



EXPLORACIÓN Y CUANTIFICACION PRELIMINAR DE RESERVAS CARBONIFERAS, EN LOS MIEMBROS MEDIO Y SUPERIOR DE LA FORMACION UMIR, EN LA PARTE BAJA DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS OPON Y SOGAMOSO



**EXPLORACIÓN Y CUANTIFICACION PRELIMINAR DE RESERVAS
CARBONIFERAS, EN LOS MIEMBROS MEDIO Y SUPERIOR DE LA
FORMACION UMIR, EN LA PARTE BAJA DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS
OPON Y SOGAMOSO**

JAIME MARIO JAIMES MONTOYA

FABIO QUIJANO DUARTE



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2006



**EXPLORACIÓN Y CUANTIFICACION PRELIMINAR DE RESERVAS
CARBONIFERAS, EN LOS MIEMBROS MEDIO Y SUPERIOR DE LA
FORMACION UMIR, EN LA PARTE BAJA DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS
OPON Y SOGAMOSO**

**JAIME MARIO JAIMES MONTOYA
FABIO QUIJANO DUARTE**

**Proyecto de grado presentado como requisito
para optar al título de Geólogo.
Modalidad Práctica Empresarial**

**Director
MARIO GARCIA GONZALEZ
Geólogo M.Sc. Ph. D**

**Codirector
LUIS ALBINO LEON SILVESTRE
Geólogo M.Sc.**

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

2006



DEDICATORIA

A DIOS, María, mis padres y mi hermano.

Fabio

A mis padres, mi abuelo y demás personajes.

Jaime



AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar inmensa gratitud a la empresa INGENINERA Ltda. y a todo su personal técnico y administrativo, en especial al Doctor Luís Albino León Silvestre, al Ingeniero Jorge Luís León y al Geólogo Javier Darío León por su generoso apoyo científico, personal y económico, además de la entera confianza que nos brindaron gracias al cual pudo realizarse este proyecto.

Se expresan agradecimientos al Geólogo Mario García González, quien nos brindó su apoyo y respaldo como director del proyecto, durante el desarrollo de esta practica.

Agradecemos también al grupo de docentes de la escuela de Geología, de la Universidad Industrial de Santander, en especial a los Geólogos Jorge Enrique Zambrano y Ricardo Mier Umaña por su contribución al crecimiento personal y profesional de los autores.

A nuestros padres y hermanos agradecemos por ser nuestra inspiración y razón para salir adelante; nos apoyaron y animaron a continuar y no desfallecer ante las adversidades y así cumplir con las metas propuestas.

Agradecemos a todos nuestros familiares y amigos que de una forma u otra siempre estuvieron en el momento indicado brindándonos su ayuda y amistad.



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. GENERALIDADES	3
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 LOCALIZACION	3
1.3 VIAS DE ACCESO	6
1.4 ANTECEDENTES	7
2. METODOLOGÍA	10
2.1 FASE PRELIMINAR	10
2.2 FASE DE CAMPO	11
2.3 FASE DE LABORATORIO	11
2.4 FASE DE OFICINA	13
3. GEOLOGÍA	14
3.1 LITOESTRATIGRAFÍA	14
3.1.1 Formación Luna	14
3.1.2 Formación Umir	16
3.1.3 Formación Lisama	16
3.1.4 Grupo Chorro	17
3.1.4.1 Formación La Paz	17
3.1.5 Grupo Chuspas	17
3.1.5.1 Formación Mugrosa	17
3.1.5.2 Formación Colorado	18
3.1.6 Grupo Real	19
3.1.7 Depósitos Cuaternarios	19



3.1.7.1 Depósitos Aluviales de Terrazas Medias (Qt)	19
3.1.7.2 Depósitos Aluviales de Cauce y Llanura de Inundación (Qal)	19
3.1.7.3 Depósitos Coluviales o de Ladera (Qc)	20
3.2 GEOLOGIA HISTORICA	20
4. ANALISIS GEOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO	26
4.1 LITOSTRATIGRAFIA	26
4.1.1 Área Trigueros	28
4.1.2 Área Río Blanco	31
4.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	33
4.2.1 Análisis de Mapas Topográficos	34
4.2.2 Análisis Fotogeológico	35
4.2.2.1 Área Trigueros	35
4.2.2.2 Área Río Blanco	36
4.2.3 Marco Tectónico Regional	36
4.2.4 Marco Tectónico Local	37
4.2.5 Descripción de las Fallas	40
4.2.5.1 Falla Capitanes	40
4.2.5.2 Falla Las Cruces	40
4.2.5.3 Falla La Peña	42
4.2.5.4 Falla La Colorada	43
4.2.5.5 Falla 2	43
4.2.5.6 Falla 3	43
4.2.5.7 Falla 4	44
4.2.5.8 Falla 5	44
4.3 GEOMORFOLOGÍA	45
4.3.1 Área Trigueros	45
4.3.2 Área Río Blanco	47



5. CARACTERIZACION MACROSCOPICA DE LOS CARBONES DE LA FORMACION UMIR	49
5.1 CARACTERIZACION MACROSCOPICA	49
5.1.1 Área Trigueros	52
5.1.2 Área Río Blanco	54
6. GEOLOGIA ECONOMICA	56
6.1 RECURSOS Y RESERVAS	56
6.2 METODOLOGIA	57
6.2.1 Definición de las áreas de cálculo	58
6.2.2 Cálculo de los reservas de carbón	60
6.3 RESULTADOS	60
6.4 ANALISIS DE RESULTADOS	63
6.5 MINERIA	64
6.5.1 Actividades preliminares a la operación minera	64
6.5.2 Selección del método de explotación	64
6.5.3 Parámetros a tener en cuenta en la minería subterránea en las zonas de Trigueros y Río Blanco	67
7. CALIDAD DEL CARBON	69
7.1 GENERALIDADES	69
7.2 RESULTADOS	72
7.3 DISCUSION DE RESULTADOS	73
7.3.1 Humedad Residual	73
7.3.2 Cenizas	74
7.3.3 Azufre	75
7.3.4 Poder Calorífico	76
7.4 CLASIFICACION DE LOS CARBONES	77



8. CORRELACION ESTRATIGRAFICA	80
8.1 ÁREA DE TRIGUEROS	81
8.2 ÁREA DE RÍO BLANCO	82
8.3 DISCUSION DE LOS RESULTADOS	85
9. ANALISIS AMBIENTAL	88
9.1 MARCO MINERO	88
9.2 MANEJO Y DESEMPEÑO MINERO	89
9.3 ETAPA DE EXPLORACIÓN DE RECURSOS MINERALES	89
9.3.1 Evaluación de los impactos ambientales durante la exploración	92
9.3.1.1 Identificación de los impactos ambientales	93
9.3.1.2 Valoración de la magnitud de los impactos ambientales	93
9.3.1.3 Relaciones de actividades, impactos y fichas de manejo:	94
9.3.2 Manejo de impactos ambientales	101
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFIA	107



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de carbones en muestra de mano para el área de Trigueros de acuerdo a las características de los litotipos presentes.	52
Tabla 2. Clasificación de carbones en muestra de mano para el área de Río Blanco de acuerdo a las características de los litotipos presentes.	54
Tabla 3. Reservas Reales del Área Trigueros.	61
Tabla 4. Reservas Efectivas del Área Trigueros (Buzamiento 18° promedio).	61
Tabla 5. Reservas Reales del Área Río Blanco (Manto 1 – Manto 4).	61
Tabla 6. Reservas Reales del Área Río Blanco (Manto 5 – Manto 8).	62
Tabla 7. Reservas Reales del Área Río Blanco (Manto 9 – Manto 12).	62
Tabla 8. Reservas Efectivas del Área Río Blanco (Buzamiento 27° promedio).	62
Tabla 9. Reservas Efectivas del Área Río Blanco (Buzamiento 75° promedio).	62
Tabla 10. Reservas Efectivas del Área Río Blanco (Buzamiento 85° promedio).	63
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de los carbones del área de Trigueros y Río Blanco.	72
Tabla 12. Clasificación A.S.T.M de Carbones por rango.	78
Tabla 13. Formulas para la conversión de los valores de base como se analizó (seca al aire) a otras bases.	79
Tabla 14. Lista de fichas de manejo específico.	101



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica del área de estudio (recuadro).	4
Figura 2. Imagen satelital del área de estudio (recuadros).	5
Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.	15
Figura 4. Evolución Tectonoestratigráfica del Valle Medio del Magdalena.	23
Figura 5. (Fotografía 1). Panorámica general de la Formación Umir. Quebrada Mata de Cacao. Intercalaciones de shales, arcillolitas, areniscas, shales carbonosos y delgadas capas de carbón.	27
Figura 6. (Fotografía 2). Shales grises a negros, arcillolitas grises a gris oscuras, con nódulos ferruginosos, intercalaciones de areniscas. Formación Umir. Quebrada Mata de Cacao.	28
Figura 7. (Fotografía 3). Nivel de carbón de 0.4m de espesor (capa), ubicado en la parte baja de la sección. Área Trigueros.	30
Figura 8. (Fotografía 4). Nivel de carbón de 1.0m de espesor (manto), ubicado en la parte media de la sección sur. Área Río Blanco.	32
Figura 9. Mapa de Topografía, Hidrología y de Vías del Departamento de Santander.	34
Figura 10. Esquema estructural del Departamento de Santander.	37
Figura 11. (Fotografía 5). Falla Capitanes. Obsérvese el deterioro de la vía que conduce a Barrancabermeja en el sitio llamado “Paso Malo”.	41
Figura 12. (Fotografía 6). Falla La Peña. Se encuentra en el extremo suroeste de la zona y sigue parte de la dirección del Río Sogamoso.	41
Figura 13. (Fotografía 7). Fallas Inversas de ángulo agudo localizada en la Quebrada Mata de Cacao.	42
Figura 14. (Fotografía 8). Pliegue de la Formación Umir localizado en la Quebrada Mata de Cacao.	43



Figura 15. (Fotografía 9). Falla La Colorada. Contacto entre rocas Terciarias y Cretácicas. Nótese el cambio en la dirección de los cerros.	44
Figura 16. Imagen Tridimensional del área de Trigueros mostrando las diferentes características geomorfológicas del terreno.	46
Figura 17. Imagen Tridimensional del área de Trigueros mostrando las diferentes características geomorfológicas del terreno.	47
Figura 18. Clasificación de carbones en muestra de mano de acuerdo a las características de los litotipos presentes.	50
Figura 19. Diagrama porcentual de los tipos de carbón según clasificación microscópica para el área de Trigueros.	53
Figura 20. Diagrama porcentual de los tipos de carbón según clasificación microscópica para el área de Río Blanco.	55
Figura 21. Definición de las áreas de confiabilidad de los recursos a partir de los puntos de medición sobre el afloramiento, complementados por datos provenientes de una mina y varios sondeos.	59
Figura 22. Diagrama del método de explotación en cámaras y pilares. Tomado de Hartman, H., 1987	66
Figura 23. Correlación litoestratigráfica de las columnas levantadas en el área de estudio. a) Trigueros, b) San Luís (Marín, y Gómez, 1988) y c) Río Blanco.	87



LISTA DE FICHAS

	Pág.
Ficha 1. Impacto del componente hídrico.	95
Ficha 2. Impacto del componente aire.	95
Ficha 3. Impacto del componente aire (ruido).	96
Ficha 4. Impacto del componente suelo.	97
Ficha 5. Impacto del componente suelo (desestabilización de pendientes).	97
Ficha 6. Impacto del componente flora y fauna.	98
Ficha 7. Impacto del componente social (generación de expectativas).	99
Ficha 8. Impacto del componente social (generación de empleo).	100
Ficha 9. Impacto en el paisaje.	100



LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Mapa Geológico del Área de Trigueros	
Anexo B. Mapa Geológico del Área de Río Blanco	
Anexo C. Columna Litoestratigráfica de la Formación Umir (Sección Mata de Cacao) Área de Trigueros.	
Anexo D. Columna Litoestratigráfica de la Formación Umir (Secciones Norte y Sur) Área de Río Blanco.	
Anexo E. Cortes geológicos Área de Trigueros	
Anexo F. Cortes geológicos Área de Río Blanco	
Anexo G. Mapa de Reservas Área de Trigueros	
Anexo H. Mapa de Reservas Área de Río Blanco	
Anexo I. Correlación Litoestratigráfica.	
Anexo J. Términos de Referencia	111



RESUMEN

Título: EXPLORACIÓN Y CUANTIFICACION PRELIMINAR DE RESERVAS CARBONIFERAS, EN LOS MIEMBROS MEDIO Y SUPERIOR DE LA FORMACION UMIR, EN LA PARTE BAJA DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS OPON Y SOGAMOSO ¹

Autor (es): Jaimes, Jaime M., Quijano, Fabio. ²

Palabras Claves: Formación Umir, Falla La Salina, Carbón, Reservas.

El presente trabajo es un estudio geológico exploratorio de dos áreas; la zona de Trigueros con una extensión de 19.8 km² y la zona de Río Blanco con una extensión de 18.4 km², localizadas en el magdalena medio santandereano y donde afloran rocas sedimentarias del Cretáceo Superior (Formaciones Luna y Umir) suprayacidas por formaciones Terciarias y depósitos Cuaternarios.

Este estudio corrobora la existencia de mantos de carbón en la Formación Umir económicamente explotables, con afloramientos en las quebradas Mata de Cacao para el área de Trigueros y La Colorada para el área de Río Blanco.

Estructuralmente ambas zonas se caracterizan por la presencia de fallas inversas de tipo lístrico de ángulo agudo hacia el oriente con dirección predominantemente NE–SW y algunas de tipo transcurrente con dirección NW – SE (Fallas Capitanes, Las Cruces y La Peña para la zona de Trigueros; Fallas La Colorada, 2, 3, 4 y 5 para la zona de Río Blanco), pertenecientes al Sistema de Fallas de La Salina, el cual es producto del ambiente tectónico compresivo regional que ha afectado el Noroeste de Suramérica.

El cálculo de reservas medidas, indicadas e inferidas de carbón, se realizó por el método geométrico propuesto por ECOCARBON. Se calcularon para Trigueros reservas medidas reales de 867.864,8 toneladas y 912.527,1 toneladas de reservas medidas efectivas; para Río Blanco se obtuvieron valores de 2'465.715,6 toneladas de reservas medidas reales y 18'018.117,2 toneladas de reservas medidas efectivas.

La calidad de los carbones se determinó mediante análisis fisicoquímicos de cuatro muestras de carbón, dos por zona y el estudio macroscópico de 35 muestras de mano. Los resultados permitieron clasificar los carbones del área de Trigueros como del grupo Bituminoso medio volátil y los carbones del área de Río Blanco del grupo Bituminoso alto volátil A.

¹ Proyecto de Grado, Modalidad Practica Empresarial

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director Mario García González. Codirector Luís Albino León Silvestre.



ABSTRACT

Title: EXPLORATION Y PRELIMINARY QUANTIFICATION OF RESERVES OF COALS, IN THE MIDDLE AND UP UMIR FORMATION MEMBERS, IN THE DOWN SIDE OF THE "OPON" AND "SOGAMOSO" RIVERS BASINS³

Autor (es): Jaimes, Jaime M., Quijano, Fabio.⁴

Key words: Umir Formation, La Salina Fault, Coal, Reserves.

The present work is an exploratory geologic study of two areas; the Trigueros Zone with an extension of 19.8 km² and the Rio with an extension of 18.4 km², both located to the Santanderean Magdalena Middle, where outcrop upper Cretaceous rocks (La Luna and Umir Formations) overlay for Tertiary Formations and Quaternary deposits.

This study corroborates the existence of layers of coal economically exploitable in the Formation Umir, with blooming along the Mata de Cacao for the Trigueros zone and La Colorada for the Rio Blanco zone.

Structurally both areas are characterized by the presence of inverse faults of lipstric type of sharp angle toward the east with direction predominantly NE-SW and some of type transcurrent with direction NW-SE (Capitanes, Las Cruces and La Peña faults for the area of Trigueros; La Colorada, 2, 3, 4 and 5 faults for the area of River Blanco), belonging to the La Salina Faults System, which is product of the compressive tectonic regional environment that has affected Northwest of South America.

The calculation of measures, suitable and inferred reserves of coal, it is carried out for the geometric method proposed by ECOCARBON. They were calculated for the Trigueros zone real measures reserves of 867864,8 tons and 912527,1 tons of effective measures reserves; for Rio Blanco zone values of 2'465.715,6 tons of real measures reserves and 18'018.117,2 tons of effective measures reserves were obtained.

The quality of the coal was determined by means of the physiochemical analysis of four samples of coal, two for each area and the macroscopic study of 35 hand samples. The results allowed to classify the coals of the Trigueros area correspond to the volatile high Bituminous group and the coals of the Rio Blanco area corresponds to the volatile high Bituminous group A

³ Proyecto de Grado, Modalidad Practica Empresarial

⁴ Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director Mario García González. Codirector Luís Albino León Silvestre.



INTRODUCCIÓN

El carbón es el combustible fósil más abundante del mundo, tanto que sus reservas probadas han sido definidas en más de 100 países y, con la rata actual de producción, su vida útil es superior a 200 años, en contraste con las reservas de petróleo y gas cuyas duraciones previstas son de 40 y 60 años, respectivamente, a la rata actual de producción.

El carbón es el combustible más seguro de transportar y el que da la mayor garantía de suministro por sus amplias reservas, extendidas por todo el mundo, en comparación con el petróleo y gas cuyas reservas, en más del 70%, se encuentran en el Medio Oriente y en los países de la ex Unión Soviética.

Colombia es, actualmente, el cuarto exportador mundial de carbón térmico y en los últimos años participó con más del 5% de las exportaciones mundiales. Este panorama, favorable a nivel mundial, contrasta con las cifras a nivel nacional, donde el carbón, a pesar de ser el energético más abundante, participa apenas con el 8% del consumo de energía primaria y se ubica después del petróleo, el gas y la biomasa.

A pesar de las grandes posibilidades económicas que representa el carbón para el país, la política carbonífera colombiana se ha concentrado en gran parte en los grandes proyectos con destino a la exportación en el Cesar y La Guajira, sin tener en cuenta que un importante potencial carbonífero se encuentra en el interior del país. Ante esta situación las empresas mineras a pequeña y mediana escala, han emprendido estudios geológicos con el fin de obtener un mayor conocimiento desde el punto de vista científico, social y económico de estos depósitos, aspectos que permitirán un mejor aprovechamiento de los recursos.



En los municipios de Vélez y Girón, Departamento de Santander; INGEOMINAS entregó dos áreas de Concesión a la empresa INGEMINERA LTDA. y su asociado ITC LTDA.; la realización del presente estudio tiene gran interés para esta empresa, la cual podrá contar con la suficiente información geológica para programar un planeamiento y explotación minera.

La realización de este estudio fue posible gracias al apoyo humano y económico brindado por la directiva de la empresa INGEMINERA LTDA, y al gran aporte científico prestado por los doctores Luís Albino León Silvestre (Codirector del Proyecto) Mario García González (Director del Proyecto), Jorge Luís León y Javier Darío León.



1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las facies litológicas y orgánicas en la parte baja de las cuencas de los ríos Opón y Sogamoso, con el fin de cuantificar las reservas carboníferas de la Formación Umir y su factibilidad económica para la explotación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

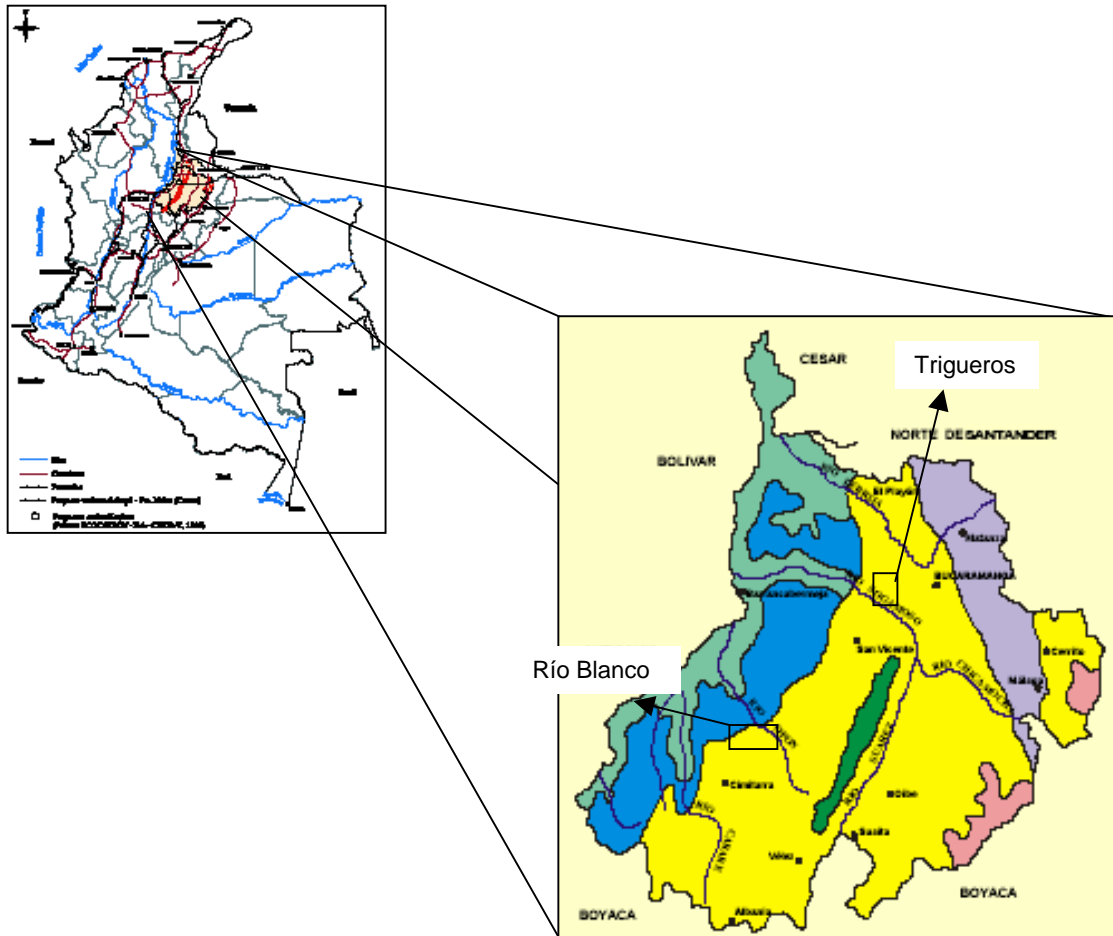
- Realizar la cartografía geológica de las áreas mencionadas a escala 1:5000.
- Cartografiar detalladamente a escala 1:5000 los mantos de carbón en los miembros medio y superior de la Formación Umir en las dos áreas.
- Levantar columnas estratigráficas generales (1:500) y detalladas (1:50)
- Caracterizar geoquímicamente los carbones de la zona.
- Correlacionar los mantos de carbón de las zonas de estudio.
- Analizar y determinar el patrón estructural de las áreas.
- Determinar los mantos de carbón económicamente explotables con base en criterios geológicos y mineros.
- Calcular las reservas probables en las zonas de estudio.

1.2 LOCALIZACION

El área donde se realizaron estos estudios se encuentra localizada en el sector oriental del Valle Medio del Magdalena.



Figura 1. Localización geográfica del área de estudio (recuadro).

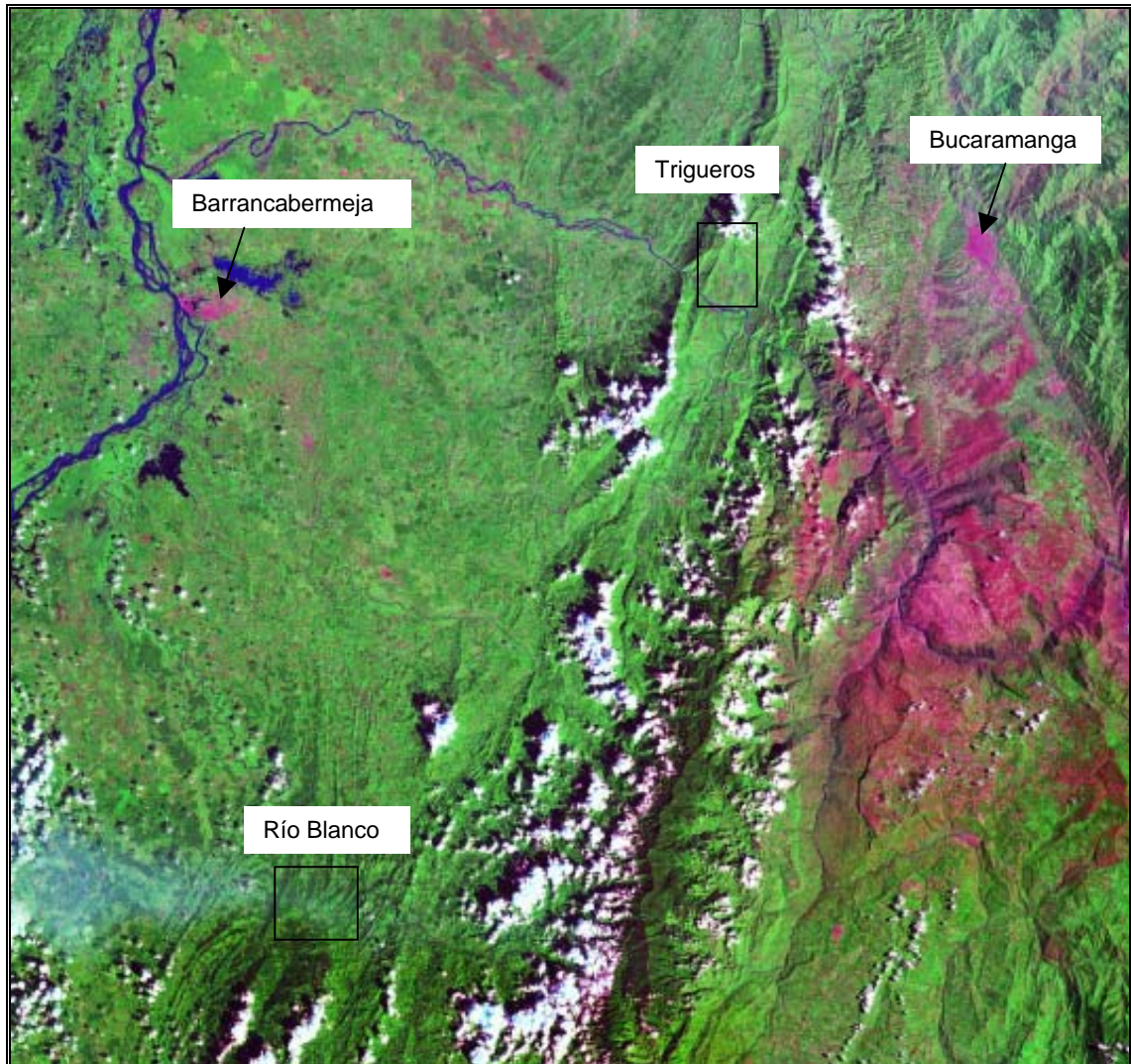


ZONA DE TRIGUEROS

El área de Trigueros se localiza al Oeste de la Provincia de Sotomayor (Departamento. de Santander, Colombia) con una extensión de 19.8 km², región de la Cordillera Oriental, al Norte del Río Sogamoso, distante 50 Km. de la ciudad de Bucaramanga. Esta área se encuentra bajo jurisdicción del Municipio de Girón.



Figura 2. Imagen satelital del área de estudio (recuadros). Tomada de <http://zulu.ssc.nasa.gov>



Según la cartografía topográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el área de trabajo abarca la plancha 120-I-B a escala 1:25.000 y la plancha H-12 a escala 1:100.000 respectivamente. Las coordenadas topográficas son las siguientes:



$$X_1=1.273.500 \quad X_2=1.278.000$$

$$Y_1=1.076.000 \quad Y_2=1.080.400$$

ZONA DE RIO BLANCO

Esta zona de 18.4 km² de extensión, se encuentra ubicada al Oriente de la Provincia de Vélez (Departamento. de Santander, Colombia), perteneciente a la región de la Cordillera Oriental, distante 35 Km. del municipio de Cimitarra y entre el Río Opón y el Río Blanco. Esta área se encuentra bajo jurisdicción del Municipio de Vélez.

Según la cartografía topográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el área de trabajo abarca las planchas 134-IV-A y 134-IV-C a escala 1:25.000 y su plancha respectiva I-11 a escala 1:100.000. Las coordenadas topográficas son las siguientes:

$$X_1=1.209.500 \quad X_2=1.212.700$$

$$Y_1=1.034.750 \quad Y_2=1.040.500$$

1.3 VIAS DE ACCESO

El Área de Trigueros tiene acceso por la vía que de Bucaramanga conduce a Barrancabermeja, carretera pavimentada en buen estado. El ingreso al área se realiza a la altura de la hacienda Capitanes o del Puente de la Quebrada Mata de Cacao.



De esta vía principal parten algunos carreteables propiedad de las haciendas de la zona y caminos de herradura que recorren el área hacia el norte y hacia el sur.

El acceso al Área de Río Blanco es un poco más restringido, a pesar de que existan dos vías, una que parte desde Cimitarra hasta la zona y es el acceso de muchas haciendas y caseríos de la zona, y otra que parte desde Puerto Nuevo hasta la Olla cerca a la confluencia de los Ríos Blanco y Opón, estos carreteables se encuentran sin pavimentar y en un estado casi de abandono; estas solo son útiles en épocas secas debido a que se deben atravesar cierto número de quebradas sin existencia de puentes.

El acceso a toda la zona se debe realizar por caminos de herradura o por los mismos afluentes al Río Blanco o al Río Opón.

1.4 ANTECEDENTES

La primera descripción de La Formación Umir se debe a Morales et al. (1958). Según Morales, el término Umir fue usado por primera vez por L. G. Huntley, (1917) (inédito) para designar la secuencia expuesta en la Quebrada Umir, a 3 Kilómetros al oeste del Cerro Umir, considerada como localidad tipo.

La mayoría de los estudios del área San Luís-El Carmen, han sido realizados en por el Ingeominas, cuyos resultados se encuentran en la compilación efectuada por Arboleda (1987).

En esta zona se han realizado pequeñas y esporádicas explotaciones artesanales.

Carboriente ha realizado estudios exploratorios en la denominada área de Lebrija-Vanegas, definiendo la aparición de mantos y capas de carbón dentro de



afloramientos de las Formaciones Umir del techo del Cretácico y Lisama de la base del Terciario.

También analizó los carbones que aparecen en el cierre perisinclinal del Sinclinal de Nuevo Mundo en la parte meridional de la estructura, localizados al oeste del municipio de San Vicente de Chucurí y los cortados en parte por la vía que de esta cabecera municipal conduce a Barrancabermeja; algunos carbones dentro de la Formación Umir, que aparecen sobre la vía Bucaramanga-Barrancabermeja entre el sitio conocido como La Renta y el puente sobre el Río Sogamoso.

En cuanto a los carbones de la Formación Umir en el área de Trigueros, González y Sánchez (1999) realizaron análisis geoquímicos para determinar la calidad de roca generadora de hidrocarburo en el Flanco Oriental del Valle Medio del Magdalena (Sección Quebrada Mata de Cacao). Estos análisis muestran a la Formación Umir con muy buenos contenidos de TOC además de otros parámetros como Hidrocarburos presentes S1, Potencial de Hidrocarburo S2 Temperatura Máxima de Pirolisis y Potencial Genético que la incluyen dentro de la ventana de generación de Aceite y Gas.

Para el Área de Río Blanco los antecedentes son muy escasos, en esta zona la Formación Umir no se ha llegado a estudiar detalladamente, solo se han estudiado sectores cercanos a Cimitarra y Landázuri.

La parte más meridional del área, cerca de cimitarra, fue explotada en un sector muy cercano al área urbana de Landázuri; debido al plegamiento de los estratos se dificulta la extracción del carbón. La más septentrional (Comité de Desarrollo Minero, 1996:145) contiene carbones antracíticos y bituminosos muy similares a aquellos que están presentes, al norte, en el yacimiento de San Luís.



En el Cerro de Armas, cerca de Cimitarra en el cual se encontraron algunos mantos de carbón bituminosos dentro de los afloramientos de la Formación Umir, muy similares a los de San Luís, Carboriente desarrolló una corta prospección patrocinada por Carbocol y se destaparon mantos de espesor importante pero sin que se pudiera seguir un estudio sistemático. El sector quedó como promisorio para carbones, pero deben adelantarse todos los estudios geológicos y de evaluación. Su importancia puede crecer por su cercanía a Cimitarra y a la Troncal de la Paz.

El sector de Landázuri es el mas conocido y fue objeto de explotación en la década del 70. Los yacimientos están muy próximos al área urbana. Se les ha distinguido en la literatura geológica como los “Carbones del Carare”. La firma LEE INFANTE Ltda. en el año de 1982 presentó un estudio sobre el “Abastecimiento de Carbón para la Central Termoeléctrica de Barrancabermeja”, contratado por el ICEL, en el cual incluye los carbones del Carare como posible fuente.



2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la presente investigación se organizó de manera que se pudieran obtener los mejores resultados en este proyecto.

2.1 FASE PRELIMINAR

En esta primera fase se recopiló y estudió la información existente sobre las áreas de trabajo, tanto para conocer el estado del arte entorno al conocimiento geológico sobre la zona de estudio, como para contextualizar su geología en un marco de escala más regional.

Con el propósito de preparar los trabajos de campo, se recopiló la siguiente información: a) el mapa geológico preliminar de la plancha H-12 e I-11 a escala 1:100.000, publicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS); b) las planchas topográficas 120-I-B, 134-IV-A y 134-IV-C a escala 1:25.000, realizadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Gauss con origen X:1.000.000 y Y:1.000.000, ubicado en Santa fé de Bogotá D.C.; c) las imágenes satelitales disponibles del área de trabajo (tomadas de la pagina <https://zulu.ssc.nasa.gov>) y; d) las fotografías aéreas de los vuelos C-2207 (133 - 134 - 135) para la zona de Trigueros y para la zona de Río Blanco el vuelo C- 2184 (211 - 212 - 213) del IGAC.

Con relación a las fotografías aéreas, estas fueron interpretadas en el laboratorio de Fotogeología de la Escuela de Geología de la UIS, utilizando un Estereoscopio de espejos marca Carl Zeiss Jena.



2.2 FASE DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó de acuerdo al énfasis establecido en los objetivos. Por tal razón, las labores de campo se centraron en el reconocimiento de la zona, contrastar la información obtenida del estudio de fotointerpretación, realizar jornadas de toma de datos y de muestreo sistemático, acompañado (en aquellos sectores donde era posible) de un levantamiento de columnas litoestratigráficas.

Para las zonas de estudio se realizó una cartografía a escala 1:5.000, en las que se pudieron identificar las diferentes unidades aflorantes para cada una de las áreas.

Teniendo en cuenta la importancia que se tiene en la Formación Umir, se realizaron Columnas Litoestratigráficas (una para la zona de Trigueros y dos para la zona de Río Blanco) a escala 1:50, en el que se identificaron mantos de carbón, teniendo en cuenta los de mayor importancia debido a su espesor y su grado de meteorización.

En el muestreo realizado se recogieron muestras de todas las litologías pero se hizo énfasis en los mantos de Carbón. Se recogieron 52 muestras de carbón.

2.3 FASE DE LABORATORIO

Se realizó una clasificación Macroscópica a cada una de las muestras recolectadas en campo. Esta clasificación se hizo de acuerdo a la clasificación propuesta por Diessel, 1965; esta clasificación tiene en cuenta los litotipos Vitreno, Dureno, Clareno y Fuseno y sus características las cuales se describen brevemente a continuación:



Vitreno de bandas brillantes, Clareno de bandas semibrillantes, Dureno de bandas opacas y Fuseno el cual tiene apariencia de carbón vegetal.

De estas muestras se seleccionaron 4 carbones (2 en el área de Trigueros y 2 en el área de Río Blanco), pertenecientes a los mantos de los miembros medio y superior de la Formación Umir. A cada muestra se le realizaron los diferentes análisis geoquímicos en **SGS COLOMBIA S.A. MINERAL LABORATORY**. Los procedimientos de análisis incluyeron determinación de humedad, cenizas, contenido de azufre, poder calorífico.

Los análisis proximales fueron diseñados para la caracterización de carbones térmicos y coquizables entre otras características.

La materia volátil es indicativa en la predicción del grado de carbonificación de los carbones, del rango coquizable e indicativo del grado de madurez termal.

El análisis de humedad se realiza exponiendo la muestra a una temperatura de 110°C para eliminar el agua (H₂O) presente en esta.

El contenido de ceniza expresa la cantidad de impurezas y escoria en la muestra y por lo tanto el carbón efectivo disponible; con el podemos determinar la calidad del carbón, siendo el 12% el límite máximo permitido en carbones de buena calidad.

El índice de hinchamiento permite conocer el grado de coquización de los carbones.

El poder calorífico del carbón expresa su valor como combustible.



La respectiva clasificación de estos carbones se realizó según las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Esta clasificación tiene en cuenta parámetros como carbono fijo, materia volátil y poder calorífico.

2.4 FASE DE OFICINA

La cual se efectuó con la información recolectada en las fases anteriores; tuvo como finalidad el desarrollo de los objetivos propuestos y los resultados se presentaron en un informe final, el cual una vez fue aprobado por la empresa y el director del proyecto, se entregó a la dirección de escuela de Geología como memorias para ser avalados como practica empresarial y optar por el título de Geólogo.



3. GEOLOGIA

3.1 ESTRATIGRAFIA

En las áreas de estudio afloran rocas de edad Mesozoica y Cenozoica. Las rocas son predominantemente de origen sedimentario. A continuación se describen estas, tomando como referencia trabajos anteriores e incorporando algunos nuevos datos obtenidos en este trabajo.

La secuencia estratigráfica para la zona de estudio (Figura 3) comprende rocas desde el Cretáceo representado por Formación La Luna (Turoniano-Santoniano) y Umir (Campaniano-Maastrichtiano) y depósitos Terciarios representados por rocas de las Formaciones Lisama (Paleoceno), La Paz (Eoceno medio-tardío), Esmeraldas (Eoceno Tardío), Mugrosa (Oligoceno), Colorado (Mioceno inferior) y Real (Mioceno Superior) .

3.1.1 Formación La Luna

Fue descrita por Garner (en JULIVERT, et al., 1968) y el nombre procede de la Quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulia (Venezuela). En Colombia fue introducido el término por geólogos de la Caribbean Petroleum Company. La unidad está constituida por calizas gris oscuras, arcillosas, shales grises a negros, calcáreos, en capas delgadas, shales gris oscuros con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior.

En el Valle Medio del Magdalena la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galemo.

Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Adaptado de Morales, et al. (1958); Bueno (1986); Govea y Aguilera, (1986); Mojica y Franco (1992).

SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	SIMBOLO	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
						CUAT. HOL.
TERTIARIO	MIOCENO	GRUPO MESA	TQ		Terrazas y aluviones Gravas, arenas y conglomerados. Espesor: 300 - 545 m.	
		GRUPO REAL	Tmp		Discontinuidad estratigráfica (?) Areniscas, lodolitas y conglomerados. Espesor: 500 - 700 m. Discontinuidad estratigráfica (?) Lodolitas rojas y areniscas conglomeráticas. Espesor: 935 - 1.250 m.	
	OLIGOCENO	GRUPO CHUSPAS	FM. COLORADO	Tom		Lodolitas y capas delgadas de areniscas. Espesor: 550 - 850 m.
			FM. MUGROSA	Teo		Areniscas, lodolitas y capas delgadas de carbón. Espesor: 160 - 575 m.
	EOCENO	GRUPO CHIRRE	FM. ESMERALDA	Tpe		Areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada. Espesor: 240 - 800 m.
			FM. LA PAZ			Lodolitas areniscas y capas delgadas de carbón. Espesor: 300 - 950 m.
	PAL		FM. LISIANA			Lodolitas con concreciones ferruginosas y capas explotables de carbón. Espesor: 800 - 1.400 m.
	CRETACICO	SUPERIOR	FM. UMIR	1ks		Calizas, lodolitas calcáreas, concreciones calcáreas y rocas fosfóricas. Espesor: 280 - 630 m.
			FM. LA LUNA	Kalc		Lodolitas principalmente, areniscas y calizas en menor proporción. Espesor: 250 - 660 m.
		INFERIOR	FM. SIMITI	Koal		Calizas y lodolitas calcáreas. Espesor: 240 - 325 m.
FM. TABLAZO			1Kl		Lodolitas y areniscas. Espesor: 150 - 625 m.	
FM. PAJA					Calizas, lodolitas y areniscas. Espesor: 290 - 450 m.	
FM. ROSA BLANCA					Areniscas gris verdosas, cuarzosas, de grano fino, localmente lodosas, con intercalaciones	
FM. LOS SANTOS			Koeh		de limolitas, arcillolitas y lodolitas de color gris, negro y rojizo, piritosas. Espesor: 25 - 100 m.	
SUPERIOR		FM. GIRON	Js		Areniscas cuarzosas claras, localmente conglomeráticas y lodolitas pardo rojizas. Espesor: 150 - 650 m. Alternancia de areniscas y lodolitas gris amarillentas a pardo rojizas, localmente niveles conglomeráticos, pardo rojizos, masivos y lenticulares. Espesor: 3.000 - 4.500 m.	



El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m. El contacto de la Formación La Luna con la infrayacente Formación Simití es concordante. Entre las formaciones La Luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica. Morales, et al. (1958) en el Valle Medio del Magdalena le asignan una edad del Turoniano al Santoniano.

3.1.2 Formación Umir

Descrita por Huntley (en JULIVERT, et al., 1968); la localidad tipo se encuentra en la Quebrada Umir al oriente del cerro del mismo nombre en Santander. Consta de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas, arcillolitas grises a gris oscuras, con nódulos ferruginosos, intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas. Es común la presencia de capas explotables de carbón de 0,60 a 5,00 m de espesor. El ambiente es nerítico.

El espesor se ha calculado entre 1.000 y 1.400 m. La Formación Umir descansa en discontinuidad estratigráfica sobre el miembro Galembo de la Formación La Luna. El contacto superior con la suprayacente Formación Lisama es concordante.

Los foraminíferos estudiados por varios autores, determinan una edad del Campaniano - Maastrichtiano.

3.1.3 Formación Lisama

Fue descrita originalmente por Link (en MORALES, et al., 1958) y publicada por primera vez por Wheeler (en DE PORTA, et al., 1974). Esta unidad aflora al occidente de Santander y su sección de referencia está en la Quebrada Lisama, afluente del Río Sogamoso. La unidad se encuentra constituida por una secuencia de lutitas abigarradas, alternadas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y algunas capas delgadas de carbón.



El depósito de estos sedimentos ocurrió en un ambiente bajo condiciones lagunares deltáicas. El espesor alcanza hasta 1.225 m. Esta unidad presenta un contacto normal y transicional con la infrayacente Formación Umir. El contacto superior con la Formación La Paz, está determinado por una discordancia regional bien marcada. La edad es Paleoceno (VAN DER HAMMEN, 1958).

3.1.4 Grupo Chorro

Constituido por las Formaciones La Paz y Esmeraldas.

3.1.4.1 Formación La Paz

Los autores son los geólogos de la Tropical Oil Company (en MORALES, et al., 1958) y su sección tipo está en la angostura del Río Lebrija, por la vía férrea, abajo de Vanegas. La secuencia estratigráfica está compuesta por areniscas grises, conglomeráticas, conglomerados, limolitas y grandes paquetes de lutitas grises.

El espesor en la sección tipo es de 1.000 m, pero generalmente presenta variaciones locales. El depósito de los sedimentos de esta unidad se desarrolló en un ambiente de corrientes trenzadas.

La Formación La Paz descansa discordantemente sobre la Formación Lisama. Su contacto superior con la Formación Esmeraldas es concordante y transicional. Conforme a su posición estratigráfica, la unidad se considera del Eoceno superior.

3.1.5 Grupo Chuspas

Está constituido por las Formaciones Mugrosa y Colorado.



3.1.5.1 Formación Mugrosa

El nombre fue introducido por Gill (en MORALES, et al., 1958) y corresponde a la parte inferior del Grupo Chuspas; su sección tipo se encuentra en la Quebrada Mugrosa. La unidad está compuesta en su parte inferior por areniscas gris verdosas, de grano fino a medio, con intercalaciones de lodolitas grises a azulosas y algunas capas de areniscas conglomeráticas. La parte media consta de shales moteados con algunas intercalaciones de arenisca. Hacia la parte superior hay lodolitas moteadas, fosilíferas.

El ambiente de depósito se considera como continental fluvial. El espesor varía entre 500 y 800 m. El contacto inferior de la Formación Mugrosa es aparentemente discordante con la Formación Esmeraldas, en tanto que el superior con la Formación Colorado es concordante. La unidad es considerada del Eoceno superior-Oligoceno inferior.

3.1.5.2 Formación Colorado

El autor es Gill (en MORALES, et al., 1958) y tiene su sección tipo en el Río Colorado en área de la Concesión de Mares. Esta unidad corresponde a la parte superior del Grupo Chuspas y consiste predominantemente en su parte inferior de arcillolitas pardo rojizas, con intercalaciones de areniscas, de grano grueso a conglomeráticas, en capas de espesor variable. La parte superior se compone de arcillolitas gris oscuras a negras, carbonosas, fosilíferas, con intercalaciones de arenisca, de grano medio, en capas delgadas.

Se considera que los sedimentos de esta unidad se depositaron bajo condiciones fluviales. El espesor es variable entre 1.200 y 2.500 m. La Formación Colorado descansa concordantemente sobre la Formación Mugrosa y su contacto superior con el Grupo Real es discordante. La unidad es considerada como del Oligoceno superior al Mioceno inferior.



3.1.6 Grupo Real

Fue descrito por Wheeler (en DE PORTA, et al., 1974) y su sección tipo se ubica en el sitio Bandera Real, cerca del Río Opón, donde fue subdividido en cinco formaciones que de base a techo son: Formación Lluvia, compuesta por conglomerados polimícticos; Formación Chontorales, areniscas conglomeráticas y arcillolitas; Formación Hiel, arcillolitas grises y gris rojizas con areniscas; Formación Enrejado, consistente en arcillolitas con alternancia de areniscas, y Formación Bagre, areniscas conglomeráticas.

El ambiente de depósito de estos sedimentos es interpretado como fluvial. Su espesor total es de 3.600 m. Regionalmente existen inconformidades estratigráficas bien definidas entre el Grupo Real con la infrayacente Formación Colorado y el suprayacente Grupo Mesa. La edad es considerada del Mioceno medio al Plioceno.

3.1.7 Depósitos Cuaternarios

Dentro de los depósitos cuaternarios tenemos Terrazas Medias, Llanuras de inundación y Coluviones

3.1.7.1 Depósitos Aluviales de Terrazas Medias (Qal₂)

Son depósitos de origen aluvial, de superficie más o menos plana y horizontal, muy poco disectados, ubicados hacia las márgenes de las corrientes de agua principales.

3.1.7.2 Depósitos Aluviales de Cauce y Llanura de Inundación (Qal)

Estos depósitos se originan por la acción de los cauces de las quebradas presentes en la zona. Se observan varias acumulaciones en los valles de los ríos Sogamoso, Opón y Blanco.



3.1.7.3 Depósitos Coluviales o de Ladera (QI)

Son depósitos acumulados, por lo general, en la base de escarpes, y provienen del desprendimiento de materiales de laderas adyacentes, por la acción de la fuerza de gravedad. La mayoría se originan por fenómenos de remoción en masa de tipo caída de rocas, deslizamientos y volcamientos.

3.2 GEOLOGIA HISTORICA

A continuación se presenta un resumen de los eventos geológicos que directa o indirectamente han participado en la configuración geológica (tanto de lo observable en superficie como a profundidad) de las áreas de estudio.

A mediados del Proterozoico, el territorio de Santander formaba parte de un “megaterreno” cuyo basamento se encontraba conectado probablemente al Escudo de Guayana (Irving, 1971; Tschanz *et al.*, 1974; Kroonenberg, 1982 en Clavijo y Royero., 2000) durante diversas orogenias o bien existía como terreno “alóctono” con respecto a dicho escudo (Etayo *et al.*, 1983; Toussaint y Restrepo, 1989, en Clavijo y Royero., 2000). En este tiempo se desarrolla una cuenca marina en la que se depositan sedimentos clásticos con importantes aportes ígneos alcalinos. A finales del Proterozoico (945-680 M.a.) esta secuencia es deformada, intruida por cuerpos de composición granodiorítica – cuarzomonzonítica, y es sometida a metamorfismo de alto grado como es el caso del neis de Bucaramanga y el ortoneis de Berlín que constituyen el basamento continental. El basamento del precámbrico en el Macizo de Santander representa el zócalo más antiguo de todo el oriente colombiano, lo que explica las características andinas o intracontinentales de las orogenias que afectaron esta región.



Durante el Paleozoico inferior se depositó, sobre los paleorelieves erosionados del Proterozoico una megasecuencia grano - decreciente cíclica de ambientes de talud submarino (Etayo *et al.*, 1983, en Clavijo y Royero, 2000). La orogenia Caledoniana afectó los depósitos Cambro-Ordovícicos, produciendo fuertes plegamientos y un metamorfismo de bajo grado hasta las facies de esquistos verdes, conformándose la Formación Silgará y la unidad de la secuencia metasedimentaria del Macizo de Santander. Según Cordani (en Clavijo y Royero, 2000), Intrusiones sin o post-tectónicas datadas entre 417 y 371 M.a., del batolito de Onzaga en el Macizo de Santander, acompañaron la orogenia Caledoniana (Figura 4).

A mediados del devónico, se reanuda la sedimentación pericontinental sobre el margen oriental del océano proto-Atlántico (Iapetus), según Etayo *et al.*, 1989 (en Clavijo *et al.*, 2000), ocurre la depositación de abanicos-deltas (Formación El Tibet) y sedimentación marina epicontinental (Formación Floresta).

Después del hiato estratigráfico en el intervalo Devónico Superior – Carbonífero Inferior, se sucede el avance del mar transgresivo (Pensilvaniano - Pérmico). Se inicia una tectónica de fallamiento en respuesta a movimientos epirogénicos que forman relieves de mesas y valles; los avances y retrocesos del mar se suceden en un paisaje árido como lo evidencia la alternancia de sedimentitas rojas y calizas biogénicas (Formación Diamante, unidad paleozoica del Río Nevado).

A comienzos del Triásico, se inicia la apertura del Paleocaribe con la formación de una fosa tectónica de hundimiento (graben), con actividad volcánica, más o menos intensa, que separa a Norte y Suramérica. “El megaterreno ancestral” comienza a fraccionarse, algunas áreas empiezan a hundirse y en las cuales solo se depositaron abanicos aluviales (Formación Tiburón), pero por este tiempo el



“megaterreno ancestral” se solda al megaterreno autóctono (Toussaint y Restrepo, 1989, en Clavijo y Royero., 2000).

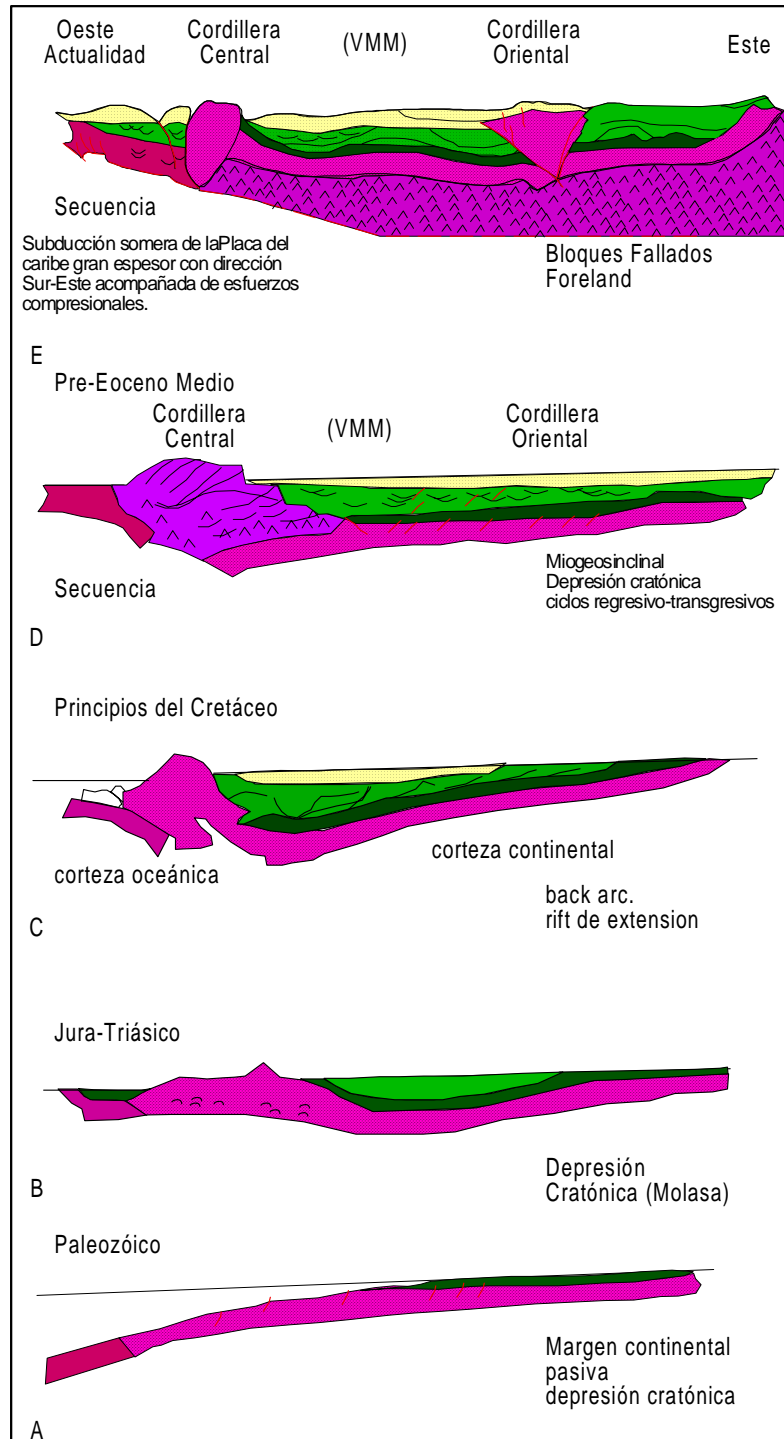
Según Maze 1984 (en Clavijo y Royero, 2000), en las fases iniciales del Triásico y comienzos del Jurásico, se inicia la ruptura de Pangea mediante un proceso de formación de cuenca intercontinental, cuyas ramificaciones afectan gran parte del Cratón Suramericano (se forman aulacógenos, cuencas de tracción),

A principios del Jurásico, se inicia un proceso de formación de cuencas en lo que hoy son los Valles del Magdalena Medio y el del Cesar (Estrada, 1972; Macia, *et al.*, 1985; Mojica y Herrera, 1986; Mojica y Franco, 1990, en Clavijo y Royero, 2000). Este proceso se inicia en una franja estrecha dando origen a sedimentitas jurásicas que por esfuerzos distensivos, empiezan a hundirse en bloques escalonados, provocado por un fallamiento normal, formándose de esta manera el graben primario (Figura 4).

En lo referente al actual nororiente Colombiano se forman algunas cuencas (Valle Medio del Magdalena, Cesar, Perijá, Mérida, Maracaibo), que fraccionan el “megaterreno Ancestral” por hundimiento en bloques escalonados siguiendo un patrón en zig-zag, limitado por dos sistemas de fallas, N-NE y otro NW-SE que lo desplaza, cuyo elemento principal es la falla Bucaramanga-Santa Marta.

Se suceden breves incursiones marinas (Formación Bocas), seguidas de una sedimentación fluvio-lacustre, acompañada de un incipiente vulcanismo explosivo (Formación Jordán) que aporta en parte material de relleno de estas cuencas; simultáneamente, ocurre la intrusión de cuerpos granodioríticos en el Macizo de Santander (190-160 M.a.). A finales del Jurásico y comienzos del Cretáceo se deposita la potente secuencia fluvial del Grupo Girón. (Clavijo y Royero, 2000).

Figura 4. Evolución Tectonoestratigráfica del Valle Medio del Magdalena. Tomado de ECOPEPETROL et al, 2003.





En el Cretácico Inferior la sedimentación continental da paso de manera gradual a la invasión marina, que inicialmente inunda las entradas de las ramificaciones del paleo-rift del Magdalena y luego invade áreas mayores (Etayo *et al.*, 1989, en Clavijo y Royero, 2000), depositándose una espesa secuencia de areniscas, lutitas y calizas de las formaciones Cretácicas en las provincias del Valle Medio del Magdalena, Maracaibo y áreas menores en las provincias de Santander (Figura 4).

En el Cretácico Superior y comienzos del Terciario, se produce el retiro del mar, acompañado de un levantamiento diferencial. En este tiempo termina la larga etapa distensiva y se produce una inversión de esfuerzos, que desde el Paleoceno da inicio a la etapa compresiva. En el Paleoceno Medio ocurre el levantamiento de la provincia del Macizo de Santander. Durante este lapso la erosión remueve gran parte de la megasecuencia Cretácica, aportando el material que forma las diversas y potentes unidades terciarias (Clavijo y Royero, 2000).

Durante el Mioceno Medio, se inicia el levantamiento generalizado de la Cordillera Oriental Colombiana. En el Mioceno Medio-Superior se produce una fase de compresión más intensa, formándose en la parte occidental del “supraterreno de la Cordillera Oriental”, una cadena plegada cabalgante con vergencia al occidente (Fabre, 1983, en Clavijo y Royero, 2000) y un sistema de cabalgamiento en la parte oriental con vergencia al oriente (bloque de Pamplona). Esto hace que el “Terreno Santander” se comporte como un “horst” cuyos flancos oriental y occidental cabalgan sobre el “terreno Valle Medio del Magdalena” al occidente y “Terrenos Maracaibo y Llanos” al oriente (Fabre, 1983; Toussaint y Restrepo, 1989; Toussaint, *et al.*, 1992, en Clavijo y Royero., 2000).



Durante el Mioceno Superior y el Plioceno, la Falla Bucaramanga – Santa Marta tuvo su desplazamiento de rumbo sinistral de aproximadamente 100 Km. (Boniet *et al.*, 1989 en Clavijo y Royero, 2000) (Figura 4).

La última fase compresiva en la cordillera oriental se produce desde el Mioceno Superior y se continúa hasta el presente (Boniet *et al.*, 1985 en Clavijo *et al.*, 2000), generada por el desplazamiento de la placa Suramericana hacia el occidente. En el Mioceno Inferior-Plioceno-Pleistoceno se deposita la secuencia molásica del Grupo Real. Entre el Pleistoceno y el Holoceno, se producen grandes depósitos fluviales semiconsolidados y pequeños depósitos glaciares, destacándose los que cubren el Valle Medio del Magdalena y los que constituyen la Meseta de Bucaramanga (Clavijo y Royero, 2000).



4. ANALISIS GEOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO

4.1 LITOESTRATIGRAFIA

El análisis geológico a continuación se realizó para las dos áreas de estudio (Trigueros y Río Blanco) dependiendo de las unidades que afloraban en cada una de las zonas y teniendo en cuenta la importancia que se tiene de la Formación Umir; por lo tanto solo se realizará una descripción detallada para esta unidad con las secciones levantadas en cada zona y para las unidades restantes se remitirá al marco geológico regional. (Figura 3)

La Formación Umir consiste de una secuencia monótona compuesta por shales gris medio finamente laminados intercalados con arcillolitas masivas gris claras, con algunos niveles de areniscas cuarzosas de grano fino a muy fino y niveles de shales carbonosos, al igual que unos niveles de carbón de pocos cms a 2 metros de espesor, especialmente hacia la parte superior de las secciones (Figura 5).

Los niveles de shales gris claros con intercalación de arenisca predominan en la mayoría de las secciones (Figura 6). Los niveles de arenisca se componen principalmente de areniscas cuarzosas de grano muy fino, bien sorteadas, con granos subredondeados y cemento silíceo. A medida que se acerca al contacto Terciario, estos niveles aumentan su espesor y se intercalan con shales y arcillolitas en menor proporción; asociados a estos niveles se encuentra material de composición ferruginosa en forma de pequeños nódulos.

En cuanto a la nomenclatura de las capas de carbón, se llamarán laminas a aquellos niveles con espesores entre 0.1 y 0.29 metros; capas a aquellos con



espesores entre 0.3 y 0.49 metros; cintas a los niveles con espesores entre 0.5 y 0.69 metros y mantos a aquellos con espesores mayores o iguales a 0.7 metros.

Figura 5. (Fotografía 1). Panorámica general de la Formación Umir. Quebrada Mata de Cacao. Intercalaciones de shales, arcillolitas, areniscas, shales carbonosos y delgadas capas de carbón.



Figura 6. (Fotografía 2). Shales grises a negros, arcillolitas grises a gris oscuras, con nódulos ferruginosos, intercalaciones de areniscas. Formación Umir. Quebrada Mata de Cacao.



4.1.1 Área Trigueros

Las rocas sedimentarias que afloran en el área de Trigueros varían en edad desde el Cretáceo Superior (Formación Umir) hasta el Terciario Inferior (Formaciones Lisama y La Paz) (Anexo A).

Para la Formación Umir en esta zona, se realizó una sección de 362,25 metros sobre la Quebrada Mata de Cacao que tiene como coordenadas de partida a $X=1.274.700$ y $Y=1.080.475$, a la altura del puente del mismo nombre en la vía Bucaramanga – Barrancabermeja.

La sección esta constituida por shales gris oscuros a medios y gris claros a medios, arcillolitas, areniscas de grano muy fino a medio y shales carbonosos, así como también algunos mantos de carbón (Anexo C).



La mayor parte de la sección (aproximadamente 62%) esta constituida por shales gris oscuros a medios físisles, finamente laminados con intercalaciones de capas de arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino, granos subredondeados y cemento silíceo. Estas capas tienen un color amarillo crema y presentan laminación plana paralela continua.

Estos paquetes de shales intercalados con arenisca varían entre espesores de metros a centímetros. Las capas de areniscas tienen espesores de algunos centímetros y aumentan a medida que se acercan al contacto terciario.

En cuanto a la facies de shales gris claros y arcillolitas clara, constituyen el 21% de la sección levantada, se caracteriza por paquetes masivos de colores grises claros. Incluye la presencia de capas de 7 u 8 metros hasta algunos centímetros. La presencia de algunos minerales de hierro y fractura concoidea es típica en estos paquetes rocosos.

Se encuentra distribuida a lo largo de la sección con un mayor predominio hacia la parte baja y media de la sección.

Los niveles de shale carbonoso y carbón constituyen aproximadamente el 13 % de la sección. Su color varía de negro grisáceo a negro oscuro. Se encontraron entre los niveles de shale con intercalaciones de arenisca fina.

Los niveles de shales carbonoso presentan un alto grado de meteorización.

En cuanto a los niveles de carbón de la sección se pudieron reconocer 22 niveles de carbón de los cuales 6 se clasifican como láminas, 6 son capas, 7 se clasifican como cintas y 3 como mantos de acuerdo a los parámetros establecidos al



comienzo del capitulo (Anexo C). Como dato cabe resaltar el alto grado de meteorización y contenido de azufre (Figura 7).

Se encuentran distribuidos a lo largo de la sección, con un mayor predominio hacia la parte media y superior; sus características litológicas sugieren que se depositaron en un ambiente hidrodinámico de muy baja energía de aguas tranquilas.

(Nota: Los carbones se caracterizarán macroscópicamente en el capitulo 5 de este trabajo).

Figura 7. (Fotografía 3). Nivel de carbón de 0.4m de espesor (capa), ubicado en la parte baja de la sección. Área Trigueros. Quebrada Mata de Cacao, 0.8 Km al norte del puente.





4.1.2 Área Río Blanco

Para esta zona las rocas sedimentarias aflorantes tienen un rango de edad desde el Cretáceo medio (Formación La Luna) hasta el Terciario Superior (Grupo Real) con una discordancia hacia el Terciario inferior (Anexo B).

En esta zona se realizaron dos secciones; Sección Norte con coordenadas de partida X = 1.210.947, Y = 1.037.033 y Z = 316 y Sección Sur con coordenadas de partida X = 1.210.410, Y = 1.035.151 y Z = 201.

Las secciones presentan la misma constitución que la sección Mata de Cacao de la zona Trigueros; shales gris oscuros a medios y gris claros a medios, arcillolitas, areniscas de grano muy fino a medio, shales carbonosos y capas de carbón (Anexo D).

Un 48% de la sección Norte y un 55% (aproximadamente) de la sección Sur están constituidas por shales gris oscuros a medios físis, finamente laminados con intercalaciones de capas de arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino, granos subredondeados y cemento silíceo. Estas capas tienen un color amarillo crema y presentan laminación plana paralela continua; presentan las mismas características en cuanto a sus espesores como sedimentarias que las de la sección Mata de Cacao.

En cuanto a la facies de shales gris claros y arcillolitas clara, constituyen el 12% de la sección Norte y 9% de la sección Sur, se caracteriza por paquetes masivos de colores grises claros. Incluye la presencia de capas de 7 u 8 metros hasta algunos centímetros. La presencia de algunos minerales de hierro y fractura concoidea es típica en estos paquetes rocosos.



Los niveles de shale carbonoso y carbón constituyen aproximadamente el 40% de la sección Norte y el 36% de la sección sur. Su color varía de negro grisáceo a negro oscuro. Se encontraron entre los niveles de shale con intercalaciones de arenisca fina (Anexo D). Estos niveles de shale carbonoso, a diferencia de la sección Mata de Cacao, no presentan meteorización alta.

En cuanto a los niveles de carbón de la sección Norte se pudieron reconocer 14 niveles de carbón de los cuales 5 se clasifican como láminas, 1 como capa y 8 como mantos (Figura 8); y de la sección Sur se identificaron 13 niveles de carbón, de estos, 3 son láminas, 3 se llamarán capas, 3 se clasifican como cintas y 4 como mantos. Esta clasificación se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos al comienzo del capítulo.

Figura 8. (Fotografía 4). Nivel de carbón de 1.0m de espesor (manto), ubicado en la parte media de la sección sur. Área Río Blanco. Quebrada la Colorada.





(Nota: Los carbones se caracterizarán macroscópicamente en el capítulo 5 de este trabajo).

Los niveles de carbón se encuentran distribuidos a lo largo de las dos secciones equitativamente por cada una de estas; sus características litológicas sugieren que se depositaron en un ambiente de muy baja energía de aguas tranquilas.

4.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Para estudiar los fenómenos estructurales se debe tener en cuenta la escala de las mismas estructuras. Así podemos clasificar los métodos de estudio en directos e indirectos.

Los métodos directos consisten en observar directamente en campo o en muestra de mano los fenómenos existentes, incluyen cualquier descripción de la morfología. La representación de la información se realiza en mapas diagramas, etc.

Los fenómenos estructurales se estudian básicamente analizando la relación espacial existente entre los elementos lineares y planeares que los constituyen, así como también los aspectos mecánicos y causantes de la deformación estructural de las rocas.

El interés radica principalmente en el conocimiento de la forma, extensión y distribución de las fracturas presentes en el área, dejando de lado los aspectos mecánicos y causantes de la deformación. Para cumplir con este objetivo inicialmente se realizó un estudio fotogeológico y de la red de drenaje, así como un análisis de la topografía, temas que se tratarán en este capítulo.



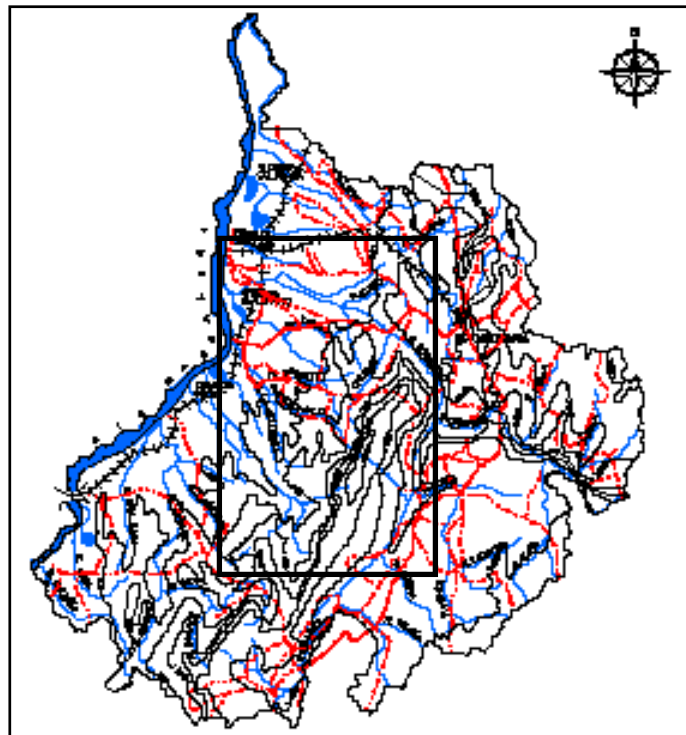
4.2.1 Análisis de Mapas Topográficos

Este análisis se realizó con las planchas topográficas 120-I-B, 134-IV-A y 134-IV-C del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, y con la base topográfica a escala 1:25.000 de las zonas de Trigueros y Río Blanco respectivamente.

De este análisis se concluye: (la topografía, representada por las curvas de nivel se pueden observar en los Anexos A y B).

-Las curvas de nivel presentan una dirección predominante y concordante con el rumbo regional para las dos áreas de estudio; NE-SW. La topografía esta controlada estructuralmente por la dirección general por el Sistema de Fallas de La Salina (NE-SW) y localmente esta desplazada por fallas de rumbo (Figura 9).

Figura 9. Mapa de Topografía, Hidrología y de Vías del Departamento de Santander. Tomado y modificado de Clavijo y Royero, 2000.





-La dirección de los ejes de los cerros es una, una dirección principal NE-SW, que se observa claramente en el sector de mayores alturas de las dos áreas. Esta dirección es paralela al Sistema de Fallas de La Salina. Para el área de Río Blanco se presenta una dirección aproximadamente N-S en algunos cerros al NW de la zona.

4.2.2 Análisis Fotogeológico

En esta etapa del proyecto se tuvieron los siguientes objetivos: Identificar fotogeológicamente unidades litológicas, establecer fotogeológicamente el patrón estructural del área, identificar vías de acceso, identificar los drenajes, todos ellos encaminados a tener una comprensión inicial del comportamiento estructural del área de estudio.

Las fotografías aéreas utilizadas son los números 133 - 134 - 135 del vuelo C-207 para la zona de Trigueros y para la zona de Río Blanco los números 211 - 212 - 213 del vuelo C-2184 del IGAC.

En este estudio se prestó especial atención a los lineamientos (fallas, fracturas en general), que se trazaron según los criterios y parámetros convencionales de la fotogeología para análisis estructurales, como son: control estructural de la red hidrográfica (drenajes rectos, angularidad de la red fluvial, deflexión de drenajes principales y secundarios etc.), escarpes de falla, cambios de pendiente, colinas alineadas, facetas triangulares, sillares de falla, ganchos de falla, trinchera de falla, valles lineales, lomos de presión y charcas de falla.

4.2.2.1 Área Trigueros

Para la zona de Trigueros se reconocieron dos direcciones principales de lineamientos fotogeológicos, las cuales se correlacionaron con fallas principales durante la etapa de campo. La primera dirección es aproximadamente NE-SW, la



cual coincide con el Sistema de Fallas de La Salina, estas fallas se reconocen fotogeológicamente por los escarpes de falla, drenajes rectos, cambios de pendiente y sillars de falla.

La segunda dirección (NW-SE) no fue correlacionada en campo con ninguna falla principal, fotogeológicamente se identifica por la dirección del Río Sogamoso, algunas colinas desplazadas y algunos deslizamientos.

4.2.2.2 Área Río Blanco

En el área de Río Blanco se reconocieron dos direcciones principales de lineamientos fotogeológicos, las cuales se correlacionaron con fallas principales durante la etapa de campo.

La primera dirección es NE-SW, la cual coincide con las fallas paralelas al trazo del Sistema de Fallas de La Salina, estas fallas paralelas se reconocen fotogeológicamente por los escarpes de falla y colinas alineadas. La segunda dirección es aproximadamente N-S y corresponde a cambios locales en la dirección en al trazo del SFLS, la cual se reconoce fotogeológicamente por la dirección de la red fluvial, dirección de cerros y valles lineales.

4.2.3 Marco Tectónico Regional

La provincia del Valle Medio del Magdalena está caracterizada tectónicamente por un estilo estructural de plegamiento donde las estructuras anticlinales y sinclinales son amplias y suaves, limitadas por fallas inversas escalonadas, con inclinación preferencial hacia el oriente.

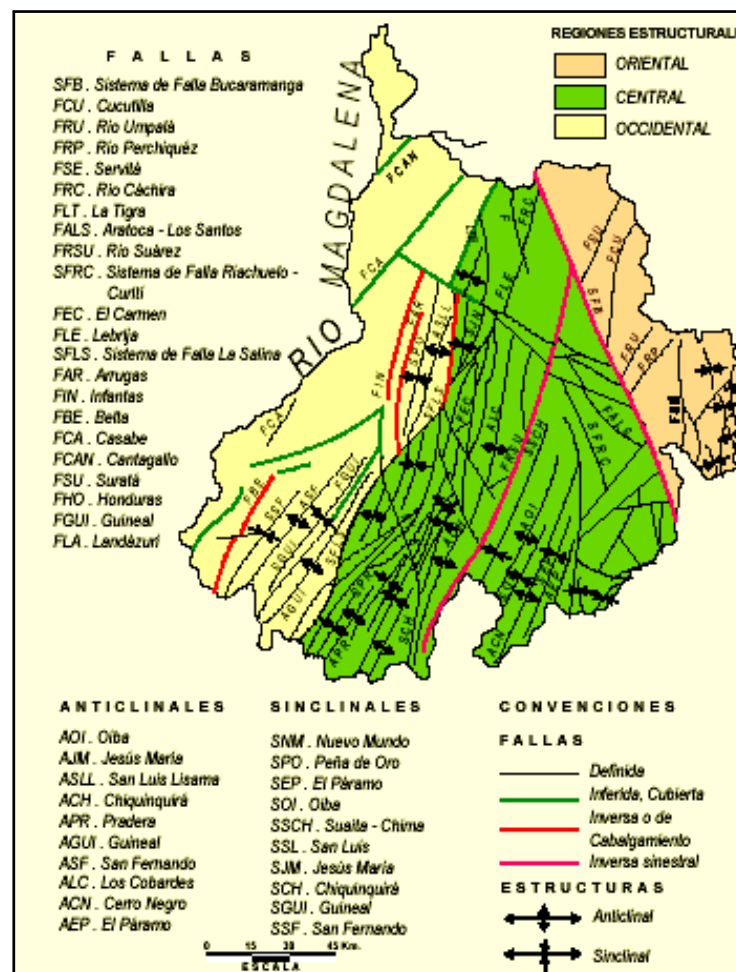
Corresponde a la región occidental estructural del Departamento de Santander, hundida y moderadamente deformada. Se encuentra representada por rocas cretácicas, terciarias y está cubierta en un 65% por sedimentos recientes. Esta



provincia se encuentra limitada al oriente por la Falla La Salina y al occidente (fuera del área del Departamento de Santander) por las fallas Mulatos y Morales.

En cuanto a las dos zonas de estudio, estructuralmente se encuentran afectadas por el Sistema de Fallas de La Salina, el cual es producto del ambiente tectónico compresivo regional, resultado del choque entre las placas del Caribe y Suramericana.

Figura 10. Esquema estructural del Departamento de Santander. Modificado de Clavijo y Royero et al.





La **Falla de La Salina** se encuentra localizada al occidente del Departamento de Santander; su dirección regional es NE-SW, pero localmente varía a NS y NW, pudiéndose reconocer su longitud desde su límite con Boyacá al sur hasta el norte del departamento (Figura 10).

Es una falla inversa de ángulo alto, inclinada al oriente y también tiene desplazamiento de rumbo lateral derecho (INGEOMINAS, 1988), la cual constituye el límite entre el Valle Medio del Magdalena y la Cordillera Oriental.

Al oriente de su trazo se presentan rocas del Cretácico superior y al occidente está en contacto con rocas terciarias; se calcula un salto hasta de unos 1200 m en el contacto entre las formaciones Umir y Lisama, según Ward, et al. (1973). Esta falla está desplazada a la izquierda por la Falla de Landázuri.

4.2.4 Marco Tectónico Local

Las zonas de estudio hacen parte de la zona baja de las cuencas de los Ríos Opón y Sogamoso que a su vez se encuentran en la cuenca del Valle Medio del Magdalena.

Desde el punto de vista estructural estas zonas se caracterizan por la presencia de fallas inversas de tipo lístrico de ángulo agudo hacia el oriente (Anexos E y F) con dirección predominantemente NE – SW y alguna de tipo transcurrente con dirección NW – SE (Anexo A y B).

En la zona de Río Blanco se puede apreciar parte de una gran estructura anticlinal regional, que presenta una inversión de su flanco oeste. La principal evidencia para considerar la estructura anticlinal se basa en la presencia de la Formación Umir en ambos flancos de la estructura y por su eje conformado por la Formación La Luna; está afectado en ambos flancos por las fallas que se aprecian en la zona.



La dirección del eje es aproximadamente N 30°-40° E, nótese que presenta la dirección regional del SFLS.

Estos rasgos estructurales en ambas zonas, se originaron a principios del Jurásico, con el inicio de un proceso de formación de la cuenca del Valle del Magdalena Medio. Este proceso se inicia en una franja estrecha de sedimentos Jurásicos que por esfuerzos distensivos, empiezan a hundirse en bloques escalonados siguiendo un patrón en zig-zag, limitado por dos sistemas de fallas, N-NE y otro NW-SE que lo desplaza, provocado por un fallamiento normal. Fue así como aparecen sistemas de fallas como La Salina de tipo lístrico y Bucaramanga – Santa Marta de tipo rumbo deslizante.

En el Cretácico tardío y comienzos del Terciario, se produce el retiro del mar, tiempo en el cual termina la larga etapa distensiva y se produce una inversión de esfuerzos; es en esta fase cuando se desarrolla aún más el Sistema de Fallas de la Salina con rasgos inversos y rumbo deslizantes. Esta fase tiene una duración hasta el Mioceno medio-tardío el cual da paso a una segunda fase de compresión más intensa, y se forma en la parte occidental del “supraterreno de la Cordillera Oriental” una cadena plegada cabalgante con vergencia al occidente (Fabre, 1983, en Clavijo y Royero, 2000). Esto hace que el “terreno Santander” se comporte como un horst cuyo flanco oriental cabalga sobre el “terreno Valle Medio del Magdalena” al occidente.

La última fase compresiva en la cordillera oriental se produce desde el Mioceno Superior y se continúa hasta el presente.

Durante la compresión miocena, numerosas fallas se removilizaron con movimientos inversos que levantaron o hundieron grandes bloques. Así, la falla de



la Salina cabalga las unidades cretácicas de la Cordillera Oriental sobre las formaciones cenozoicas del Valle del Río Magdalena.

El desarrollo del Sistema de Fallas de la Salina se ha dado en las dos zonas desde finales del cretácico hasta el presente, por lo cual en ambas zonas se han visto afectadas tanto las rocas del cretácico como las rocas del terciario, y es por tanto que se calcula un salto tan grande para este sistema de fallas.

4.2.5 Descripción de Fallas

Entre las fallas de primer orden identificadas en el área de estudio, se destaca el Sistema de Fallas de La Salina (SFLS).

Dentro de este sistema se pudieron reconocer las siguientes fallas en la zona de **Trigueros:**

4.2.5.1 Falla Capitanes: Es una falla de tipo inverso con una dirección N 20°-40° E con buzamiento de alto ángulo hacia el este. Esta falla se encuentra desestabilizando la vía que conduce a Barrancabermeja en el sitio llamado “Paso Malo” (Figura 11).

4.2.5.2 Falla Las Cruces: Es una falla de tipo inverso con buzamiento de alto ángulo (aproximadamente 60°) hacia el este y con una dirección N 35°-45° E. Hacia la parte sur de la zona se encuentra como contacto fallado entre las Formaciones Lisama y La Paz, a medida que la falla viaja hacia el norte fractura la Formación Umir.



Figura 11. (Fotografía 5). Falla Capitanes. Obsérvese el deterioro de la vía que conduce a Barrancabermeja en el sitio llamado “Paso Malo”.

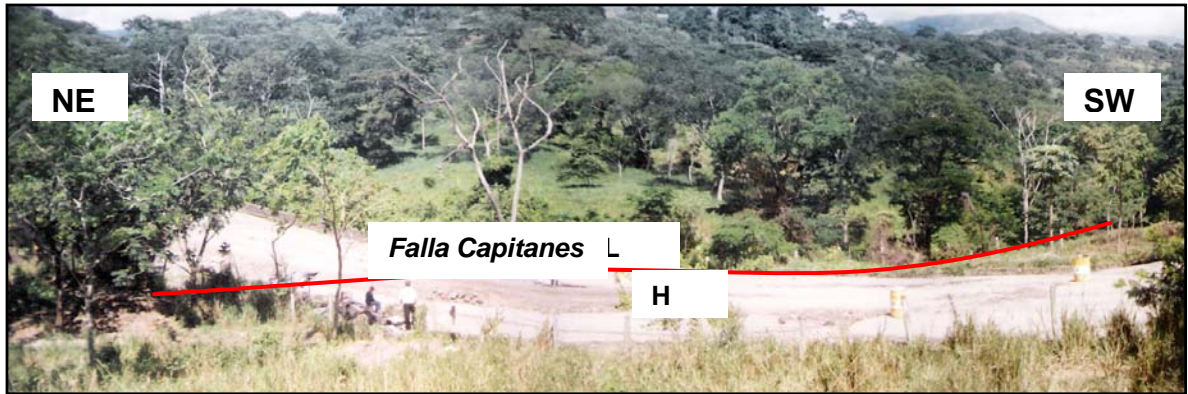
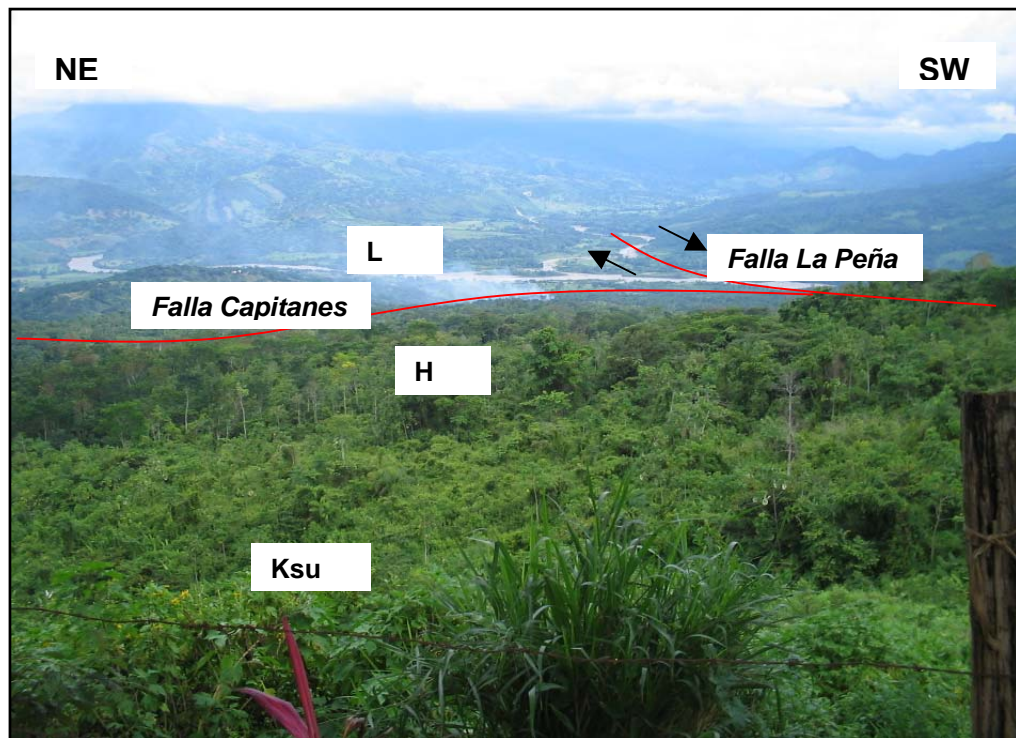


Figura 12. (Fotografía 6).Falla La Peña. Se encuentra en el extremo suroeste de la zona y sigue parte de la dirección del Río Sogamoso.



4.2.5.3 Falla La Peña: Es una falla de rumbo con desplazamiento dextral y dirección N 10°-20° W. Su trazo es sobre el Río Sogamoso y se evidencia claramente por el desplazamiento de los cerros pertenecientes a la Formación Lisama (Figura 12).

En la quebrada Mata de Cacao se presentan pliegues que se asocian al alto de grado de deformación de la zona. Estos pliegues ayudan a corroborar el tipo de fallas y esfuerzos presentes en la zona (Figura 13 y 14)

Figura 13. (Fotografía 7). Falla Inversa de ángulo agudo localizada en la Quebrada Mata de Cacao.

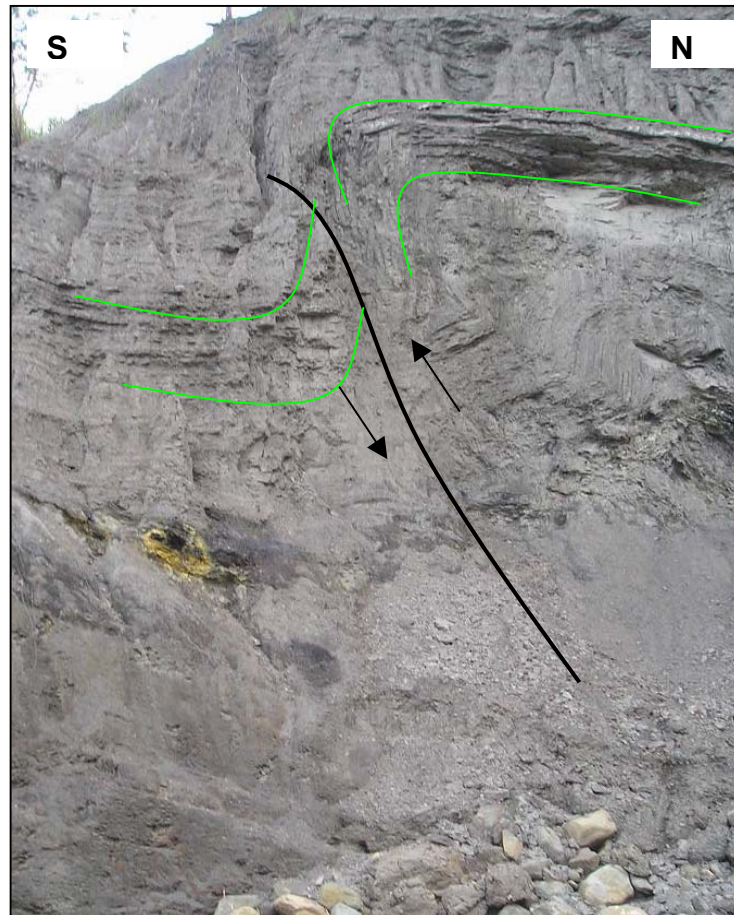


Figura 14. (Fotografía 8). Pliegue de la Formación Umir localizado en la Quebrada Mata de Cacao.



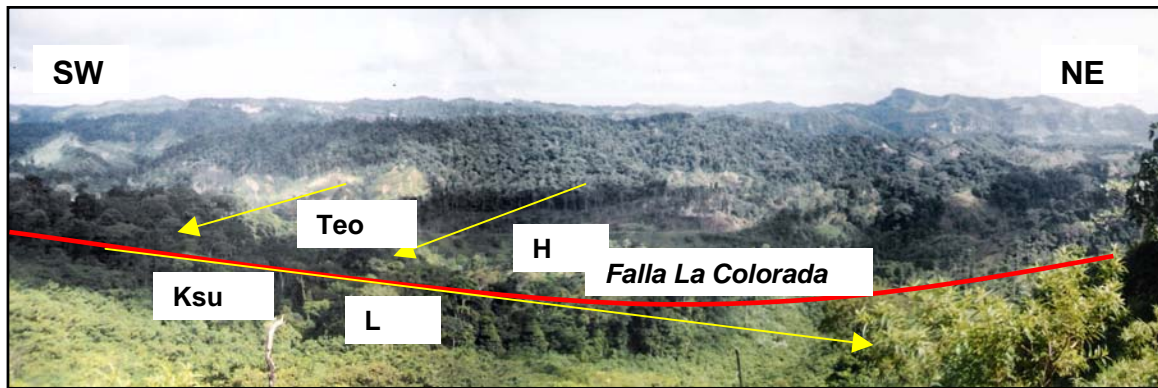
Para la Zona de **Río Blanco** se identificaron 5 fallas pertenecientes al SFLS las cuales se describen a continuación:

4.2.5.4 Falla La Colorada: Es una falla de tipo inverso con buzamiento de 75° hacia el oeste y con una dirección N 30° - 40° E. Se encuentra separando la Formación Umir y rocas Terciarias (Formaciones Real, Mugrosa y Colorado). Se define fácilmente por el cambio brusco en la dirección de los cerros de edad terciaria. Su dirección esta dada por la Quebrada que da su nombre. (Figura 15)

4.2.5.5 Falla 2: Es una falla de tipo inverso con buzamiento aproximado de 50° hacia el este y con una dirección N 35° - 45° E. Se encuentra como contacto fallado entre las Formaciones Umir (Miembro Medio y Superior) y La Luna (Miembro Galembo) Hacia el norte de la zona toma un pequeño cambio local en la dirección.

4.2.5.6 Falla 3: Falla de tipo inverso con buzamiento de alto ángulo hacia el este y con una dirección N 35° - 45° E. Se encuentra como contacto fallado entre la Formación La Luna (Miembro Galembo) y la Formación Umir (Miembro Inferior).

Figura 15. (Fotografía 9). Falla La Colorada. Contacto entre rocas Terciarias y Cretácicas. Nótese el cambio en la dirección de los cerros.



4.2.5.7 Falla 4: Es una falla de tipo inverso con buzamiento aproximado de 55° hacia el este y con una dirección N 35° - 45° E. Se encuentra sobre el contacto entre las Formaciones Umir (Miembro inferior) y La Luna (Miembro Pujamana y Salada).

4.2.5.8 Falla 5: Es una falla de tipo inverso con buzamiento de alto ángulo hacia el este y con una dirección N 50° - 55° E. Se encuentra hacia la parte sureste de la zona como contacto fallado entre las Formaciones La Luna y Umir. A diferencia de las fallas anteriores esta es subparalela a las demás.

Todas estas fallas de las zonas de estudios se han analizado y gracias a algunos cortes y datos geológicos y se ha podido establecer que pertenecen a un sistema de fallas lístricas del SFLS.



La Falla de La Salina, de dirección aproximada N 30°-40° E y comportamiento inverso con ángulo alto, se reconoce en las dos zonas por algunos rasgos geomorfológicos como:

Escarpe de falla (Fault Scarp). Se manifiesta con un cambio abrupto en la pendiente del terreno. Este rasgo puede haber sido el producto del movimiento diferencial en la vertical.

Sillas de Falla (Fault Saddle). Consiste en una depresión o punto de quiebre en el perfil topográfico del área.

Deflexión de Drenajes (Flexure Stream). Drenajes de primer o segundo orden que cambian abruptamente de dirección; en ambas zonas la mayoría de las quebradas toman un rumbo NE o SW.

En la Zona de Río Blanco se aprecian fallas de tipo inverso que afectan las unidades terciarias y presentan una dirección aproximadamente NS pero pertenecientes al SFLS.

Otras fallas identificadas en el terreno (especialmente en el Área de Trigueros), de carácter transcurrente, se encuentran orientadas aproximadamente EW y se reconocen fácilmente por:

Ganchos de Falla (Displaced Ridge). Consiste en cerros desplazados con respecto al eje de la divisoria de aguas principal; la ubicación de los cerros puede indicar, el sentido del desplazamiento. En la zona se pueden identificar en la parte SW, sobre el Río Sogamoso; la disposición de los cerros (Formación Lisama), indican el movimiento dextral de la falla.



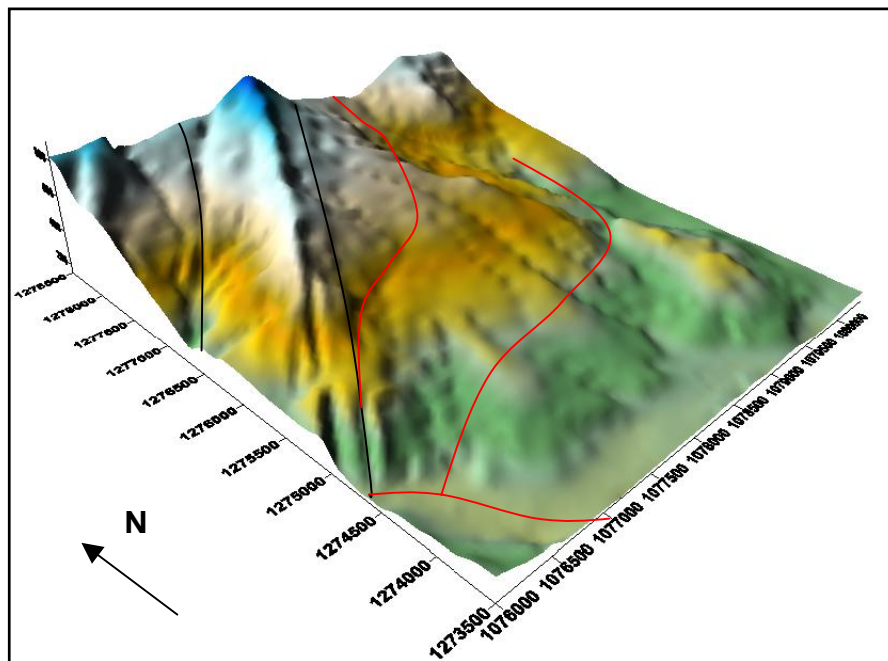
4.3 GEOMORFOLOGIA

4.3.1 Área Trigueros

La morfología del terreno es de alta pendiente. La formación de cerros alineados en dirección NE-SW, hacen parte de la dirección del sistema de fallas que afectan la zona, donde las aguas drenan en esta dirección cayendo sobre el río Sogamoso, el cual, es el cauce principal hacia la parte baja de la zona (Figura 16).

Allí otras geofomas empiezan a encontrarse donde la pendiente ya se hace más suave, presentándose colinas redondeadas y sillas de falla limitadas por una red densa de drenajes subparalelos y con forma de “ganchos” lo que hace pensar en un área fallada.

Figura 16. Imagen Tridimensional del área de Trigueros mostrando las diferentes características geomorfológicas del terreno.





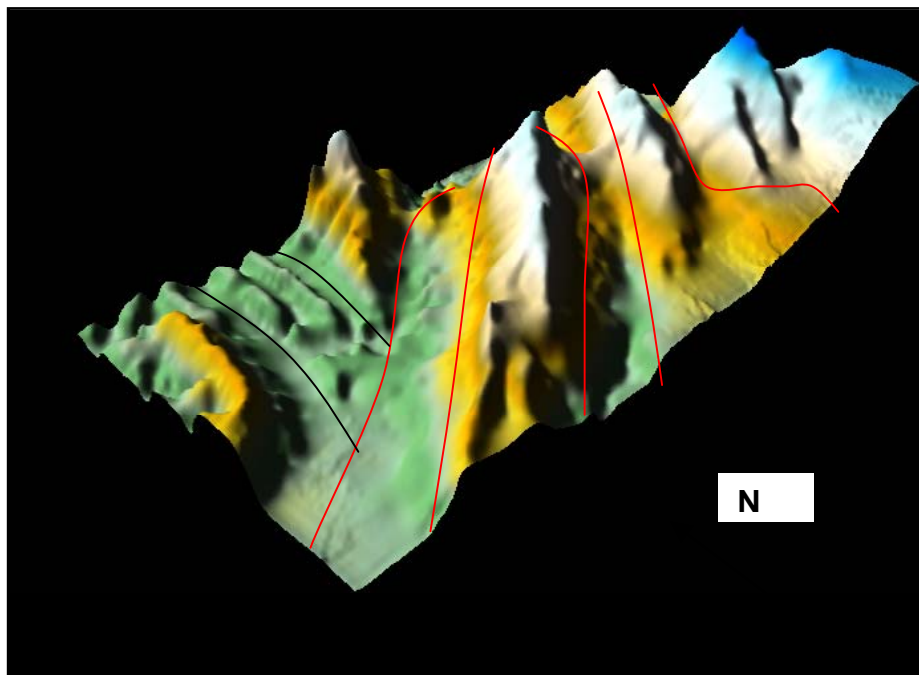
Precisamente estos fallamientos son la causa de que la zona presente deslizamientos planares y rotacionales sucediéndose además fenómenos locales de remoción en masa tipo reptación, terracetas y algunos derrumbes ocasionales.

4.3.2 Área Río Blanco

En la zona de Río Blanco la morfología del terreno es también de alta pendiente. En la zona central y oriental de la zona se pueden apreciar formación de cerros alineados en dirección NE-SW siguiendo la dirección de las fallas de la zona (Figura 17).

Hacia el Oeste, tanto la litología como la dirección de los cerros vuelve a cambiar, ahora presentando unidades resistentes y con una dirección aproximadamente N-S, con un drenaje ya no tan denso pero desembocando en los drenajes principales Río Blanco o Río Opón.

Figura 17. Imagen Tridimensional del área de Trigueros mostrando las diferentes características geomorfológicas del terreno.





En general, el sistema montañoso esta regido por colinas y montañas estructurales plegadas combinadas con un sistema denudativo fluvio-gravitacional.



5. CARACTERIZACION MACROSCOPICA Y MICROSCOPICA DE LOS CARBONES DE LA FORMACION UMIR

5.1 DESCRIPCION MACROSCOPICA

Litotipos y microlitotipos

Los macerales son la fábrica principal de los bloques en una veta de carbón, y no aparecen aislados, ellos están asociados con otros en diferentes proporciones y con cantidad variable de materia mineral, el resultado visible por el cual el carbón tiene un aspecto bandeado o rayado. Estas asociaciones se llaman litotipos y microlitotipos, la diferencia entre ellos es en materia de escala, *litotipos* son distinguidos a nivel macroscópico en espécimen de mano, y los *microlitotipos* como su nombre lo indica son identificados microscópicamente.

El término litotipo se emplea para designar las diferentes bandas de los mantos de carbón identificables macroscópicamente. Estos litotipos presentan características diferentes según la naturaleza, las condiciones de depositación y la extensión de la alteración bioquímica durante la carbonificación de los diferentes componentes de las plantas originales, lo cual determina el tipo de carbón.

Teniendo en cuenta la importancia de los litotipos y el papel que juegan en la clasificación de los carbones (Figura 18), se ha podido establecer una clasificación para los carbones tanto del área de Trigueros como de Río Blanco.

La descripción de los litotipos en un manto de carbón es importante ya que:



- ✓ Los litotipos permiten identificar y correlacionar un manto, puesto que las bandas en el carbón generalmente tienen una extensión lateral muy considerable por delgadas que estas sean.
- ✓ Los litotipos están relacionados con los ambientes de sedimentación del carbón.

Figura 18. Clasificación de carbones en muestra de mano de acuerdo a las características de los litotipos presentes.

Divisions after Stopes	Divisions as used for Australian coals	Description
Vitrain	Bright coal	Subvitreous to vitreous lustre, or conchoidal fracture <10 per cent dull
	Banded bright coal	Bright coal with some thin dull bands 10-40 per cent dull
Clarain	Banded coal	Bright and dull coal bands in equal proportion 40-60 per cent dull
	Banded dull coal	Dull coal with some thin bright bands 10-40 per cent bright
Durain	Dull coal	Matt lustre, uneven fracture <10 per cent bright
Fusain	Fibrous coal	Satin lustre, friable

LITOTIPOS DE LOS CARBONES HUMICOS

Los carbones presentan bandeamientos que usualmente se conocen como: Vitreno de bandas brillantes, Clareno de bandas semibrillantes, Dureno de bandas opacas y Fuseno el cual tiene apariencia de carbón vegetal.

Las intercalaciones de los diferentes litotipos en el manto producen los llamados "Carbones Bandeados".



Vitreno (carbón brillante): Es negro, brillo vítreo, frecuentemente se presenta muy diaclasado, rompe en forma de pequeños cubos, fractura concoidea característica. En la descripción macroscópica de mantos, el vitreno corresponde a capas de carbón muy brillantes de espesor de más de 10 milímetros, las bandas de menor espesor se incluyen dentro del clareno. Bajo el microscopio el vitreno está constituido por los micro-litotipos, vitrinita y clarita.

Las propiedades del vitreno varían con el grado de carbonificación y se observa que dentro del rango de los carbones coquizables, estas se relacionan con el contenido de vitreno.

El vitreno es el maceral más uniforme en pureza, puesto que contiene el mínimo de materia mineral.

Clareno: Este litotipo comprende las bandas muy finas que constituyen los carbones, pues su espesor es inferior a los 10 milímetros y tiene un brillo que varía entre el vitreno y el dureno.

El clareno es el constituyente más abundante en los carbones húmicos. Está formado por bandas alternas de vitreno, dureno y en ocasiones de fuseno. Visto al microscopio el clareno consta de los siguientes microlitotipos: vitrinita, clarita, durita, trimacerita y fusinita.

Dureno (carbón opaco): Varía de negro a gris, siempre mate, de apariencia grasosa, duro y consecuentemente se rompe en grandes bloques. Las superficies de sus fracturas son ásperas o rugosas. Sólo las bandas de espesor de más de 10 milímetros, se consideran como dureno y bandas más delgadas se consideran como clareno.



Las bandas de durenó son menos frecuentes que las de vitrenó y clarenó, pero en ocasiones pueden confundirse con arcillolitas finamente laminadas.

Fuseno: De apariencia muy similar al carbón vegetal, lustre sedoso, negro, frecuentemente fibroso y usualmente poco consolidado y friable.

En la mayoría de los casos, el fuseno se presenta en el manto en forma de lentes con algunos centímetros de grueso y de largo; es el componente “sucio” y el único constituyente del carbón que tizna los dedos.

El fuseno no es coquizable y generalmente presenta contenidos de poder calorífico y carbono fijo relativamente altos.

5.1.1 Área Trigueros

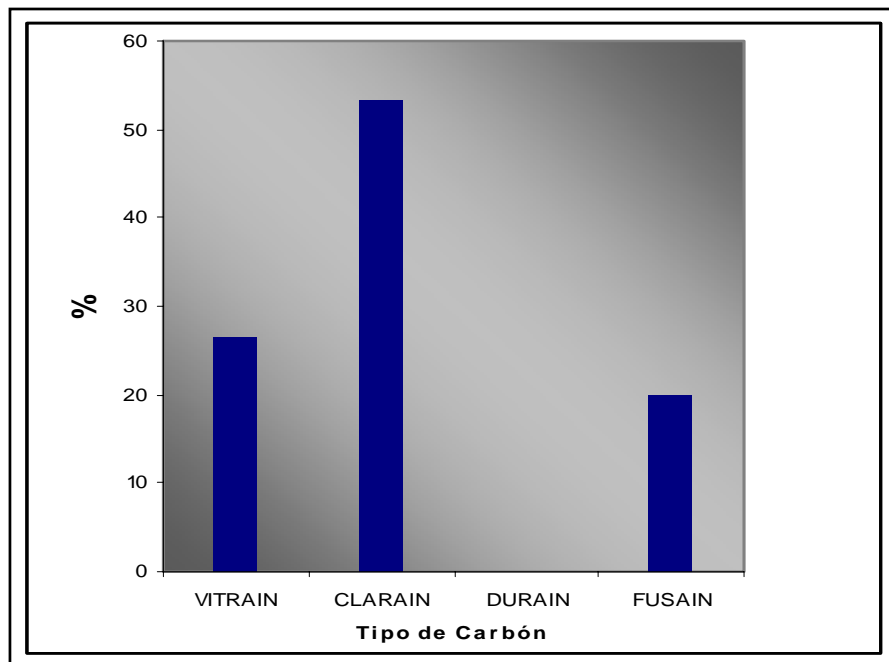
Tabla 1. Clasificación de carbones en muestra de mano para el área de Trigueros de acuerdo a las características de los litotipos presentes.

Muestra	Vitrain	Clarain	Durain	Fusain
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Los niveles de carbón estudiados macroscópicamente para la zona de Trigueros varían de semibrillante (Clareno) a Opaco (Fuseno), se caracterizan por un bandeamiento muy fino, con fractura ortogonal, irregular y fibrosa.

La mayoría de los niveles de la secuencia están caracterizados dentro del rango de los clarenos (Tabla 1). Cabe anotar que hacia la parte inferior de la sección (Muestra 1 y 2) los carbones tienden a ser más opacos o de tipo Fuseno y son aquellos que tienen un menor espesor; y a medida que se asciende en la sección el contenido del litotipo vitrinita en los niveles tanto el espesor es mayor.

Figura 19. Diagrama porcentual de los tipos de carbón según clasificación microscópica para el área de Trigueros.



Como observación se podría mencionar que tanto el grado de meteorización como el contenido de azufre en esta zona es elevado, índice de las características del ambiente de formación y actuales del carbón.



5.1.2 Área Río Blanco

Para la zona de Río Blanco los niveles de carbón estudiados macroscópicamente varían de brillante (Vitreno) a semibrillante (Clareno), presentan un bandeamiento de mayor espesor, con fractura concoidea, ortogonal e irregular.

Al observar la Tabla 2 se puede deducir que la mayoría de los niveles de la secuencia están caracterizados dentro del rango de los Vitrenos; que en la sección los carbones no presentan ninguna tendencia por encontrarse en la parte superior o inferior de la sección ni por su espesor.

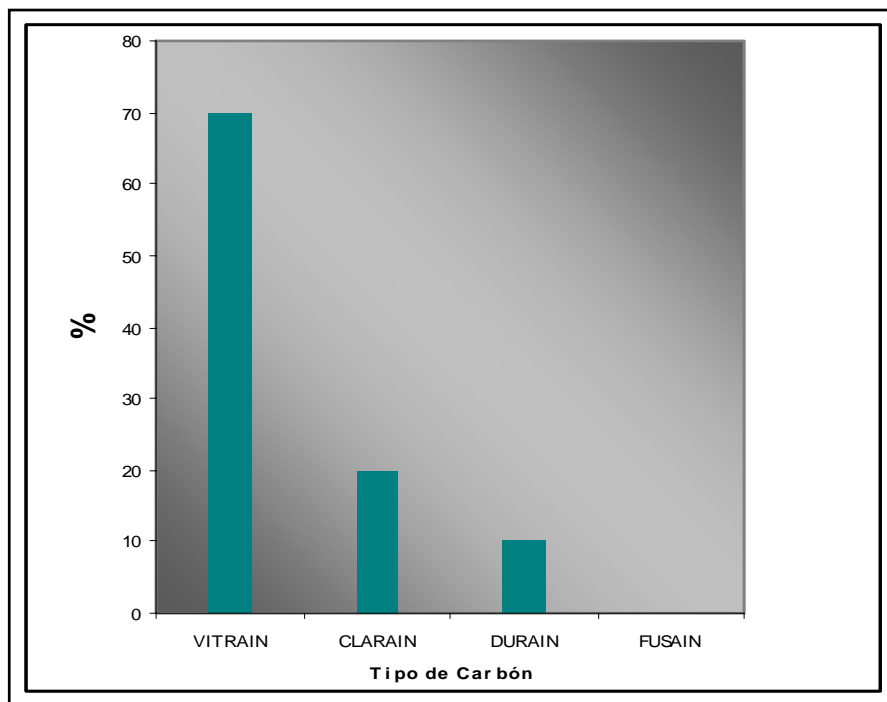
Tabla 2. Clasificación de carbones en muestra de mano para el área de Río Blanco de acuerdo a las características de los litotipos presentes.

Muestra	Vitrain	Clarain	Durain	Fusain
1	Black	White	White	White
2	Black	White	White	White
3	White	Black	White	White
4	White	White	White	White
5	Black	White	White	White
6	Black	White	White	White
7	Black	White	White	White
8	Black	White	White	White
9	Black	White	White	White
10	Black	White	White	White
11	White	Black	White	White
12	Black	White	Black	White
13	Black	White	White	White
14	Black	White	White	White
15	Black	White	White	White
16	White	White	Black	White
17	Black	Black	White	White
18	Black	White	White	White
19	Black	White	White	White
20	Black	White	White	White



A diferencia de los carbones de la zona de Trigueros la ausencia de carbones de tipo fuseno podría indicar alguna diferencia en el ambiente de formación de estos carbones, ya sea la temperatura, la presión o el lugar de formación de estos carbones.

Figura 20. Diagrama porcentual de los tipos de carbón según clasificación microscópica para el área de Río Blanco.



Estas muestras son representativas de cada nivel de carbón como se relaciona en las secciones levantadas en cada una de las áreas (Anexos C y D).



6. GEOLOGIA ECONOMICA

Antes de evaluar el potencial carbonífero en las áreas de Trigueros y Río Blanco, es conveniente aclarar algunos de los términos utilizados con tal propósito.

6.1 RECURSOS Y RESERVAS

Para caracterizar, evaluar y cuantificar los carbones Colombianos se siguen los conceptos y la terminología utilizados por Ingeominas (ECOCARBON, 1996).

- Recursos

Son todos los niveles carboníferos cuya explotación económica es actual o potencialmente factible.

- Reservas

Porción de los recursos identificados cuya explotación es económicamente factible en el momento de la evaluación del yacimiento.

- Reservas medidas o probadas

Son las reservas cuya calidad y cantidad se han demostrado mediante muestreo, análisis y mediciones de afloramientos, trincheras, explotaciones y perforaciones. Los puntos de observación o de control están bien establecidos, el espesor y extensión de los mantos están plenamente definidos.

- Reservas indicadas o probables



Son reservas cuya calidad y cantidad se han definido, en parte por medio de análisis de muestras y mediciones además de proyecciones e interpretaciones geológicas razonables. Los puntos de observación, muestreo y medición están más separados; el grado de certeza es lo suficientemente alto como para asumir continuidad entre los puntos de observación.

- Reservas demostradas

Término clasificativo que se utiliza para agrupar las reservas medidas e indicadas.

- Reservas inferidas

Su estimación se basa en el conocimiento geológico del área y donde las mediciones son escasas. Las reservas inferidas pueden estar o no sustentadas por muestras o mediciones.

6.2 METODOLOGIA

Para el cálculo de reservas del carbón presentes en las zonas de estudio se utiliza el método geométrico (ECOCARBON, 1996), teniendo en cuenta las áreas solicitadas y otorgadas a INGENINERA LTDA. y los datos obtenidos para los mantos de carbón de cada área.

Se deben considerar los siguientes parámetros:

- a. Continuidad lateral del manto(s) de carbón. Esta continuidad depende del tipo de reserva (medida, indicada e inferida) a calcular (Figura 21):



- Medidas: Los puntos de información distan hasta 500 metros uno del otro; esto equivale a una distancia de 250 metros contados a partir de un punto de información.
 - Indicadas: Los puntos de información distan 500 Y 1500 metros uno del otro; esto equivale a una distancia de hasta 500 comprendida entre los 250 y 750 metros contados a partir de un punto de información.
 - Inferidas: Los puntos de información distan 1500 Y 4500 metros uno del otro; esto equivale a una distancia de hasta 1500 comprendida entre los 750 y 2250 metros contados a partir de un punto de información.
- b. Espesor del manto(s) en cada bloque.
- c. Densidad del carbón (1.3 ton/m³).

6.2.1 Definición de las áreas de cálculo

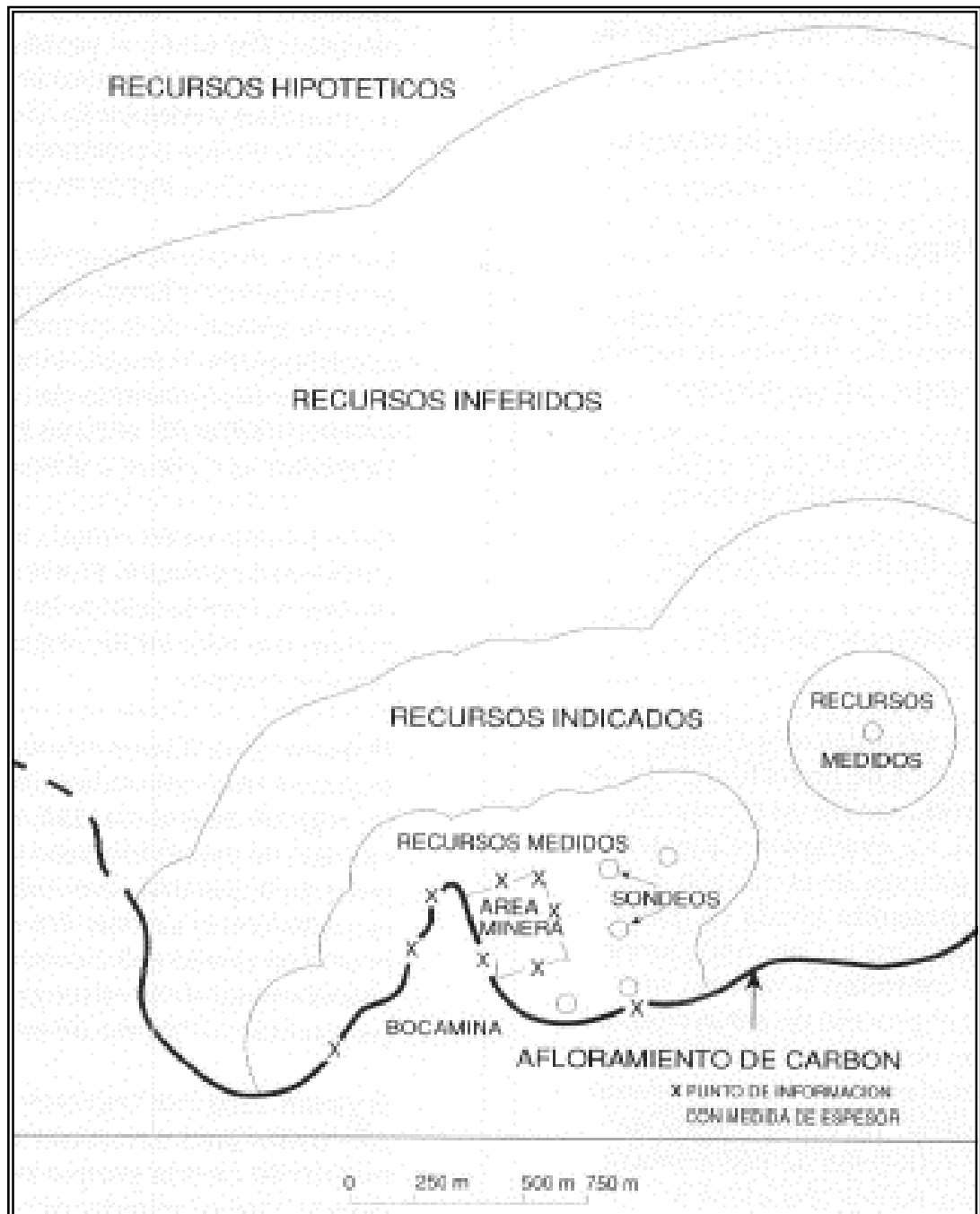
En esta parte del capítulo se explicará el método a utilizarse en la definición de las áreas donde se van a calcular las reservas de carbón dentro de una determinada categoría.

El método propuesto por Wood et. al, (1983) nos dice que las áreas correspondientes a las categorías de “medido”, “indicado” “inferido” e “hipotético” se obtienen trazando los círculos o los arcos con origen en los puntos de medición, utilizando las distancias establecidas.

Uno de los inconvenientes para calcular las reservas de carbón, se tiene en aquellas áreas donde el buzamiento de la capa es mayor de 15°, o son muy deformadas. Se puede entonces proceder de dos formas para el cálculo del tonelaje: 1) considerando los círculos de influencia apoyados sobre la superficie del manto, en este caso el área medida es la superficie del carbón y el valor tenido es el real; 2) midiendo las áreas de los círculos en planta, en tal caso las



Figura 21. Definición de las áreas de confiabilidad de los recursos a partir de los puntos de medición sobre el afloramiento, complementados por datos provenientes de una mina y varios sondeos. Tomado de ECOCARBON, 1996.





cantidades obtenidas van divididas por el coseno del ángulo de inclinación de la capa para obtener el tonelaje efectivo.

Para este trabajo se realizará el cálculo del tonelaje real y efectivo de los mantos de carbón encontrados en las dos áreas de estudio.

6.2.2 Cálculo de los reservas de carbón

Luego de determinar el área carbonífera, el espesor promedio del manto y la densidad del carbón (1.3 ton/m³), se procede al cálculo de los recursos. La cifra se obtiene de la siguiente fórmula:

$$a \times e \times d / \cos \alpha = t$$

Donde

- a = área
- e = espesor promedio del manto
- d = densidad del carbón
- α = inclinación del manto
- t = toneladas

Se asume que los mantos son continuos lateralmente y que la falla presenta el mismo comportamiento en profundidad.

6.3 RESULTADOS

El cálculo de reservas se realizó teniendo en cuenta los mantos, niveles cuyos espesores son mayores o iguales a 0.7m en cada una de las áreas.



Tanto para el Área de Trigueros (3 mantos) como de Río Blanco (12 mantos) se calcularon las reservas reales sin tener en cuenta el ángulo de buzamiento de cada nivel y con un grado de deformación bajo (Tablas 3, 5, 6 y 7) (Anexos G y H).

Tabla 3. Reservas Reales del Área Trigueros.

Reservas	MANTO 1 (0,9 m)	MANTO 2 (1,0 m)	MANTO 3 (1,5 m)	TOTAL (Toneladas)
Medidas	229.728,9	255.254,4	382.881,5	867.864,8
Indicadas	1'837.831,70	2'042.035,10	3'063.052,80	6'942.919,60
Inferidas	7'466.191,3	8'295.768,2	12'443.652,2	28'205.611,7

Tabla 4. Reservas Efectivas del Área Trigueros (Buzamiento 18° promedio).

Reservas	MANTO 1 (0,9 m)	MANTO 2 (1,0 m)	MANTO 3 (1,5 m)	TOTAL (Toneladas)
Medidas	241.551,3	268.390,3	402.585,5	912.527,1
Indicadas	1'932.410,60	2'147.122,90	3'220.684,30	7'300.217,80
Inferidas	7'850.414,1	8'722.682,5	13'084.023,6	29'657.120,1

Tabla 5. Reservas Reales del Área Río Blanco (Manto 1 – Manto 4).

Reservas	MANTO 1 (0,8 m)	MANTO 2 (1,6 m)	MANTO 3 (1,3 m)	MANTO 4 (1,0 m)	TOTAL (Toneladas)
Medidas	142.942,5	367.566,3	298.647,6	229.728,9	1.038.885,3
Indicadas	561.559,7	1'470.265,3	1194590,6	918.915,9	4'145.331,5
Inferidas	1'479.498,4	2'958.996,9	2'404.185,0	1'849.373,1	8'692.053,6



Tabla 6. Reservas Reales del Área Río Blanco (Manto 5 – Manto 8).

Reservas	MANTO 5 (0,7 m)	MANTO 6 (1,3 m)	MANTO 7 (1,0 m)	MANTO 8 (1,4 m)	TOTAL (Toneladas)
Medidas	125.074,6	149.323,8	114.864,5	160.810,3	424.998,6
Indicadas	491.364,7	597.295,3	459.457,9	643.241,1	2'191.359,0
Inferidas	1'294.561,1	4'931.780,8	3'793.677,5	5'311.148,5	15'331.168,1

Tabla 7. Reservas Reales del Área Río Blanco (Manto 9 – Manto 12).

Reservas	MANTO 9 (1,0 m)	MANTO 10 (1,1 m)	MANTO 11 (1,1 m)	MANTO 12 (1,3 m)	TOTAL (Toneladas)
Medidas	229.728,9	252.701,8	196.545,9	149.323,8	828.300,5
Indicadas	918.915,9	1'010.807,4	772.144,6	597.295,3	3'299.163,2
Inferidas	3'793.677,5	4'173.045,3	4'173.045,3	4'931.780,8	17'071.548,9

Tabla 8. Reservas Efectivas del Área Río Blanco (Buzamiento 27° promedio).

Reservas	MANTO 1 (0,8 m)	MANTO 5 (0,7 m)	MANTO 9 (1,0 m)	TOTAL (Toneladas)
Medidas	160.428,1	140.374,6	257.830,8	558.633,4
Indicadas	630.253,5	551.471,9	1'031.323,9	2'213.049,4
Inferidas	1'660.480,9	1'452.920,8	4'257.746,3	7'371.148,1

Tabla 9. Reservas Efectivas del Área Río Blanco (Buzamiento 75° promedio).

Reservas	MANTO 4 (1,0 m)	MANTO 10 (1,1 m)	MANTO 11 (1,1 m)	MANTO 12 (1,3 m)	TOTAL (Toneladas)
Medidas	887.604,5	976.364,9	759.394,9	576.942,9	3'200.307,3
Indicadas	3'550.418,8	3'905.460,7	2'983.338,1	2'307.772,2	12'746.989,9
Inferidas	7'145.430,2	16'123.411,7	16'123.411,7	19'054.941,2	58'447.194,9



Tabla 10. Reservas Efectivas del Área Río Blanco (Buzamiento 85° promedio).

Reservas	MANTO 2 (1,6 m)	MANTO 3 (1,3 m)	MANTO 6 (1,3 m)	MANTO 7 (1,0 m)	MANTO 8 (1,4 m)	TOTAL (Ton)
Medidas	4'217.350,5	3'217.350,0	1'713.298,8	1'317.922,3	1'845.091,0	12'311.012,8
Indicadas	16'869.353,4	13'706.349,7	6'853.174,7	5'271.672,9	7'380.342,0	50'080.892,7
Inferidas	33'950.582,8	27'584.848,5	56'585.671,8	43'527.439,8	60'938.415,8	222'586.959

Para el cálculo de las reservas efectivas se tuvo en cuenta el ángulo de inclinación de la capa según el segundo método para determinar el área.

En la zona de Trigueros el buzamiento para los tres mantos es aproximadamente 18° (Tabla 4); mientras que para la zona de Río Blanco los doce niveles se dividieron en tres grupos, uno de aquellos mantos con buzamiento promedio de 27° (Tabla 8), un segundo con aquellos mantos con buzamiento aproximado de 75° (Tabla 9) y por último con aquellos con buzamientos de 85° promedio (Tabla 10).

6.4 ANALISIS DE RESULTADOS

Es evidente que las reservas estimadas para las dos áreas de estudio son relativamente pocas, lo cual era de esperarse, si se tiene en cuenta que la principal formación productora en la zona es la Formación Umir que se caracteriza por la presencia de mantos de espesores moderados y que se encuentra en un ambiente estructural de una alta complejidad.

A pesar de esto se encontraron mantos económicamente explotables en ambas área de estudio; cuyos espesores oscilan entre 0.7 metros y 1.5 metros.



6.5 MINERIA

6.5.1 Actividades preliminares a la operación minera

Actividades como la exploración geológica, cartografía y geología de superficie, toma de muestras, perforaciones exploratorias, registros eléctricos, análisis de núcleos, estimación de reservas y calidad, se encuentran incluidas dentro de esta primera fase.

Otros factores que influyen en una futura explotación son; condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del área, condiciones geomecánicas, ambientales y socioeconómicas.

Además se debe analizar la viabilidad del proyecto mediante estudios de Pre y factibilidad y comenzar a definir aspectos propios de la futura explotación como:

- Delimitación de las reservas a explotar.
- Niveles de producción anual.
- Ubicación de zonas de botadero de material estéril, instalaciones industriales e infraestructura interna y externa.
- Selección del método de explotación.

6.5.2 Selección del método de explotación

La minería que se desarrolla en proyectos carboníferos es a cielo a abierto principalmente y subterránea dependiendo de la relación de descapote y la disposición geométrica de los mantos. Si la relación de descapote es menor o igual a 5:1, se diseña la mina para ser explotada por el método de cielo abierto; mientras que la minería subterránea se da en los casos donde los buzamientos son muy altos y los costos para movilización de maquinaria grande utilizada en explotaciones a cielo abierto no es rentable, además de las limitantes ambientales



en minería a cielo abierto y el avance en tecnologías de explotación subterránea dan una mayor ventaja.

El método de explotación seleccionado para las zonas de estudio es el de **minería subterránea** de acuerdo a las condiciones geológicas y naturales del yacimiento en estos lugares.

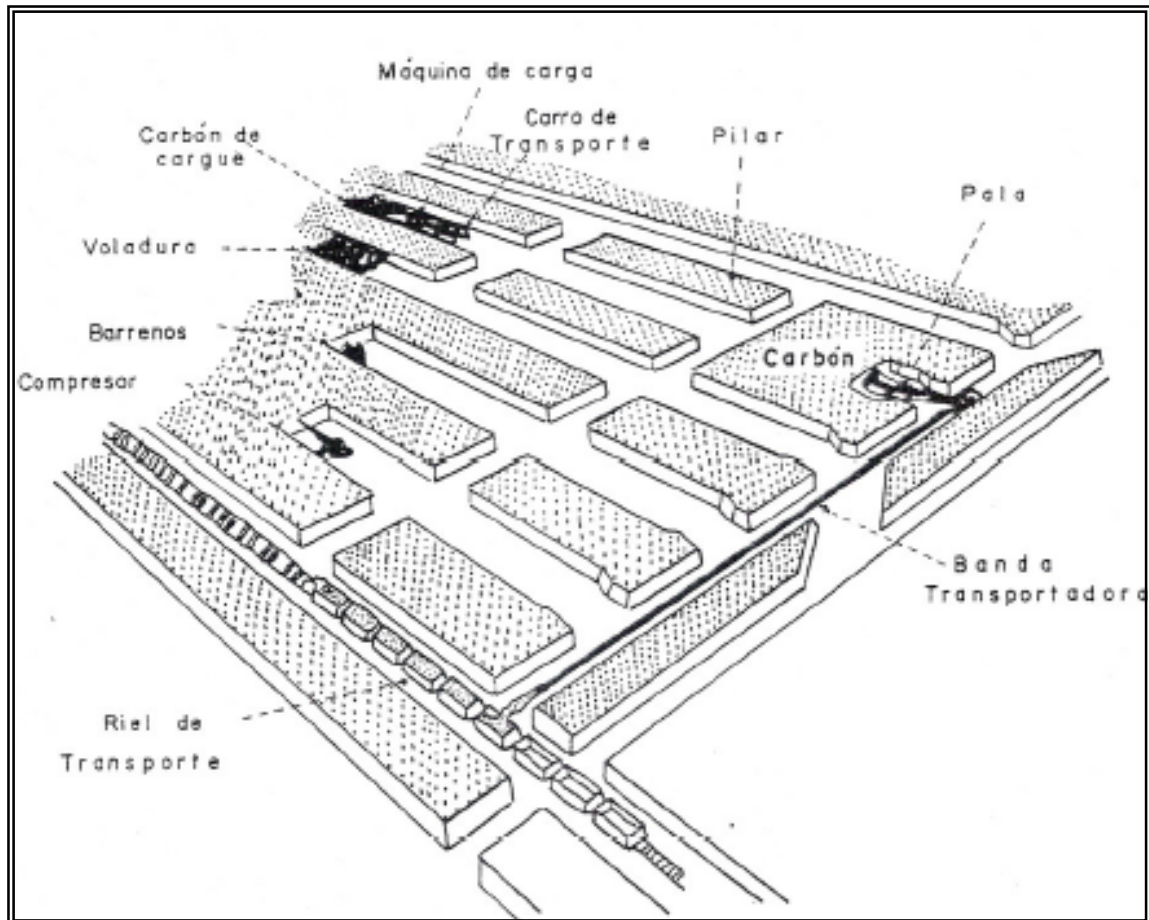
El principal objetivo, en el plan de minería subterránea, radica en buscar las dimensiones adecuadas para obtener un ancho máximo de cámara y un ancho mínimo de pilar de tal forma que permita recuperar la mayor cantidad de reservas, y a la vez mantener las condiciones de seguridad necesarias tanto para la integridad del personal como de la misma mina.

En la explotación subterránea, uno de los métodos más utilizados y recomendado para este proyecto es el de “cámaras y pilares”. Este método consiste en desarrollar aberturas dispuesta ortogonalmente, a intervalos regulares, usualmente tienden a ser planas, tabulares y relativamente delgadas, formando pilares cuadrados o rectangulares como soporte natural (Hartman, H., 1987) (Figura 22)

Tanto las aberturas de desarrollo (entradas) y aberturas de explotación (cámaras) se ensamblan una a una y cuando se conectan por cortes transversales se forman los pilares. Las cámaras o galerías se disponen en la dirección del buzamiento.

Se realizan simultáneamente varias aberturas aumentando la producción y eficiencia, suministrando numerosos lugares de trabajo y mejorando la ventilación y transporte.

Figura 22. Diagrama del método de explotación en cámaras y pilares. Tomado de Hartman, H., 1987



La altura de la abertura se determina a partir del espesor del manto de carbón. El ancho de la abertura por razones de producción o recuperación debe ser la máxima, pero por razones de seguridad es limitada. Ya que los pilares no son recuperados en una minería primaria, las cámaras son llevadas a un máximo de nueve metros y los pilares mínimo a tres metros, dependiendo del material suprayacente y del pilar.



Para la recuperación de los pilares se realiza una minería secundaria, en la que se explotan solo pilares en cadena, aquellos formados entre aberturas adyacentes. Para la ventilación se consideran túneles idénticos al del inclinado inicial de acceso y transporte, se tienen ventiladores que suministran oxígeno a la mina y otros que extraen los gases tóxicos. El explosivo utilizado es de menor poder que el de minería a cielo abierto.

El material suprayacente de los mantos generalmente es débil, causando derrumbes, los cuales son provocados en algunos casos. También se presentan filtraciones de agua y localmente focos de incendio en algunas minas.

6.5.3 Parámetros a tener en cuenta en la minería subterránea en las zonas de Trigueros y Río Blanco

Los principales aspectos a tener en cuenta para el desarrollo óptimo de la mina están basados en el conocimiento de la geología del área, tanto superficial como subterránea.

A partir de las secciones levantadas en cada una de las áreas, se puede establecer el tipo de material que conforma el respaldo del manto de carbón; con ello se puede determinar el comportamiento de la base y el techo de los mismos y se pueden controlar contratiempos debido principalmente a derrumbes e inundaciones por filtraciones de agua dentro de la mina.

El control estructural detallado es fundamental. Con él se determina la dirección principal de los esfuerzos, la distribución y el tipo de enrejado de las diaclasa con el fin de ubicar los entibados en las cámaras o galerías.

El control de las aguas de escorrentía es fundamental para evitar inundaciones en los próximos frentes explotación. La siembra de especies maderables en zonas



aledañas a las áreas evitará problemas debido a deforestación causada por este tipo de minería.

Por medio de la utilización de registros de pozos, se podrá determinar el comportamiento de las fallas que se encuentran en las zonas y la manera como están afectando los niveles de carbón en profundidad; ya que estas podrían modificar la dirección de la explotación.

Entre los aspectos no geológicos se incluyen la adquisición de personal calificado y personal de salvamento minero.



7. ANALISIS GEOQUIMICOS

7.1 GENERALIDADES

La combinación de estudios físicos, químicos y geológicos (petrográficos) del carbón y sus componentes han permitido definir la calidad y la adecuación de este mineral para usos específicos en la industria.

Con tal fin, en las zonas de Trigueros y Río Blanco se seleccionaron 4 muestras representativas de carbón, de las cuales 2 (Muestra 12 y Muestra 13) pertenecen a trigueros y 2 (Muestra 5 y Muestra 16) a Río Blanco; sobre estas muestras se practicaron los siguientes análisis: Humedad Residual, Cenizas, Azufre y Poder Calorífico. Aunque el número de muestras no es suficiente para caracterizar completamente los niveles de carbón encontrados en las zonas; los resultados de los análisis anteriormente mencionados, permiten de manera preliminar clasificar según sus características fisicoquímicas los carbones presentes en las áreas de estudio.

Cabe resaltar que estos análisis fueron realizados por **SGS COLOMBIA S.A. MINERAL LABORATORY**

Conociendo estos resultados es importante establecer el papel que desempeña cada parámetro en la clasificación y calidad del carbón.

- Humedad Residual

Es el contenido de agua que permanece en el carbón después de un secado generalmente a unos 10 o 15 °C por encima de la temperatura ambiente. Esta



humedad es el nivel al cual son determinados los otros parámetros (Duran et al, 1981).

- Cenizas

Es el residuo no combustible que permanece cuando el carbón es incinerado y se forma como resultado de los cambios químicos que tiene lugar en la materia mineral durante el proceso de combustión (Duran et al, 1981).

Este contenido es de gran importancia puesto que presenta la cantidad de impurezas y el carbono efectivo disponible en un carbón.

- Materia Volátil

El contenido de materia volátil se define como la pérdida de peso, corregida por la humedad, que ocurre cuando se calienta el carbón fuera del contacto del aire, en condiciones estandarizadas. Este parámetro se ha considerado un buen indicativo para la predicción del grado de carbonificación de los carbones, del rango coquizable, de la reactividad y como parámetro de clasificación en muchos sistemas.

- Carbono Fijo

El contenido de carbono fijo representa la porción combustible que queda después de la remoción de la humedad, ceniza y materia volátil; aunque consiste sobretodo de carbono, incluye también hidrogeno, oxigeno, azufre y nitrógeno (Duran et al, 1981).



El porcentaje de carbono es de vital importancia tanto en los carbones térmicos como en los metalúrgicos. En el primer caso, el carbono fijo junto con la materia volátil establecen el poder calorífico; para el segundo caso, es el elemento reductor esencial para transformar los mineral de oxido de hierro en metal durante la operación de alto horno.

- Azufre

El azufre es elemento de interés directo en el empleo del carbón con fines térmicos y metalúrgicos. El azufre es un elemento indeseable pero presente en todo tipo de carbones y su contenido varía desde trazas cercanas a 0.5% y 1.0% (Duran et al, 1981).

Se presenta en tres formas: Azufre orgánico, pirita y sulfato de calcio. El azufre orgánico se encuentra mezclado con la sustancia carbonosa y no puede removerse económicamente por ningún proceso de preparación o de lavado; el azufre pirítico se presenta en forma de bolsas o de películas y es relativamente fácil de remover durante el proceso de preparación y lavado; y el azufre en forma de ión sulfato abunda solo en carbones oxidados cerca de la superficie y esta prácticamente en los carbones frescos.

- Poder Calorífico

El poder calorífico del carbón expresa su valor como combustible. Se puede considerar como la suma de los valores de combustión de los materiales combustibles (hidrogeno y azufre), menos el calor de descomposición de los materiales carbonáceos y mas o menos algunas reacciones menores exotérmicas o endotérmicas que pueden ocurrir entre impurezas (Duran et al, 1981). Este es



pues uno de los más importantes parámetros en el análisis de un carbón cuyo uso será con fines térmicos.

- Índice de hinchamiento

Este ensayo es de gran utilidad para indicar las propiedades aglomerantes del carbón. Cabe indicar que no refleja necesariamente sus verdaderas propiedades de coquización. El índice se puede definir una serie de perfiles, patrones, magnitud y forma del carbón producido cuando se calienta a un rango de temperatura de manera que pueda expandirse libremente en una dirección perpendicular a la superficie de calentamiento (Duran et al, 1981).

7.2 RESULTADOS

La Tabla 11 muestra los resultados de los análisis químicos, en base como se analizó y recibió.

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de los carbones del área de Trigueros y Río Blanco.

ANALISIS	RIO BLANCO		TRIGUEROS	
	Muestra 5	Muestra 16	Muestra 12	Muestra 13
Humedad Residual (csa)	4.28	4.11	2.06	2.37
Cenizas (csa)	15.16	7.98	16.03	8.60
Azufre (csa)	0.6606	0.8806	9.6940	4.7690
Poder Calorífico (Btu/Lb)	13954	14143	14713	15291
Poder Calorífico (Cal/gr)	7752	7857	8174	8495



7.3 DISCUSION DE RESULTADOS

Se analizan los parámetros evaluados en la base más apropiada para su discusión y sus relaciones más importantes.

Además se indaga de manera general la influencia de los diferentes parámetros en los procesos y en la industria donde se utiliza el carbón: combustión y coquización. Sin embargo, la discusión que aquí se hace no debe ser tomada como modelo de análisis de calidad, debido al poco número de muestras analizadas.

7.3.1 Humedad Residual (%H.R) (Base como se analizó)

Este parámetro se discute en “base como se analizó” o “base seca al aire”, o sea cuando se determina la humedad de la muestra al haberla sido removida la humedad superficial.

En general los valores de humedad residual no son tan bajos, con valores que oscilan entre 2.06% y 4.3%, estos valores son reflejo de la influencia de la alteración atmosférica tomada en las muestras.

Para el área de Trigueros las muestras analizadas arrojaron valores de 2.06% para la muestra 12 y 2.37% para la muestra 13; para el área de Río Blanco la muestra 5 tuvo un valor de 4.28% y la muestra 16 tuvo un valor de 4.11% (Tabla 11).

Debido al poco número de muestras analizadas no es recomendable la utilización de métodos estadísticos para establecer relaciones con otros parámetros; sin embargo se puede observar que la zona de Trigueros tiene valores de Humedad



menores que los de la zona de Río Blanco, a pesar de que el grado de meteorización en la zona de Trigueros es mayor.

7.3.2 Cenizas (Cz) (Base como se analizó)

Los Porcentajes de cenizas son de los parámetros más importantes en el análisis de un carbón, pues es un componente que afecta todo tipo de proceso con este combustible.

Los valores de contenido de cenizas para las dos áreas de estudio presentan un mínimo de 7.98% para la muestra 16 de Río Blanco y un máximo de 16.03% para la muestra 12 de Trigueros; con un promedio de 11.9% para el total de las muestras analizadas (Tabla 11).

Es muy importante conocer el contenido de cenizas de un carbón, porque estas influyen en la aplicación que se le vaya a dar a dicho carbón.

Muchas coquerías exigen para su proceso carbones con menos del 10% de cenizas (Pérez, F. et al, 1987, en Barragán y Serrano, 1994), debido a que las cenizas representan un combustible inerte que disminuye el contenido porcentual de carbono y por ende el poder calorífico del coque.

En cuanto tiene que ver con la resistencia a la abrasión y dureza del coque, se ha propuesto un contenido máximo de cenizas del 7.5% en el carbón. Este parámetro expresa la capacidad del coque de no degradarse en su granulometría al sufrir impacto y abrasión; las altas resistencias son deseables para evitar la degradación del coque en su manipulación desde el horno de coquización hasta su descanso en el alto horno con el conjunto de materiales cargados; significando en términos de metalurgia que la ausencia o poca degradación del coque, asegura su buen comportamiento como agente reductor (de óxidos de hierro), combustible y



regularizador en el descenso sólidos en el horno y por lo tanto buena calidad en los productos finales.

En el aprovechamiento del carbón para generación energía térmica, la materia mineral, dependiendo de su composición, puede causar problemas de escoriación, formación de depósitos obstructivos y corrosión, además de pasar por el sistema como aumento de carga sin proveer energía útil.

Se puede observar en la Tabla 11 que los carbones con menor contenido de ceniza presentan los máximos valores de Poder Calorífico; esta relación es importante puesto que la relativa limpieza de los carbones influye en los buenos resultados en cuanto a poder calorífico, ya que no se gasta energía en la combustión de minerales.

Finalmente se puede decir que estos carbones son aceptables en la industria térmica, pero no cumplen con el requisito de limpieza para la producción de coque, con excepción de la muestra 16 de la zona de Río Blanco que presenta el valor más bajo de cenizas; sin embargo el número de muestras analizadas no son suficientes para obtener parámetros exactos de calidad.

7.3.3 Azufre (Base como se analizó)

Los carbones del área de Río Blanco presentan bajos porcentajes de azufre, con valores de 0.6606% para la muestra 5 y 0.8806% para la muestra 16; mientras que para la zona de Trigueros los valores de azufre son de 9.6940% y 4.7690% para las muestras 12 y 13 respectivamente, estos valores son muy altos en especial para la muestra 12 indicando que la alteración atmosférica y el grado de meteorización para esta zona es mayor y ha provocado que estos análisis tengan valores anómalos en esta zona (Tabla 11).



El contenido de azufre es muy importante debido a la acción corrosiva de sus productos de combustión (sulfatos, SO_2 , SO_3); por otra parte, se tienen límites establecidos por constructores de equipos de producción de energía térmica con carbón, donde se dice que el contenido de azufre no debe ser mayor a 0.35% (Pérez, F. et al, 1987, en Barragán y Serrano, 1994).

En la producción de coque es también importante tener en cuenta el contenido de azufre, debido a que altos contenidos en el coque aumentan el volumen de escoria, lo que ocasiona problemas para el control del Alto horno.

La norma A.S.T.M. para carbón coquizante determina que su composición deberá ser tal que el coque de fundición no contenga mas de 1.1% de azufre y el coque de alto horno menos de 1.3% de azufre (Pérez, F. et al, 1987, en Barragán y Serrano, 1994).

Como se puede ver, los carbones de la zona de Río Blanco están entre los límites óptimos de contenido de azufre, tanto para producción de coque como de energía térmica; según los valores obtenidos, las muestras de la zona de Trigueros no son optimas para la industria del coque, pero estos valores están afectados por el grado de meteorización de las muestras, por lo tanto no son muy confiables para estimar la calidad del carbón en esta zona.

7.3.4 Poder Calorífico (P.C.csa) Base como se analizó

Cuando se va a comercializar un carbón para fines térmicos, este parámetro es el más importante a tener en cuenta, junto a parámetros tales como el grado de aglomeración (caking) y el Índice de Fusibilidad de cenizas.

En la zona de Río Blanco se obtuvieron valores de 13954 Btu/Lb (7752 cal/gr) y 14143 Btu/Lb (7857 cal/gr) para las muestras 5 y 16 respectivamente; y para la



zona de Trigueros los valores fueron de 14713 Btu/Lb (8174 cal/gr) para la muestra 12 y 15291 Btu/Lb (8495 cal/gr) para la muestra 13.

En promedio cada zona obtuvo un valor de 14049 Btu/Lb (7705 cal/gr Río Blanco) y 15002 Btu/Lb (8235 cal/gr Trigueros), lo cual es un buen resultado ya que los requisitos para la generación de energía son de un mínimo de 7000 cal/gr (Pérez, F. et al, 1987, en Barragán y Serrano, 1994).

El valor observado en la muestra 12 de la zona de Trigueros, nos refleja que a pesar de tener valor alto en el azufre y ser excluido de los carbones coquizables, es un carbón de tipo térmico con un alto poder calorífico.

7.4 CLASIFICACION DE LOS CARBONES

La clasificación a utilizar es la propuesta por la A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials). Esta clasificación tiene en cuenta parámetros como carbono fijo, materia volátil y poder calorífico (ver tabla 12).

Se destaca el hecho de que tanto el carbono fijo como la materia volátil se presentan en base libre de humedad y materia mineral (Slm.m) y se utilizan para clasificar carbones de alto rango (superior a Bituminoso medio volátil); el poder calorífico se presenta en base húmeda libre de materia mineral (hlm.m) y se utiliza para clasificar los carbones de rango más bajo (Bituminoso alto volátil a lignito); y las propiedades aglomerantes se emplean en la distinción entre las clases de carbón Bituminoso y Sub-Bituminoso, por medio del examen del residuo del crisol, resultante de la determinación de materia volátil.

De acuerdo con los resultados de los análisis químicos presentados en la Tabla 11, y el sistema de clasificación A.S.T.M. de carbones por rango, los carbones del



área de Trigueros corresponden al grupo Bituminoso medio volátil y los carbones del área de Río Blanco corresponden al grupo Bituminoso alto volátil A.

Tabla 12. Clasificación A.S.T.M de Carbones por rango.

CLASE	GRUPO	CARBONO FIJO %		MATERIA VOLATIL %		PODER CALORIFICO		CARÁCTER AGLOMERANTE
		Slm.m		Slm.m		Cal/gr hlm.m		
		>	<	>	<	<		
1 ANTRACITA	1. Meta-Antracita	98	-	-	2	-	-	No Aglomerante
	2. Antracita	92	98	2	8	-	-	
	3. Semi-Antracita	86	92	8	14	-	-	
B I T U M I N O S O	1. Bituminoso bajo volátil	78	86	14	2			Comúnmente Aglomerante C
	2. Bituminoso medio volátil	69	78	22	31	7780		
	3. Bituminoso alto volátil A	-	69	31	-	7220	7780	
	4. Bituminoso alto volátil B	-	-	-	-	6380	7220	
	5. Bituminoso alto volátil C	-	-	-	-	5830	6380	
III SUB- BITUMINOSO	1. Sub-Bituminoso A	-	-	-	-	5830	6380	No Aglomerante
	2. Sub-Bituminoso B	-	-	-	-	5280	5830	
	3. Sub-Bituminoso C	-	-	-	-	4610	5280	
IV LIGNITO	1. Lignito A	-	-	-	-	3500	4610	No Aglomerante
	2. Lignito B	-	-	-	-	-	3500	

Tomado de Uribe, C. A. 1986 en Barragán, L. y Serrano, H. 1994.

Slm.m: Base seca libre de materia mineral

hlm.m: Base húmeda libre de materia mineral

Notas: Esta clasificación no incluye unos pocos carbones, especialmente variedades no bandeadas, las cuales tienen propiedades físicas y químicas no usuales que caen dentro de los límites de carbono fijo o poder calorífico de los rangos Bituminoso Alto en volátiles y Sub-Bituminoso. Contiene menos del 48% de Carbono Fijo (Slm.m)

a) Si aglomera, se clasifica en el grupo de bajo volátil de la clase Bituminoso

b) Carbones en Carbono Fijo $\geq 69\%$, se clasifican de acuerdo a este, sin tener en cuenta el poder calorífico

c) Puede haber variedades no aglomerantes



Tabla 13. Formulas para la conversión de los valores de base como se analizó (seca al aire) a otras bases.

BASE DE ANALISIS	FORMULA DE CONVERSION
Base Seca (bs)	$Xbs = (Xcscsa \times 100) / (100 - HR)$
Base seca libre de cenizas (bslcz)	$Xsclcz = (Xcscsa \times 100) / [100 - (HR + Cz)]$
Base seca libre de materia mineral (bslmm)	$Xslmm = (Xcscsa \times 100) / [100 - (HR + 1.08Cz + 0.55S)]$ $CFslmm = [(CFcscsa - 0.15S) \times 100] / [100 - (HR + 1.08Cz + 0.55S)]$
Poder Calorífico Base húmeda libre de materia mineral (bhmm)	$PChlmm = (PCcscsa \times 50\%S \times 100) / [100 - (1.08Cz + 0.55S)]$

Tomado de Uribe, C. A. 1986 en Barragán, L. y Serrano, H. 1994.

Csa: Como se analizó
 Bs: Base seca
 slcz: Base seca libre de cenizas
 slmm: Base seca libre de materia mineral
 hlmm: Base húmeda libre de materia mineral
 HR: Porcentaje de humedad residual
 Cz: Porcentaje de cenizas
 S: Porcentaje de azufre total
 MV: Porcentaje de Materia volátil
 CF: Porcentaje de Carbono Fijo
 PC: Poder Calorífico (cal/gr)
 X: Parámetro



8. CORRELACION ESTRATIGRAFICA

Los criterios utilizados para la correlación estratigráfica, nominación y descripción de base a techo de los carbones de las áreas de Trigueros y Río Blanco fueron entre otros su posición estratigráfica elaborada con la información obtenida de las columnas estratigráficas detalladas levantadas en campo y cortes geológicos, al igual que características macroscópicas tales como bandeamiento, brillo, respaldos, etc. y fisicoquímicas, que al final permitieron la correlación de mantos comunes en superficie y en profundidad.

Para la correlación de estas dos áreas de estudio, las cuales están separadas por una extensión de 77,147 km., se tuvo una columna de referencia del miembro superior de la Formación Umir en la zona del Sinclinal de los Andes, área San Luís, realizada por CASTRO y GOMEZ, 1988, dentro de la cual se seleccionaron los niveles de carbón y capas guía (areniscas); que presentan una considerable amplitud y una continuidad lateral en la dirección del rumbo NE que sirvió de “amarre” para correlacionar las columnas levantadas en las zonas de estudio (Trigueros y Río Blanco).

Esta correlación se realizó a una escala vertical 1:500, como se muestra en el Anexo I en donde se detalla la litología

Dentro de la Formación Umir, el miembro Superior es esencialmente el productor de carbón; dentro de los miembros Medio y Superior de esta Formación en el área de Trigueros se identificaron 22 niveles de carbón de los cuales 6 se clasifican como láminas, 6 son capas, 7 se clasifican como cintas y 3 como mantos (Manto 1 a Manto 3), siendo los tres primeros grupos los más abundantes; mientras que en el área de Río Blanco se identificaron dentro de estos mismos miembros 27



niveles de carbón de los cuales 8 se clasifican como láminas, 4 como capas, 3 se clasifican como cintas y 12 como mantos (Manto 1 a Manto 12). En el Anexo C y D se detallan espesores y litología de cada una de las secciones levantadas.

Cabe aclarar que aunque en la zona de Río Blanco se realizaron dos secciones (Sección Norte y Sección Sur), se realizó un empalme de estas secciones estableciendo una zona de aproximadamente 30 metros de vacío entre ellas (Anexos C y D).

Los espesores de los mantos en las áreas de estudio varían entre 0.70 m. y 1.60 m. y los de las cintas entre 0.50 m. y 0.60 m.

8.1 ÁREA DE TRIGUEROS

En el área de Trigueros, los niveles de carbón aumentan su espesor a medida que ascendemos estratigráficamente, los mantos tienen una variación de espesor entre 0.90 m. a 1.50. El primero de estos mantos se encuentra a 281.75 m. de la base de la sección, y a 303.4 m. encontramos el último de estos mantos (Anexo C).

Estos mantos macroscópicamente se clasifican de acuerdo a sus características como carbones vitriniticos, según se analizó en el capítulo 5 para las muestras 12 y 13 (ver Tabla 1).

Sus contenidos de azufre (análisis realizados para los mantos 2 y 3) varían entre 9.69% y 4.76% y el de cenizas entre 16.03% y 8.60%, siendo los respaldos superior e inferior constituidos para el manto 2 de shale gris claro y arcillolita gris media y para los mantos 1 shale gris medio y shale gris claro y 3 encontramos shale carbonoso y shale gris medio.



El manto 2 tiene un espesor de 1m., presentando una continuidad lateral con un adelgazamiento hacia el sur, cerca de 0.50 m.; probablemente es correlacionable con el nivel 30 reportado en la columna de San Luís.

El manto 3 puede presentar un ligero adelgazamiento hacia el sur de la cuenca y ser correlacionable con alguna capa o nivel carbonoso reportado tanto en la columna de San Luís como en la columna de Río Blanco.

Para el manto 1 no fue posible observarle una correlación con la columna de San Luís, por lo tanto se cree que este manto se adelgaza hacia el sur de la zona y se “pincha” antes de llegar al área de San Luís y por lo tanto no se observa ni en la columna de San Luís ni en la de Río Blanco.

Otros niveles de carbón (capas, cintas y láminas) presentan una continuidad estratigráfica lateral ya sea adelgazándose, engrosándose o pinchándose hacia la parte de Río Blanco (Figura 23).

8.2 ÁREA DE RÍO BLANCO

Para la zona de Río Blanco se trabajaron dos secciones (Norte y Sur), donde los niveles de carbón para la sección Norte varían en espesor, en su mayoría, entre 0.40 m. y 1.4 m. presentándose en forma alternante; para la sección Sur, estos niveles carboníferos varían entre 0.10 m. y 1.60 m. viéndose la misma alternancia entre ellos.

Para facilitar nuestro trabajo se realizó una columna generalizada para estas dos secciones, siendo la columna de la sección Norte la base y la columna Sur el tope de la columna generalizada (Anexo D)



El manto 12 constituye la base de la columna estratigráfica levantada en la sección Norte, es un carbón de características vitriniticas, de 1.30 m. de espesor, y cuenta con unos respaldos de shale gris claro.

Subiendo estratigráficamente, encontramos el manto 11 y el manto 10, con las mismas características vitriniticas, con un espesor de 1.10 m. cada una y contando a su vez con respaldos superior e inferior de shale gris claro.

El siguiente es el manto 9, el cual comprende bandas muy finas inferiores a 5 m.m. y presenta un brillo lustroso, características de un carbón de tipo clareno. Tiene un espesor de 1 m. y unos respaldos superior e inferior constituidos por arenisca de grano muy fino y arcillolita gris media.

A 11.90 m. de este manto encontramos un nivel arenoso de 7 m. de espesor, el cual merece especial atención ya que presenta una continuidad lateral con dirección del rumbo y podría correlacionarse con la arenisca basal, referenciada en el trabajo de San Luís, siendo ésta la base de la columna generalizada levantada en esa área.

Encontramos en el manto 8 un carbón opaco, de apariencia grasosa, y duro, característico de tipo durenó. Tiene 1.55 m. de espesor y unos respaldos sin definir por encontrarse en medio de dos zonas cubiertas.

Los análisis realizados a este manto nos dan como resultado que su contenido de azufre es de 0.88% y el de cenizas de 7.98%.

El manto 7 y 6, son mantos vitriniticos y tienen un espesor de 1 m. y 1.30 m. El manto 7 tienen unos respaldos sin definir por encontrarse en medio de dos zonas



cubiertas, entre tanto el manto 6 tiene un respaldo superior constituido por shale gris claro.

El manto 5, es un carbón tipo durenoso con un espesor de 0.70 m. Aún sin definirse los respaldos por estar en una zona cubierta.

Este manto presenta continuidad lateral observable hacia el norte, y podría correlacionarse con el manto 40 de 0.50 m. de espesor reportado en la columna de San Luís y con una capa de carbón de la columna de Trigueros presentando un adelgazamiento hacia esta zona.

El manto 4 constituye la base de la Sección Sur, es un carbón de características vitriniticas, de 1 m. de espesor, y aún no se ha definido sus respaldos.

Este manto también presenta continuidad lateral en la dirección del rumbo y podría correlacionarse con el manto 36 de la columna de San Luis, ubicado estratigráficamente a unos 120 m. arriba de la arenisca basal, anteriormente nombrada.

El manto 3 es un carbón tipo clareno, con 1.30 m. de espesor, y cuenta con un respaldo superior constituido de shale gris medio.

El manto 2 es un carbón de características vitriniticas, y tiene un espesor de 1.60 m. Según los análisis realizados a este carbón, dieron como resultado que su contenido de azufre es de 0.66% y el de cenizas de 15.16%. Tiene un respaldo superior constituido de shale gris medio.

Este manto por su continuidad lateral, podría estar correlacionado con el nivel 20, reportado en la columna de San Luís, para el cual se observa una tendencia de



adelgazamiento y pinchamiento hacia el Norte por lo cual no se observa en la columna de Trigueros.

Entre el manto 2 y el manto 1 encontramos 6 cintas de carbón que varían en espesor entre 0.40 m. y 0.60 m. y los cuales se clasificaron como tipo vitreno.

Para el manto 1 se tiene que es un carbón tipo clareno y el cual tiene un espesor de 0.80 m., localizándose a 119.91 m de la base de la columna levantada.

8.3 DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Al correlacionar estas columnas se observo una tendencia de adelgazamiento hacia la zona de Trigueros; este adelgazamiento ya se había observado al levantar la columna en esta área, como lo muestra el menor espesor de los niveles de carbón.

En ambas columnas hacen falta niveles de carbón, especialmente de la parte superior de Trigueros y en la parte medio de Río Blanco, algunos no aparecen por que no fue posible levantarlos por la topografía y el difícil acceso, ó no están reportados, ó sencillamente no se hallaron.

Proyectando esta relación al área de estudio, es evidente el acuñamiento y pinchamiento de varios niveles carbonosos, ya que de 27 niveles en el área de Río Blanco, aparecen 22 niveles en el área de Trigueros; además de la notable disminución en el espesor.

Cabe también mencionar que los niveles de carbón de la sección del área de Río Blanco respecto a la columna de San Luis (CASTRO, E. y GOMEZ, F., 1988), son mucho más continuos y no se presentan tantos adelgazamientos o pinchamientos

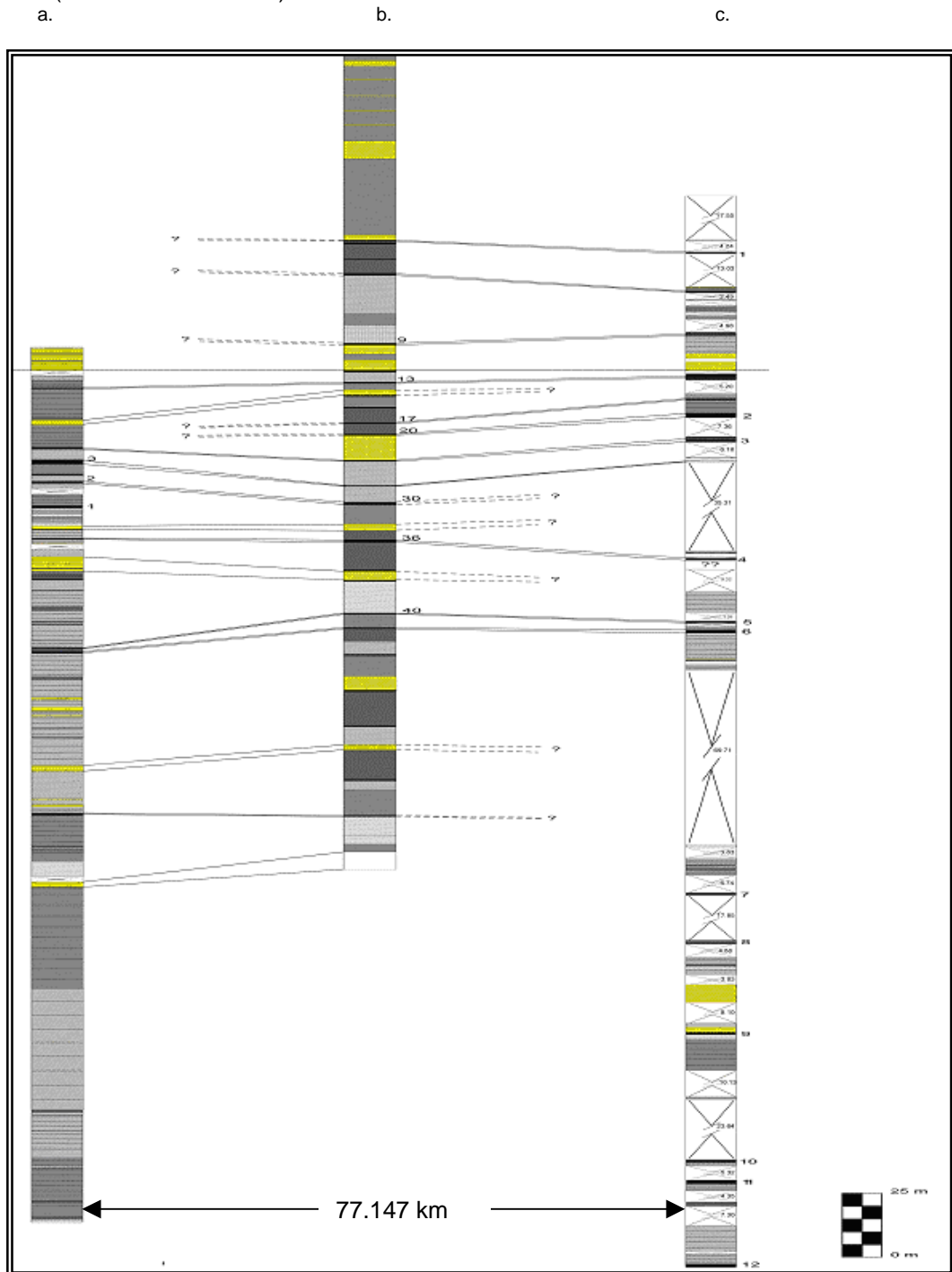


como ocurre al comparar la sección de Trigueros con la levantada por CASTRO, E. y GOMEZ, F., 1988.

La correlación de las columnas levantadas (Figura 23 y Anexo I) en las áreas de estudio, permite apreciar el patrón antes mencionado, disminución de espesor y acuñaamiento hacia el área de Trigueros, lo que conlleva al pinchamiento de algunos mantos de Río Blanco; y por ende disminución de los espesores y reservas probables



Figura 23. Correlación litoestratigráfica de las columnas levantadas en el área de estudio. a) Trigueros, b) San Luís (CASTRO, E. y GOMEZ, F., 1988) y c) Río Blanco. (Ver también Anexo I)





9. IMPACTO AMBIENTAL

La minería hoy en día, necesita lograr un equilibrio entre el crecimiento económico y la utilización responsable de los recursos naturales. Sobre todo en estos momentos en que las empresas tienen que encarar el reto de asumir su sostenibilidad empresarial equilibrando sus resultados operativos y financieros con el cumplimiento de su responsabilidad social, ambiental y económica. Esta nueva visión empresarial; sin embargo, debe superponerse a la antigua imagen empresarial generalmente asociada en oposición a la conservación del medio ambiente y a la generación de desarrollo en las regiones donde se ha asentado, junto con otros factores no considerados en los comienzos de la minería.

9.1 MARCO MINERO

El desarrollo de un trabajo minero esta precedido por una ley de gestión minero ambiental ó código de minas, que indica los deberes y compromisos que involucra una actividad minera; junto con las guías minero ambientales que son la herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para el proceso minero, representada por el código de minas ley 685 de 2001, Lafaurie (2001).

Los objetivos fundamentales del código de minas se hallan consignados en el Art. 1, “fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente,



dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país”⁵.

9.2 MANEJO Y DESEMPEÑO MINERO

Teniendo en cuenta los objetivos anteriores y la necesidad de integrar el desarrollo de las actividades mineras, es necesario enmarcar la extracción de los recursos minerales en una secuencia de pasos y procedimientos que lleven a conseguir este objetivo. Razón por la cual se divide la labor minera en tres partes: Exploración, explotación y beneficio, de las cuales se contempla la primera como objetivo del trabajo realizado. En el código de minas están contemplados varios artículos concernientes al medio ambiente tales como:

- Artículo 85. Estudio de Impacto ambiental.
- Artículo 99. Manejo Adecuado de los Recursos.
- Artículo 107. Obligaciones ambientales; Lafaurie (2001).

9.3 ETAPA DE EXPLORACIÓN DE RECURSOS MINERALES

Para cumplir con la normatividad relacionada a la solicitud y trámite de permisos, autorizaciones y concesiones de recursos naturales no renovables, es necesario tener conocimiento de los recursos naturales, objeto de uso y aprovechamiento, con el fin de establecer las asignaciones, el manejo y el grado de intervención que pueda realizarse sobre los mismos. Esta fase contempla los aspectos generales geológico-mineros y ambientales de Los Trabajos de Exploración (LTE), los cual se definen como “los necesarios para establecer y determinar la existencia y

⁵ LAFAURIE, L., 2001. Código de minas Ley 685 De 2001. Colombia



ubicación del mineral o minerales contratados, la geometría del depósito o depósitos dentro del área de la concesión, en cantidad y calidad económicamente explotables, junto con la viabilidad técnica de extraerlos y el impacto que sobre el medio ambiente y el entorno social puedan causar estos trabajos y obras”; los cuales deben tener en cuenta para llevar a cabo los estudios de exploración geológica y los Programas de Trabajos y Obras (PTO), después que se ha otorgado un contrato de concesión (Urbina y Pinto, 2002 en León, J., 2004).

Los trabajos de exploración se encuentran agrupados en cuatro fases las cuales una vez concluidas suministran los parámetros necesarios para la siguiente etapa.

Fase I. Exploración Geológica de Superficie:

Es el conjunto de actividades que conducen al estudio y caracterización geológica de una zona determinada y permiten establecer los sectores que presentan las mejores manifestaciones o indicios geológicos de un mineral.

A. Planificación de la fase

- Recopilación y análisis de información.
- Reconocimiento de campo.
- Planeación técnica.
- Ajuste técnico y económico del proyecto.

B. Pre operación

- Contratación de personal

C. Operación de campo

- Utilización de trochas y accesos existentes.
- Base topográfica.
- Cartografía geológica.



- Apertura de trincheras.
- Remisión de muestras y análisis de laboratorio.

D. Evaluación de resultados y toma de decisiones

Si los resultados obtenidos indican la posibilidad de existencia de un depósito mineral se continúa con las actividades de la Fase II.

Fase II. Exploración Geológica de Subsuelo:

Esta fase busca delimitar el depósito potencialmente económico, con estimativos más específicos de tamaño y contenido general, definiéndole verdadero potencial geológico minero del yacimiento.

Debido a la naturaleza, forma y tamaño del depósito, además del tiempo, no se considero esta fase, en el planeamiento del proyecto; además como se trataba de un estudio preliminar, se proyecto trabajar con muestras de trinchera, debido al difícil acceso y ausencia de vías internas en las áreas. Pero debido a los resultados obtenidos, del análisis de las muestras, se proyecta a futuro un programa de apertura de galerías exploratorias y perforaciones, para corroborar el modelo geológico propuesto para la zona.

Fase III. Evaluación y Modelo Geológico:

Los resultados obtenidos en las fases previas, son la base para definir el verdadero potencial, planear y diseñar el Programa de Trabajo y Obras (PTO). Son necesarios los mapas, planos y perfiles geológicos a escalas de detalle.

- Evaluación e interpretación de la información geológica.



- Construcción del modelo geológico y estructural.
- Calculo de reservas.

Fase IV. Programa de Trabajo y Obras:

El Programa de Trabajo y Obras (PTO) suministra la base técnica, logística económica y comercial para tomar la decisión de intervenir y desarrollar un proyecto minero; de esta manera el PTO deberá desarrollar: Análisis del Mercado, planeamiento y diseño de explotación del material, Beneficio y Transformación y estudio de la infraestructura de transporte.

- Estudio de mercados
- Diseño y planeamiento minero
 - Planeamiento general
 - Calculo de reservas
 - Producción
 - Análisis económico y financiero
- Estudio del impacto ambiental.

9.3.1 Evaluación de los impactos ambientales durante la exploración

Los impactos más notorios están relacionados con la generación de expectativas dentro de la comunidad de la zona, la infraestructura requerida por el proyecto y la magnitud de las perforaciones y galerías exploratorias que se deben realizar. Se presentan por alteración, tanto positiva como negativa de los componentes bióticos, abióticos y sociales del medio. La comunidad en el área no se halla familiarizada con la explotación; por tal razón el impacto será de gran magnitud; pero se generan expectativas, respecto a la parte laboral, en cuanto a empleos permanentes y temporales, además, la comunidad es conciente que de realizarse



este proyecto traería beneficios indirectos, tales como redes de acueducto, vías, redes eléctricas y transporte de personal por parte de los vehículos que cargan el material, además de los pagos de regalías por explotación que mejorarían la calidad de vida de la comunidad.

Para la evaluación de impactos ambientales se realiza inicialmente:

- Correlación de la actividades exploratorias con los potenciales impactos
- Valoración de los impactos ambientales, de acuerdo a criterios cualitativos y una orientación para precisar la magnitud de Los Trabajos de Exploración (LTE).
- Finalmente se hace referencia a las posibles medidas de manejo ambiental de acuerdo con la relación de las actividades generadoras del impacto y los impactos mismos. La valoración será la base para la especificación de las fichas para el manejo ambiental específico de la exploración que deben inscribirse ante la autoridad ambiental competente.

9.3.1.1 Identificación de los impactos ambientales

Para la identificación de los impactos ambientales se utiliza el método de la “Matriz Causa-Efecto”, ya que relaciona, de forma global, los factores ambientales susceptibles de afectación con las actividades generadoras de la afectación. Esta matriz se aplica para las actividades generadoras de impacto en la Exploración Geológica de Superficie.

9.3.1.2 Valoración de la magnitud de los impactos ambientales

Para complementar la valoración de los impactos ambientales específicos del área de exploración, se debe determinar la posible magnitud de los mismos. La



magnitud de los impactos depende de las condiciones específicas del área de exploración y de otros factores como el tipo de mineral que se desee explorar, la profundidad del depósito, la composición química del mineral y de las rocas encajantes, la topografía, los procedimientos exploratorios adelantados, los usos del suelo, la cercanía a asentamientos humanos y la presencia de cuerpos de agua subterráneos y superficiales.

9.3.1.3 Relaciones de actividades, impactos y fichas de manejo:

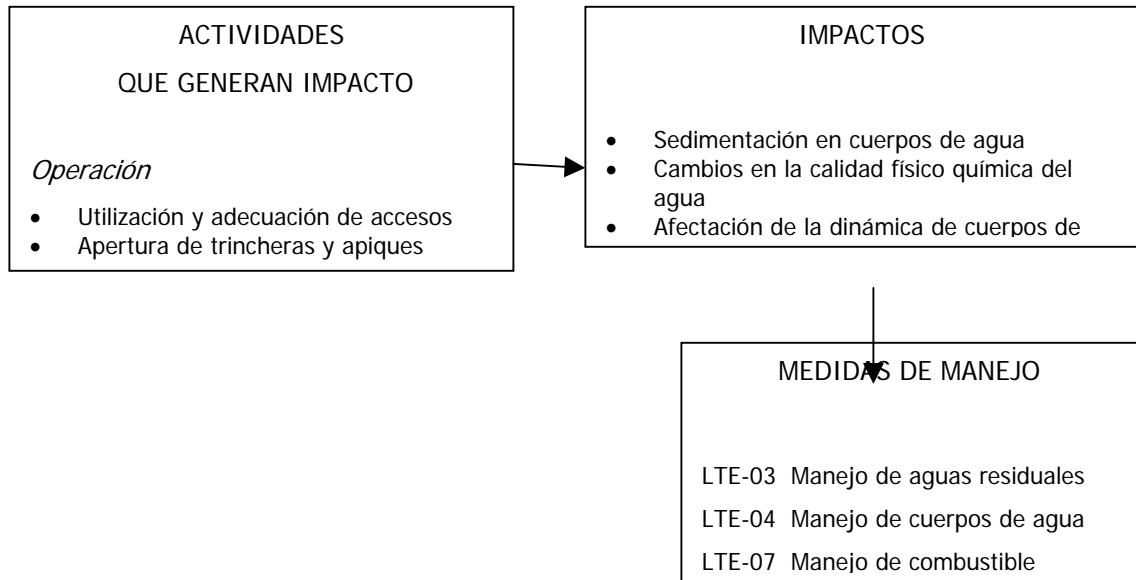
Se hace una correlación entre las actividades generadoras de impactos y los impactos mismos, como resultado de esta correlación se establecen medidas que previenen y minimizan los impactos ambientales de LTE, estas medidas se conocen como fichas de manejo, las cuales son a su vez la base para realizar la gestión y desempeño ambiental durante el proyecto minero. Las fichas se enfocan, en lo que concierne al deterioro en la calidad del agua, del aire y del suelo a la afectación de la cobertura vegetal, de la infraestructura pública y privada y del patrimonio cultural, a la modificación del paisaje y a la generación de expectativas y empleo, (Urbina et al, en León, J., 2004).

- Impacto del componente hídrico

Estos impactos están relacionados con la alteración físico química y biológica del recurso hídrico o la modificación del drenaje natural, originados por el aporte de sedimentos, material orgánico u otros residuos líquidos como combustibles. Al realizar la fase de exploración preliminar y futura de la concesión el impacto del componente hídrico, específicamente sobre las quebradas temporales Mata de Cacao y La Trinidad para la zona de Trigueros; y la quebrada La Colorada para la zona de Río Blanco; que se causara, se resume en la tabla de impactos ambientales.

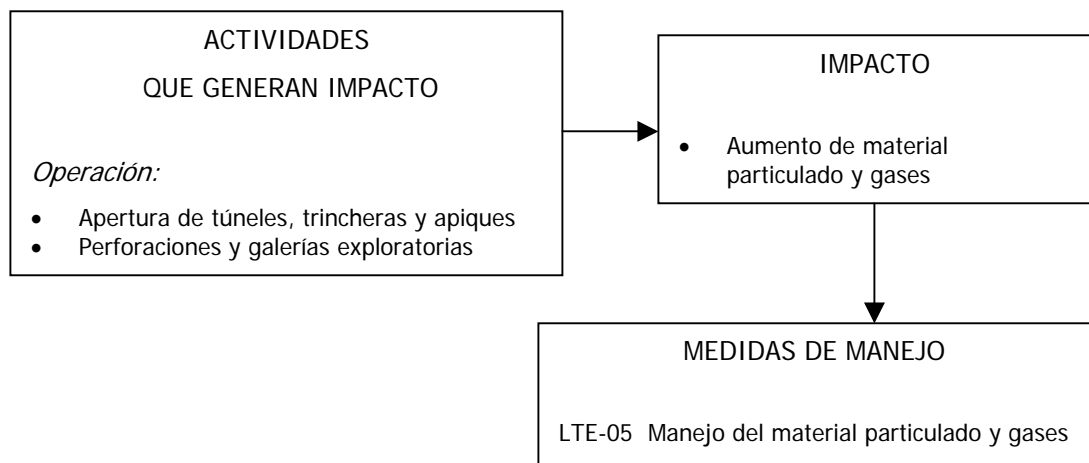


Ficha 1. Impacto del componente hídrico; Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.



- Impacto del componente Aire (material particulado y gases)

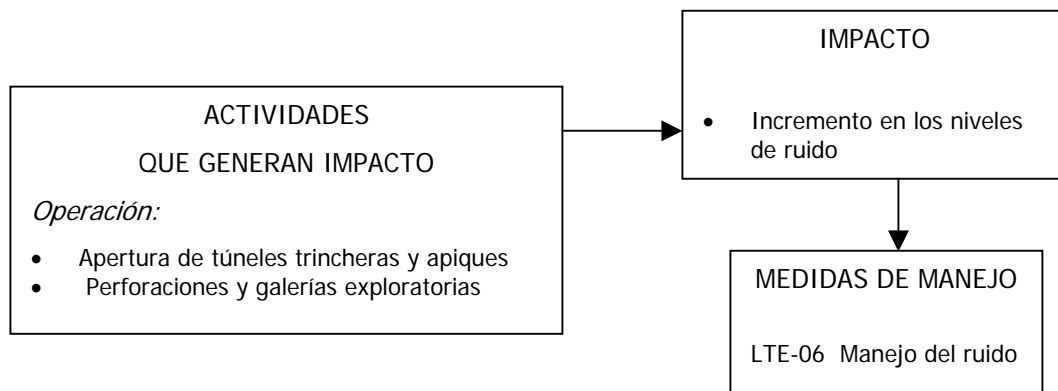
Ficha 2. Impacto del componente aire; Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.



Las sustancias contaminantes del aire como el material particulado y los gases de la combustión (óxido de carbono, nitrógeno y azufre), son resultantes del consumo de combustibles y explosivos. La magnitud del impacto depende de la intensidad de las emisiones, de las condiciones de ventilación del área y de la presencia de receptores. Las emisiones de material particulado se producirían en la apertura de trincheras y galerías exploratorias, además de los gases propios de la maquinaria utilizada.

- Impacto del componente aire (ruido)

Ficha 3. Impacto del componente aire (ruido); Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.



Por la operación de maquinaria y equipos para los trabajos de exploración. En la apertura de trincheras este impacto fue mínimo debido a los pocos accesos y escarpes de la zona de trabajo, fue necesario realizarlas de forma manual.

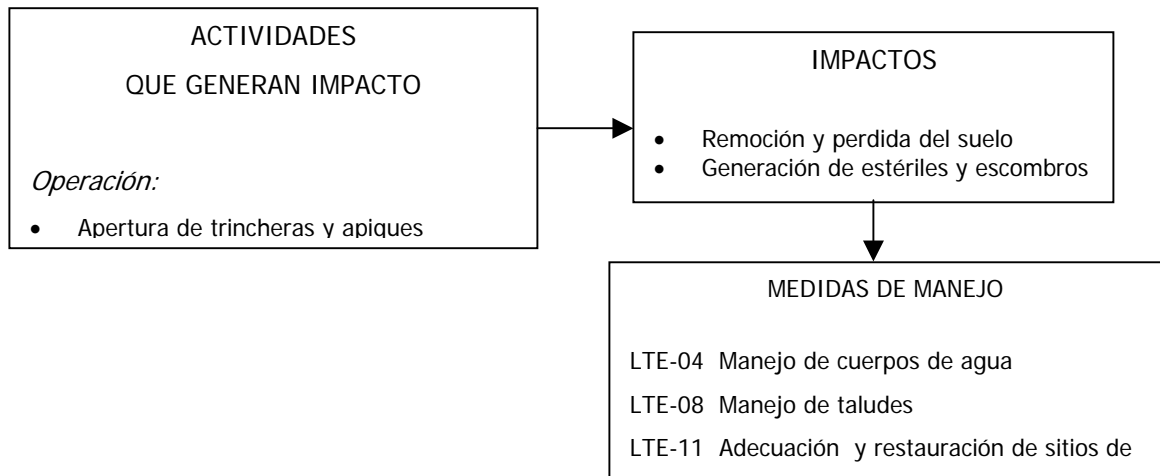
- Impacto del componente suelo (remoción y pérdida del suelo)

Impacto derivados de la preparación y adecuación de terrenos para las actividades propias del proyecto exploratorio, que aumentan temporalmente la exposición del



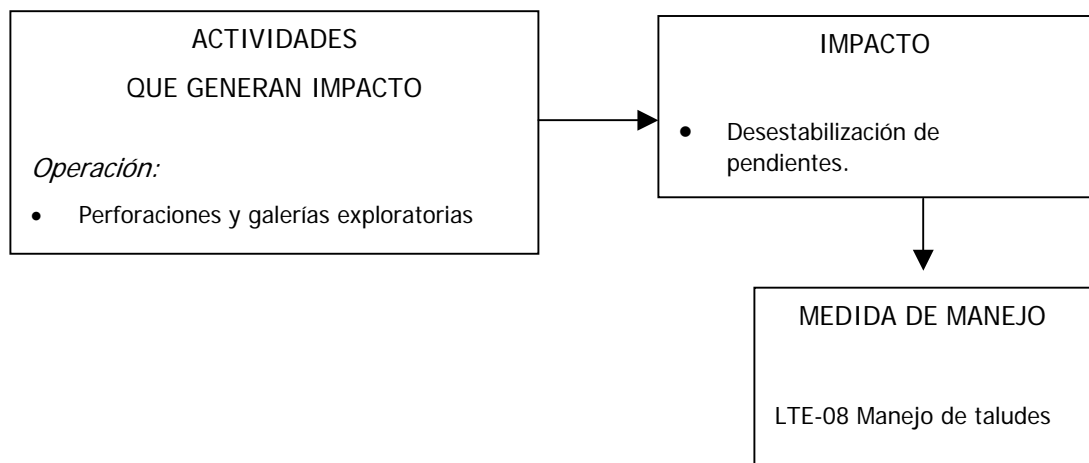
suelo a factores climáticos. Este impacto se mitiga con un diámetro y ancho mínimo en las trincheras y galerías de exploración.

Ficha 4. Impacto del componente suelo; Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.



- Impacto del componente suelo (desestabilización de pendientes)

Ficha 5. Impacto del componente suelo (desestabilización de pendientes); Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.

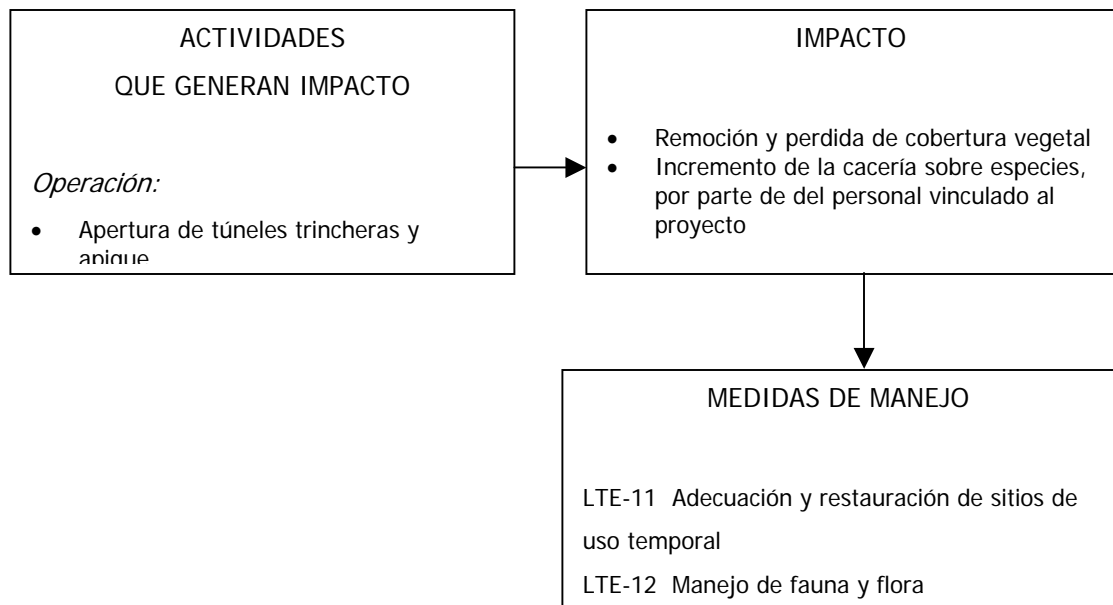




Se genera por la remoción de cobertura vegetal y capa superficial del suelo en terrenos con relieve pronunciado, el cual una vez expuesto a la lluvia y al sol puede desencadenar desprendimientos de material a corto y largo plazo. La desestabilización de pendientes comprende los procesos de degradación del suelo como la remoción en masa y la erosión. Este impacto se mitiga reduciendo el diámetro de la galería, así se expone un área mínima a los procesos de degradación del suelo; debido a la abrupta topografía, impide la adecuación de un sitio para la depositación del material estéril y escombros resultantes al realizar la galería, obligando a depositarlos a un lado de la galería, que en un futuro podrían caer por gravedad.

- Impacto del componente flora y fauna.

Ficha 6. Impacto del componente flora y fauna; Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.

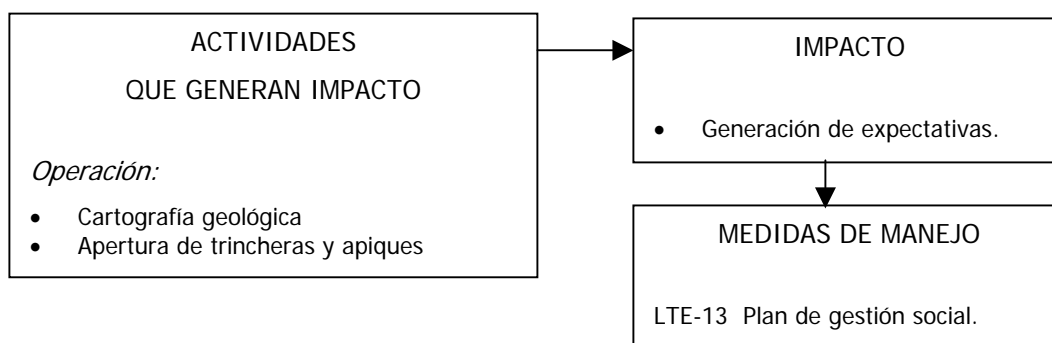




La cobertura vegetal se puede afectar de diversas maneras en los proyectos exploratorios. Una de ellas es su remoción durante actividades que impliquen movimientos de tierra o adecuación de áreas.

- Impacto del componente social (generación de expectativas)

Ficha 7. Impacto del componente social (generación de expectativas); Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.



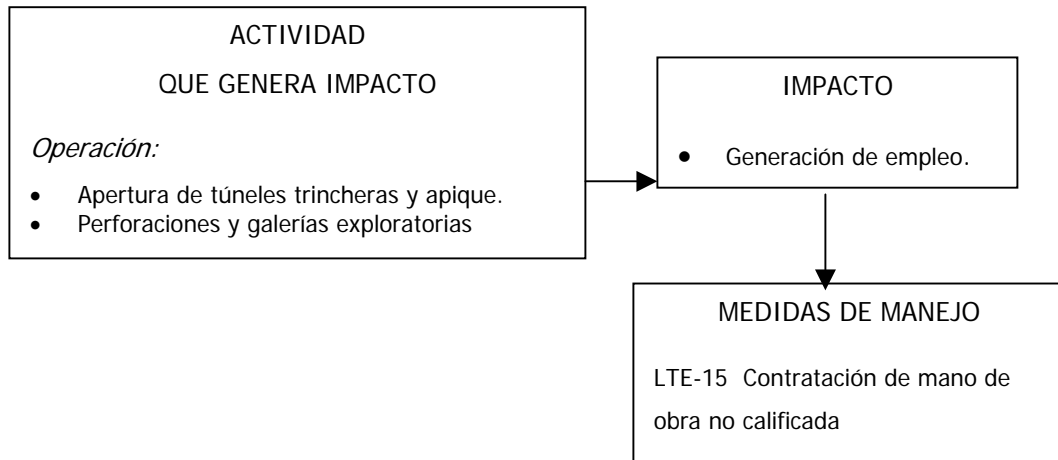
La contratación de personal y los posibles impactos que pueda causar la inserción de un proyecto en una región, genera expectativas en los pobladores del área de influencia. Este factor no tiene gran impacto en el área debido a que la comunidad esta relacionada con esta serie de proyectos.

- Impacto del componente social (generación de empleo)

Es el requerimiento de mano de obra temporal en los trabajos de exploración; este se podría considerar un impacto positivo por que disminuye transitoriamente el índice de desempleo. En la comunidad, las principales expectativas no son en la fase de exploración debido a la temporalidad de estos trabajos, pero si en la

fase de desarrollo del proyecto, ya que los requerimientos de mano de obra son mayores y permanentes.

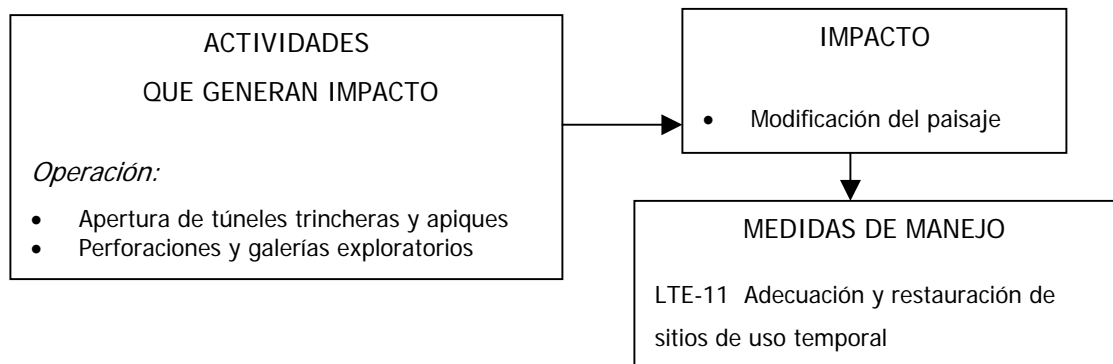
Ficha 8. Impacto del componente social (generación de empleo); Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.



- Impacto en el paisaje

Es un cambio escénico del paisaje natural y cultural, ocasionado por la infraestructura del proyecto. En el área de trabajo el impacto en el paisaje fue minimizado, debido a que la infraestructura utilizada fue nula, y la requerida mínima y temporal, además el ancho de las trincheras fue el menor y el diámetro proyectado para la galería exploratoria es reducido por impacto y costos.

Ficha 9. Impacto en el paisaje; Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.





En cuanto al manejo de sobrantes en la apertura de trincheras, el volumen de escombros no es considerablemente mayor al que puede ser removido por efecto de lluvias y circulación de caprinos; es probable que en la apertura de la galería exploratoria este volumen aumente un poco, pero no es considerable como para modificar el paisaje permanentemente.

9.3.2 Manejo de impactos ambientales

El tratamiento de los impactos ambientales se ejecuta tomando como referencia las fichas de manejo para cada uno de los componentes ambientales afectados y para las actividades específicas de la exploración, susceptibles de generar impacto.

Tabla 14. Lista de fichas de manejo específico; Tomado y modificado de Urbina et al, en León, J., 2004.

Nº FICHA	MANEJO ESPECÍFICO
LTE-03	Manejo de aguas residuales
LTE-04	Manejo de cuerpos de agua
LTE-05	Manejo de material particulado y gases
LTE-06	Manejo de ruido
LTE-07	Manejo de combustibles
LTE-08	Manejo de taludes
LTE-09	Manejo de accesos
LTE-11	Adecuación y recuperación de sitios de uso temporal
LTE-12	Manejo de fauna y flora
LTE-13	Plan de gestión social
LTE-14	Capacitación de personal
LTE-15	Contratación de mano de obra no calificada



Adicional a este plan de manejo ambiental específicamente de la fase de exploración, se anexa los términos de referencia generales para explotaciones de minerales y afines, importantes en el futuro cuando se inicien labores de explotación, (Anexo J).



CONCLUSIONES

- Las zonas de estudio, Trigueros y Río Blanco, hacen parte de la zona baja de las cuencas de los Ríos Opón y Sogamoso que a su vez se encuentran en la cuenca del Valle Medio del Magdalena.
- La cartografía geológica realizada a escala 1:5000 permitió identificar para el área de Trigueros tres unidades litoestratigráficas; Formación Umir (Cretáceo), Formaciones Lisama y La Paz (Terciario); en cuanto al área de Río Blanco las unidades identificadas son las Formaciones La Luna y Umir (Cretáceo), el Grupo Chuspas constituido por las Formaciones Mugrosa y Colorado, y el Grupo Real (Terciario); además de depósitos cuaternarios de tipo fluvial y lacustre en ambas zonas.
- En el estudio de la Formación Umir, en el costado oriental del Valle Medio del Magdalena, realizado en el área de Trigueros, sección Quebrada Mata de Cacao, se definió un espesor total de 362.25 metros, con predominio de shale, shale carbonoso, arcillolitas, areniscas y carbón.
- En el área de Río Blanco, el estudio de la Formación Umir se realizó en dos drenajes que alimentan al Río Blanco, levantándose dos columnas con espesores totales de 273.63 metros y 142.35 metros, con predominio de shale, shale carbonoso, arcillolitas y carbones.
- La sección levantada de la Formación Umir en el área de Trigueros permitió reconocer 22 niveles de carbón de los cuales 3 niveles presentan espesores mayores a 0.70 metros y se clasifican como mantos explotables. En el área de



Río Blanco las secciones levantadas de la misma Formación permitieron identificar 27 niveles de carbón, de estos, 12 niveles presentan espesores mayores a 0.70 metros y son mantos económicamente explotables.

- En el área de Trigueros se pudieron reconocer los tres miembros (Superior-Medio-Inferior) de la Formación Umir como se demuestra en la sección levantada; mientras que en la zona de Río Blanco solo se levantaron secciones de los miembros Superior y Medio de la Formación Umir, aunque se reconoció el miembro Inferior de esta Formación, no se registró en ninguna de las secciones.
- Los rasgos estructurales regionales se encuentran relacionados al Sistema de Fallas de La Salina. la cual es producto del ambiente tectónico compresivo regional, su dirección es NE - SW; y desde el punto de vista estructural local, estas zonas se caracterizan por la presencia de fallas inversas de tipo lítrico de ángulo agudo hacia el oriente con dirección predominantemente NE - SW y algunas de tipo transcurrente con dirección NW – SE.
- El estudio macroscópico de los niveles carbonosos de la zona de Trigueros indica que los carbones son del tipo vitreno, Clareno y Fuseno con un bandeamiento muy fino y con fractura ortogonal, irregular y fibrosa. Para la zona de Río Blanco los niveles de carbón son del tipo Vitreno, Clareno y Dureno estos carbones presentan un bandeamiento de mayor espesor, con fractura concoidea, ortogonal e irregular.
- El cálculo de reservas se realizó teniendo en cuenta los mantos, niveles cuyos espesores son mayores o iguales a 0.7m. Se realizó el cálculo del tonelaje real y efectivo de estos niveles en las dos áreas de estudio. Para el área de



Trigueros (3 mantos) se obtuvieron valores para reservas medidas reales de 867864,8 toneladas y 912527,1 toneladas de reservas medidas efectivas y en la zona de Río Blanco (12 mantos) se obtuvieron valores de 2.417.259,07 toneladas de reservas medidas reales y 16'069.953,49 toneladas de reservas medidas efectivas.

- De acuerdo con los resultados de los análisis químicos realizados y el sistema de clasificación A.S.T.M. de carbones por rango, los carbones del área de Trigueros corresponden al grupo Bituminoso medio volátil y los carbones del área de Río Blanco corresponden al grupo Bituminoso alto volátil A.
- La correlación de las columnas levantadas en las área de estudio, permite apreciar un patrón o tendencia, disminución de espesor y acuñaamiento hacia el área de Trigueros, lo que conlleva al pinchamiento de algunos mantos de Río Blanco; y por ende disminución de los espesores y reservas probables.
- Colombia podría convertirse en el primer centro productor de carbón en Latinoamérica, dada la magnitud de sus reservas potenciales y favorable situación de demanda que registran los mercados internacionales actuales, por lo cual, el gobierno debe apoyar a la pequeña y mediana minería nacional que busque un desarrollo regional y forjar un excelente futuro. Queramos lo nuestro.



RECOMENDACIONES

- Se hace referencia a la necesidad de seguir con una segunda fase de exploración que incluya la perforación de pozos, la descripción de corazones, la construcción de trincheras y estudios geoelectricos que nos brinden más información tanto del carbón como de los soportes de éste.
- Continuar con la cartografía geológica detallada del área del Río Opón y sus alrededores, la cual aún no esta definida por ningún ente gubernamental ni privado (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (I.G.A.C.) o INGEOMINAS).
- Considerando la complejidad tectónica en las dos áreas, se recomienda realizar un estudio geológico de mayor intensidad a fin de identificar con mayor exactitud el comportamiento de cada una de las estructuras y como estas afectarían la continuidad lateral de los mantos de carbón presentes.
- Se recomienda la generalización de la determinación del poder reflector de la vitrinita como parámetro confiable en la medición del rango para carbones; debido a que este maceral esta íntimamente relacionado con el proceso de formación del carbón y con sus propiedades plásticas y/o coquizantes.



BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA, C., 1987. Carbón. Recursos minerales de Colombia. Segunda edición. Publicaciones Geológicas Especiales Ingeominas, II (1): p 1023-1060. Santa Fe de Bogotá.

BARRAGAN, L. y SERRANO, H., 1994. Estudio Geológico y Evaluación Preliminar del Recurso Carbonífero al sur del Corregimiento de El Carmen de Tonchalá, Municipio de Cúcuta, Departamento de Norte de Santander. Tesis de grado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. 166 p. Bucaramanga.

CASTRO, E. y GOMEZ, F., 1988. Reconstrucción del ambiente de depósito del Miembro Superior de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, Departamento de Santander. Tesis de grado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. 102 p. Bucaramanga.

CLAVIJO, Jairo y ROYERO, José María, 2000. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander (escala 1:400000) (memoria explicativa). Informe presentado al INGEOMINAS. Centro operativo de Bucaramanga- Colombia.

COOPER, M. B., ADDISON, F. T., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, A. B., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A. J., TABORDA, A., (1995) Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. A.A.P.G. Bulletin. Vol. 79 N° 10. p 1421-1443.

DURAN, R. et al. 1981. Evaluación de Reservas de Carbón en siete zonas de Colombia. Publicaciones Especiales, No 6. Santa Fe de Bogotá.



ECOCARBÓN, 1994-1995. Carbón. Minerales Estratégicos para el Desarrollo de Colombia. Ingeominas,: p 311-339. Santa Fe de Bogotá.

—, 1996. El carbón. Ecocarbón. Santa Fe de Bogotá.

—, 1996. Estado Actual de la Pequeña Minería del Carbón en Colombia, Ecocarbón. Santa Fe de Bogotá.

ECOPETROL-ICP y CONSORCIO G Y G, 2003. Modelamiento Estructural del Cetáceo en Campos del VMM. Informe Final. Piedecuesta.

ETAYO, F., et al., 1983. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales Ingeominas, (14-I): p 1- 235. Santa Fe de Bogotá.

GONZALEZ, D. y SANCHEZ CH., 1999. Potencial de Generación de Hidrocarburos de la Formación La Luna y la Formación Umir en el flanco oriental del Valle Medio del Magdalena. Tesis de grado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. 115 p. Bucaramanga.

HARTMAN, H., 1987. Introductory Mining Engineering. John Wiley & Sons. 632p.

HOBBS, B., MEANS, W. y WILLIAMS P., 1981. Geología Estructural. p 2 – 320. Barcelona.

INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia. Segunda edición. Publicaciones Geológicas Especiales Ingeominas. Tomos I y II, 1113 p. Bogotá.



—, 1999. Inventario Minero Nacional, Recopilación de Información Secundaria, Departamento de Santander. Santa Fe de Bogotá.

— y MINERCOL, 2004. El Carbón Colombiano, Recursos, Reservas y Calidad. Santa Fe de Bogotá.

IRVING, E. M., 1971. La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. Ingeominas. Boletín Geológico, 19 (2): 1-89. Santa Fe de Bogotá.

JULIVERT, M., 1968. Amerique Latine. Léxico Estratigráfico de Colombia, Primera Parte, Vol V, Fascículo 4º. 529 p.

—, 1961. Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, (6): p 33-52. Bucaramanga.

LAFABURIE, L., 2001. Código de minas Ley 685 De 2001. Colombia.

LEÓN, J., 2004. Exploración y Cálculo de Reservas Probables de Yeso en la Concesión 783-R, al NW del Municipio de los Santos, Departamento de Santander. Tesis de grado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. 123 p. Bucaramanga.

NOLASCO, J., 2004. Estudio de la Foliación Tectónica en el Sector Vélez-Bolívar-Guavatá. Departamento de Santander. Tesis de grado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. 114 p. Bucaramanga.

ORTIZ, M. y MOJICA, G., 1996. Estudio Geológico y Calculo de Reservas Medidas e Indicadas de Carbones para un área de 47 km² en el Municipio de



Jerusalem, Departamento de Cundinamarca. Tesis de grado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. 94 p. Bucaramanga.

SARMIENTO, L. F., (2001) Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Ecopetrol Vrije Universiteit Amsterdam. Colombia. 295 p.

SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL, 1967. Mapa Geológico Preliminar del Cuadrángulo I-11, Cimitarra. Escala 1:200.000. Santa Fe de Bogotá.

UPME. 2002. Competitividad del sector minero colombiano. Santa Fe de Bogotá.

WARD, W. et al. (1973). Geología del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Santander y Norte de Santander. Boletín Geológico de Ingeominas, volumen 21, No. 1-3 p 1-32. Bogotá – Colombia.



ANEXO J

TÉRMINOS DE REFERENCIA



TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA EXPLOTACIÓN DE MINERALES Y AFINES

1. RESUMEN EJECUTIVO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Contendrá un resumen de cada capítulo del Estudio de Impacto Ambiental; la relación de los profesionales participantes en la elaboración del estudio, con los nombres y profesión; especificar los métodos de recolección de información; relación del marco normativo que regula el proyecto e identificación de deficiencias de información que causen incertidumbre en la determinación y evaluación de impactos ambientales, si se llegaran a presentar.

Incluirá los objetivos y la justificación del proyecto, describiendo claramente el propósito y necesidad del mismo, de acuerdo a aspectos de tipo social, económico y ambiental.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. Localización geográfica del proyecto.

2.2. Descripción técnica del proyecto:

- Levantamiento topográfico del predio con el cálculo del área y referencia a sitios de interés.
- Área ocupada y su distribución.
- Etapas del proyecto.
- Sistema de explotación y cantidad de material a explotar
- Transporte del Material
- Áreas o zonas destinadas para el acopio del material



- Movimientos de Tierra (especificar volumen y disposición final del mismo)
- Mano de obra, maquinaria y equipos a utilizar
- Definición de las medidas y obras de recuperación del área a explotar.
- Cronograma de ejecución del proyecto
- Costo del proyecto

3. PROCESO DE EXPLOTACIÓN DEL PROYECTO

3.1 Descripción de las etapas de explotación

- Adecuación de Accesos
- Proceso de extracción
- Demás pendientes

3.2 Identificar y cuantificar los recursos naturales y paisajísticos afectados de alguna forma por el desarrollo del proyecto.

4. LÍNEA BASE AMBIENTAL

Identificación y caracterización de las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto, teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

4.1. COMPONENTE GEOSFÉRICO

- Geología: formaciones existentes, perfil estratigráfico.
- Geomorfología: pendientes, contextura de la superficie, procesos erosivos.
- Clima: temperatura, precipitación, humedad relativa.
- Hidrología: drenajes naturales y artificiales.
- Paisaje: Impacto visual y cambios del paisaje, causados por la explotación.



4.2. COMPONENTE BIÓTICO

Flora y Fauna representativa del sector y su vulnerabilidad.

4.3. COMPONENTES SOCIOECONÓMICO

Características de la población del área de influencia directa e indirecta del proyecto parámetros de análisis: nivel de vida, escolaridad, ingresos, acceso a servicios públicos y programas de desarrollo en el ámbito institucional que involucren la zona del proyecto).

5. IMPACTOS Y EFECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO

Identificación, análisis, estimación y jerarquización de los impactos y efectos ambientales generados durante la explotación del material de arrastre, los cuales se pueden representar mediante modelos, ecuaciones, matrices de interacción de las etapas del proyecto y de los componentes ambientales.

Se hará énfasis en los efectos relacionados con la contaminación hídrica y atmosférica.

6. ANÁLISIS DE RIESGO

Establecer las pautas para la elaboración del plan de contingencia y determinar a nivel de prefactibilidad, las posibles amenazas en la operación, las circunstancias y condiciones que afectan los riesgos, los factores de vulnerabilidad de los escenarios de posibles siniestros y probabilidad de ocurrencia.



7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Se deben implementar programas que tengan por objeto prevenir, corregir, mitigar y compensar los posibles efectos e impactos ambientales generados en el desarrollo. Los diferentes programas de manejo deben contener los diseños tipo y plano de las obras necesarias para su implementación, dichos programas deben ser como mínimo los señalados a continuación:

7.1 Programa de recuperación física de áreas afectadas, reforestación, empradización, estabilidad de taludes y rehabilitación del impacto visual.

7.2 Programa para mitigar ruido y emisiones atmosféricas.

7.3 Programa de manejo de estériles.

7.4 Señalización y aislamiento preventivo del sector.

7.5 Programa de higiene, seguridad industrial y salud ocupacional.

7.6 Plan de contingencia: Este plan deberá ser elaborado con base en el análisis de riesgos del proyecto.

7.7 Cronograma y costos del plan de manejo ambiental.

Presentar el cronograma en diagrama de barras, e incluir en el presupuesto, los Costos unitarios y cantidades de obra para cada una de las actividades del Plan de Manejo Ambiental.



8. PRESENTACIÓN

Estudio de Impacto Ambiental debe ser presentado ala C.A.S., en copia magnética y en documento escrito original y copia.

Se debe anexar:

- Planos geológicos, topográficos
- Reseñas fotográficas
- Contratos de concesión expedidos por Minercol.
- Documentos que acrediten la propiedad del predio a intervenir (fecha reciente).