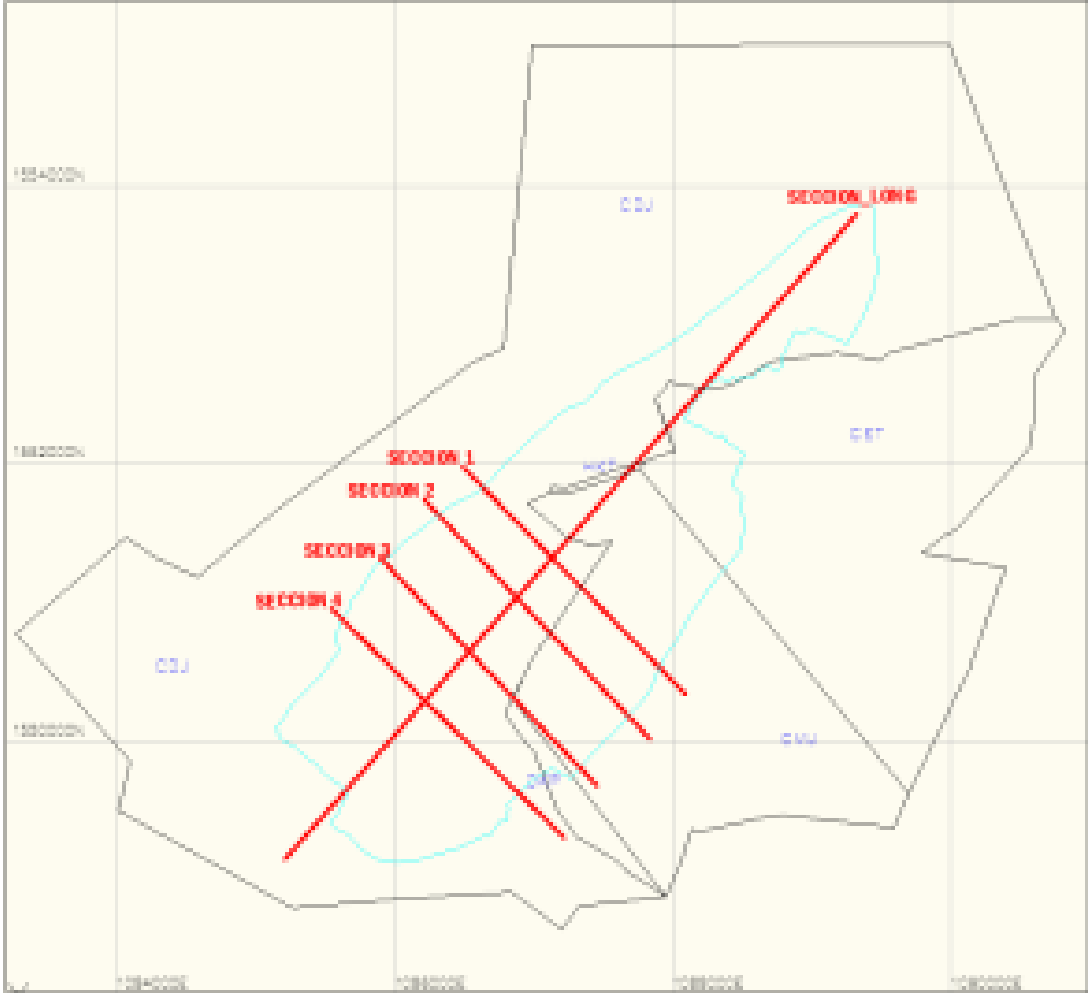
Sección 3.



Sección 4.



Anexo B. Planta de Secciones



Anexo C. Sección Longitudinal Típica.

