

**INFORME DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA PARA EL PROYECTO MINERO
DOS BOCAS, ÁREA CARBONÍFERA DE SAN LUÍS (SAN VICENTE Y EL
CARMEN DE CHUCURÍ, SANTANDER)**

**SULAY DEL CARMEN SEPÚLVEDA SÁNCHEZ
CÓDIGO 2000091**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2010**

**INFORME DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA PARA EL PROYECTO MINERO
DOS BOCAS, ÁREA CARBONÍFERA DE SAN LUÍS (SAN VICENTE Y EL
CARMEN DE CHUCURÍ, SANTANDER)**

**SULAY DEL CARMEN SEPÚLVEDA SÁNCHEZ
CÓDIGO 2000091**

**Trabajo de grado para optar el título de
GEÓLOGA**

**Director
RICARDO MIER UMAÑA
Geólogo**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2010**

DEDICATORIA

A Dios, a quien todo le debo

A mis padres, por su paciencia y amor

A mis hermanos, por su compañía desde siempre y por su amor

A mi cuñada y mis sobrinos, por su compañía siempre

A mis amigos, por los buenos momentos

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus más sinceros agradecimientos a:

A la Universidad Industrial de Santander, por su colaboración en la construcción de mi formación académica integral.

A la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, por brindar los medios para mi formación profesional.

Al Ingeniero Arturo Cabrera Fernández, Gerente General de Masering S.A. y tutor de este proyecto, por su asesoría, observaciones y sugerencias durante el desarrollo de la práctica empresarial.

A la empresa Masering S.A., en la dirección de su presidente el Señor Oscar Ordóñez Muñoz, quien aportó los medios para la realización de este trabajo y por la oportunidad de realizar esta práctica empresarial.

Al Geólogo Ricardo Mier Umaña, director del presente trabajo, por sus aportes y consejos.

A los Geólogos Eliecer Uribe Portilla y Mario García González, por sus correcciones oportunas.

Al Ingeniero Francisco Javier Pérez Cubides, por su invaluable colaboración, por su asesoría y compañía en este recorrido.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1 GENERALIDADES	3
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	4
1.3. DRENAJE SUPERFICIAL Y FISIOGRAFÍA	7
1.3.1. Cuenca del Río la colorada	9
1.3.1.1. Microcuenca Quebrada Las Arrugas	10
1.3.2. Cuenca del Río Opón	10
1.3.2.1. Subcuenca Río Cascajales	11
1.3.2.2. Subcuenca Río Oponcito	11
1.4. FISIOGRAFÍA	12
1.4.1. Pendientes	13
1.4.2. El paisaje fisiográfico	15
1.4.2.1. Relieve montañoso estructural erosional	16
1.4.2.2. Planicie aluvial mixta	18
1.5. CLIMA Y VEGETACIÓN	20
1.6. EL CLIMA EN LA REGIÓN.	23
1.6.1. Distribución Espacial De La Lluvia.	23
1.7. ZONAS DE VIDA	24
2. GEOLOGÍA	27
2.1. BASE FÍSICA	27
2.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	30
2.3. GEOLOGÍA REGIONAL	31

2.4. ESTRATIGRAFÍA	32
2.4.1. Cretácico Superior	33
2.4.1.1. Formación La Luna (Ksl)	33
2.4.1.1.1. Miembro Salada	33
2.4.1.1.2. Miembro Pujamana	34
2.4.1.1.3. Miembro Galembo	34
2.4.1.2. Formación Umir (Ksu)	34
2.4.1.2.1. Miembro Inferior (Ksu1)	36
2.4.1.2.2. Miembro Medio (Ksu2)	36
2.4.1.2.3. Miembro Superior (Ksu3)	37
2.4.2. Cenozoico (Paleoceno-Eoceno Inferior, TPE)	37
2.4.2.1. Formación Lisama (Tpl)	37
2.4.2.2. Grupo Chorro	38
2.4.2.2.1. Formación La Paz (Tel)	38
2.4.2.2.2. Formación Esmeraldas (Tee)	39
2.4.3. Depósitos Cuaternarios	39
2.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	39
2.5.1. Pliegues	40
2.5.1.1. Anticlinal de San Luís-Lisama	41
2.5.1.2. Sinclinal Peña de Oro	41
2.5.2. Fallas	41
2.5.2.1. Falla La Salina	41
2.5.2.2. Falla de Arrugas	43
3. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA DE SUPERFICIE	44
3.1. BASE TOPOGRÁFICA DEL ÁREA	44
3.2. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA	44
3.2.1. Unidad estructural erosional	45
3.2.2. Unidad Depositacional Mixta	50
3.2.3. Procesos Erosivos	53

3.3. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA	58
3.3.1. Fotogeología del área de interés	59
3.3.2. Litoestratigrafía	61
3.3.2.1. Formación La Luna (Ksl)	65
3.3.2.2. Formación Umir (Ksu)	66
3.3.2.3. Terciario Indiferenciado (Ter)	69
3.3.2.4. Depósitos Cuaternarios	71
3.3.2.4.1. Cuaternario Aluvial	72
3.3.2.4.2. Cuaternario Coluvio-aluvial	72
3.3.2.4.3. Cuaternario de Terrazas	73
3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	75
3.4.1. Estructuras	75
3.4.1.1 Pliegues	80
3.4.1.2. Fallas	80
3.4.1.2.1. Falla La Salina	80
4. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA de detalle	82
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES	84
4.1.1. Bloque Sur	85
4.1.1.1. Excavación de Trincheras y Apiques	88
4.1.1.2. Perforaciones Profundas	94
4.1.2. Bloque Norte	95
5. MUESTREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD	99
5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CARBONES	103
5.1.1. Resultados Ensayos Próximos Completos	103
5.1.2. Clasificación	105
6. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RESERVAS	106
6.1. METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN PRELIMINAR DE	

RESERVAS EN EL PROYECTO CARBONÍFERO DOS BOCAS	106
6.1.1. Definición de las áreas potenciales (Reservas Indicadas)	106
6.1.2. Calculo de reservas de carbón	107
6.1.3. Consideraciones generales	107
6.2. ESTIMATIVO DE RESERVAS INDICADAS BLOQUE NORTE	108
6.3. ESTIMATIVO DE RESERVAS INDICADAS BLOQUE SUR	108
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	112

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de localización del polígono estudiado.	5
Figura 2. Mapa de localización de la Zona Carbonífera de Santander. Tomado de: INGEOMINAS (2004)	6
Figura 3. Mapa de cuencas hidrográficas, referidas al área de interés	8
Figura 4. Mapa de pendientes	14
Figura 5. Modelo Digital de Elevación (Siglas en inglés DEM), que muestra el paisaje fisiográfico presente en el área de la concesión.	15
Figura 6. Esquema en tres dimensiones de la fisiografía del área de interés, en donde se muestra la ubicación del Filo El Guarapo.	17
Figura 7. Mosaico de fotografías que muestra los depósitos que se presentan en el valle de Caño Pescao y Caño Corros, al sur-oeste del área del polígono de la concesión.	18
Figura 8. Fotografía que muestra la ubicación de la Planicie Mixta Aluvial, alrededor del sector conocido como La Carbonera, zona central del polígono	19
Figura 9 .Precipitación media mensual multianual, para las estaciones cercanas al área del Proyecto Dos Bocas.	21
Figura 10. Temperatura media mensual multianual	22
Figura 11. Vegetación del área de estudio.	22
Figura 12. Diagrama para la clasificación de zonas de vida.	26
Figura 13. Área de cubrimiento de las escenas SPOT para el área de interés.	28
Figura 14. Posición georreferenciada de las aerofotografías, en el contexto del área de trabajo.	29
Figura 15. Esquema del mapa geológico del Valle Medio de Magdalena (Departamento de Santander), en donde se ubicó el polígono de la concesión.	32
Figura 16. Columna estratigráfica generalizada, de la cuenca del Valle Medio	

del Magdalena (Tomado de Royero y Clavijo, 2001).	35
Figura 17. Esquema estructural del Departamento de Santander, adaptada de (Vargas (1979), León (1986, 1991) en Royero & Clavijo (2001).	42
Figura 18. Esquema de las geformas estructurales. Fuente: Modificado de Zuidan (1985).	46
Figura 19. Crestón Estructural, sector El Marcito al Noroccidente del área de estudio	47
Figura 20. Esquema de un crestón estructural. Fuente: Modificado de Van Zuidan (1985).	48
Figura 21 Erosión vertical, observada en el Rio Oponcito.	49
Figura 22. Análisis temporal de la variación del cauce del Rio Oponcito.	51
Figura 23. Antiguo Lecho Aluvial del Rio Oponcito.	52
Figura 24. Fotografía que muestra la ubicación de geformas presentes en el área, así como el enmascaramiento cuaternario del área.	53
Figura 25. Procesos de remoción en masa, hacia la parte sur-oriental del polígono de la concesión.	56
Figura 26. Detalle de la erosión lateral de los cauces	57
Figura 27. Mapa fotogeológico, que muestra la ubicación de la información interpretada a partir de fotos aereas, del área de interés.	60
Figura 28. Sección Estratigráfica levantada en la zona sur del polígono concesionado, sobre el Caño Corros (Y=1.058.300, X= 1.242.200)	61
Figura 29. Sección estratigráfica levantada en la zona sur del polígono concesionado, sobre el Caño Burros (Y= 1.057.900, X= 1.240.600)	62
Figura 30. Sección estratigráfica levantada en la zona norte del polígono concesionado, en el sector llamado La Carbonera	63
Figura 31. Mapa de ubicación de las perforaciones realizadas	64
Figura 32. Fotografía de un afloramiento que corresponde a rocas tipo <i>Chert</i> , litología característica de la Formación La Luna. X= 1.242.306; Y= 1.058.834	65
Figura 33. Fotografía del afloramiento de rocas tipo <i>Chert</i> , que presentan una disposición plano paralela y partición en forma de “panelitas”.	66

Figura 34. Fotografía correspondiente a una secuencia lodosa, intercalada con capas de carbón, característica de la Formación Umir. X= 1.241.907 m; Y= 1.058.544 m	67
Figura 35. Fotografía que corresponde al afloramiento de un potente paquete de areniscas guía, que marca el límite entre los Niveles Medio y Superior de la Formación Umir. X= 1.058.020; Y= 1.240.461.	68
Figura 36. Fotografía correspondiente a una secuencia lodosa-carbonosa, típica de la Formación Umir, los estratos tienen rumbo NS y buzamientos 90W y N80E.	69
Figura 37. Panorámica hacia el Filo del Guarapo, que muestra el contacto entre la Formación Umir, suprayacida por las Rocas del Terciario.	70
Figura 38. Fotografía tomada en el contacto fallado entre la Formación Umir y las rocas del Terciario Indiferenciado, en donde se encuentran manifestaciones de aceite en la superficie (“ <i>Oil seep</i> ”), Zona occidental, Sector La Carbonera.	71
Figura 39. Depósitos recientes, sobre el Río Oponcito	72
Figura 40. Depósitos Fluviales, sobre el lecho del Río Oponcito	74
Figura 41. Mapa Geológico Estructural, que muestra los ejes de los pliegues menores que se han cartografiado en la Formación Umir	76
Figura 42. Perfil A-A', que muestra el efecto de la Falla en la topografía y en las rocas de la Formación Umir	77
Figura 43. Mapa de ubicación de cortes elaborados	78
Figura 44. Perfiles elaborados, según los cortes proyectados	79
Figura 45. Mapa de ubicación de bloques potenciales.	83
Figura 46. Mosaico de fotografías, correspondientes a algunos afloramientos de carbón localizados en el área de la concesión.	84
Figura 47. Bloque Sur, mapa de sub-afloramientos o trazas de carbón	87
Figura 48. Trinchera realizada en el Bloque Sur, para determinar el espesor real del manto.	88
Figura 49. Secuencia correspondiente a la Formación Umir (Quebrada Caño	

Pescao), que muestra el plegamiento intenso de las rocas.	89
Figura 50. Excavación de trinchera, en la bloque sur, con el fin de establecer los datos del afloramiento	90
Figura 51. Fotografía del túnel que se desarrolló en las coordenadas N= 1.243.247, E=1.058.303, Sector La Carbonera	91
Figura 52. Fotografía de un manto de carbón, ubicado en las coordenadas N=1.240.610 E=1.057.194, con 1.65 m de espesor.	93
Figura 53. Fotografía de un manto de carbón, localmente fallado	93
Figura 54. Bloque Norte	96
Figura 55. Fotografía de un manto de carbón ubicado al norte del polígono, en el sector del Libano. N=1.245.803, E=1.058.591	97
Figura 56. Muestreo de afloramiento en el área de la Concesión FLF-141	99
Figura 57. GGráfico que corresponde a los valores obtenidos de poder calorífico, para cada muestra analizada	100
Figura 58. Gráfico que corresponde a los valores de azufre para cada muestra analizada	101
Figura 59. Gráfico que corresponde a los valores de ceniza para cada muestra analizada.	101
Figura 60. Gráfico que corresponde a los valores de carbono fijo para cada muestra analizada	102
Figura 61. Gráfico que corresponde a los valores obtenidos a los valores de humedad total para cada muestra analizada	102
Figura 62. Grafico que muestra los valores obtenidos de material volátil para cada muestra analizada	103

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Cuadro De Coordenadas Del Polígono De La Concesión..	1
Cuadro 2. Rangos y descripción de pendientes.	13
Cuadro 3. Estaciones climáticas IDEAM utilizadas para la regionalización de datos	20
Cuadro 4. Cuadro de Parámetros Bioclimáticos	25
Cuadro 5. Procesos característicos en cada uno de los rangos de pendientes.	54
Cuadro 6. Relaciones entre las unidades geomorfológicas y algunas características.	58
Cuadro 7. Coordenadas del Bloque Sur	86

LISTA DE ANEXO

(Ver CD anexo)

RESUMEN

TÍTULO: INFORME DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA PARA EL PROYECTO MINERO DOS BOCAS, ÁREA CARBONÍFERA DE SAN LUÍS (SAN VICENTE Y EL CARMEN DE CHUCURÍ, SANTANDER). *

Autora: Sepúlveda Sánchez, Sulay del Carmen**

Palabras Claves: Formación Umir, carbón, términos de referencia, exploración, programa de trabajos y obras, Santander, San Luís.

El proyecto minero Dos Bocas, se encuentran ubicado a 50 km, aproximadamente al sureste de la ciudad de Barrancabermeja, en límites de los municipios de San Vicente de Chucurí y El Carmen de Chucurí, Santander. Geológicamente, sobre el Valle Medio del Magdalena, en el área carbonífera de San Luís, siendo en este caso, la Formación Umir la portadora de los mantos de carbón de interés económico.

El desarrollo de este proyecto se ha llevado teniendo en cuenta los términos de referencia para trabajos de exploración, con fines de explotación minera del recurso carbonífero: La exploración geológica de superficie, la exploración geológica del subsuelo, el análisis y evaluación de la información y finalmente la programación de los trabajos y obras, relacionados con el diseño y planeamiento minero. Los estudios geológicos de superficie consistieron en efectuar cartografía geológica a escala 1:10.000 de las Formaciones Terciario Indiferenciado, Umir y La Luna del Cretácico, además de depósitos aluviales del cuaternario.

En el nivel superior de la Formación Umir (Ksu3) se encontraron aproximadamente 8 mantos de carbón con espesores que oscilan entre 0.65 m. y 3.0 m. Los mantos se localizaron en diversos puntos a lo largo del área del polígono, lo que ha permitido inferir su continuidad lateral y estratigráfica. Debido al comportamiento plástico de la Formación Umir los mantos presentan plegamientos anticlinales apretados y sinclinales un poco más amplios.

Para la caracterización de estos carbones, se practicaron análisis próximos completos a 15 muestras de afloramientos. Estos presentan contenidos de azufre entre 0.65% a 2.14%, en la base como se recibe. Los afloramientos que reportan los mejores valores para los parámetros de calidad evaluados, son el DBS15-M07, DBS89-15 y DBS98-M16. Estos carbones fueron categorizados como Bituminosos Alto Volátil B.

Además, en la categoría de reservas indicadas se estimaron 118.480.000 mT.

* Trabajo de Grado. Modalidad Práctica Empresarial. Masering S.A.

** Facultad de Ingenierías Físico – Químicas, Escuela de Geología. Directores: I.C. Arturo Cabrera Fernández (Masering S.A.) y Geólogo Ricardo Mier Umana (UIS).

SUMMARY

TITLE: REPORT OF GEOLOGICAL EXPLORATION FOR MINING PROJECT DOS BOÇAS, COAL AREA OF SAN LUIS (SAN VICENTE AND EL CARMEN DE CHUCURI, SANTANDER).*

Author: Sepúlveda Sánchez, Sulay del Carmen**

Keywords: Umir Formation, coal, terms of reference, exploration work program and works, Santander, San. Luis.

The mining project Dos Bocas, are located 50 km, approximately southeast of the city of Barrancabermeja, in limits of the municipalities of San Vicente de Chucurí and Carmen de Chucurí, Santander. Geologically, over the Middle Magdalena Valley, in the coal area of San Luis, being in this case, Umir Formation the carrier of coal beds of economic interest.

The development of this project has been given following the terms of reference for exploration work, with the purpose of mining coal resources exploitation: The geological exploration of surface, subsurface geological exploration, analysis and evaluation of information and finally programming of works and works related to design and mine planning. Surface geological studies carried out geological mapping at 1:10,000 of the Undifferentiated Tertiary Formations, Umir and the Moon of Cretaceous, in addition Quaternary alluvial deposits.

At the top level of Umir Formation (Ksu3) about 8 carbon mantles were found with thickness ranging between 0.65 m. and 3.0 m. The robes were located at various points along the area of the site, which has allowed infer its lateral and stratigraphic continuity. Due to the plastic behavior of Umir Formation the mantles have tight anticlines and synclines folds a little wider.

To characterize these coals, complete analysis were performed to 15 samples of outcrops. These have sulfur contents between 0.65% to 2.14% in the as-received basis. The outcrops that report the best values for quality parameters evaluated are the DBS15-M07, DBS89-15 and DBS98-M16. These coals were categorized as High Volatile Bituminous B.

Furthermore, in the category of indicated reserves were estimated 118,480,000 mT.

* Trabajo de Grado. Modalidad Práctica Empresarial. Masering S.A.

** Facultad de Ingenierías Físico – Químicas, Escuela de Geología. Directores: I.C. Arturo Cabrera Fernández (Masering S.A.) y Geólogo Ricardo Mier Umana (UIS).

INTRODUCCIÓN

El propósito de este estudio se enfocó a la cartografía geológica de superficie y a la investigación de los recursos carboníferos observados en afloramientos, y en el subsuelo mediante cinco perforaciones realizadas, en un área que se encuentra comprendida geográficamente entre las poblaciones del Carmen de Chucurí y San Vicente de Chucurí, en el Departamento de Santander y enmarcada dentro de un polígono de 1870 ha, aproximadamente, según las coordenadas referenciadas en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, mostrado a continuación:

PUNTO	ESTE	NORTE
1	1.059.000	1.240.000
2	1.058.727	1.242.000
3	1.059.000	1.247.700
4	1.059.000	1.250.000
5	1.058.000	1.247.000
6	1.057.000	1.247.000
7	1.057.000	1.244.000
8	1.056.000	1.243.000
9	1.055.500	1.240.000
ÁREA TOTAL= 1869.895 Ha		

Cuadro 1 Cuadro De Coordenadas Del Polígono De La Concesión..

Los estudios geológicos de superficie consistieron en efectuar cartografía a escala 1:10.000 en el área de interés, enfatizando la caracterización de La Formación Umir, además se logró identificar la litología característica de las Formaciones Esmeraldas, La Paz y Lisama del Terciario, las cuales fueron agrupadas en una sola unidad, debido a que no se desarrolló una mejor caracterización de estas. Este conjunto de formaciones de edad Terciaria, ha sido denominada para este

trabajo como Terciario Indiferenciado. De igual manera se reporta la Formación La Luna del Cretácico, así como algunos depósitos de edad Cuaternario. Se redefinió la tectónica local, por las implicaciones que ello trae y se abordó el análisis geomorfológico como elemento básico para abordar el plan de manejo del área.

El interés principal sobre la caracterización de la Formación Umir, además de la elaboración cartográfica básica del área concesionada, es debido a que esta formación posee los mantos económicamente explotables, particularmente en el nivel medio a superior.

La información geológica básica es la referencia inicial para los trabajos de exploración-explotación y el Informe Final de Exploración (I.F.E.), que servirá de base para el respectivo planeamiento minero, teniendo en cuenta los términos de referencia solicitados por la autoridad minera.

De acuerdo con la información geológica local y la situación específica del proyecto, se pueden definir los bloques potenciales y más específicamente los mantos susceptibles de explotación, de acuerdo a una secuencia lógica y teniendo como objetivo la explotación integral del yacimiento.

1 GENERALIDADES

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Presentar el avance de los estudios geológicos de exploración, adelantados para el desarrollo del proyecto Carbonífero Dos Bocas, en el marco de la práctica empresarial titulada ASESORÍA GEOLÓGICA PARA EL PROYECTO MINERO DOS BOCAS, ÁREA CARBONÍFERA DE SAN LUÍS (SAN VICENTE Y EL CARMEN DE CHUCURÍ, SANTANDER), para la Empresa Masering S.A.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Exponer el marco geológico regional de la zona de interés, teniendo en cuenta los trabajos realizados al respecto.
- Exponer el marco geológico local, según los trabajos de exploración desarrollados.
- Desarrollar la cartografía detallada de los mantos de carbón, mediante la metodología indicada por el INGEOMINAS, para este caso.
- Determinar la caracterización geoquímica inicial de los carbones del área de trabajo, realizando un muestreo de afloramiento de los mantos de carbón.
- Seleccionar las áreas con mayor potencial carbonífero, teniendo en cuenta la información obtenida en los trabajos de exploración iniciales.

- Calcular las reservas probables de los Bloques Potenciales, usando como criterio las normas establecida por ECOCARBON para tal fin.

1.2. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se encuentra localizada en el Departamento de Santander al sur-oeste de Bucaramanga y al sur-este de Barrancabermeja, a ella se puede acceder desde Bogotá por la troncal de La Paz que comunica a Puerto Boyacá con Puerto Araujo-Barrancabermeja. Desde Bucaramanga por la carretera que conduce a San Alberto-Barrancabermeja. El Río Magdalena se encuentra al oeste aproximadamente a unos 60 km del polígono.

El área se encuentra en la cuenca del Valle Medio del Magdalena, en jurisdicción de los municipios del Carmen y San Vicente de Chucurí, del departamento de Santander (Figura 1), limitada hacia el este por el Río Oponcito, hacia el Norte por la vereda Taguales y La Estrella, y hacia el Suroeste por el Río Cascajales.

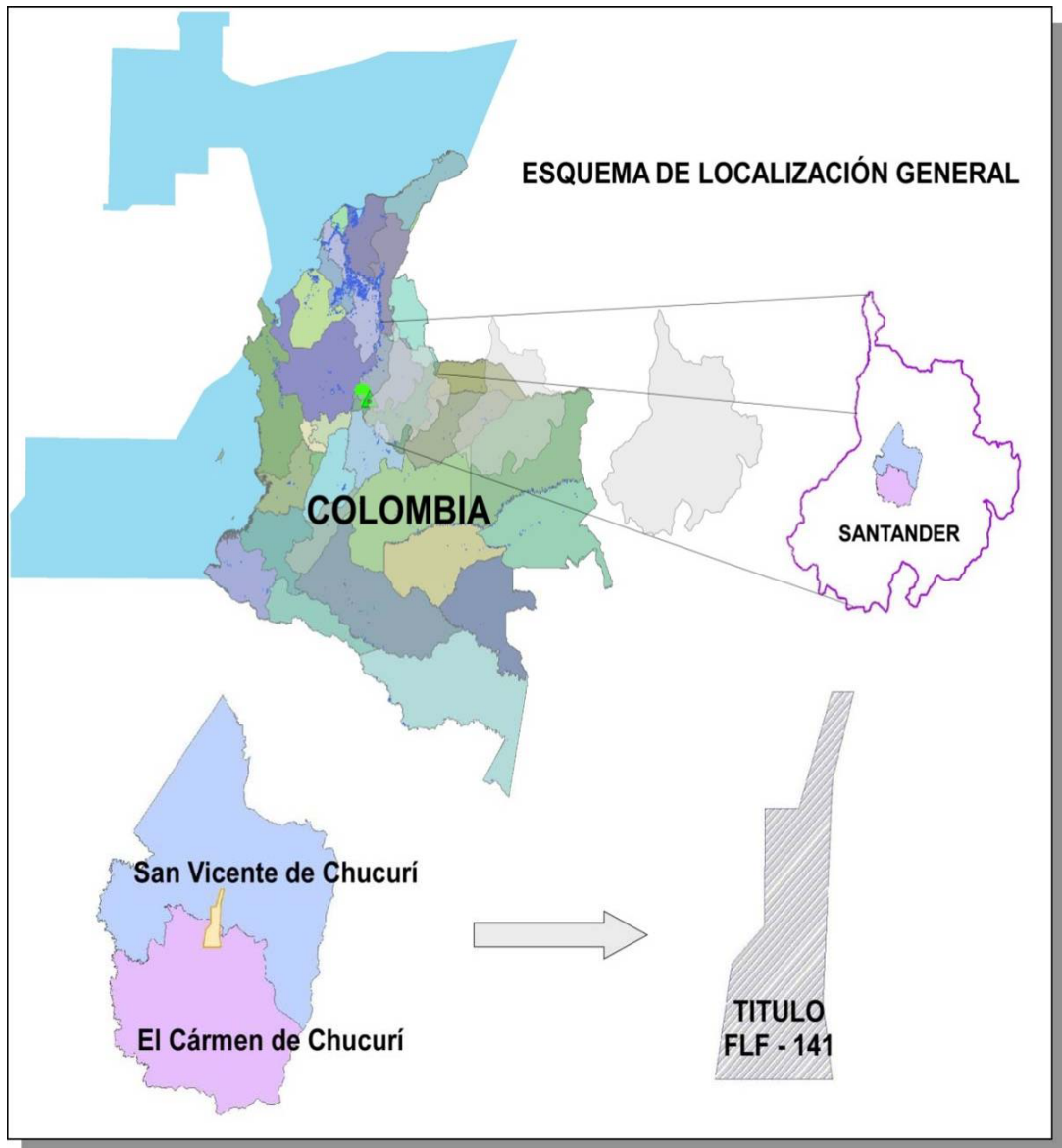
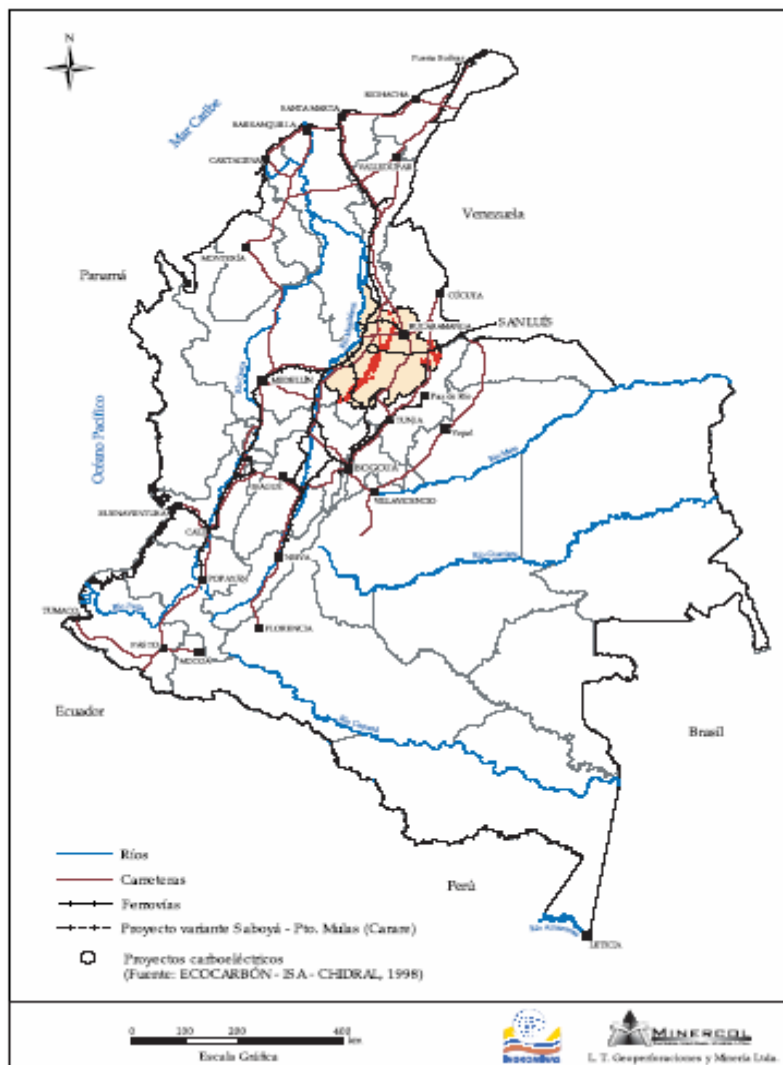


Figura 1. Esquema de localización del polígono estudiado.

La vía de acceso principal es la carretera que conduce de Barrancabermeja al Carmen de Chucurí pasando por el corregimiento de Yarima. El carreteable que atraviesa la zona de Sur a Norte se bifurca de la anterior vía en el punto conocido como Sabanales y termina en la carretera que conduce de Barrancabermeja a San Vicente de Chucurí. Existen además carreteables entre el punto conocido como Guayacán hacia Yarima, y desde la Vereda la Salina hacia El Carmen de Chucurí

(Ver Anexo 1. Mapa de localización y vías de acceso).

Esta concesión se encuentra localizada específicamente en la Zona Carbonífera de San Luís, que comprende los carbones que ocurren en el departamento de Santander (Ver figura 2).



**Figura 2. Mapa de localización de la Zona Carbonífera de Santander.
Tomado de: INGEOMINAS (2004)**

1.3. DRENAJE SUPERFICIAL Y FISIOGRAFÍA

Los principales ríos que controlan el drenaje superficial del área de concesión, pertenecen a una red de drenaje extensa, que regionalmente alimenta tres grandes cuencas: la del Río La Colorada, la del Río Opón y la cuenca del Río Sogamoso, las cuales a su vez alimentan la gran cuenca del Río Magdalena. En el área que comprende el polígono de la concesión (Ver Figura 3), esta red está representada por el Río Oponcito, que atraviesa la zona en sentido Sur – Norte, por el Río Cascajales, que drena la zona en sentido este – oeste y por la Quebrada Las Arrugas (Cuenca Colorada) que nace en inmediaciones del Filo del Guarapo. Esta red de drenaje confluye al occidente del área de concesión en el Río La Colorada que desemboca en el Río Magdalena.

Dentro del polígono de estudio, la red de drenaje secundaria es juvenil, representadas por quebradas menores que desembocan sobre el Río Oponcito en sentido Oeste – Este. En el Río Cascajales desembocan caños menores (Caño Pescado y Caño Corros), provenientes del Filo del Guarapo y la Vereda La Salina. Hacia la parte Occidental del polígono, las corrientes menores desembocan en la quebrada Las Arrugas o en el Caño Doradas.

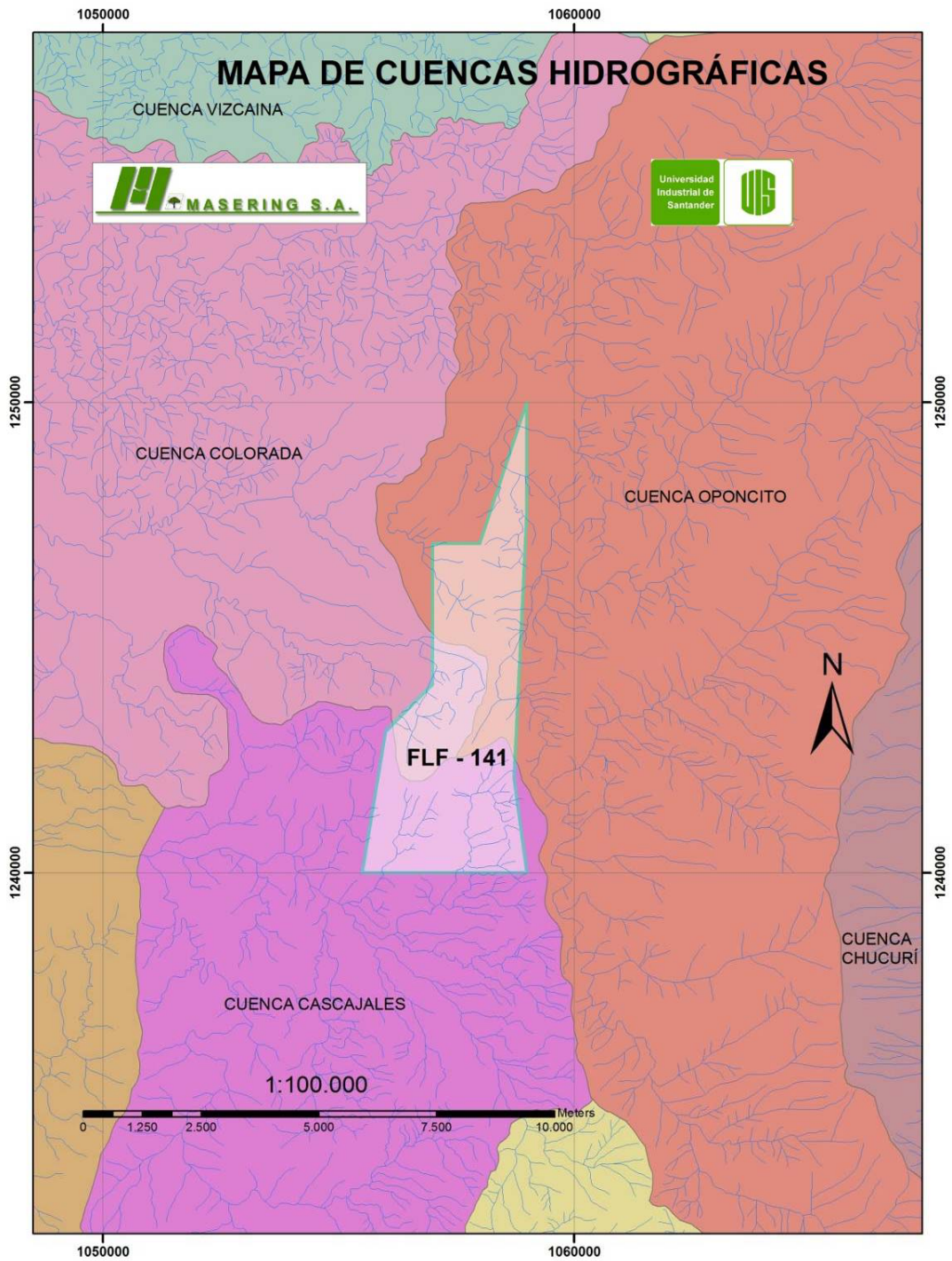


Figura 3. Mapa de cuencas hidrográficas, referidas al área de interés

El drenaje se caracteriza por ser dendrítico, desarrollando sistemas de corrientes sub-paralelas, en sentido Norte – Sur, hacía la parte Sur del área, es decir en el área correspondiente a la Cuenca Cascajales (Caño Corros y alrededores del Filo El Guarapo) y en sentido Este – Oeste, hacia el Centro del área, o Cuenca La Colorada (Quebrada Arrugas y Caño Caracolí), mientras que hacia la parte Norte (Cuenca Oponcito) el comportamiento del drenaje es sub-dendrítico con orientación Noroeste – Sureste.

La red hidrográfica comprendida dentro del polígono de la concesión esta subdividida en las siguientes cuencas y microcuencas:

1.3.1. Cuenca del Río la colorada

En términos generales toda el área se encuentra dentro de esta cuenca, dividida por los tres tributarios, ya mencionados: Oponcito, Cascajales y Arrugas, esta última ocupa una superficie de 350 Ha dentro del polígono de concesión, esta área de drenaje ocupa la porción occidental del área de estudio, sus aguas discurren hacia el occidente buscando los complejos cenagosos del Magdalena Medio (Ciénaga de La Colorada) para luego tributar al Río Magdalena, la cuenca total ocupa una superficie aproximada de 62.300 ha.

Las “dos bocas”, topónimo a la que hace referencia el nombre de este proyecto, se debe a la desembocadura del Río Cascajales al sur y la Quebrada Las Arrugas en el Río Oponcito, los sistemas de drenaje que desarrolla cada cuenca, dependen de su litología subyacente, sin embargo dado que presentan rocas detríticas generalmente de edades terciarias y desarrollados sobre rocas poco diagenizadas son en general de tipo subdendrítico, contrastando con los de tipo semiparalelo que se forman en los depósitos cuaternarios aluviales.

1.3.1.1. Microcuenca Quebrada Las Arrugas

Quebrada que nace en la Vereda La Salina a una altura de 400 msnm, toma un rumbo Noroeste recorriendo el norte del municipio de El Carmen, siendo su cauce el límite con el Municipio de San Vicente y las Veredas San Luís, El Veintisiete y Dos Bocas, al salir del municipio toma un rumbo Norte hasta caer al Río Oponcito a una altura de 100 msnm en el municipio de San Vicente.

Los drenajes que alimentan esta microcuenca son caños de los cuales sobresalen el Caño Arenoso (límite de los municipios de El Carmen de Chucurí y San Vicente de Chucurí), Caño Mira, Caño Hondo, Caño Pato, Caño del Aceite. Recorre un terreno ligeramente inclinado.

1.3.2. Cuenca del Río Opón

Importante cuenca del sistema hidrográfico de Santander, cuya corriente nace en la serranía de los Cobardes y desemboca en el río Magdalena, después de haber recibido los aportes de los ríos la Colorada, Oponcito, Cascajales y Quiratá, además de las corrientes menores como las quebradas Arrugas, Dorada y los Indios.

Morfométricamente su hoya hidrográfica presenta una extensión de 346.800 Ha, una longitud de unos 125 Km; la pendiente media desde su nacimiento hasta su desembocadura de 19 m/km; las alturas van desde 2.500 msnm hasta los 79 msnm. Toda el área de esta hoya hidrográfica pertenece al departamento de Santander, y beneficia a importantes municipios como son Barrancabermeja, Puerto Parra, San Vicente de Chucurí, el Carmen y Santa Helena del Opón.

1.3.2.1. Subcuenca Río Cascajales

Este Río nace en la Serranía de los Yariguíes a 3250 msnm, en la vereda La Victoria; en los límites de la Vereda El Veintisiete con Bajo Cascajales el río se orienta al occidente hasta desembocar en el Río La Colorada a una altura de 80 msnm. En el tramo de la Vereda La Cristalina representa el límite municipal entre El Carmen y San Vicente.

Los afluentes mayores del Río Cascajales son el Río Sucio y el Río Vergelano, los cuales conforman sus propias microcuencas. El área de drenaje directo de la subcuenca es de 293.82 Km², en donde los principales afluentes son la quebrada Playitas, quebrada La Sardina, quebrada Villaquira, caño Las Moscas, caño de Las Flores, caño del Caracol, caño Hotel y caño Pato, este último ubicado dentro del polígono de la concesión.

1.3.2.2. Subcuenca Río Oponcito

El Río Oponcito nace al oriente del municipio del Carmen de Chucurí, en las estribaciones de la serranía de los Yariguíes, a una altura de 1650 msnm, en territorio de la vereda El Vergel, tomando una dirección noroeste que mantiene a lo largo de su recorrido; cambia de dirección en el sector norte de este municipio, en el lindero con San Vicente de Chucurí en la Vereda La Salina, ubicada en la parte central del área de concesión, donde toma una dirección norte para posteriormente dirigirse al occidente y unirse al río La Colorada a una altura de 70 msnm.

Su mayor afluente es la quebrada Las Arrugas, que constituye el límite entre El Carmen y San Vicente, la cual conforma una microcuenca; otros afluentes importantes son: quebrada La Cristalina, quebrada El Oso, quebrada El Engaño, quebrada El Consuelo, quebrada La Marranera, quebrada Los Venados y

quebrada Aguas Blancas, la cual es límite con San Vicente de Chucurí.

1.4. FISIOGRAFÍA

Etimológicamente la fisiografía se refiere a la “descripción de las producciones de la naturaleza”,¹ entendiéndose por naturaleza, el conjunto, orden y disposición de todas las entidades que componen el universo. Por consiguiente la fisiografía no solo describe los aspectos relativos a la litosfera (relieve, materiales, edad, etc.) como lo hace la geomorfología, sino también aquellos relativos al agua, los seres vivos y el clima.

Para el presente documento se adopta el sistema de clasificación desarrollado por el CIAF-IGAC. Como generalidades principales se tiene que el área de trabajo se localiza en las estribaciones de la cordillera oriental en su flanco occidental, en el límite morfológico con el valle medio del Magdalena, las geoformas allí desarrolladas oscilan en alturas entre los aproximadamente 500 msnm y los 150 msnm. Los accidentes topográficos más representativos son el Filo del Guarapo que se encuentra en el Sur del área y marca la divisoria de aguas en sentido Este – Oeste, las Terrazas aluviales del Río Oponcito ubicadas en sentido Sur – Norte, desde la vereda La Salina hacia La Estrella, y se caracterizan por extensas superficies planas dentro de colinas levantadas y los Depósitos aluviales de la Quebrada Las Arrugas, que se localizan al occidente del punto conocido como La Traición extendiéndose hacia el Oeste. Se diferencian claramente dos grandes paisajes: Relieve Montañoso Estructural Erosional y Planicie Mixta Aluvial.

¹ VILLOTA Hugo , 1997 Una Nueva Aproximación a la Clasificación Fisiográfica del Terreno

1.4.1. Pendientes

Como elemento base para el análisis del medio físico, se determinaron los siguientes rangos homogéneos de pendientes, que son los adoptados por el IGAC, igualmente son los rangos establecidos en los estudios de suelos y los utilizados en el desarrollo del presente trabajo. En el Cuadro 2, se describen cada uno de los rangos de pendiente utilizados en la leyenda fisiográfica, la pendiente designada con la letra c posee tres definiciones, de acuerdo al criterio del foto-intérprete se asigna el atributo correspondiente (Ver figura 4).

Cuadro 2. Rangos y descripción de pendientes.

PENDIENTE	NOMENCLADOR	DESCRIPCIÓN
0-3 %	a	A nivel / casi a nivel
3-7 %	b	Ligeramente inclinada / Ligeramente ondulada
7-12 %	c	Moderadamente Inclinada / Moderadamente ondulada / Ligeramente quebrada
12-25 %	d	Fuertemente inclinada / Fuertemente ondulada / Moderadamente quebrada
25-50 %	e	Fuertemente quebrada / Ligeramente escarpada
50-75 %	f	Moderadamente escarpada
75-100 %	g	Fuertemente escarpada (Incluye escarpes sub verticales y verticales)

Con base en los rangos establecidos se generó el mapa de pendientes, sin embargo por razones de espaciamiento entre los niveles de curvas de nivel el mapa no registra la realidad, es por ello que la descripción fisiográfica no atiende a los resultados del proceso cartográfico del MDE (Modelo Digital de Elevación), se utiliza por tanto las mediciones y observaciones realizadas en campo y las detalladas mediante el proceso de fotointerpretación, la homogeneidad en el trabajo y nomenclatura de los rangos de pendiente aseguran una adecuada articulación de los diferentes mapas, inicialmente el mapa de pendientes muestra

la distribución de ésta expresión morfológica, los mismos rangos son utilizados en la descripción de las unidades fisiográficas, y consecuentemente como estas posiciones son las que inciden en el desarrollo evolutivo de los suelos.

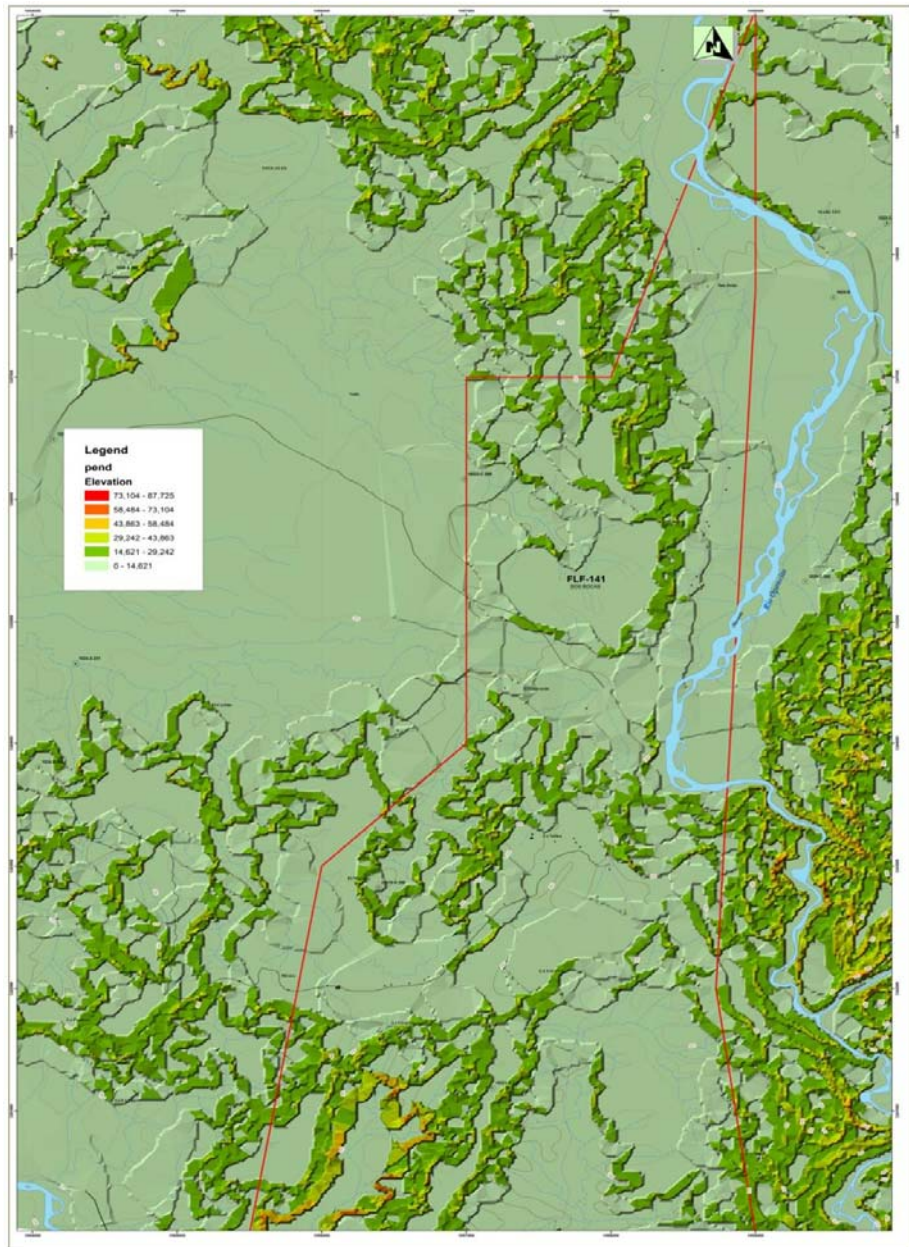


Figura 4. Mapa de pendientes

1.4.2. El paisaje fisiográfico

Morfológicamente el cuadrángulo de trabajo presenta dos grandes paisajes: Relieve montañoso estructural erosional y Planicie mixta aluvial deposicional (Ver figura 5).

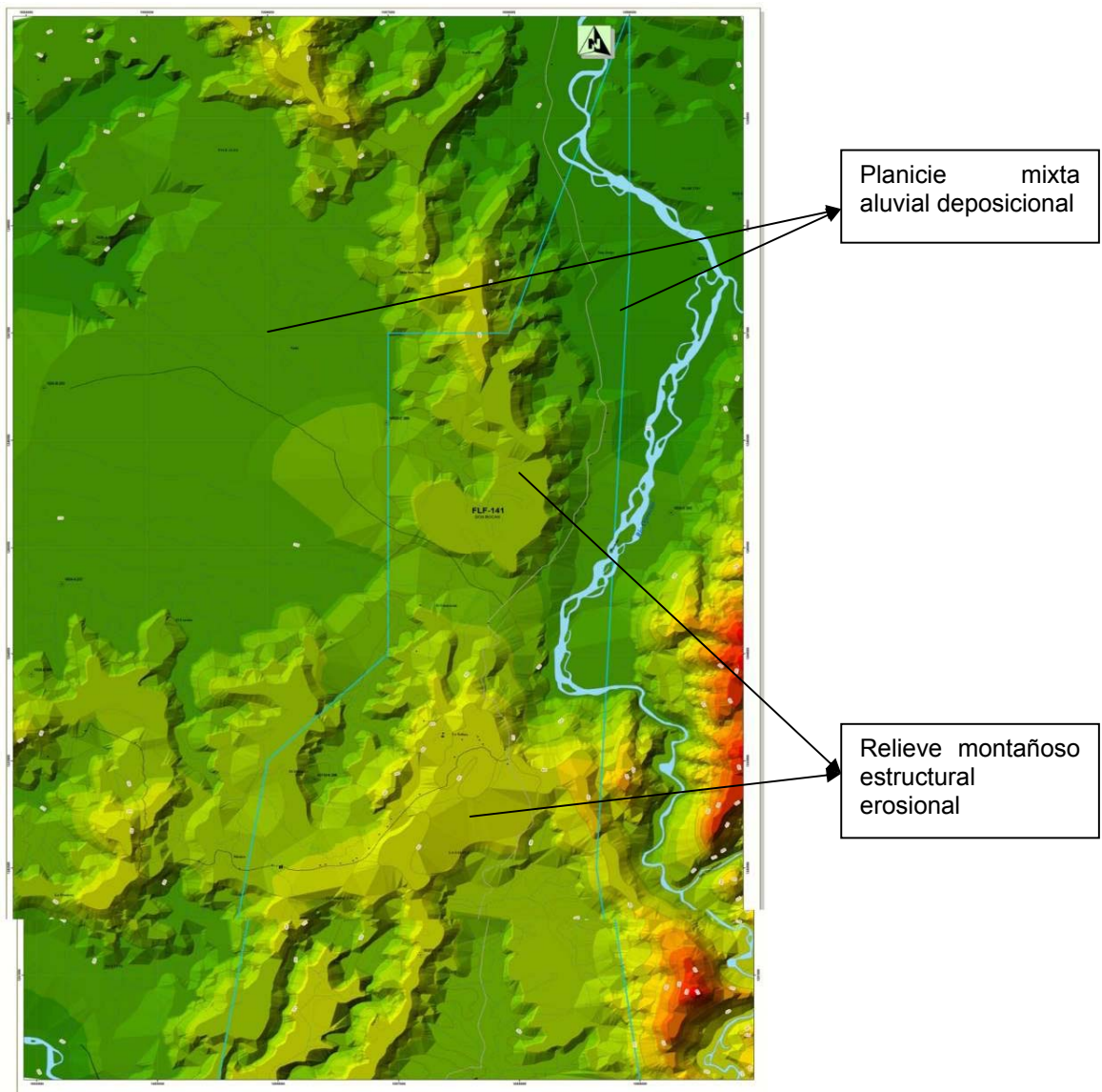


Figura 5. Modelo Digital de Elevación (Siglas en inglés DEM), que muestra el paisaje fisiográfico presente en el área de la concesión.

La parte baja responde a relieves netamente aluviales en varios niveles, presentan geoformas con desarrollo actual y heredados de procesos aluviales, a continuación se hará una descripción de cada uno de los paisajes.

La cartografía desarrollada para la descripción de éste punto se basa principalmente en fotointerpretación (Anexo 2. Fotointerpretación) y control de campo, basándose principalmente en las discontinuidades topográficas como: cambios bruscos de pendientes, cambios en las facies litológicas y la morfología general de la superficie considerada. A partir de estos puntos se describen los siguientes grandes paisajes y sub-paisajes:

1.4.2.1. Relieve montañoso estructural erosional

Corresponde a las rocas diagénizadas y plegadas del área, desarrolla paisajes de tipo estructural erosional como *hogbacks* o cuchillas estructurales, los cuales corresponden a bloques en donde la pendiente y la contra-pendiente tienen la misma inclinación, pendientes estructurales, crestones, escarpes estructurales y todos los paisajes asociados, en algunos sectores y por efectos de los procesos erosivos se encuentran sistemas colinados estructurales con cimas cortas y agudas, como ejemplo de este relieve se puede mencionar el Filo del Guarapo, ubicado hacia el suroeste del polígono de la concesión (Ver Figura 6).

El Sistema de Fallas La Salina, como se convierte en un elemento estructural que pone de manifiesto variaciones morfológicas en el área, en su gran mayoría los paisajes fisiográficos que se desarrollan al oriente presentan mayores alturas y formas típicamente estructurales mejor desarrolladas como crestones estructurales, con saltos estratigráficos que generan escarpes de tipo estructural que los que se desarrollan al occidente, donde la morfología es más del Valle Medio del Magdalena con formas más suaves, sistemas colinados e incluso depósitos de tipo aluvial mucho mayores, y la presencia de rocas con menos

procesos de diagénesis que las hacen más vulnerables a los procesos erosivos por lo cual es más frecuente en este sector occidental encontrar procesos de soliflucción, erosión hídrica concentrada, que en el sector oriental donde es más fácil observar deslizamientos de tipo rotacional y depósitos torrenciales en los valles de las quebradas (Ver figura 7).

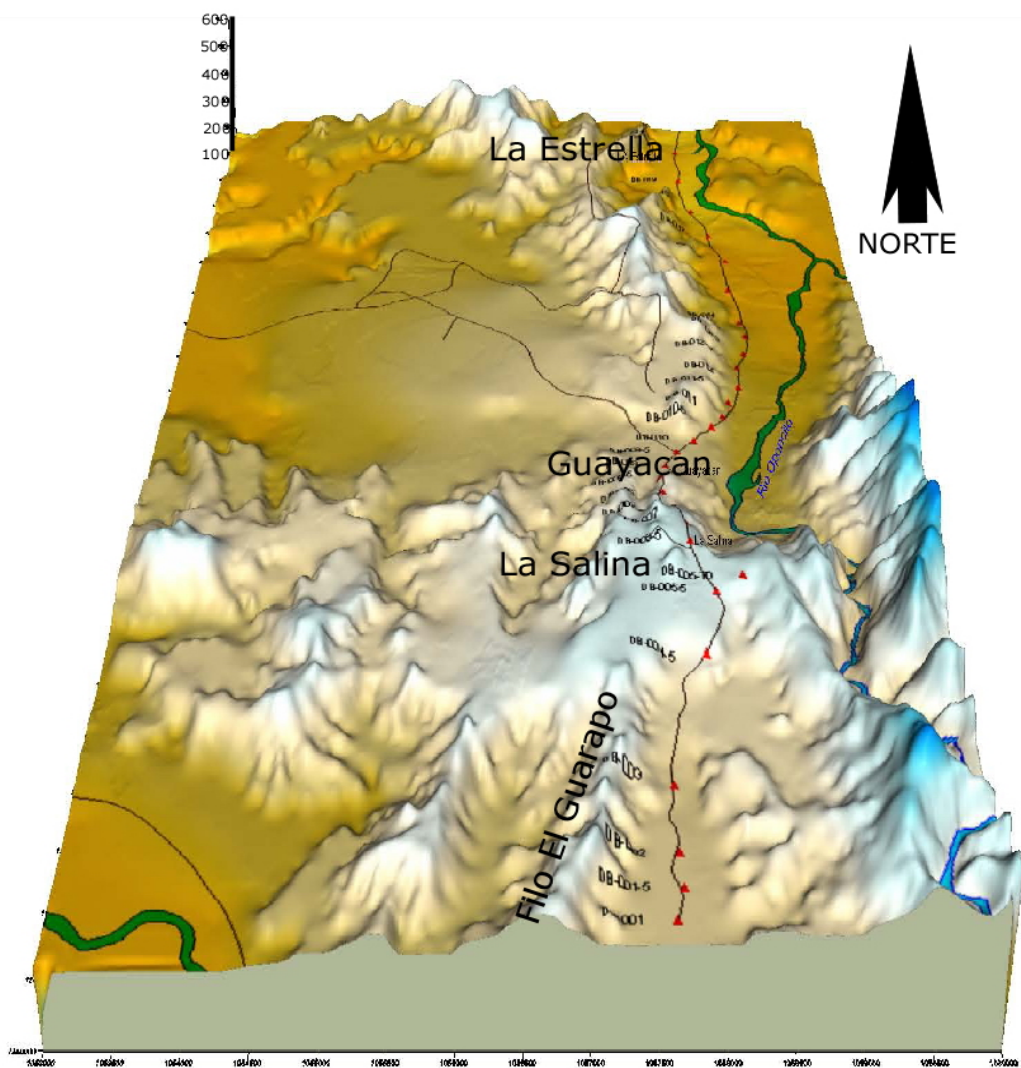


Figura 6. Esquema en tres dimensiones de la fisiografía del área de interés, en donde se muestra la ubicación del Filo El Guarapo.



Figura 7. Mosaico de fotografías que muestra los depósitos que se presentan en el valle de Caño Pescao y Caño Corros, al sur-oeste del área del polígono de la concesión.

1.4.2.2. Planicie aluvial mixta

Comprende formas asociadas a los cuerpos hídricos, constituida por terrazas de varios niveles que luego de una disección intensa ha dado lugar a la formación de varios paisajes que dependen o varían de acuerdo a la continuidad de sus laderas y pendientes, se presentan los restos de terraza en tres niveles. (Ver figura 8)

En general estas unidades agrupan posiciones más altas que la llanura aluvial y no son inundables normalmente por los ríos o quebradas que las han originado.



Figura 8. Fotografía que muestra la ubicación de la Planicie Mixta Aluvial, alrededor del sector conocido como La Carbonera, zona central del polígono.

También hace parte de la unidad las vegas bajas inundables. En general, son grandes extensiones con pendientes menores del 3% en su superficie, cubierta de pastos o rastrojos algunas veces con pequeños sistemas productivos, las áreas con mayores problemas de erosión se localizan en los bordes de terraza y algunas orillas externas de los drenajes naturales, aunque sin mayores expresiones morfológicas.

Se incluye como paisaje dentro de esta zonificación los valles aluviales estrechos que corresponde a los valles actuales e inundables formados por las quebradas, presenta un único subpaisaje: vega baja inundable que corresponde a superficies de fondo plano, enmarcadas por flancos de inclinación suave intercolinares, el principal proceso geomorfológico es la acumulación de materiales por desbordamiento de los cauces por agua de los flancos, su material litológico es

obviamente aluvial.

1.5. CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima se define como las estadísticas a largo plazo de los elementos meteorológicos (radiación solar, temperatura, lluvia, humedad relativa, vientos locales y presiones), que definen el tiempo de una localidad. Siendo el tiempo el estado de la atmósfera en un lugar y momento determinado.

El área explorada presenta temperaturas medias que oscilan entre 27.5°C, y 20.2 °C, la precipitación total anual varía entre los 1800 y 2600 mm. Ante la ausencia de estaciones del IDEAM cercanas al área de trabajo, se regionalizó la información con las estaciones más cercanas, que se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Estaciones climáticas IDEAM utilizadas para la regionalización de datos

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	COORDENADAS		ALTURA (msnm)	PARÁMETROS
			Este	Norte		
El Centro	2315504	CO	1.034.734	1.250.780	162	Precipitación, temperatura, humedad
Chucurí	2313001	PM	1.005.260	1.252.612	100	Precipitación
La Puntana	2405007	PM	1.060.490	1.282.139	150	Precipitación
San Vicente	2405006	PM	1.073.419	1.252.663	721	Precipitación
El Carmen	2314503	CO	1.062.391	1.230.529	815	Precipitación, temperatura, humedad
Albania	2405011	PM	1.049.469	1.254.478	300	Precipitación

El área de la concesión, como todo el país, está afectado por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCI) que hace que se presente una estacionalidad en la

época de lluvias, de manera que cuando la ZCI se desplaza de norte a sur presenta la primera época de lluvias durante los meses de abril y mayo, y cuando regresa a su posición genera la segunda época de lluvias que afecta los meses de septiembre y octubre, consecuentemente las temperaturas y el brillo solar se comportan de manera inversa, es decir, que durante esos mismos meses de lluvia hay menos brillo solar y menos temperatura.

El gradiente térmico de aproximadamente 3°C, es más o menos constante, tanto a través del año como a través del día, por lo que las variaciones diarias igualmente no poseen una amplitud significativa. En consecuencia, la zona se caracteriza por un régimen hidro-climático húmedo.

Las figuras 9 y 10 muestran el comportamiento mensual multianual de la precipitación y la temperatura de las estaciones aledañas al área de trabajo, se observa claramente la estacionalidad que se mencionaba anteriormente.

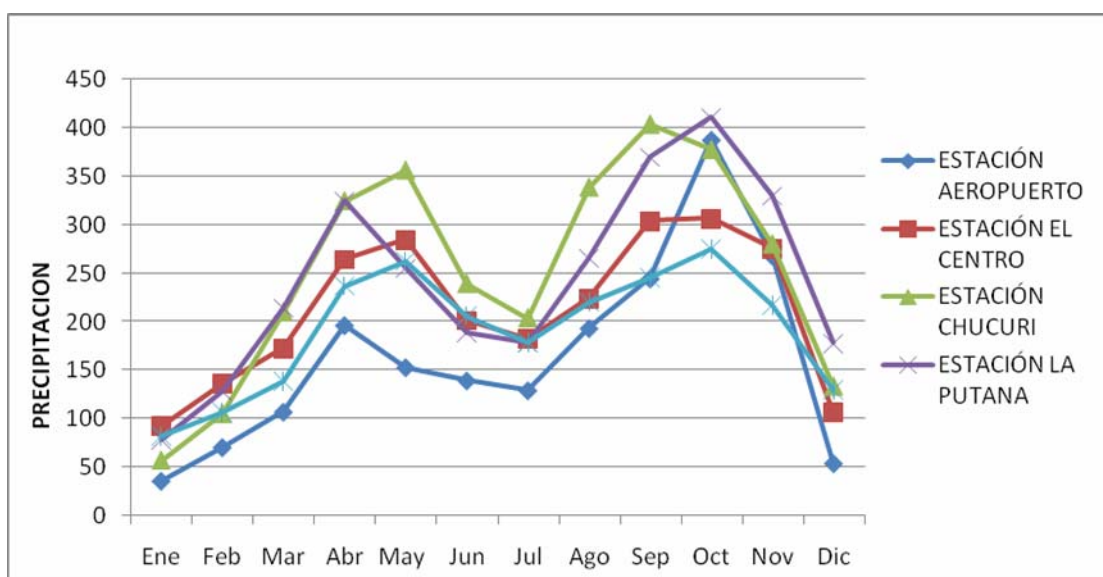


Figura 9 .Precipitación media mensual multianual, para las estaciones cercanas al área del Proyecto Dos Bocas.

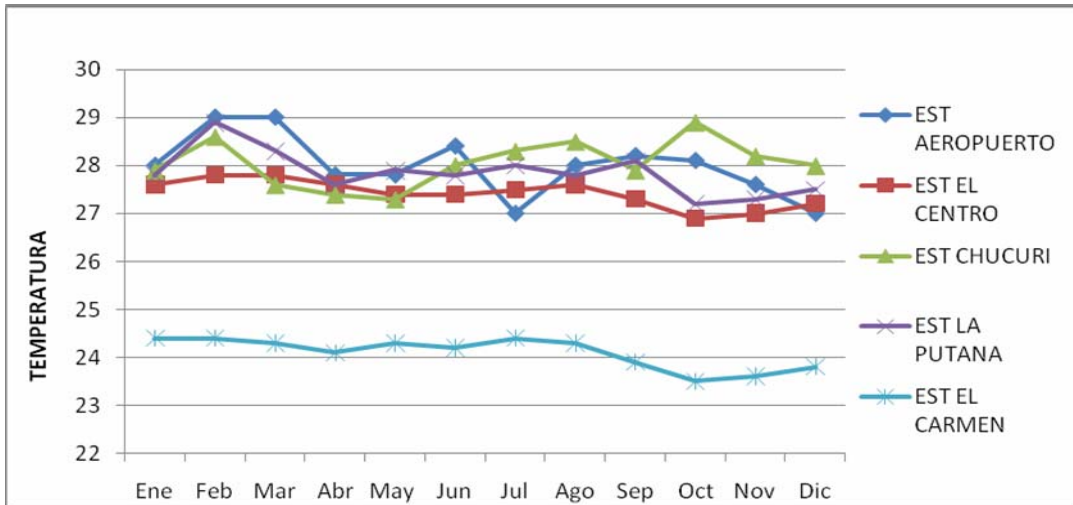


Figura 10. Temperatura media mensual multianual

Las tierras de esta zona de vida están dedicadas, en orden de importancia a bosques secundarios, pastos naturales y rastrojos: áreas misceláneas con cultivos permanentes de aguacate y cacao, transitorios, pantanos y palma africana. (IGAC, 1996). La cobertura vegetal está compuesta por, rastrojos bajos y altos, pastos naturales y bosques secundarios y primarios intervenidos (Ver figura 11).



Figura 11. Vegetación del área de estudio.

Existen pocos o nulos parches de bosques con estructura prístina, en todos los

sectores visitados se observaron áreas altamente intervenidas, de hecho los bosques de galería en la mayoría de casos no sobrepasan los 10 metros en cada margen.

La presencia del Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes –PNNSEYA- en la zona alta del flanco occidental de la cordillera oriental genera dinámicas ecológicas importantes con los ecosistemas de las zonas bajas, ya que existen flujos y corredores ecosistémicos que es necesario potencializar en los planes de manejo ambiental para evitar la fragmentación e interrupción de dichos corredores, que actualmente se encuentran en un estado crítico. En este sentido el plan de manejo debe orientarse como una herramienta o como un ejemplo de co-existencia

1.6. EL CLIMA EN LA REGIÓN.

1.6.1. Distribución Espacial De La Lluvia.

La zona por encontrarse en las estribaciones occidentales de la cordillera oriental presenta una influencia alta del valle medio del Magdalena, las masas nubosas que son transportadas por este valle se ven obligadas a ascender durante el día por las vertientes, descargando en los periodos lluviosos toda su humedad de tal manera que de sur a norte y en constante aumento para este sector de los municipios de San Vicente y El Carmen de Chucurí se presentan las lluvias, hacia el sur oscilan con valores cercanos a los 2200 mm/año mientras que hacia el norte alcanzan los 2800 mm/año.

El bioma predominante en la zona baja es el húmedo con tendencia al sub-xerofítico alerhoigróico tropical y en las zonas altas se desarrolla un orobioma húmedo tropical.

Las temperaturas son bastante uniformes con gradientes diarios poco amplios, en

sectores poco intervenidos los fustes de los árboles de éstos tipos de clima alcanzan gran altura y eventualmente dos estratos, las selvas son generalmente siempre verdes, y por la textura de los suelos a veces se presentan periodos de déficit por lo que se pueden presentar algunas especies caducifolias estacionales por soportar la condición hídrica del suelo.

1.7. ZONAS DE VIDA

Es el conjunto de ámbitos específicos de los factores climáticos principales, esto puede imaginarse como un grupo de asociaciones relacionadas entre sí a través de los efectos de temperatura, precipitación y humedad. Tales factores dejan un sello característico en cada zona de vida, no importa que ésta comprenda un grupo diverso de asociaciones (Holdridge, 1978). Las zonas de vida se definen con base en los valores promedios anuales de la temperatura, la precipitación y la humedad. Después de familiarizarse y trabajar con el sistema es posible reconocer en el campo las zonas de vida y sus límites, sin necesidad de utilizar los datos climáticos (Holdridge, 1978).

En cada zona de vida si se tienen en cuenta los factores ambientales de segundo orden, como son los edáficos, fisiográficos y atmosféricos, topográficos y vientos, se pueden determinar las asociaciones. Cada zona de vida puede subdividirse en ecosistemas que comprenden grupos de condiciones ambientales de menos extensión. El punto más importante de destacar es que cada conjunto de organismos está asociado con un ámbito específico de condiciones ambientales en su medio prístino (Holdridge, 1978). Las unidades así delineadas pueden ser representadas según el autor sin importar que la comunidad original de plantas haya sido alterada o que por el contrario haya desaparecido. Las asociaciones pueden ser climáticas, edáficas e hídricas.

Para la zona en donde se encuentra el área del proyecto Dos Bocas se presentan

los parámetros bioclimáticos reseñados en el cuadro 4:

Cuadro 4. Cuadro de Parámetros Bioclimáticos

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Biotemperatura Anual	>24°C
Precipitación Media Anual	1800 - 2000 mm/año
Piso Altitudinal	Tropical o basal (0 – 1000)
Piso Térmico	Cálido
Evapotranspiración Potencial	0.50 - 0.75
Provincia de Humedad	Húmedo a Per-Húmedo

Esta situación ubica al área dentro de la Zona de Vida Bosque Húmedo Tropical (bh-T), sin embargo la presencia de valores por debajo de los 2000 mm/año de precipitación hace que tenga una parte en la zona de transición del bosque seco tropical por lo cual la vegetación presente puede corresponder con géneros y especies propias de las dos zonas de vida pero con mayor predominancia de la húmeda tropical.

La figura 12 muestra la localización de las condiciones climáticas en el diagrama de Holdridge.

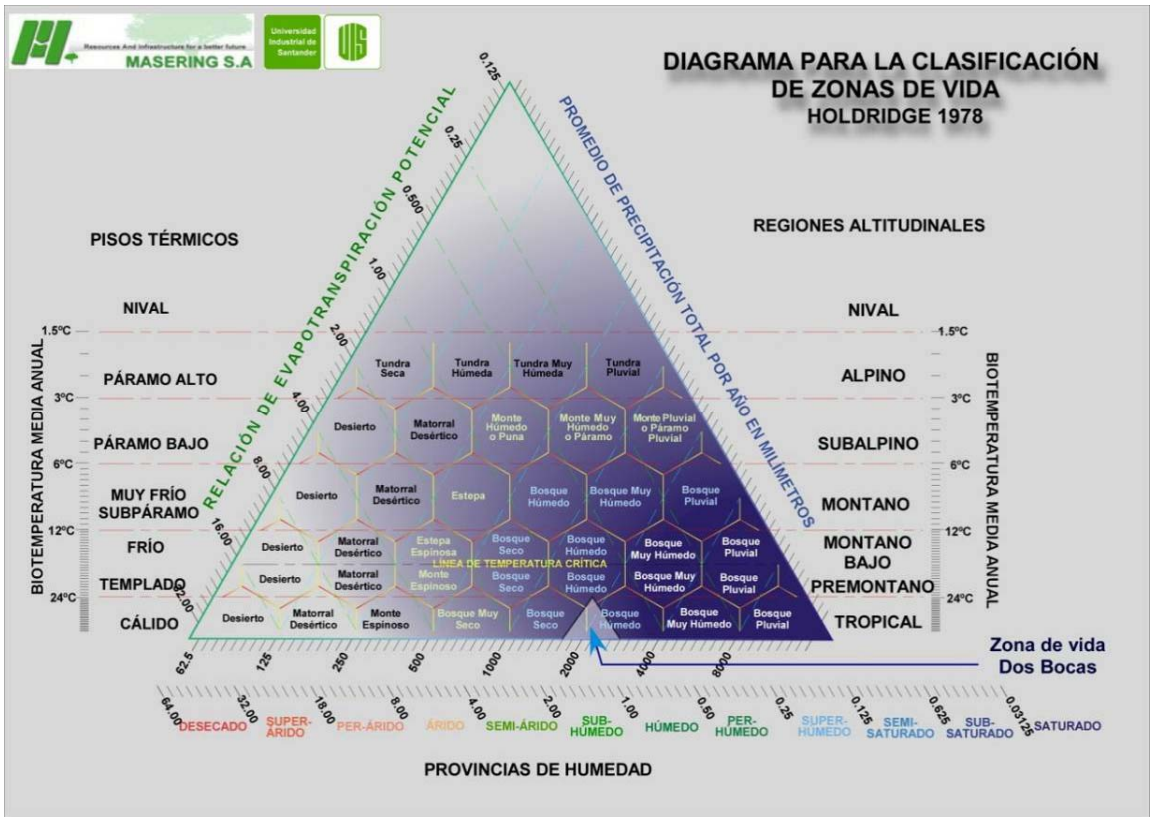


Figura 12. Diagrama para la clasificación de zonas de vida.

2. GEOLOGÍA

2.1. BASE FÍSICA

Cartográficamente se ha consolidado en su totalidad la base topográfica del polígono de interés, de tal manera que se alimenta el Sistema de Información Geográfica con una escena SPOT de una resolución espacial de 5 metros (Ver figura 13), facilitando de esta manera la actualización relacionada con cuerpos de agua, drenajes, vías y coberturas, la fecha de toma de la escena es de febrero del año 2006.

Para la georreferenciación se ha realizado con GPS de precisión sub-métrica, a la vez que se realiza un mosaico tomando algunos puntos a lo largo del municipio de tal manera que el espacio-mapa cuenta con adecuados estándares.

Se genera un foto-mosaico con aerofotografías IGAC, que fue la base para el desarrollo de la cartografía geológica, es decir, la fotointerpretación, y su resultado: un mapa foto-geológico, permitieron tener una idea inicial de los rasgos geológicos principales existentes en el área de interés. Para la construcción de este producto fue necesaria la interpretación de tres aerofotografías. La figura 14 muestra la distribución de estas imágenes georreferenciadas.

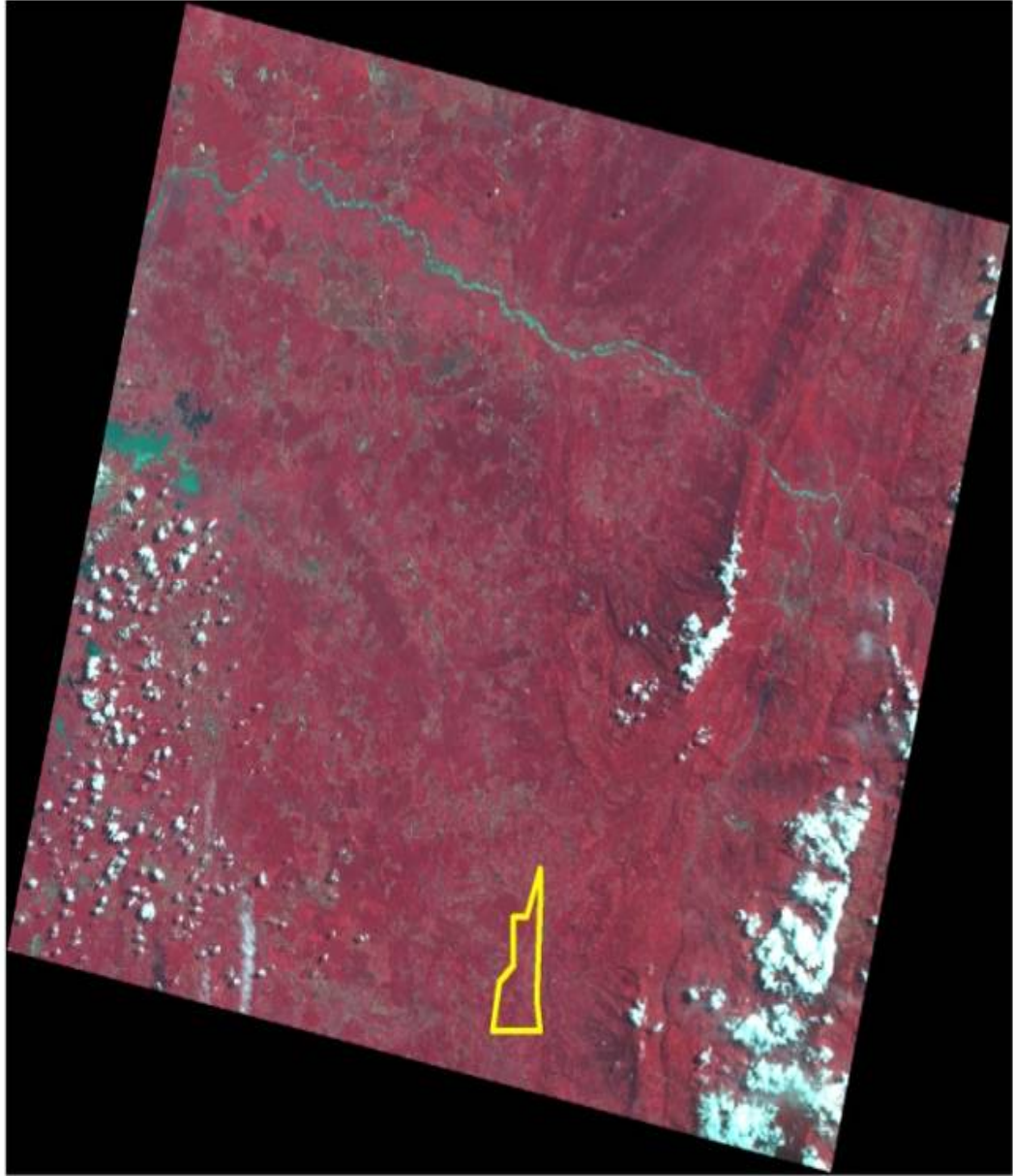


Figura 13. Área de cubrimiento de las escenas SPOT para el área de interés.

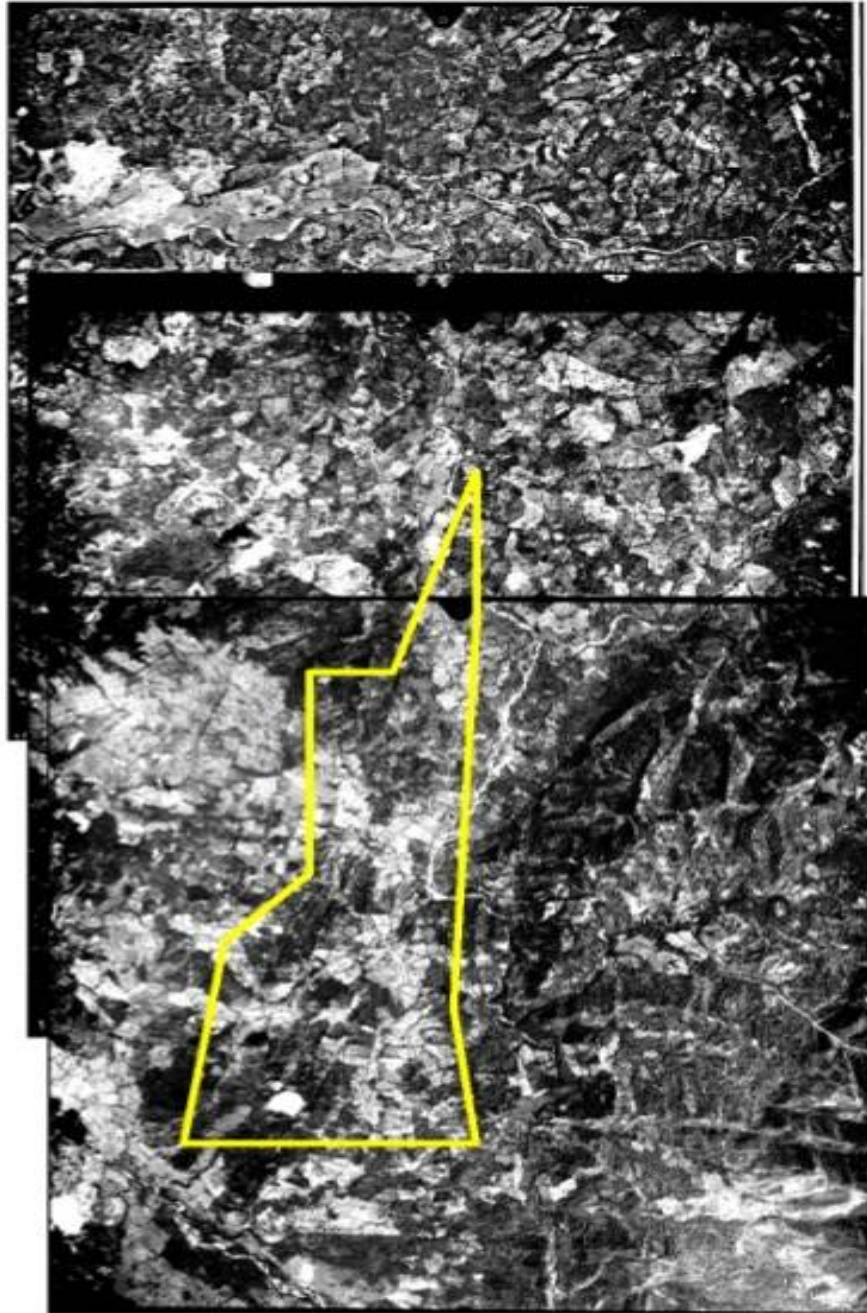


Figura 14. Posición georreferenciada de las aerofotografías, en el contexto del área de trabajo.

2.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Hacia finales del Jurásico y comienzos del Cretáceo (~135 MDA) se produjo una distensión tectónica como resultado de un proceso extensional (separación de grandes bloques o por su término técnico: *rifting*) que se generó durante la etapa de separación del margen NW de Sudamérica de Norteamérica. Éste proceso de extensión dio lugar a la apertura de una especie de fosa alargada de dirección NE - SW que propició el ingreso del mar durante el Cretácico. Esta fosa luego fue colmatada con depósitos sedimentarios (clásticos o de rocas granulares) de carácter fluvial (Pérez, 2003). Se depositan sedimentos marinos someros que progresivamente van sufriendo subsidencia, es decir se van hundiendo y compactando; la subsidencia oscila en tasas de alrededor de 200 metros por millón de años, hacia el final de este proceso (Albiano) la subsidencia es de tipo termal, esto hace que las tasas decaigan a un promedio de 100 a 30 milímetros por millón de años, manteniéndose así hasta el final del cretáceo, es decir, hace aproximadamente 65 millones de años. Para ésta época comienza una fase tectónica compresiva en respuesta al inicio de la acreción de la Cordillera Occidental. Esto ocasiona un cambio en la sedimentación que durante el Paleoceno Temprano (hace 65 a 61 millones de años) pasa a desarrollarse en ambientes de pantanos y llanuras deltaicas (Modificado de Pérez, 2003)

Desde el Paleoceno Tardío (57 MDA) hasta el Oligoceno (33 MDA) la sedimentación estuvo controlada por los eventos de levantamiento de la Cordillera Central dando lugar a acumulaciones en ambientes de depósito de carácter fluvial y permitiendo el desarrollo de facies clásticas arenosas en el costado W de la cuenca del VMM (Modificado de Cooper *et al*, 1999).

Desde el Oligoceno Medio (28 MDA) hasta el presente tiene lugar el levantamiento de la Cordillera Oriental lo cual generó la presencia de litologías arenosas hacia el E de la cuenca (es decir el área que hoy ocupa el presente estudio). En este

proceso de levantamiento el río grande de la Magdalena (Yuma, por los antiguos pobladores) ha ido migrando hacia el W, este movimiento ha dejado tras de sí un relieve fluvial de terrazas, mesas que posteriormente y por efectos de la erosión adquieren un aspecto colinado (Modificado de Pérez, 2003).

El Valle Medio del Magdalena puede ubicarse en un punto donde la influencia de la orogenia andina y del fracturamiento regional está representada básicamente por las fallas de Bucaramanga, Santa Marta, Palestina, Romeral y Oca. Las estructuras principales y el patrón de fallamiento terciario en esta zona exhiben una orientación general NNE – SSW, casi paralela a la cuenca. La parte oriental se caracteriza por pliegues sinclinales y anticlinales estrechos, limitados por fallas inversas hacia su flanco occidental (Modificado de Cooper et al, 1999).

2.3. GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas que se presentan en el área de interés corresponden a la litología propia del Cretácico Superior al Terciario Inferior, así como sedimentos Cuaternarios, correspondientes a la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Esta cuenca presenta una gran variedad de secuencias sedimentarias compuestas por rocas depositación marina, transicional y netamente continental (Ver figura 15).

Los registros sedimentarios muestran una sucesión de depósitos continentales del Jurasico que se encuentran cubiertos por sedimentos del Cretácico, correspondientes a rocas calcáreas y siliciclásticas de origen transicional a marino. Las secuencias Terciarias se componen de rocas siliciclásticas depositadas en general en condiciones continentales: abanicos aluviales y cuerpos fluviales dentro de influencias marinas.

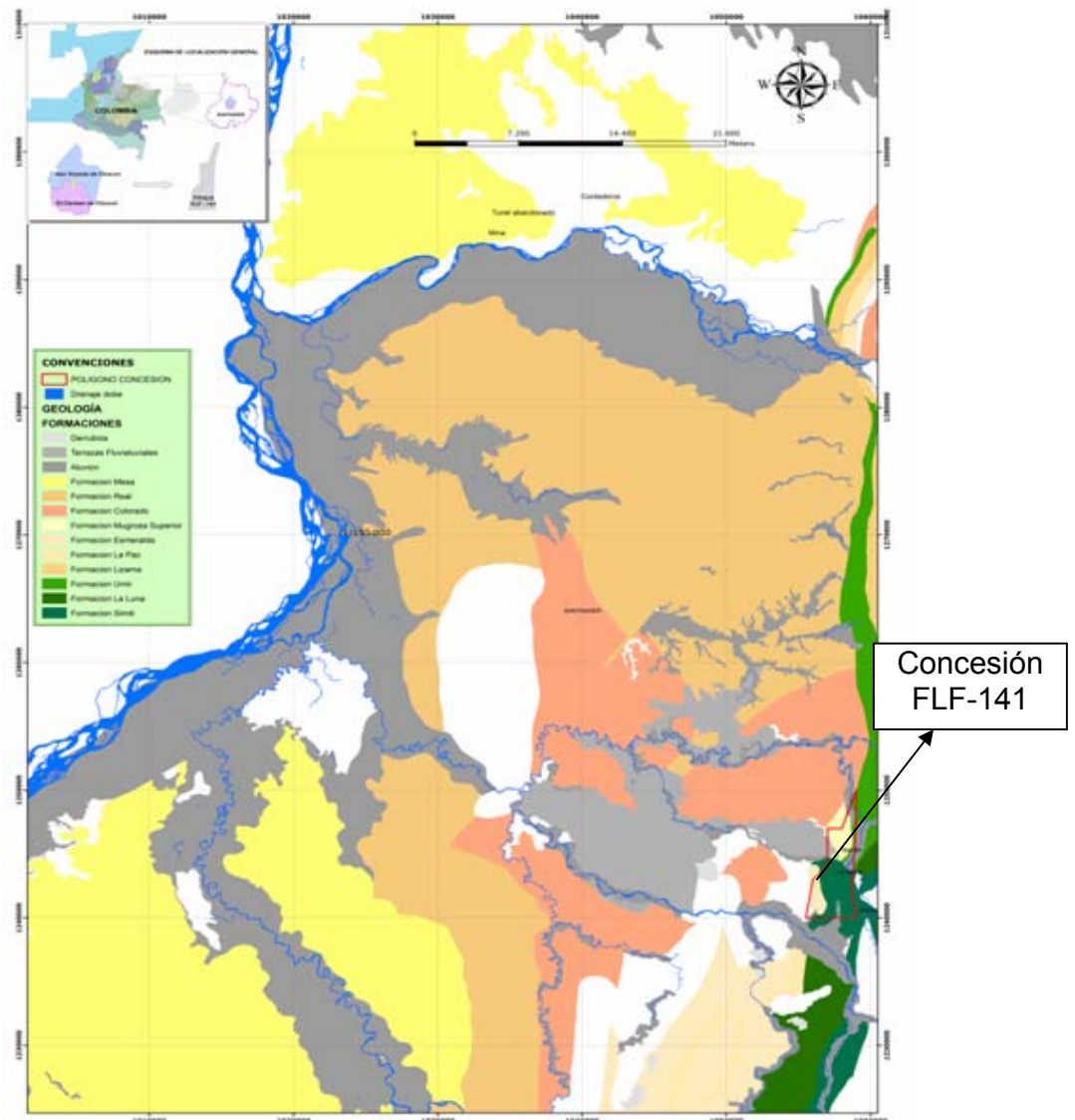


Figura 15. Esquema del mapa geológico del Valle Medio de Magdalena (Departamento de Santander), en donde se ubicó el polígono de la concesión.

2.4. ESTRATIGRAFÍA

Para el área comprendida en el polígono de la solicitud se pueden referenciar las siguientes formaciones, que corresponden a rocas sedimentarias de edad

Cretácico Superior y Cenozoico, además de los depósitos cuaternarios (Ver figura 16):

2.4.1. Cretácico Superior

Según Royero y Clavijo (2001), en Santander este periodo está representado por sedimentitas, pertenecientes a la Cuenca del Valle Medio del Magdalena:

Turoniano-Maastrichtiano (1Ks)

Esta unidad está compuesta por las siguientes formaciones:

2.4.1.1. Formación La Luna (Ksl)

Según Julivert (1968), fue descrita inicialmente por Hedberg y Sass en 1937, en la Serranía de Perijá (Venezuela). La Formación La Luna consiste en calizas de color gris oscuro, intercaladas con estratos grueso a muy gruesos de *shale* negro (con las típicas concreciones esferoidales, que contienen amonites) y con limolitas grises amarillentas y posteriormente areniscas calcáreas con bioclastos, aumentando hacia el tope el contenido de lodolitas calcáreas y lodolitas silíceas de color crema, que parten en forma de panela.

Fue Notestein, quien introdujo este nombre en Colombia y hasta 1958 Morales, adoptó este nombre para la región del Valle Medio del Magdalena y la subdividió en tres miembros, que de base a techo son: Salada, Pujamana y Galembo (Julivert *et al*, 1968).

2.4.1.1.1. Miembro Salada

Consta de 50 a 130 metros de lutitas oscuras y finamente laminadas con delgadas

intercalaciones de calizas. Presenta lentejones, con concreciones calcáreas y piritosas. Es considerado de edad Huroniana (Blanco y Granados, 1974).

2.4.1.1.2. Miembro Pujamana

Comprende unos 230 metros de espesor, de lutitas blandas, oscuras, finamente estratificadas y en algunos casos calcáreas. Se considera de edad Coniaciano Inferior (Blanco y Granados, 1974).

2.4.1.1.3. Miembro Galembo

Constituido principalmente de lutitas margosas con intercalaciones delgadas de calizas y liditas oscuras. El espesor es de 270 metros aproximadamente. Presentan escamas de peces y abundantes huesos, además amonitas de edad Coniaciano y Santoniano (Blanco y Granados, 1974).

La Formación La Luna se considera de edad Turoniano, aunque podría incluir también parte del Cenomaniano y Coniaciano (Julivert *et al*, 1968). En el norte del Valle Medio del Magdalena La Formación La Luna suprayace a La Caliza El Salto, mientras que de manera infrayacente se encuentra La Formación Umir (Ver figura 16).

En el sector Oriental del Departamento de Santander, está compuesta por calizas y lodolitas calcáreas con grandes concreciones y nódulos discoidales, biomicríticos, capas delgadas de *chert* y rocas fosfóricas en la parte alta de la secuencia. El espesor varía entre los 50 y 300 m. (Clavijo y Royero, 2001).

2.4.1.2. Formación Umir (Ksu)

La primera descripción extensa publicada se debe a Morales (1958), recibe el

nombre de la Quebrada Umir, que es la localidad tipo, ubicada tres kilómetros al oeste del Cerro Umir (Valle Medio del Magdalena).

La parte inferior de la formación se compone de lutitas en láminas delgadas de color gris oscuro, gris azulado a negro, con delgadas laminas carbonáceas y micáceas; caracterizadas por capas delgadas, lentes y pequeñas concreciones ferruginosas.

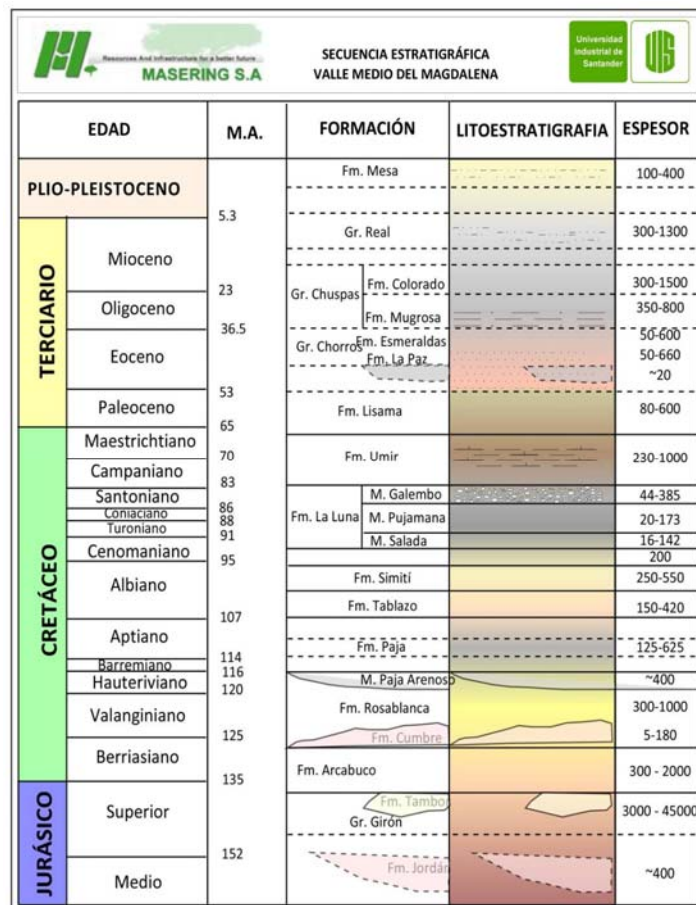


Figura 16. Columna estratigráfica generalizada, de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (Tomado de Royero y Clavijo, 2001).

La parte superior consta de lutita blanda, gris oscura, en capas delgadas con numerosas laminitas de carbón, láminas delgadas ferruginosas, arenisca de grano

fino y limonita. Forma amplios valles debido a su naturaleza blanda, su espesor aproximado es de 1000 m (Julivert, 1968).

Reposa discordantemente sobre el Miembro Galembo de la Formación La Luna. Se encuentra suprayacida concordantemente por la Formación Lisama y es considerada de edad Campaniano-Maestrichtiano (Julivert, 1968).

La Formación está dividida en tres miembros:

2.4.1.2.1. Miembro Inferior (Ksu1)

Consta de una secuencia monótona de arcillolitas micácea gris y gris plomo, azulosa a negras, finamente laminada en capas de 3 a 5 cm. con rítmicas intercalaciones de limonita siderítica nodular laminada, con espesores de hasta 5 cm. con algunos lechos de arcillolitas carbonosas. Aparentemente, este nivel marca el paso transicional de la sedimentación marina a continental. El espesor promedio es de 400 m. (Durán, *et al*, 1976). El contacto con el Miembro Medio está ubicado donde aparece el primer manto de carbón (Castro y Gómez, 1988).

2.4.1.2.2. Miembro Medio (Ksu2)

Formado por una serie monótona de arcillolitas blandas, de color gris plomo a gris oscuro, ligeramente calcáreas, con fracturas rellenas de calcita, e interestratificadas con capas delgadas de limolitas ferruginosas de aspecto nodular, de color gris pardo a café oscuro, con espesor hasta de 5 cm. y con numerosas capas de carbón de espesores que varían entre 0.10 a 5.00 m. El espesor promedio es de 400 m. (Durán *et al*, 1976).

El límite entre el nivel inferior y el nivel medio está marcado por la presencia de las primeras capas de carbón. (Durán *et al*, 1976).

2.4.1.2.3. Miembro Superior (Ksu3)

Consta de un conjunto de arcillolitas, ligeramente duras, de color gris plomo a claras interestratificadas con capas delgadas de limolitas ferruginosas, de color gris pardo. Hacia el tope se observan areniscas de grano fino micáceas y limolitas de color gris claro. Este nivel contiene varias capas de carbón con espesores que varían de 0.10 a 3.0 m. (Durán *et al*, 1976). El espesor promedio es de 300 m.

El límite del nivel medio y el superior lo marca un horizonte de areniscas de grano fino a limolítico, de color gris oscuro, de espesor variable (5 a 10 m), mientras que su contacto inferior es discordantemente, sobre la Formación La Luna (Durán *et al*, 1976).

Para Clavijo y Royero (1999) la Formación Umir descansa en discontinuidad estratigráfica sobre el miembro Galembo de la Formación La Luna y el contacto Superior con la suprayacente Formación Lisama es concordante.

2.4.2. Cenozoico (Paleoceno-Eoceno Inferior, TPE)

2.4.2.1. Formación Lisama (Tpl)

Link, en 1925, describe esta formación en la Quebrada Lisama, afluente del Río Sogamoso, al occidente de Santander. *Van der Hammen* le asignó una edad del Paleoceno, en Julivert (1968). Esta unidad consta de *shales* de color rojo, pardo, gris con intercalaciones de areniscas masivas grisáceas, verdosas y pardas, de grano medio a fino que se hace más grueso hacia la parte superior de la formación (Modificado de Duran *et al*, 1976).

El espesor de la formación puede llegar hasta 1.225 m. Por las características litológicas se habría depositado bajo condiciones que varían entre lagunares y

deltáicas (Julivert, 1968).

Según Clavijo y Royero (1999), la Formación Lisama presenta un contacto normal y transicional con la infrayacente Formación Umir, este límite se coloca donde aparecen las primeras areniscas (Julivert, 1968). El contacto superior de la Formación Lisama con la Formación La Paz, está determinado por una discordancia regional bien marcada.

2.4.2.2. Grupo Chorro

Está constituido en su parte inferior por la Formación La Paz y en la superior por la Formación Esmeraldas. Este grupo aflora en el sector occidental de Santander y ocupa parte del Valle Medio del Magdalena.

2.4.2.2.1. Formación La Paz (Tel)

Los autores son los geólogos de la Tropical Oil Company y su sección tipo está en la angostura del Río Lebrija, por la vía férrea, al sur de Vanegas. La secuencia estratigráfica está compuesta por areniscas grises, conglomeráticas, conglomerados, limolitas y grandes paquetes de lutitas grises. El depósito de los sedimentos de esta unidad se desarrolló en un ambiente de corrientes trenzadas. El espesor en la sección tipo es de 1.000 m, pero generalmente presenta variaciones locales. 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. Es correlacionable con la parte inferior de la Formación Mirador.

2.4.2.2.2. Formación Esmeraldas (Tee)

Término utilizado por primera vez por los geólogos de la Gulf Oil Company, su sección tipo está cerca del caserío Esmeraldas, junto al Río Sogamoso. Esta unidad se compone de areniscas grises y verdosas, de grano fino, con intercalaciones de limolitas y lutitas moteadas de rojo, púrpura y pardo; contiene algunas capas delgadas de carbón. El ambiente deposicional fue bajo condiciones lagunares deltáicas. El espesor se ha calculado en unos 1.200 m.

El contacto inferior con la Formación La Paz es concordante, mientras que el contacto superior está determinado por una posible discordancia con la Formación Mugrosa. La unidad es del Oligoceno. Es correlacionable con la parte superior de la Formación Mirador y parte inferior de la Formación Carbonera.

2.4.3. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios identificados, pueden clasificarse por su origen en: abanicos aluviales, niveles de terrazas, aluviones, coluviones y derrubios.

Dentro de estos depósitos el más importante es el abanico aluvial del Río Oponcito y sus afluentes que se extienden ampliamente por el margen del río.

2.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

El Valle Medio del Magdalena puede ubicarse en un punto donde la influencia de la orogenia andina y del fracturamiento regional está representada básicamente por las fallas de Bucaramanga, Santa Marta, Palestina, Romeral y Oca. Las estructuras principales y el patrón de fallamiento terciario en esta zona exhiben una orientación general NNE – SSW, casi paralela a la cuenca (Ver Figura 17). La

parte oriental se caracteriza por pliegues sinclinales y anticlinales estrechos, limitados por fallas inversas hacia su flanco occidental (Modificado de *Cooper et al*, 1999).

El Valle Medio del Magdalena es considerado una provincia tectónica, que está caracterizada por los hundimientos, deformaciones y plegamientos, con anticlinales y sinclinales amplios y suaves, limitadas por fallas inversas escalonadas, con inclinación preferencial hacia el oriente. Esta provincia se encuentra limitada al oriente por la Falla La Salina y al occidente por las Fallas Mulatos y Morales (Modificado de Royero y Clavijo, 2001). En la evolución de dicha Cuenca pueden considerarse dos estilos tectónicos: Tectónica de bloques que está afectando sedimentos pre-eocénicos y Tectónica de Compresión, representada por las fallas inversas (como La Falla La Salina), producto de la Orogenia Andina.

2.5.1. Pliegues

A nivel regional, se ha considerado que se presentan tres estilos estructurales diferenciables: uno de fallamiento en bloques, hacia la parte oriental del departamento; otro de plegamientos intensos, en la región central y por último el graben del Magdalena en la región occidental (Modificado, de Clavijo y Royero, 2001). Teniendo en cuenta la ubicación del área de concesión, se analizará lo relacionado con la región occidental, limitada por el Sistema de Fallas La Salina al oriente y la Falla Mulatos-Morales al occidente, que pasa por fuera del departamento de Santander (Ver Figura 17). Presenta estructuras anticlinales y sinclinales amplios, conformadas por rocas del Terciario y fallas inversas, con inclinación al oriente (Clavijo & Royero, 2001), entre las cuales afectan directamente el área de la concesión las siguientes:

2.5.1.1. Anticlinal de San Luís-Lisama

Constituye una estructura ligeramente asimétrica con buzamientos suaves, limitada al oriente por la Falla La Salina. Tiene una longitud de 40 km y presenta dirección NE. En esta estructura se han acumulado los depósitos de petróleos y gas del campo Lisama de la Concesión de Mares (Royero & Clavijo, 2001).

2.5.1.2. Sinclinal Peña de Oro

Es una estructura que se caracteriza por presentar un pliegue apretado, simétrico cuyo flanco occidental es cortado por la Falla Las Arrugas, mientras su flanco oriental es limitado al sur por una falla satélite de la Falla La Salina. Su eje está orientado en una dirección casi Norte-Sur por una longitud aproximada de 60 km y su núcleo se encuentra constituido por sedimentos terciarios (Royero & Clavijo, 2001).

2.5.2. Fallas

A continuación se describen brevemente las características de las principales fallas que afectan la geología regional (Ver figura 16):

2.5.2.1. Falla La Salina

Se encuentra localizada al occidente del departamento de Santander, su dirección regional es NE, pero con variaciones locales NS y NW, con una longitud reconocida desde el límite del departamento con Boyacá, al sur y hasta el norte del departamento (Royero & Clavijo, 2001).

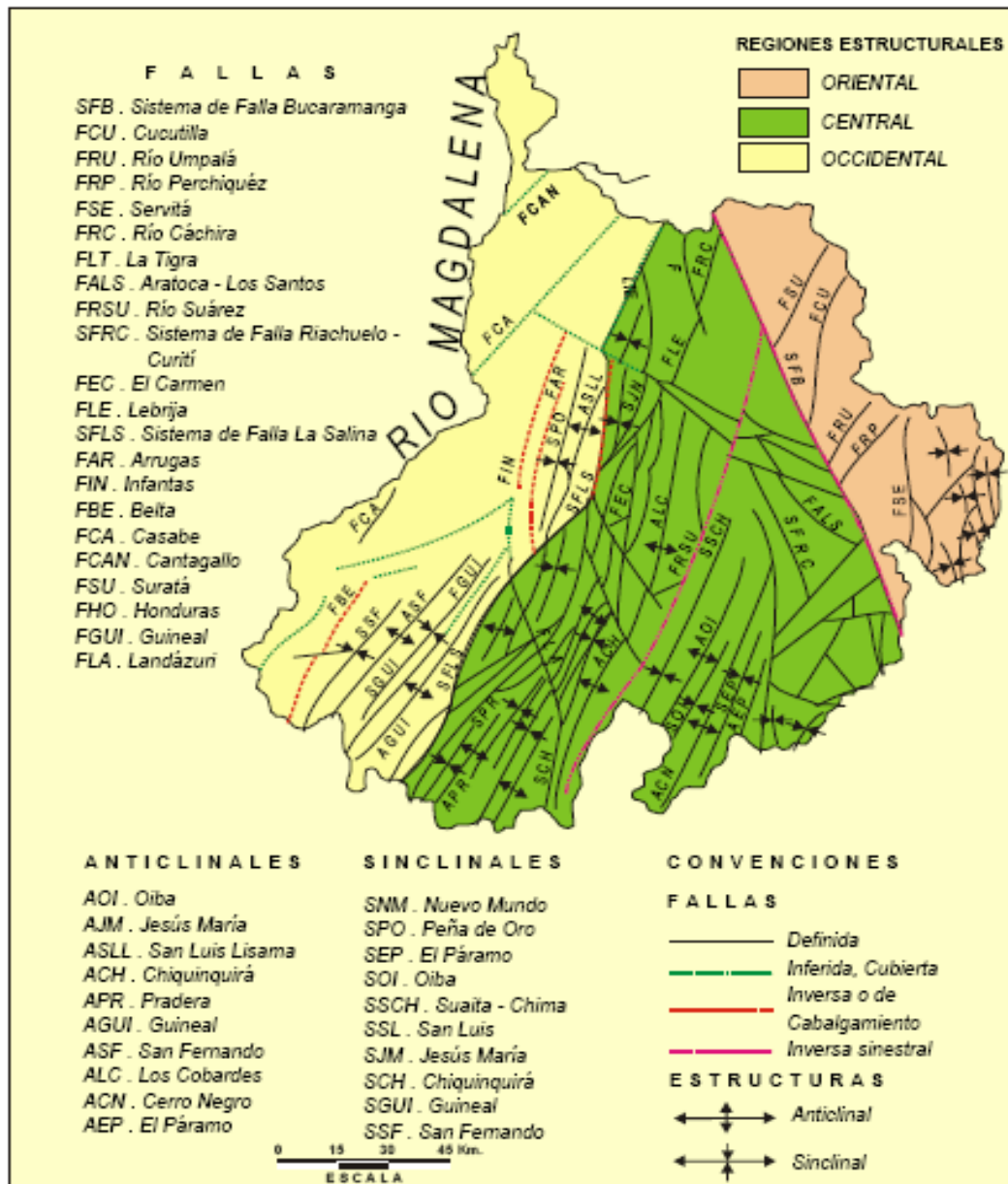


Figura 17. Esquema estructural del Departamento de Santander, adaptada de (Vargas (1979), León (1986, 1991) en Royero & Clavijo (2001).

Es una falla inversa de ángulo alto, inclinada al oriente y con desplazamiento de rumbo lateral derecho. Al oriente de su trazo se presentan rocas del Cretácico Superior y al occidente está en contacto con rocas Terciarias; llegándose a

calcular un salto hasta de unos 1200 metros, en el contacto entre las Formaciones Umir y Lisama, según Ward *et al* (1973).

2.5.2.2. Falla de Arrugas

Asociada al Sistema de Fallas La Salina y se extiende hacia el Norte por más de 40 km, limitando el flanco occidental del Sinclinal Peña de Oro. Es una falla inversa de ángulo alto con inclinación hacia el Oriente, cuyo trazo tiene un rumbo NNE y a lo largo del cual el bloque oriental se ha levantado y localmente cabalgado al occidente, poniendo la Formación Umir del lado oriental, en contacto con rocas terciarias (Royero & Clavijo, 2001).

3. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA DE SUPERFICIE

Estos trabajos comprenden todas las actividades exploratorias de superficie que se desarrollaron para caracterizar los mantos de carbón aflorantes en el área, con el fin de determinar zonas de potencial minero.

3.1. BASE TOPOGRÁFICA DEL ÁREA

Para este caso específico, se obtuvo la base topográfica a escala 1:25000 procesada por el IGAC, correspondiente a la plancha 119-IV-D. A partir de la georreferenciación de la escena SPOT para el área en coordenadas nacionales (origen Bogotá) se procedió a actualizar sistema vial y la dinámica fluvial del río Oponcito, en razón a las diferencias notables entre la realidad y la época en la cual se tomaron aerofotografías sobre las que el IGAC hizo la restitución. Además, por la necesidad de obtener un mayor detalle en la cartografía geológica, se obtuvo una restitución digital de esta base a una escala 1:10000, a partir de la cartografía del IGAC, sobre la cual se trabajó para obtener la cartografía geológica definitiva.

3.2. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA

El objeto del presente capítulo es describir la geomorfología del área con el fin de aportar a la comprensión geológica del área y a la descripción del medio físico necesaria para abordar la formulación de los planes de manejo ambiental, que debe considerar los procesos erosivos actuantes, su intensidad y en alguna medida su morfometría.

Las geoformas resultantes en el área, son producto de los dos procesos geomorfológicos exógenos: denudativo que afecta la totalidad de las rocas plegadas y diagenizadas del área, las formas de origen estructural y las colinas desarrolladas posteriormente, y el depositacional o agradativo que ha desarrollado principalmente acumulaciones aluviales y aluviales mixtas con aportes coluviales. A continuación se describirán las unidades geomorfológicas del área agrupadas ya en el capítulo de fisiografía en dos grandes paisajes:

3.2.1. Unidad estructural erosional

El área en estudio el polígono del título FLF -141 se localiza en las estribaciones de la cordillera oriental, ésta por su composición y estructura limitando con el graben tectónico del Magdalena Medio, esto dió como resultado unas formas típicamente estructurales con caracteres tectónicos influenciados por fallas de tipo compresivo, cuya expresión morfológica en el terreno son facetas triangulares de diversos tamaños y una red hídrica con cambios y giros bruscos en la dirección de los drenajes. Estas formas estructurales se localizan preferencialmente al occidente del sistema de fallas de La Salina en donde el volumen y el tamaño de las montañas es significativamente mayor que las geoformas desarrolladas al occidente del sistema de fallas.

Esquemáticamente las formas estructurales presentan laderas de buzamiento concordantes con los buzamientos de los estratos, escarpes desarrollados bien sea en el flanco opuesto, llamados escarpes estructurales u ortoclinales y escarpes erosivos desarrollados por la incisión de los drenajes en la ladera de buzamiento, también llamados escarpes consecuentes (Ver figura 18).

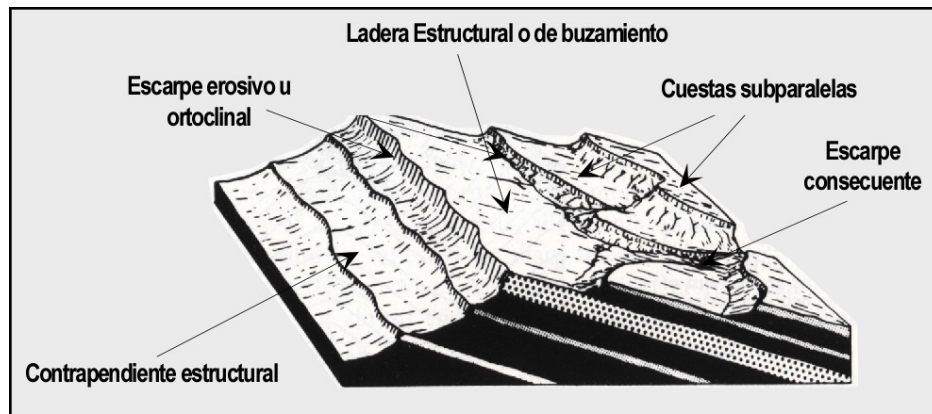


Figura 18. Esquema de las geformas estructurales. Fuente: Modificado de Zuidan (1985).

El área de trabajo presenta formas estructurales desarrolladas sobre rocas de edad cretácica y terciaria, en las rocas más viejas la red de drenajes desarrollada presenta un patrón de subparalelo a subdendrítico, que contrasta con el patrón angular de las rocas de edad terciaria, explicable por la menor diagénesis y las frecuentes intercalaciones de estratos blandos con otros más competentes. En términos generales la característica subdendrítica la imprimen tanto la estructura estratigráfica tabular de las formaciones como el sistema de plegamiento y fallamiento que afectan el área.

Al occidente del área de trabajo son frecuentes los crestos estructurales (Ver figura 19) desarrollados sobre la formación Umir, estos crestos son un paisaje que resulta de la degradación o fallamiento de un anticlinal, cuyas laderas estructurales y erosionales o escarpe tienden a ser regulares y escasamente disectadas debido a la uniformidad y dureza de las rocas que la conforman, que para el caso son generalmente areniscas, y excepcionalmente limolitas. Su cima es aguda a subaguda, razón por la cual suele denominárseles en términos topográficos como “cuchillas”, las que comúnmente sobresalen netamente por su altura en un sistema de montañas y colinas plegadas. La ladera estructural presenta buzamiento un poco mayor a 20°.

Las laderas estructurales corresponden a las superficies cuyo plano topográfico general coincide y se confunde con el estrato rocoso superficial aflorando parcialmente o en su totalidad, para el área presentan longitudes aproximadas de 80 metros y una regularidad solo interrumpida por pequeños coluviones que provienen de partes más altas.



Figura 19. Crestón Estructural, sector El Marcito al Noroccidente del área de estudio

En los interfluvios de estas laderas generalmente existen escarpes, que como se mencionó anteriormente pueden ser erosivos, que en la definición clásica el término se utiliza para describir cualquier salto que interrumpe la continuidad general de un paisaje, es una ladera abrupta o a desplome, de altura variable que puede formarse por distintas causas, pero para el área de trabajo son más frecuentes las de tipo tectónico conjugado con procesos gravitacionales. En la zona de estudio es muy frecuente encontrar escarpes de falla. Los escarpes erosivos presentan vertientes empinadas con alturas superiores a los 25 metros,

son consecuentes cuando se desarrollan sobre planchas estructurales que muchos autores denominan Espinazos (Ver figura 20), cuando en los filos de las montañas se ven las intercalaciones de los estratos competentes con los menos competentes.



Figura 20. Esquema de un creston estructural. Fuente: Modificado de Van Zuidan (1985).

Existen geformas típicamente asociadas al plegamiento y tectonismo del área, tales formas son las facetas triangulares (formas de origen tectónico que se desarrollan en algunas escarpas), generalmente asociadas con fallas gravitacionales, la pendiente de la faceta es menor que la de la falla, también se pueden desarrollar a lo largo de escarpes de línea de falla o por erosión de cursos de agua, morfológicamente son triangulares y fácilmente identificables (especialmente en las márgenes del río Oponcito), los escarpes de línea de falla y los escarpes de falla que se pueden observar en el área; estos lineamientos han generado en algunos sectores encajonamiento y erosión vertical (Ver figura 21), de tal manera que es fácil ver profundos pozos de agua en el río Oponcito en sectores aledaños al sitio denominado Los Aljibes, al este del polígono de la concesión.



Figura 21 Erosión vertical, observada en el Rio Oponcito.

Así mismo el entalle de los cuerpos de agua que pueden deberse a un rejuvenecimiento de los lechos por efectos del levantamiento de la cordillera oriental da origen a marmitas de gigantes (que son depresiones de forma cilíndrica o hemisférica que se forma en el lecho de un río, normalmente al pie de un escalón (generalmente salto). La presencia de estos socavones está ligada a la erosión debida a los materiales que hay acumulados en los mismos, arrastrados por fuertes remolinos, es una erosión desarrollada por la evorsión, es decir como resultado de los movimientos en torbellino que se hace al golpear de los cantos que el agua transporta y pequeños saltos en algunas quebradas. Este hecho sumado a la alta torrencialidad de las pequeñas quebradas habla de la fuerte dinámica de las vertientes.

3.2.2. Unidad Depositacional Mixta

La acción de los ríos, quebradas y arroyos ayudada por la acción de la gravedad ha generado grandes depósitos de recubrimientos cuaternarios que enmascaran las rocas plegadas. Se tienen varios elementos de paisaje que hacen parte del área de trabajo, primordialmente los valles aluviales que son depresiones alargadas en la cual se escurre el curso de agua, es el carácter fundamental resultante de la erosión fluvial, en función de su perfil transversal se habla de valle en V, sin fondo aluvial extenso y con vertientes caracterizadas por pendientes fuertes, se desarrolla en los drenajes del sector llamado como La Guajira, al occidente del área de trabajo, sin embargo el río Oponcito presenta un valle con fondo plano que se caracteriza por haber sido afectados por fenómenos de ahogo aluvial, por lo que alcanza en algunos sectores hasta 700 metros, en los cuales se logró identificar migraciones laterales del cauce, en la cartografía que data de 1970 dicho cauce se encontraba en una posición diferente a la que se puede observar hoy día (Ver figuras 22 y 23).

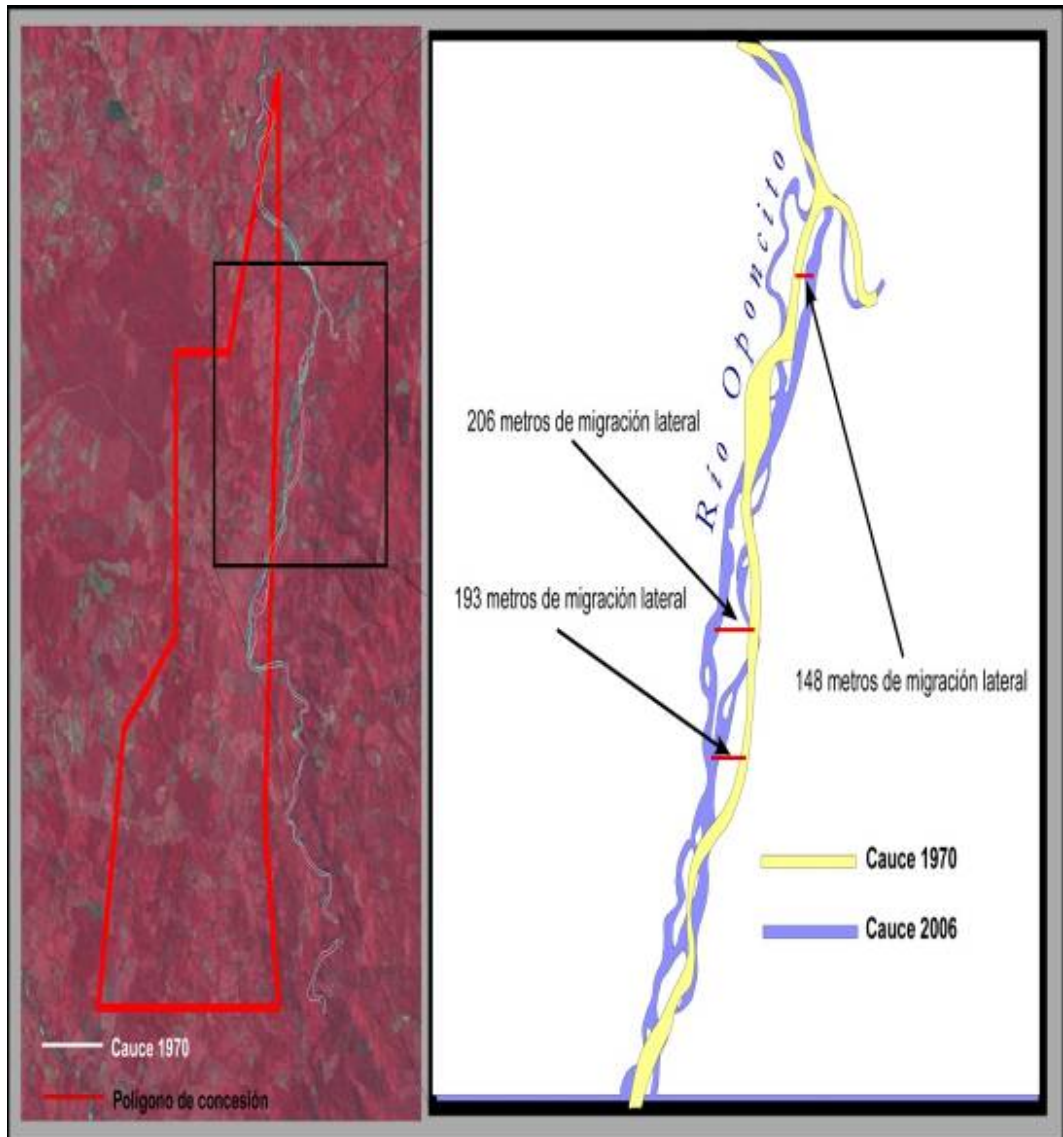


Figura 22. Análisis temporal de la variación del cauce del Rio Oponcito.

Este valle presenta diferentes niveles de terraza que corresponde a una napa aluvial actualmente en posición de terraza por efecto del entalle fluvial posterior a la acumulación. No es a causa de la divagación, sino por incisión. Como los taludes están entallados en material aluvial, se trata de una terraza aluvial encajonada que es el reflejo de una alternancia repetida de fases de acumulación o terraplenado y fases de erosión, en algunos casos se cuentan hasta tres niveles;

estas terrazas de tipo erosional, son alargadas y no sobrepasan los 2 metros de altura.



Figura 23. Antiguo Lecho Aluvial del Rio Oponcito.

Así mismo existen dos grandes áreas con recubrimientos cuaternarios con características diferentes a los netamente aluviales, estos depósitos presentan una granulometría mayor, son más potentes y superficialmente son planos con algunas irregularidades y colonizados por rocas de diversos tamaños muchas de ellas sobrepasando los 1.50 m de diámetro, de tipo subredondeados y medianamente esféricas. Estos depósitos de tipo diluvial o de terrazas presentan una morfología parecida a los aluviales pero una composición semejante a los coluviales, eventualmente cargas o avenidas de agua con menos sedimentos aplanaron y moldearon la superficie, no deben confundirse con los de tipo torrencial que también existen en el área y se localizan en las vegas de las quebradas con mayor gradiente topográfico.

Finalmente dentro de esta unidad se cuenta con las vegas aluviales bajas o

inundables, que para el caso la más representativa es la formada por el valle del río Oponcito, en donde este al perder capacidad de carga por disminución del gradiente hidráulico, deposita los materiales aluviales formando un lecho trezado con una dinámica muy cambiante, fisiográficamente se mencionó anteriormente, se identifican como vallecitos aluviales, tal como se puede observar en la figura 24.

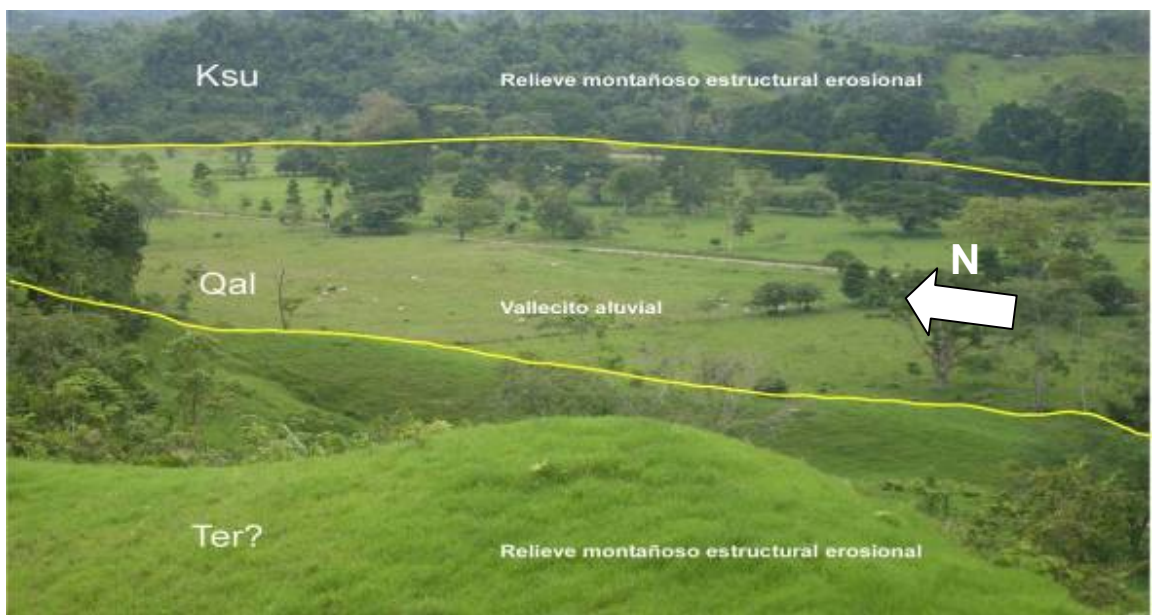









Figura 24. Fotografía que muestra la ubicación de geoformas presentes en el área, así como el enmascaramiento cuaternario del área.

3.2.3. Procesos Erosivos

Cada unidad geomorfológica se caracteriza por la presencia de ciertos fenómenos erosivos que la definen mejor, por ejemplo en la unidad estructural erosional, los procesos erosivos actúan y muestran su intensidad dependiendo de tres factores principales la competencia de la roca, la pendiente del terreno y el uso del suelo, el cuadro 5 muestra los procesos característicos para cada rango de inclinación:

CLASE DE PENDIENTE Grados/Porcentaje	PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
 0° – 2° / 0 – 2 %	Plano o casi plano. Denudación no apreciable; transitable y laborable si dificultad bajo condiciones secas.
 2°- 4° / 2 – 7 %	Levemente inclinado. Movimientos en masa de diferentes clases y baja velocidad, especialmente soliflucción y fluvial (erosión laminar y surcos). Es posible utilizar maquinaria agrícola pesada; se recomienda arar en forma paralela a la pendiente, peligro de erosión.
 4°- 7° / 7 - 12%	Inclinado. Condiciones similares al rango anterior con serias facilidades para explotación agrícola. Severo peligro de erosión del suelo.
 7° - 14° / 12-25%	Moderadamente empinado. Movimientos en masa de todo tipo, especialmente soliflucción, reptación laminar y en surcos, ocasionalmente deslizamientos. Imposible cultivar sin terraceo. Difícilmente accesible para tractores y otros vehículos. Presenta peligros de erosión del suelo y deslizamientos.
 14°-26° / 25-50%	Empinado. Procesos denudacionales intensivos de diferentes clases (erosión bajo cubierta de bosque, reptación, deslizamiento). Posibilidades limitadas de arado, transitabilidad ardua, cultivo sólo en terrazas. Peligro extremo de erosión del suelo.
 26°-37° / 50-75%	Laderas escarpadas, imposibles para uso agrícola, plantación de bosque productor protector, acepta usos secundarios sin que se acepte la tala.
 >37° / >-75%	Muy empinado. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos de taludes delgados incoherentes, imposible para uso agrícola, plantación de bosque protector.

Cuadro 5. Procesos característicos en cada uno de los rangos de pendientes.

Considerando que los rangos máximos de pendiente para el cuadrángulo de trabajo son de 25 a 50%, los principales procesos son los relacionados con eventos hídricos y cuyo principal detonante son los usos inadecuados del suelo.

A lo largo de la unidad estructural se tienen procesos hídricos, la erosión hídrica concentrada se origina por el escurrimiento del mismo nombre, se inicia cuando los hilos de agua se unen siguiendo trazados preferenciales y originan entalles que luego van profundizándose y luego evolucionan a surcos y cárcavas, este tipo de erosión no actúa sola sino que superpone la erosión difusa y laminar, estos procesos pueden ser leves, difusos, lineales, concentrados y movimientos en masa de tipo planar y rotacional (Ver figura 25). Los primeros se caracterizan por el desplazamiento de una masa de suelo o de roca a lo largo de una superficie o de una zona de discontinuidad esencialmente plana como es el caso de las laderas estructurales del área y los segundos se caracterizan por el desplazamiento de una masa de suelo que gira alrededor de un eje horizontal, paralelo a la pendiente del terreno, y a lo largo de una superficie curva, cóncava hacia arriba son menos frecuentes pero de mayor dimensión y mayor complejidad.

Los sitios observados con problemas de estabilidad presentaban dos patrones constantes: rocas arcillosas subyacentes y usos de suelo inadecuados (pastos, cultivos no tecnificados y malos manejos de agua). En la figura 25 se ilustra la situación: un sector con laderas de regular inclinación, pastos como cobertura y muchas veces con presencia de terracillas por efectos del pastoreo del ganado.



Figura 25. Procesos de remoción en masa, hacia la parte sur-oriental del polígono de la concesión.

Las vertientes e interfluvios presentan calvas de erosión y una progresiva pérdida de cobertura boscosa, es importante considerar que las condiciones climáticas de alta humedad y alta precipitación mantienen los suelos saturados y con excesos de agua la mayor parte del año, razón por la cual son tan vulnerables a los movimientos de laderas.

Las unidades depositacionales presentan como principal fenómeno erosivo la erosión lateral (Ver figura 26) y la erosión vertical que inciden notablemente en la variabilidad de cauces, esta situación trae consigo variaciones en la forma de las terrazas de nivel 2 especialmente.



Figura 26. Detalle de la erosión lateral de los cauces

Las vegas que se desarrollan en los vallecitos aluviales estrechos son una unidad periódicamente inundable que cede y recibe continuamente aluviones del lecho (cantos, arenas y gravas), impidiendo el desarrollo de suelo y vegetación por lo cual se tiene como resultado, en términos pedológicos, una unidad de tierras misceláneas con cultivos temporarios y vegetación que se desarrolla temporalmente.

Localmente el suelo está destinado a actividades agropecuarias, representado principalmente por cultivos de cacao, aguacate y pastos para ganado. La vegetación nativa está compuesta por bosques de Cedros, Ceiba, Moncoro y Matarratón. En el cuadro 6 se pueden verificar las relaciones entre la geomorfología, la litología asociada, los procesos erosivos actuantes y la vegetación presente para cada caso

UNIDAD	RELIEVE MORFOLOGÍA	PROCESOS	LITOLOGÍA	HIDROLOGÍA	VEGETACIÓN - USO
Estructural erosional	Crestones	Hídricos lineales y concentrados, movimientos en masa.	Arcillolitas, calizas y margas	El drenaje es subparalelo pero siempre depende de las rocas	Arbustales, pastos y parches de bosques
	Laderas estructurales	Soliflucción deslizamientos planares	Especialmente areniscas y calizas	Drenales paralelos, corrientes consecuentes	Pastizales y arreglos agroforestales
	Escarpes erosivos	Caída de roca,	Intercalaciones de caliza y arcilla	Drenaje subparalelo, corrientes cataclinales	Rastrojos altos, y eventualmente arreglos agroforestales
	Conos aluviales	Acumulación de depósitos torrenciales	Aluviones	Eje principal y corrientes difusas al eje	Bosques y rastrojos altos
	Depósitos de talus	Procesos de caída de roca	coluviones	Alta saturación de materiales	Bosques y rastrojos altos
	Terrazas de depósitos torrenciales - diluviales	Acumulaciones de depósitos diluviales, con arrastre de materiales de gran tamaño	aluviones	Niveles freáticos altos	Sistemas productivos tradicionales
	Terrazas aluviales	Deposición aluvial	Aluviones		
	Vega baja o inundable	Variabilidad del lecho del río, erosión lateral	aluviones	Río trezado	Bosque ripario altamente intervenido

Cuadro 6. Relaciones entre las unidades geomorfológicas y algunas características.

3.3. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

La cartografía adelantada en el área de estudio se desarrolló haciendo énfasis en el área de concesión, con especial interés en la formación productora de carbones: La Formación Umir.

Para determinar el comportamiento de esta formación en el área del polígono correspondiente a la concesión FLF-141, se desarrollaron las actividades propias de reconocimiento de campo y los itinerarios necesarios para la toma de datos correspondientes.

3.3.1. Fotogeología del área de interés

Para la fotointerpretación del polígono de interés se tuvo en cuenta las fotografías aéreas con referencia de vuelo C- 2587, S – 37468 (Fotografías: 108 – 105) del IGAC.

Con esta herramienta se pudo determinar aspectos como lineamientos geológicos, fallas y estructuras, vías de acceso, así como la caracterización del drenaje (Ver anexo 2). La transferencia de información se realizó mediante la georeferenciación de las áreas efectivas de cada aerofotografía y digitalización sobre pantalla con un error cuadrático no superior a 10 píxeles (Ver figura 27).

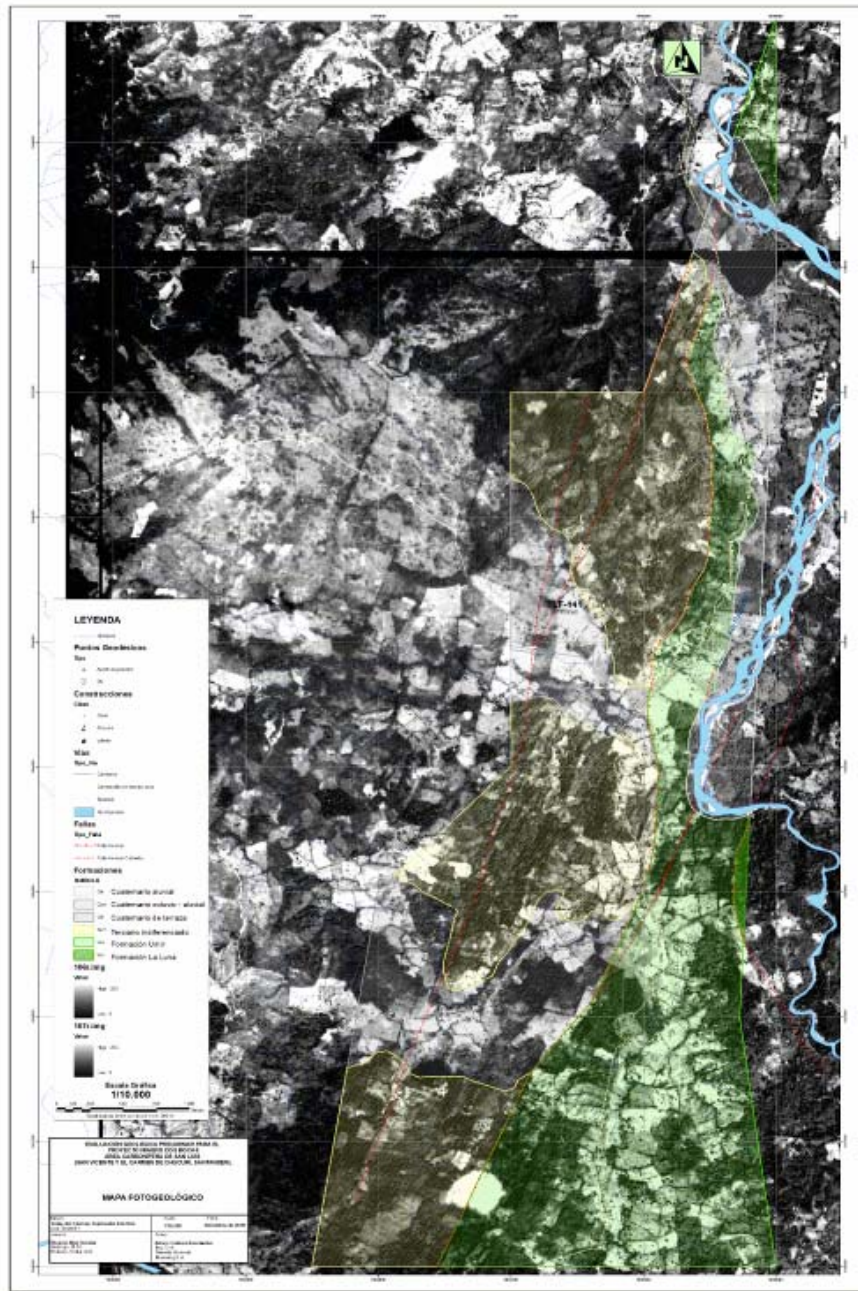


Figura 27. Mapa fotogeológico, que muestra la ubicación de la información interpretada a partir de fotos aéreas, del área de interés.

3.3.2. Litoestratigrafía

El análisis geológico estratigráfico se realizó haciendo principal énfasis en la identificación y caracterización de la Formación Umir, por lo tanto se realizará una descripción más detallada para esta unidad, teniendo en cuenta que se levantaron tres secciones estratigráficas (Ver figuras 28-30) y se desarrollaron 11 perforaciones en el área (Ver figura 31).

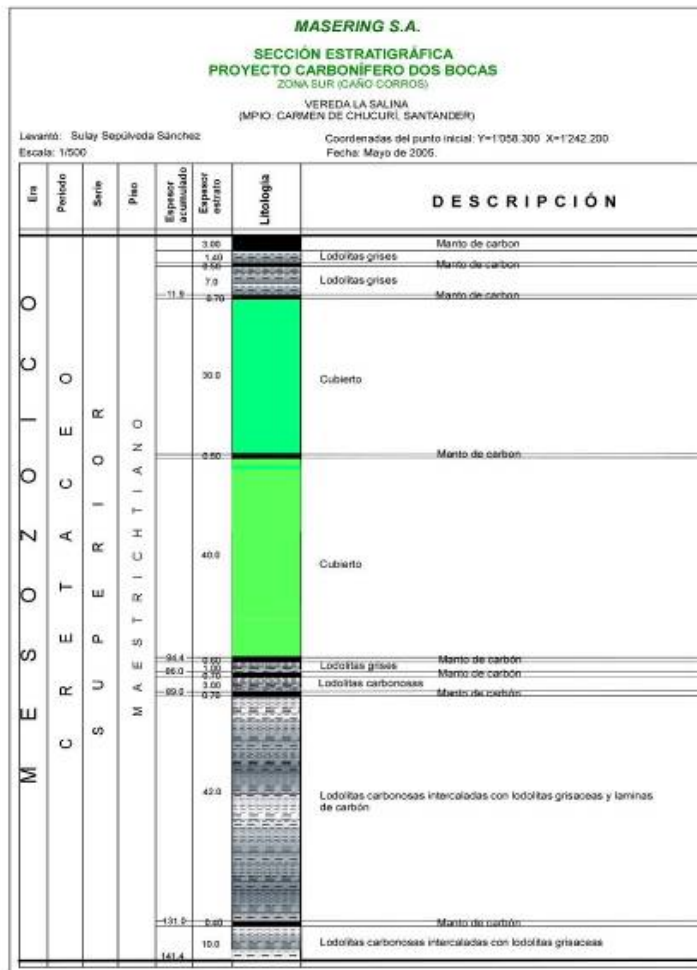


Figura 28. Sección Estratigráfica levantada en la zona sur del polígono concesionado, sobre el Caño Corros (Y=1.058.300, X= 1.242.200)

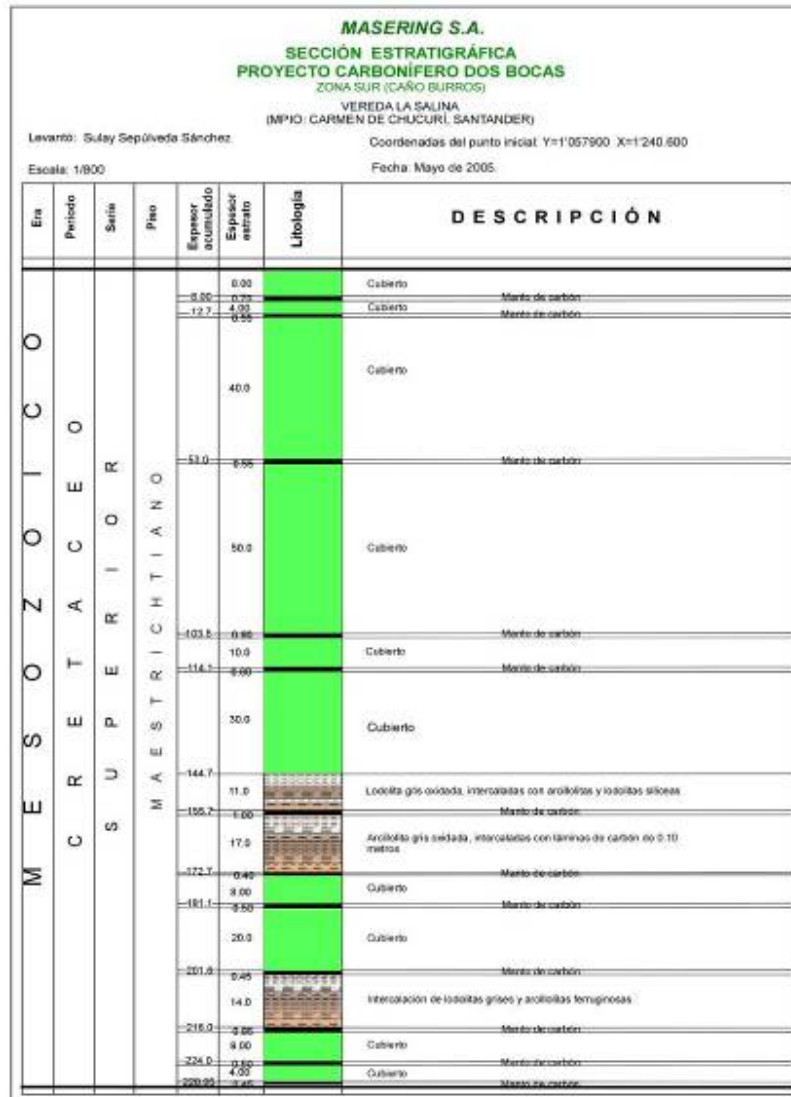


Figura 29. Sección estratigráfica levantada en la zona sur del polígono concesionado, sobre el Caño Burros (Y= 1.057.900, X= 1.240.600)

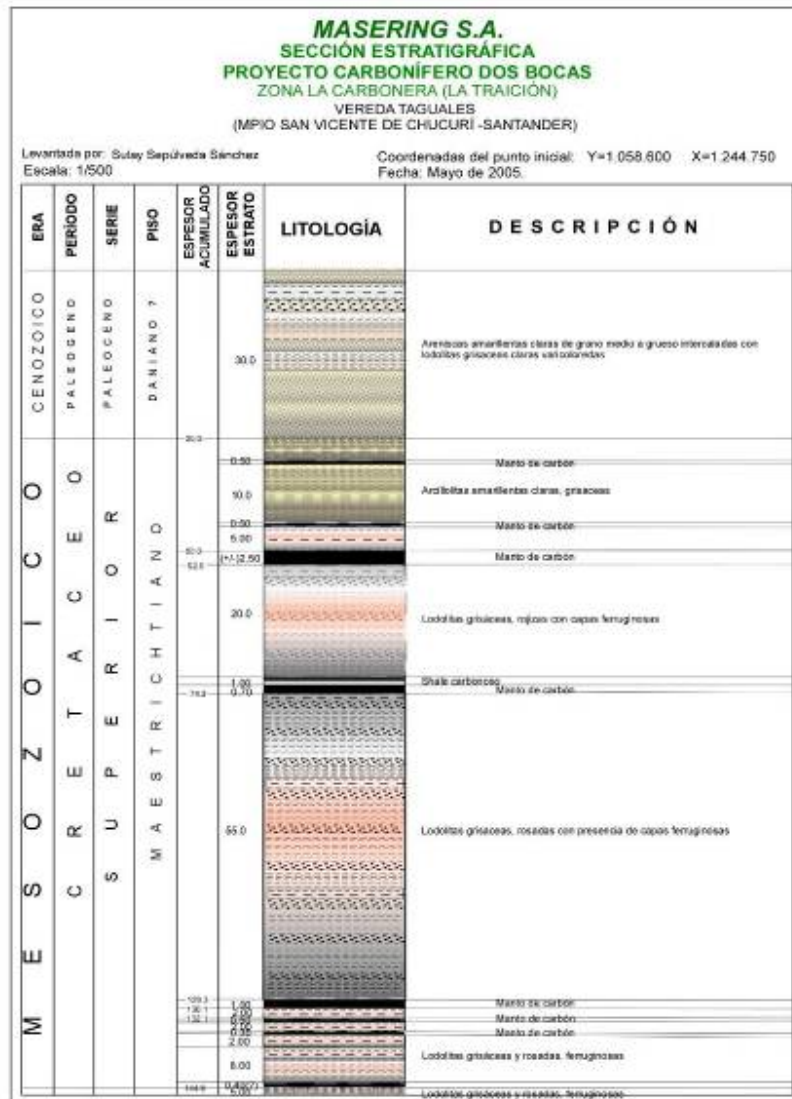


Figura 30. Sección estratigráfica levantada en la zona norte del polígono concesionado, en el sector llamado La Carbonera

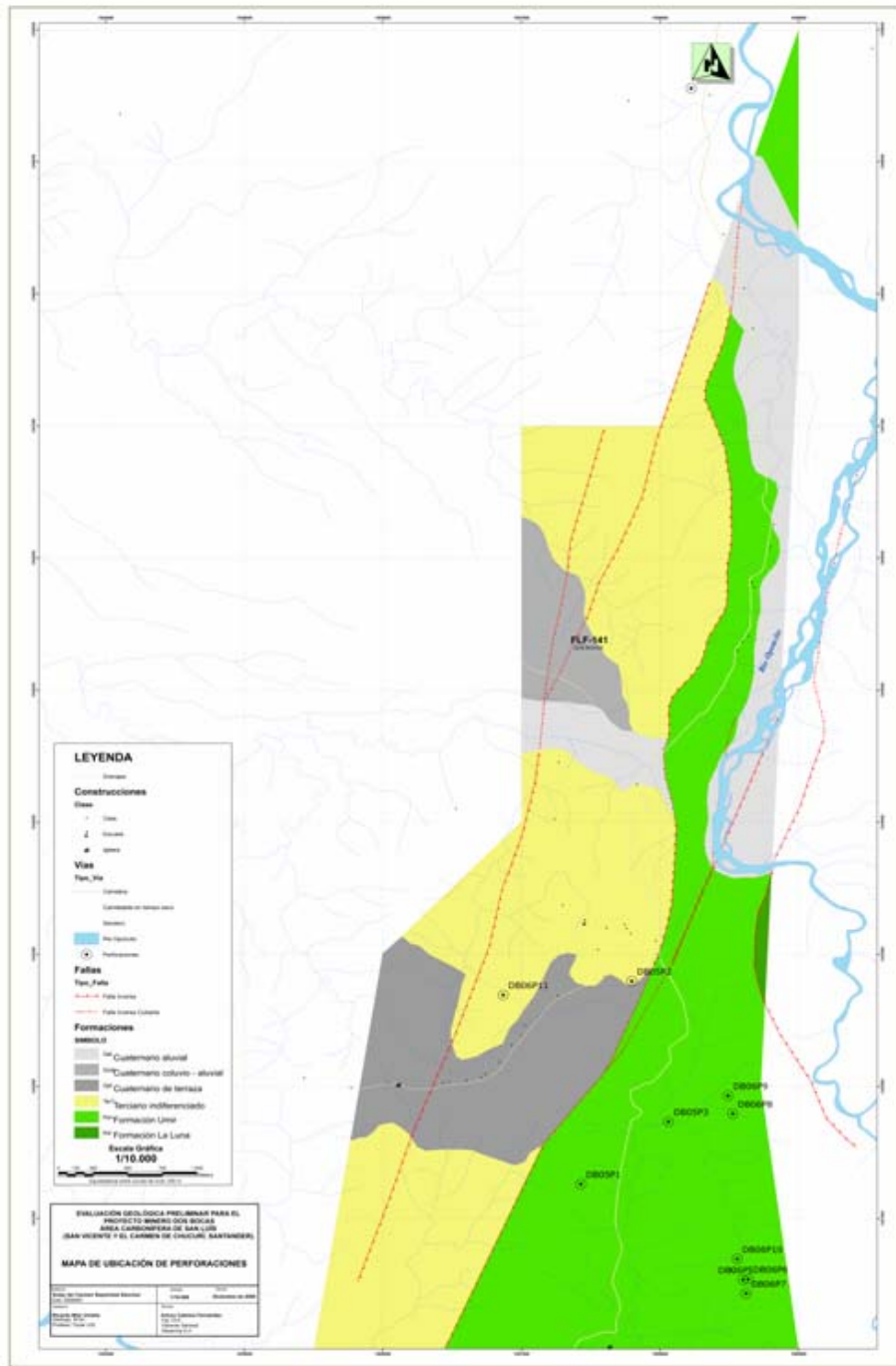


Figura 31. Mapa de ubicación de las perforaciones realizadas

3.3.2.1. Formación La Luna (Ksl)

En el área correspondiente al polígono de la concesión se encuentran evidencias de dicha formación, en donde básicamente está representada por capas de *chert*, aflorantes sobre la vía que conduce de la vereda La Salina hacia la cabecera municipal de El Carmen de Chucurí (Ver figura 32). Presenta un rumbo preferencial noreste, y buzan hacia el sureste.



Figura 32. Fotografía de un afloramiento que corresponde a rocas tipo *Chert*, litología característica de la Formación La Luna. X= 1.242.306; Y= 1.058.834

Esta litología se puede describir como unas lodolitas *shales* síliceas, es decir, rocas tipo *chert*, de colores marrón amarillento a crema en la parte superficial y color gris oscuro internamente, calcáreas, que presentan disolución de cavidades. Se puede apreciar una laminación plano-paralela y parten en forma de “panelitas” (Ver figura 33).



Figura 33. Fotografía del afloramiento de rocas tipo *Chert*, que presentan una disposición plano paralela y partición en forma de “panelitas”.

Cabe mencionar que estas rocas están siendo utilizadas por la comunidad, como material de recebo, dadas sus características.

3.3.2.2. Formación Umir (Ksu)

Esta formación aflora en la parte central del área explorada, caracterizándose por presentar capas de *shale* grisáceo con espesores variables, finamente laminados, interestratificadas con capas de arcillolitas masivas gris claro y lodolitas rojizas a marrones, de carácter ferruginosas, algunos niveles de areniscas cuarzosas de grano fino a muy fino y niveles de *shale* carbonoso y de capas de carbón (Ver figura 34), cuyos espesores varían entre 0.1 m. a 3 m, apareciendo por lo general los más gruesos hacia el tope.



Figura 34. Fotografía correspondiente a una secuencia lodosa, intercalada con capas de carbón, característica de la Formación Umir. X= 1.241.907 m; Y= 1.058.544 m

Las arcillolitas micáceas, blandas y fisiles de color gris a gris plomo, con intercalaciones de limonitas ferruginosas de color amarillento, y en algunos sectores, en menor proporción intercalada con limolitas, afloran básicamente hacia el sureste del polígono de la concesión, correspondiendo con la base de la secuencia.

Además, se ha identificado una capa de arenisca de grano fino a muy fino, de color crema a amarillo claro, con aspecto tabular y de más de 2.0 metros de espesor, que puede corresponder a una capa guía que según Duran *et al* (1976) es el límite entre el nivel medio y el nivel superior de la Formación Umir (Ver Figura 35).



Figura 35. Fotografía que corresponde al afloramiento de un potente paquete de areniscas guía, que marca el límite entre los Niveles Medio y Superior de la Formación Umir. X= 1.058.020; Y= 1.240.461.

Además, se reportan una secuencia de arcillolitas grises intercaladas con areniscas de grano medio, así como intercalaciones de arcillolitas verdosas, limonitas y areniscas de grano fino, de colores gris y crema, intercaladas con capas de limonita ferruginosa, y capas de carbón de espesores variables entre 0.5 m hasta 0.9 m. Se pudo establecer que los mejores afloramientos se encuentran al sur del área: en Caño Pescao, Caño Corros y algunas vertientes de estos, mientras que al Norte se encuentra mejor exposición en el sector conocido como La Carbonera y El Líbano.

Otro aspecto importante que cabe mencionar es el replegamiento intenso, en donde se aprecian cambios de buzamiento en los estratos (Ver figura 36).



Figura 36. Fotografía correspondiente a una secuencia lodosa-carbonosa, típica de la Formación Umir, los estratos tienen rumbo NS y buzamientos 90W y N80E.

Hacia la parte oeste del área de estudio, se pueden apreciar los mejores afloramientos de mantos de carbón, los cuales van de sur a norte aflorando en secuencias lodosas, con espesores importantes de este recurso fósil (1 m hasta 2.9 m). Se puede considerar que esta parte corresponde a la parte superior de la Formación Umir, puesto que estos afloramientos están ubicados casi en el contacto con el denominado Terciario Indiferenciado.

3.3.2.3. Terciario Indiferenciado (Ter)

Esta litología se presenta suprayaciendo la Formación Umir por medio de un

contacto fallado (Ver figura 37). Básicamente, corresponde a la litología propia de las Formación Lisama y el Grupo Chorro (Formación La Paz y Formación Esmeraldas). Se pudo identificar litologías correspondientes a estas descripciones como son: areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y una coloración más amarillenta en los paquetes de lodolitas, en contacto fallado con la Formación Umir. Esta expresión litológica se puede evidenciar en los afloramientos ubicados en la parte suroeste del área explorada, bordeando el Filo el Guarapo y en las vertientes tributarias del Caño Corros.



Figura 37. Panorámica hacia el Filo del Guarapo, que muestra el contacto entre la Formación Umir, suprayacida por las Rocas del Terciario.

Hacia la parte Norte del área se pueden apreciar buenos afloramientos en cercanías a la carretera que conduce de la vereda La salina a la vereda El Guayacán, y más hacia el norte en cercanías a la Carbonera en vertientes tributarias del Río Oponcito.

Cabe precisar que en varios puntos donde se presentan las primeras areniscas del Terciario Indiferenciado se encuentran asociados a “oil seep” o manifestaciones de aceite en superficie (Ver figura 38), al suroeste en las estribaciones del Filo El Guarapo y hacia el norte en la escuela La Salina, en la zona de La Carbonera y El Líbano.



Figura 38. Fotografía tomada en el contacto fallado entre la Formación Umir y las rocas del Terciario Indiferenciado, en donde se encuentran manifestaciones de aceite en la superficie (“Oil seep”), Zona occidental, Sector La Carbonera.

3.3.2.4. Depósitos Cuaternarios

Durante la elaboración cartográfica del presente trabajo, los depósitos cuaternarios fueron en su mayoría delimitados por su morfología y topografía.

Básicamente, los depósitos cuaternarios corresponden a aluvial, coluvio-aluvial y de terrazas (Ver figura 39) provenientes del río Oponcito y Cascajales.



Figura 39. Depósitos recientes, sobre el Río Oponcito

3.3.2.4.1. Cuaternario Aluvial

Para esta caracterización se pudo identificar el Valle Aluvial, que corresponde a la zona baja del área de estudio, presenta aportes laterales mixtos, su topografía es plana a ligeramente ondulada. El lecho del río es de carácter trenzado, presenta algunos meandros encajados y el material corresponde a conglomerado pobremente calibrado, y de tipo clasto-soportado no consolidado.

3.3.2.4.2. Cuaternario Coluvio-aluvial

Como ya se mencionó, dentro de estos depósitos el más importante es el abanico aluvial del río Oponcito y sus afluentes, correspondiente a conglomerados compuestos de areniscas de tonos amarillentos y líticos que varían de arena fina a

guijarro, de acuerdo al análisis de dos estaciones de control, ubicadas en el área conocida como El Marcito (Mariño, *et al* 2006), presentan buena redondez y esfericidad media a baja. El conglomerado es pobremente calibrado y los clastos se encuentran orientados hacia el NE. El diámetro mayor de estos clastos en promedio es de 0.35 m., y el diámetro menor de 018 m.

De la composición de los clastos se puede afirmar que en su mayoría provienen de areniscas, y en menor proporción son limolitas, calizas y conglomerados.

3.3.2.4.3. Cuaternario de Terrazas

La acumulación desordenada de sedimentos gruesos cuyo tamaño comprende desde arena hasta bloques de varios metros de diámetro, y con superficies planas ligeramente inclinadas limitadas por fuertes escarpes sub-verticales presentes en el sectores de La Salina y La Guajira hacia la parte central del área, son designados en el presente informe como cuaternarios de terraza, también los materiales propiamente aluviales que se acumulan y erosionan por acción hídrica.

Para el primer caso los materiales depositados por efectos de una fuerte torrencialidad son conformados por depósitos hetero-métricos sin ningún sorteamiento, sub-angulares hasta redondeados, distribución caótica e irregular con superficies muy planas afectadas por cantos y bloques de regular tamaño, limitada por escarpes fuertes exponiendo depósitos generalmente matriz-soportados y de muy baja estabilidad.

Por su parte las terrazas aluviales de acumulación propiamente dichas corresponden a una napa aluvial actualmente en posición de terraza por efecto del entalle fluvial posterior a la acumulación (Ver figura 40). No es a causa de la divagación, sino por incisión, de tal manera que en sus escarpes inestables por si

mismos permiten clasificarla como una terraza encajonada. Este depósito cuaternario enmascara parte de las rocas del terciario de poco interés económico.



Figura 40. Depósitos Fluviales, sobre el lecho del Río Oponcito.

En el área de la concesión, las terrazas (que son aproximadamente 242 ha de depósito) se distinguen bien, a causa de los replanos que forman en las laderas, además de la identificación de sus arenas y cantos fluviales; frecuentemente son utilizadas para la labranza, y se reconocen fácilmente por su sección, y por la regularidad y topografía típica que exponen y se aprecian en las aerofotografías.

En el marco del planeamiento minero su estudio es fundamental ya que de la caracterización efectiva de estos depósitos se pueden establecer las mejores opciones para la extracción del carbón, bien sea a cielo abierto si la competencia de los depósitos permite manejo (económicamente hablando) o se proyectan labores subterráneas. Para el caso específico es el bloque sur el que presenta

algunos recubrimientos que es necesario considerar para la evaluación económica del yacimiento y su explotación.

3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

3.4.1. Estructuras

De acuerdo al análisis foto-geológico y de la red de drenaje, por medio del mapa topográfico, se pudo establecer que las curvas de nivel presentan una dirección predominante y concordante con el rumbo regional: NE-SW. La topografía está controlada estructuralmente por la dirección general del Sistema de Fallas de La Salina (NE-SW) y localmente se encuentra afectada por un plegamiento intenso de la Formación Umir (Ver figura 41 y 42).

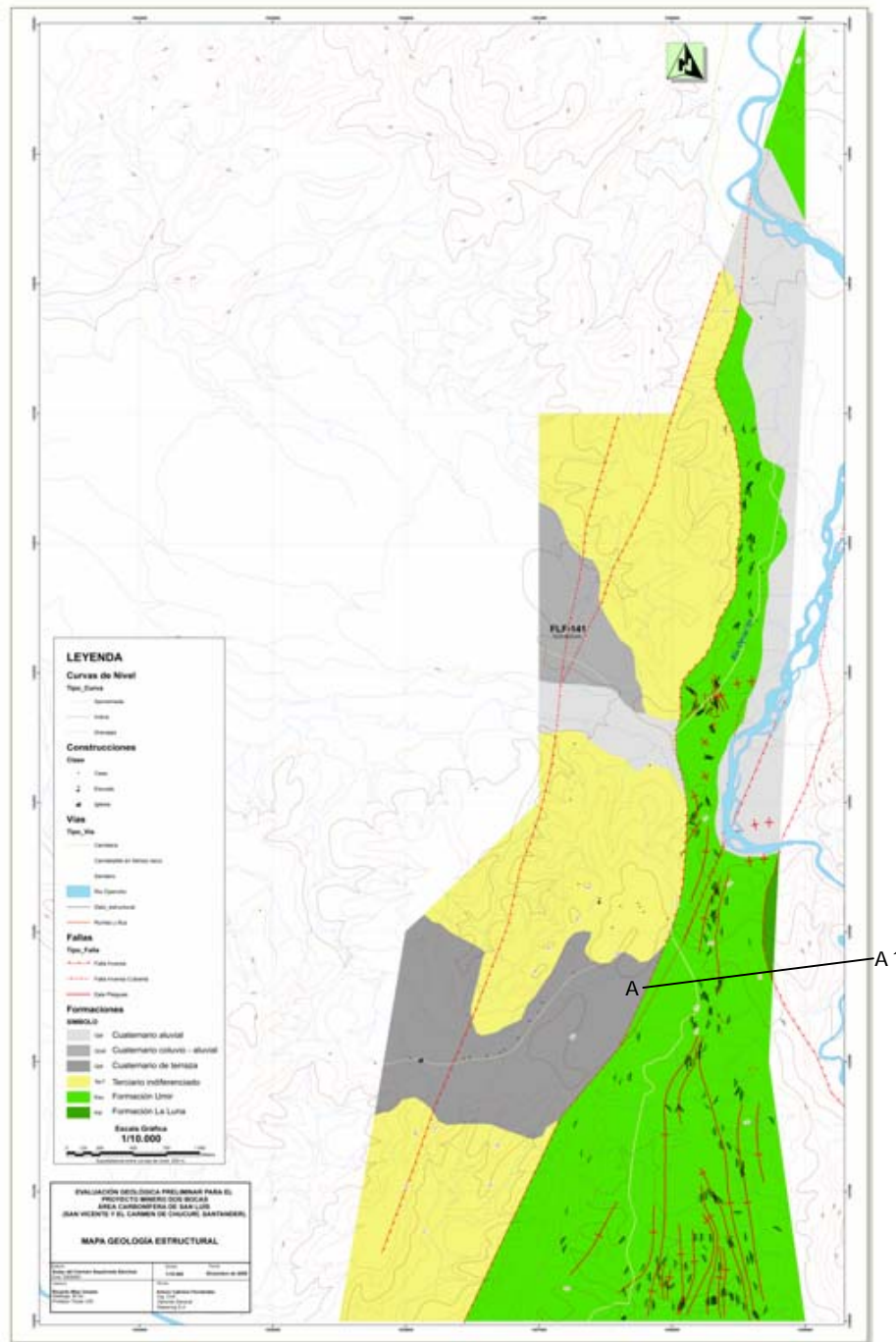


Figura 41. Mapa Geológico Estructural, que muestra los ejes de los pliegues menores que se han cartografiado en la Formación Umir

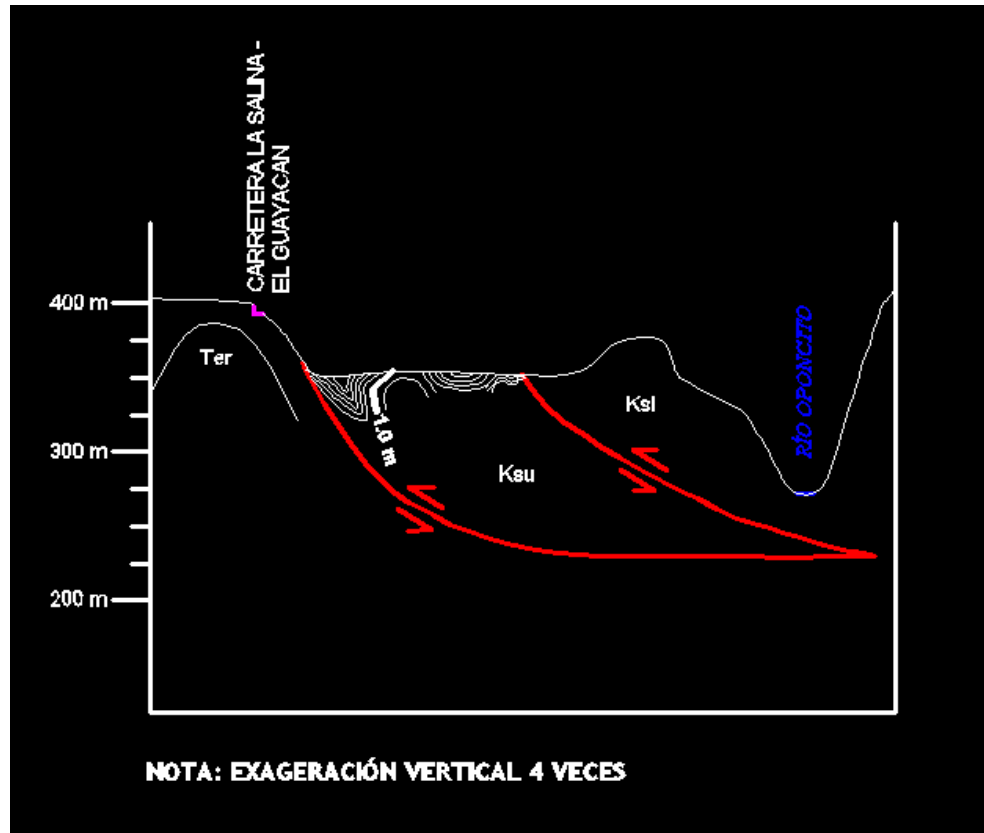


Figura 42. Perfil A-A', que muestra el efecto de la Falla en la topografía y en las rocas de la Formación Umir

Otra evidencia de dicho plegamiento de la Formación Umir se puede mostrar al elaborar los cortes y sus respectivos perfiles, sobre el mapa geológico según las figuras 43 y 44:

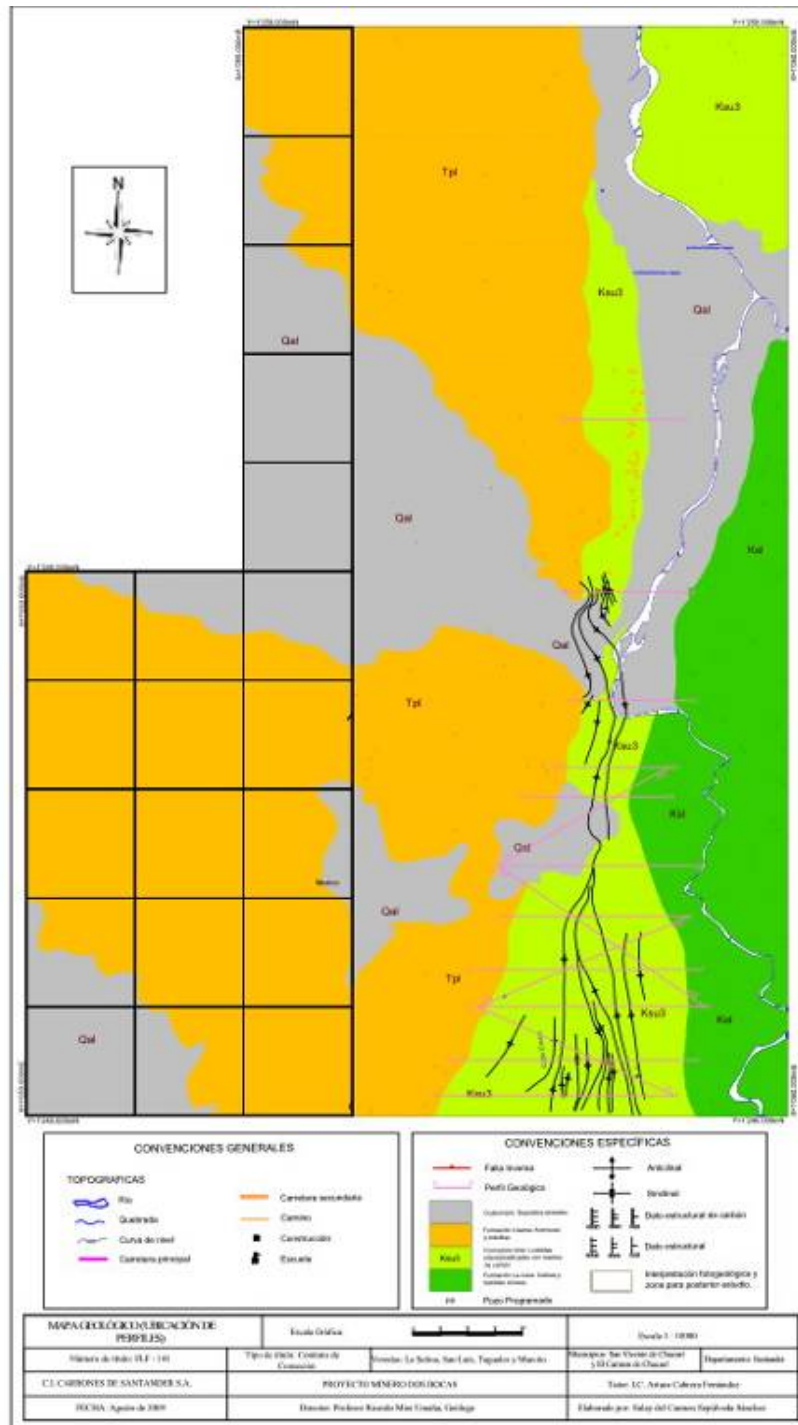


Figura 43. Mapa de ubicación de cortes elaborados

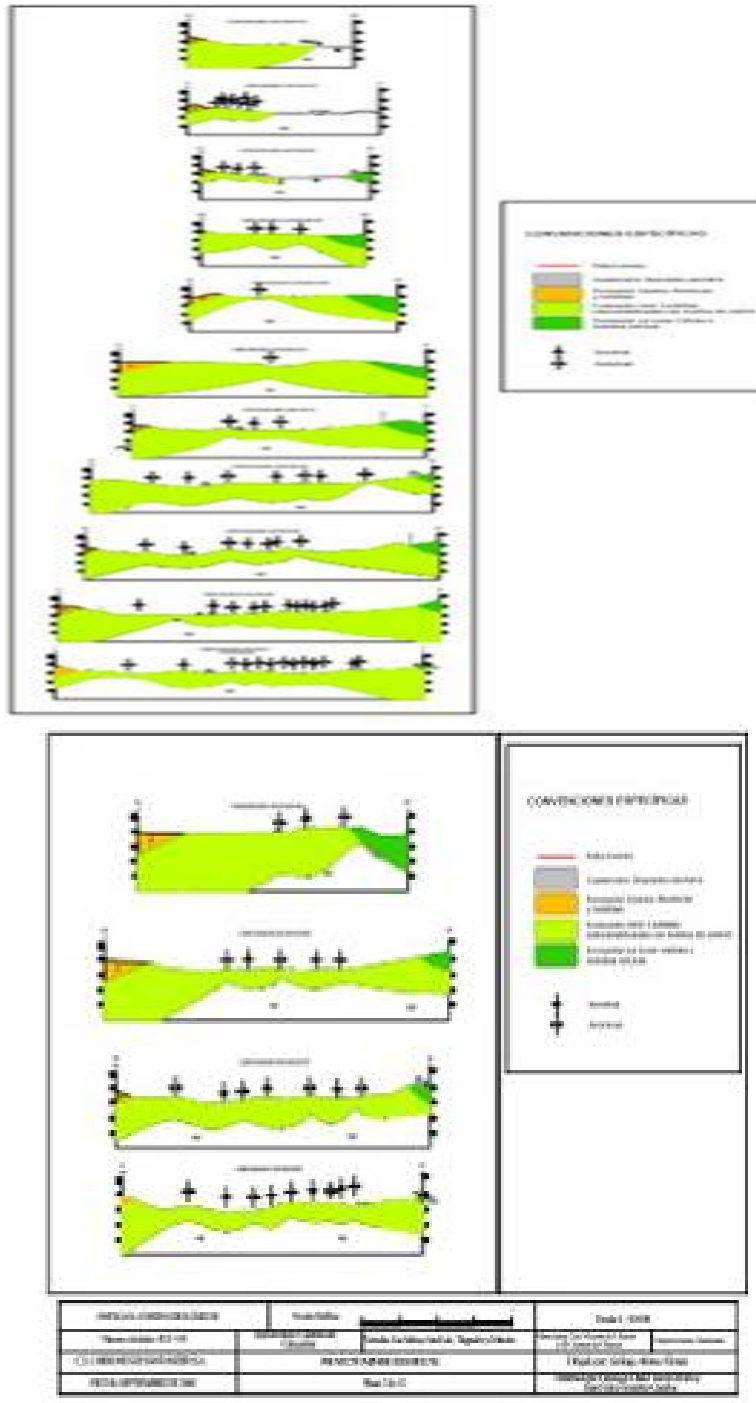


Figura 44. Perfiles elaborados, según los cortes proyectados

3.4.1.1 Pliegues

La estructura principal en el área corresponde específicamente al anticlinal de San Luís, cuyo eje sigue una dirección general SW- NE y está ubicado al suroeste del polígono de la concesión, mientras que hacia la parte sureste del área se identificó el eje del sinclinal San Luis (Ver anexo 3), así como pliegues menores, que afectan principalmente la Formación Umir.

Dentro del área de interés, el flanco oriental de dicho anticlinal se encuentra cortado por el trazo de la Falla La Salina (Ver anexo 3).

Hacia la parte noroccidental, se identificó el eje del Sinclinal de Taguales, que afecta principalmente las Rocas del Terciario.

Se puede considerar que el origen de estas estructuras se debe a esfuerzos de tipo compresional en sentido Este-Oeste, generado por la Falla La Salina, durante la orogenia Andina.

3.4.1.2. Fallas

3.4.1.2.1. Falla La Salina

Hacia la parte oriental del área de concesión se pudo identificar, por fotointerpretación y control de campo, la ubicación de los trazos de falla, correspondiente al Sistema de Fallas La Salina (Ver Anexo 3). El trazo ubicado más hacia el oeste de esta estructura presenta un comportamiento de falla de cabalgamiento, y pone en contacto formación La Luna con la Formación Umir.

Mientras que hacia la parte occidental, se identificó un trazo de falla que pone en contacto a la Formación Umir con las rocas del Terciario (Ver anexo 3).

Teniendo en cuenta esta condición estructural, se puede afirmar que la formación productora de carbones en este caso, se encuentra limitada por los dos trazos de falla, en sentido NE-SW, como es la orientación general de la geología de la zona.

4. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA de detalle

Para el área de trabajo se desarrolló la cartografía geológica de detalle, luego de identificar dos bloques potenciales (Ver figura 45), sobre una restitución digital de la topografía a escala 1:5000 y con la ayuda de imágenes de satélite tipo *spot*. Esta metodología de trabajo se llevó a cabo, teniendo en cuenta la cantidad de datos tomados, las perforaciones realizadas y el espesor de las capas de carbón mapeadas, así como su condición de rumbo y buzamiento.

De las observaciones realizados en los afloramientos de carbón, identificados en el área del polígono de la concesión (Ver figura 46), se determinó que éstos presentan una meteorización moderada a alta con fracturamiento intenso en sectores cercanos a las zonas de falla, con respaldos en la base y en el techo constituidos por arcillolita carbonosa, arcillolita gris plástica, limonita ferruginosa y arenisca color marrón de grano fino. Los carbones de mayor espesor, en general se presentan de forma masiva, duros, brillantes con fractura concoidea, mientras que las capas más delgadas se aprecian más afectados por procesos de meteorización.

En general, los mantos de carbón tienen un rumbo predominante N – S, siguiendo aproximadamente el comportamiento de la estructura principal, como lo es el Sistema de Fallas La Salina. Hacia el Suroeste los mantos tienen un rumbo promedio de N 20° E y buzamientos que varían entre 30° y 60°; hacia el sur-este el rumbo de los mantos de carbón es N 5° W, con buzamientos entre 60° y 80°; en el sector Nor-occidental del polígono el rumbo de los mantos es N 15° E con buzamientos entre 60 y 80°. En el sector Nororiental los mantos de carbón se deben encontrar cubiertos por depósitos cuaternarios.

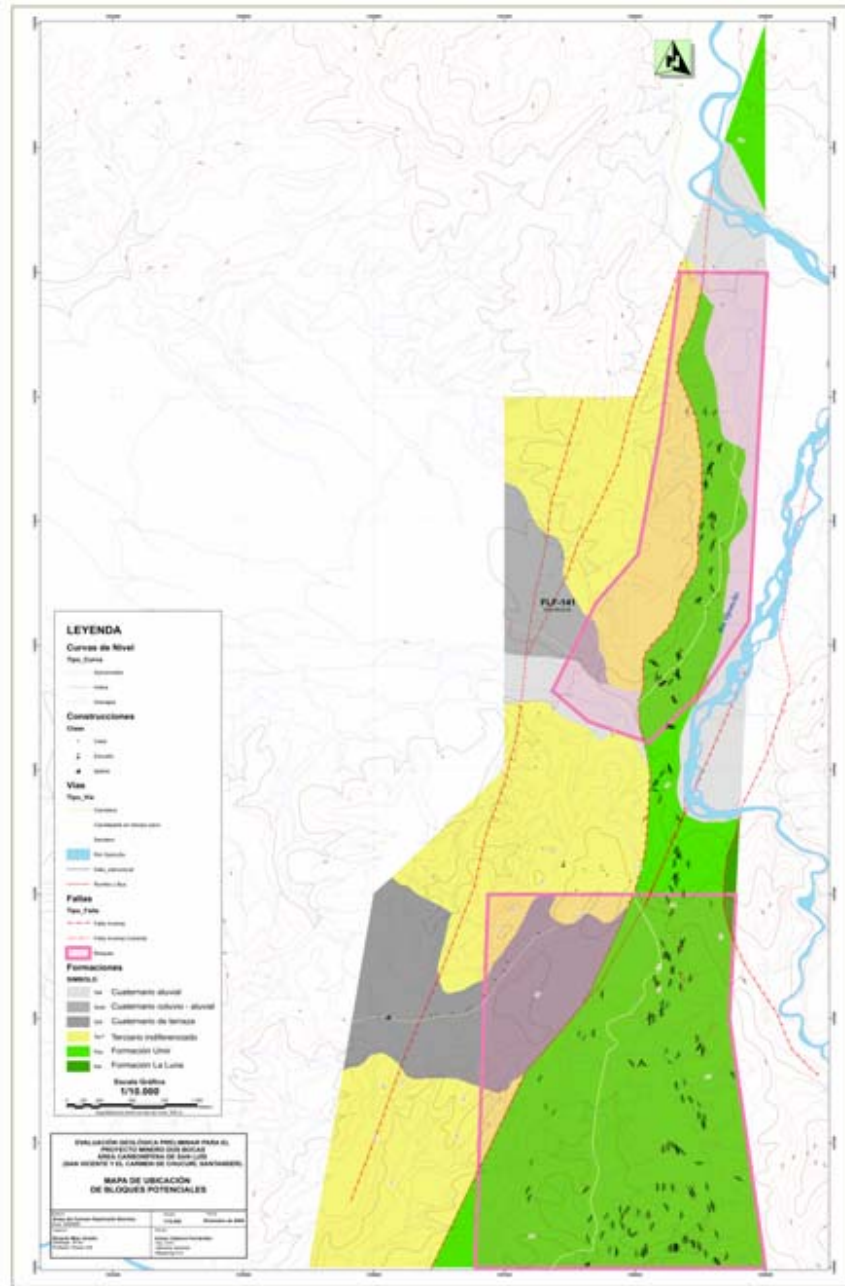


Figura 45. Mapa de ubicación de bloques potenciales.



Figura 46. Mosaico de fotografías, correspondientes a algunos afloramientos de carbón localizados en el área de la concesión.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES

Como ya se mencionó, según los datos obtenidos en campo y la litoestratigrafía caracterizada, el carbón identificado se presenta en el Miembro Medio de la Formación Umir, restringidos por los trazos de Falla del Sistema de Fallas La Salina, en los costados oriental y occidental del área solicitada.

Básicamente, se identificaron los carbones correspondientes al Miembro Medio de la Formación Umir, definidos por varios autores, como son Paba (1948), Duran (1976), y otros, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo del polígono de la concesión en sentido aproximado Norte-Sur.

En general, estos carbones se muestran brillantes, con presencia de pirita, sobre todo en los mantos más gruesos, son livianos y duros, además presentan cierta

tendencia a romperse en pequeños bloques. Los espesores de las 8 trazas inferidas varían desde 0.6 m hasta 2.8 m.

Como ya se mencionó, a partir de los trabajos de exploración inicial de carácter superficial y del subsuelo, se caracterizaron dos bloques potenciales para un posible desarrollo minero, en los cuales se pudo obtener dos mapas de sub-afloramientos o de trazas inferidas de carbón, para dos bloques potenciales, apoyándonos en el control de afloramientos, destapes y trincheras que se realizaron en el área de estudio, así como en algunas perforaciones.

4.1.1. Bloque Sur

Una vez concluida la revisión cartográfica del polígono a escala 1: 10.000 (Ver anexo 2), con la cual se determinó que el contacto occidental de la Formación Umir también corresponde a un contacto fallado por un trazo del Sistema de Fallas La Salina, se seleccionó un área de 600 ha, ubicada en la esquina Sur – Oriental del mismo (Ver figura 47) entre las siguientes coordenadas presentadas en el cuadro 7:

PUNTO	ESTE	NORTE
1	1058775	1243000
2	1058725	1242000
3	1.059.000	1.240.000
4	1.056.775	1.240.000
5	1.056.875	1.243.000
6	1.057.950	1.243.000
ÁREA TOTAL= 600 Ha		

Cuadro 7. Coordenadas del Bloque Sur

Esta determinación se tomó con el fin de realizar un estudio más detallado del sector, es decir a una escala mayor (1:2.000), acudiendo a la realización de apiques y trincheras, que permitieron verificar la información de superficie y controlar la continuidad lateral y vertical de los diferentes mantos identificados.

Los afloramientos de esta zona se encuentran concentrados principalmente en la parte más sur del área, alrededores de las quebradas Caño Pescao, Caño Corros y Caño Burros (Ver figura 32), en donde se ubican la mayoría de afloramientos.

4.1.1.1. Excavación de Trincheras y Apiques

La metodología empleada para llevar a cabo este estudio detallado consistió en la visita de todos los afloramientos de carbón, su destape a pica y pala o cuando fue necesario a con ayuda de maquinaria pesada (ver figura 48), de forma perpendicular al rumbo para determinar su espesor real, la presencia de intercalaciones de estériles y la toma del dato estructural.



Figura 48. Trinchera realizada en el Bloque Sur, para determinar el espesor real del manto.

Luego de la revisión de la totalidad de los datos de este bloque se pudo determinar que afloran una serie de cintas y capas de carbón de hasta 1.0 m de espesor, las cuales se caracterizan por su gran complejidad estructural (ver figura 49).



Figura 49. Secuencia correspondiente a la Formación Umir (Quebrada Caño Pescao), que muestra el plegamiento intenso de las rocas.

También se infirió la traza de ocho mantos de carbón, con espesores que varía entre 0.65 m y 2 m de espesor, con la ayuda de la ubicación de afloramientos y las perforaciones realizadas:

Específicamente, en el sector sur-occidental se excavó una trinchera (Ver figura 50), en las coordenadas N= 1.241.227, E= 1.057.397, con el fin de establecer la continuidad de una traza y se encontró un manto de carbón brillante, bandeado, con un espesor de 1.68 m. El respaldo superior está constituido por arcillolita carbonosa y arcillolita gris plástica, el respaldo inferior es arcillolita gris con delgadas intercalaciones de limolita ferruginosa, presenta un rumbo N13°W buzando 25°SW.

En el punto de coordenadas N= 1.240.511, E= 1.058.598, en el sector sur-oriental se describió un manto de carbón, brillante, bandeado de 0.95 m de espesor, el respaldo superior constituido por una arcillolita plástica color marrón, el respaldo inferior corresponde a una arcillolita gris plástica y hacia la base de ésta es arcillolita carbonosa, laminada con un espesor de 0.30 m, infrayaciendo se

encuentra una cinta de carbón brillante y laminado de 0.20 m de espesor, debajo de la cinta el respaldo inferior corresponde a una arcillolita carbonosa laminada de 0.30m de espesor .El manto presenta un rumbo N30°W buzando 45° al nor-este.



Figura 50. Excavación de trinchera, en la bloque sur, con el fin de establecer los datos del afloramiento

Ésta zona es la que presenta la mayor complicación estructural ya que los dos trazos de Falla de La Salina se acercan a una distancia de 500 m el uno del otro lo cual hace que se presenten pliegues muy apretados con altos ángulos de buzamiento.

Se encontró un manto de 1,2 metros de espesor, en las coordenadas N 1242000 E 1058459 altura: 357 msnm con un dato estructural N12°E/77°SE.

En las coordenadas N=1.242.306, E=1.058.421 altura 358 msnm, luego del destape se identificó un manto con espesor real de 1,7 metros de carbón

altamente diaclasado y que da la impresión visual de encontrarse plegado.

Uno de los criterios para limitar el bloque sur, fue la alta complejidad estructural que se presenta en la zona central del poligono, exactamente en el sector conocido como La Carbonera, en donde se desarrolló un túnel en las coordenadas N= 1.243.247, E=1.058.303 (Ver figura 51), donde se cortó un manto de 1,5 metros de espesor formando un pliegue anticlinal muy apretado con ángulos de buzamiento entre 55° y 70°.



Figura 51. Fotografía del túnel que se desarrolló en las coordenadas N= 1.243.247, E=1.058.303, Sector La Carbonera

Muchos de los afloramientos de la zona corresponden a cintas de no más de 0.50 m de espesor, siendo la más gruesa de 0.85 m en las coordenadas N =1.242.497, E=1.058.258, con dato estructural N16°W/52°SW; estos afloramientos se encuentran en el cauce principal que atraviesa el bloque, en sentido Norte-Sur, llamado Caño Corros, y nace en la planicie de La Salina. En este cauce se pudo observar que algunas cintas de carbón no tienen continuidad lateral con una longitud en el rumbo de no más de 5 metros.

Siguiendo la misma metodología utilizada en el sector sur oriental de destapar las capas de carbón con pica y pala se revisaron algunos datos en el sector sur-occidental del polígono, esto con el fin de verificar la información obtenida en fases anteriores.

En el sector sur - occidental se destaca un manto de carbón de 1,65 metros de espesor en las coordenadas N=1.240.610 E=1.057.194 (Ver figura 52), presenta un dato estructural de N16°E/49°NW y está 110 metros en la horizontal al E del trazo occidental de la Falla de La Salina.

Otro manto importante en este sector es el que aflora en la parte sur-occidental que inicialmente se pensó tenía un espesor de 3 metros pero que con el destape se determinó que se trata de dos mantos, el superior de 2 metros de espesor, con dato estructural N1°E/56°NW y el segundo de 1,3 metros, con dato estructural N16°E/46°W cortados por una pequeña falla, que pone el primero sobre el segundo formando así una secuencia de aproximadamente 3,3 metros de espesor (Ver figura 53).

Este afloramiento se encuentra a 100 metros en la horizontal del trazo occidental de la Falla de La Salina.



Figura 52. Fotografía de un manto de carbón, ubicado en las coordenadas N=1.240.610 E=1.057.194, con 1.65 m de espesor.



Figura 53. Fotografía de un manto de carbón, localmente fallado

4.1.1.2. Perforaciones Profundas

Con la nueva información obtenida luego del levantamiento geológico de superficie, se planteó un plan de exploración del subsuelo para determinar la continuidad tanto en el rumbo como en el buzamiento de las capas de carbón pero a una distancia menor de los afloramientos, siguiendo el rumbo aproximado de los mantos vistos en afloramientos.

Con base en esta información se realizaron 11 perforaciones (Ver cuadro 8), con el fin de ver la continuidad en el rumbo de los mantos aflorantes.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	PROFUNDIDAD	ESPEORES CARBÓN
DB05P1	1.241.260	1.057.428	98	0.7-1.7- 0.7-0.9
DB05P2	1.242.796	1.057.796	58	
DB05P3	1.241.732	1.058.061	88	
DB05P4	1.249.556	1.058.225	35	
DB06P5	1.240.536	1.058.598	64	1.0
DB06P6	1.240.540	1.058.635	57	
DB06P7	1.240.431	1.058.622	48	
DB06P8	1.241.792	1.058.525	41	1,5 m
DB06P9	1.241.929	1.058.491	54	1,5 m
DB06P10	1.240.692	1.058.557	79	1,2 m
DB06P11	1.242.692	1.056.868	58	
TOTAL			680	

Cuadro 8. Coordenadas de los puntos de perforación

En la perforación DB06P5, ubicada en las coordenadas N 1'240.536 E 1'058.598, se cortó un manto de 1 m, alcanzado a una profundidad de 17,8 metros; este pozo se continuó hasta los 64 metros de profundidad.

La perforación DB06P8, cortó un manto de 1.5 m a los 24 m, con una profundidad total de 41 m. De igual forma, la perforación DB06P9, corta este mismo manto a los 38.5 m de profundidad.

La perforación DB05P1, corta un manto de 1.7 m de espesor, que se puede correlacionar con el afloramiento encontrado al sur de este punto (Ver figura 54) y otro afloramiento al norte de dicha perforación (Ver figura 55).

4.1.2. Bloque Norte

Para el estudio de este bloque se tuvo en cuenta los principales afloramientos que se encuentran a pocos metros de la carretera, y que a su vez aparecen paralelos al trazo del sistema de Falla La Salina (Ver figura 56).

En el sector del Líbano, con coordenadas N= 1.245.983, E= 1.058.626 se estudió un afloramiento de carbón brillante, masivo con algunas intercalaciones de carbón laminado, espesor de 2.30 m. El respaldo superior constituido por limonita y arcillolita carbonosa color marrón, y arenisca de grano fino, el respaldo inferior está constituido por arcillolita gris plástica de 0.10 m de espesor y arenisca de grano fino color marrón, el manto presenta un rumbo N-S con buzamiento de 28° NW

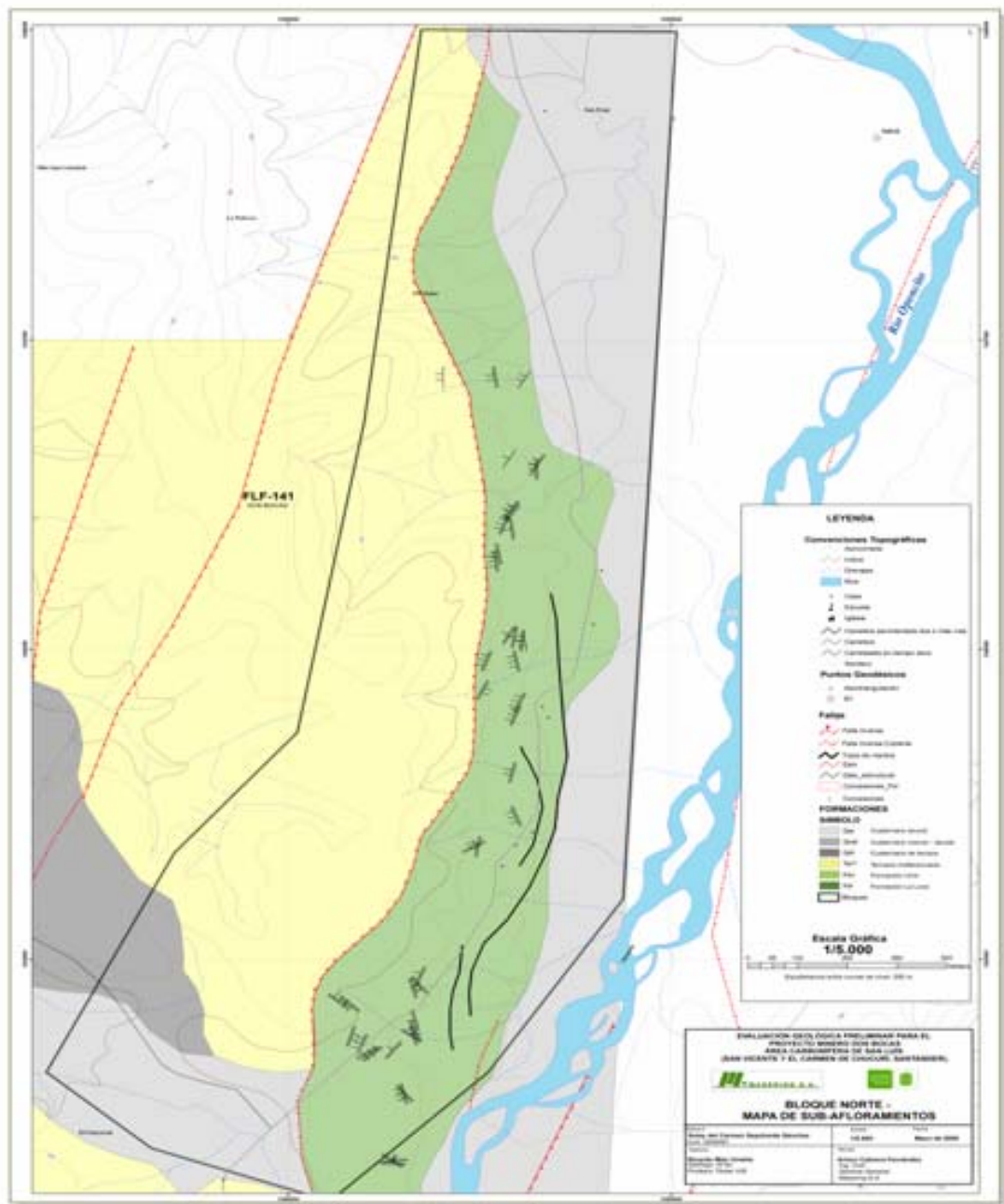


Figura 54. Bloque Norte

En el área del Líbano, ubicada en la parte norte del polígono, afloran dos mantos de 1,8 y 2,5 metros de espesor, este último aflora dos veces con direcciones de buzamiento opuestas dibujando un pliegue anticlinal apretado cuyos flancos están

buzando entre 66° y 85° (Ver figura 57). En este sector en fases anteriores de exploración se construyó una trinchera en las coordenadas N 1.245.781 E 1.058.594, para cortar el manto más grueso que allí sólo tiene 2,1 metros de espesor. Aunque los mantos tienen un buen espesor el trazo de la Falla de La Salina pasa 200 metros al SW de los afloramientos cortando la estructura y hacia el NE está cubierta por los depósitos aluviales asociados al Río Oponcito.



Figura 55. Fotografía de un manto de carbón ubicado al norte del polígono, en el sector del Libano. N=1.245.803, E=1.058.591

Los otros afloramientos se localizan principalmente en el cauce del Caño Doradas con espesores que corresponden a cintas y a una capa de 0.80 m de espesor en las coordenadas N=1.244.681, E=1.058.212.

El área de El Marcito se encuentra en la esquina Nororiental del polígono, en la margen oriental del Río Oponcito cuyo cauce en este sector está controlado por uno de los trazos de la Falla de La Salina; este sector es de interés exploratorio ya que allí aflora la Formación Umir. La margen occidental del río corresponde a depósitos aluviales bajo los cuales, por información obtenida del registro litológico del pozo Bravo – 1, se encuentran rocas de la Formación Colorado de edad Terciaria.

5. MUESTREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD

PARA ESTA FASE DEL ESTUDIO, SE ELABORÓ Y EJECUTÓ UN PLAN DE MUESTREO ALEATORIO DE 15 AFLORAMIENTOS DE MANTOS DE CARBÓN, IDENTIFICADOS PREVIAMENTE (VER FIGURA 56), APOYADOS EN LA METODOLOGÍA PARA MUESTREO DE AFLORAMIENTOS PROPUESTA POR ECOCARBON (1996).



Figura 56. Muestreo de afloramiento en el área de la Concesión FLF-141

El sistema de clasificación ASTM de carbones, se basa en el análisis próximo, en

el cual los carbones con menos del 31% de materia volátil (con base en el análisis libre de materia mineral) se clasifican solo con base en el porcentaje de carbono fijo. Los carbones se clasifican con el fin de identificar su uso final y también para proporcionar datos útiles que ayuden a especificar y seleccionar el equipo para quemado y manejo de carbón, así como para diseñar y distribuir las superficies de transferencia de calor.

Las muestras de afloramientos obtenidas se analizaron en los laboratorios SGS COLOMBIA S.A.

Teniendo en cuenta los parámetros analizados para análisis próximos de carbones se obtuvieron los siguientes resultados específicos, mostrados en las figuras 59 a la 64:

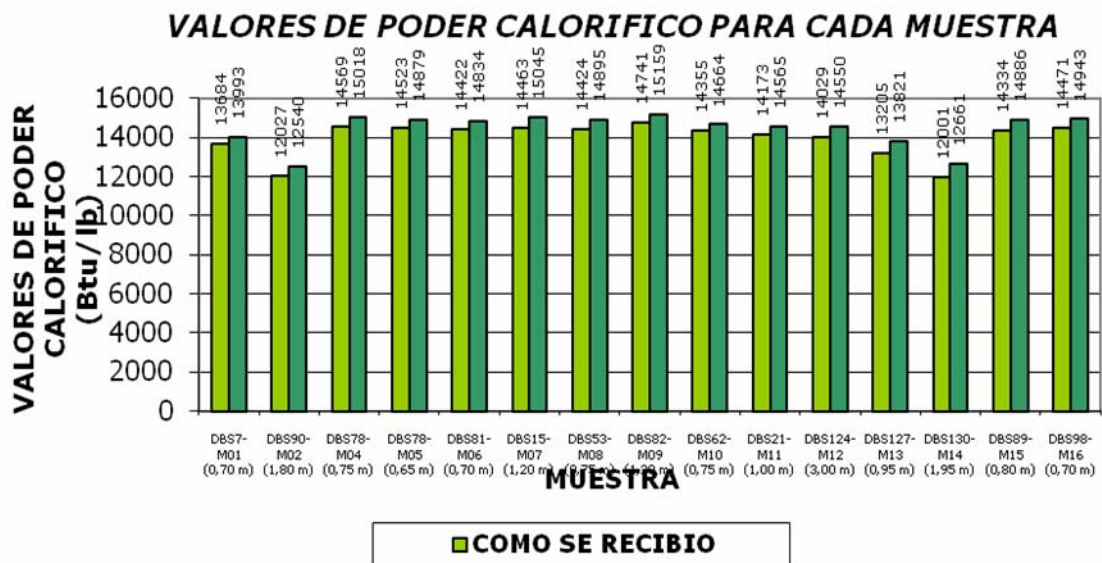


Figura 57. GGráfico que corresponde a los valores obtenidos de poder calorífico, para cada muestra analizada

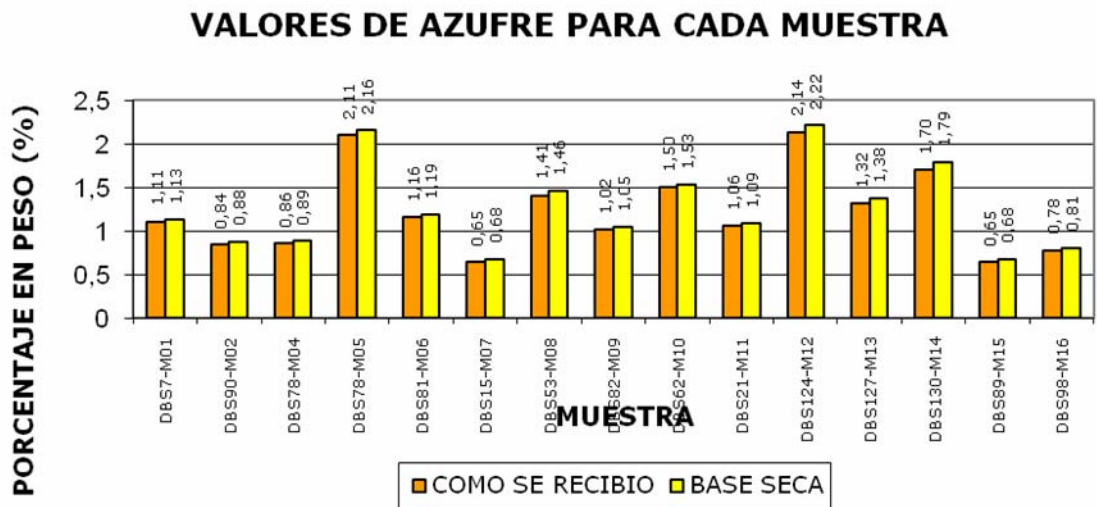


Figura 58. Gráfico que corresponde a los valores de azufre para cada muestra analizada

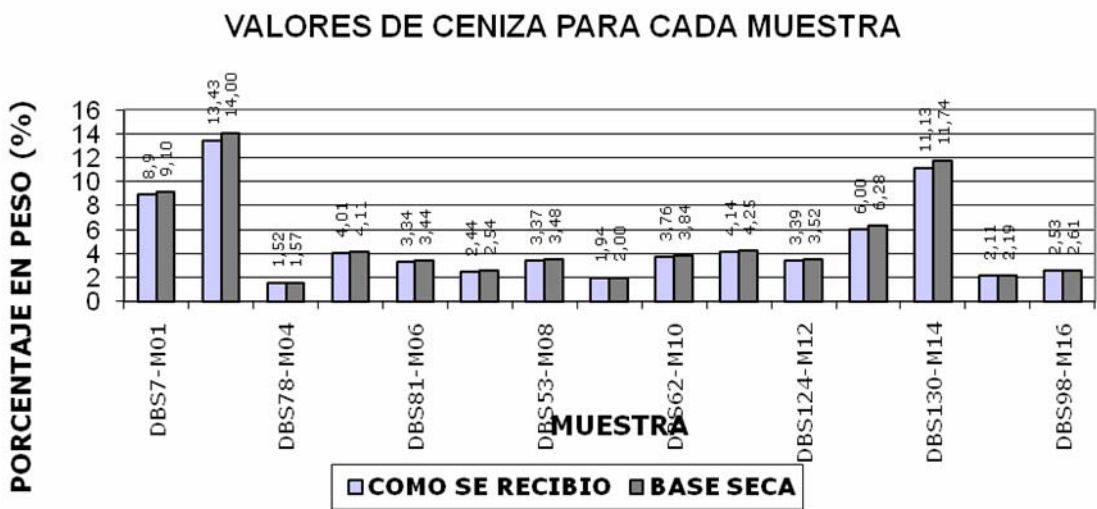


Figura 59. Gráfico que corresponde a los valores de ceniza para cada muestra analizada.



Figura 60. Gráfico que corresponde a los valores de carbono fijo para cada muestra analizada

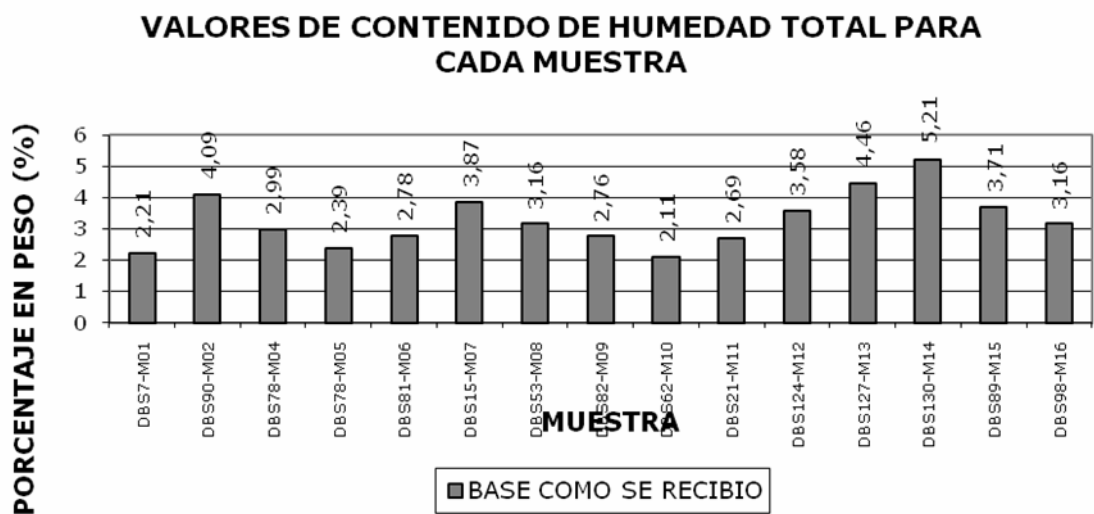


Figura 61. Gráfico que corresponde a los valores obtenidos a los valores de humedad total para cada muestra analizada

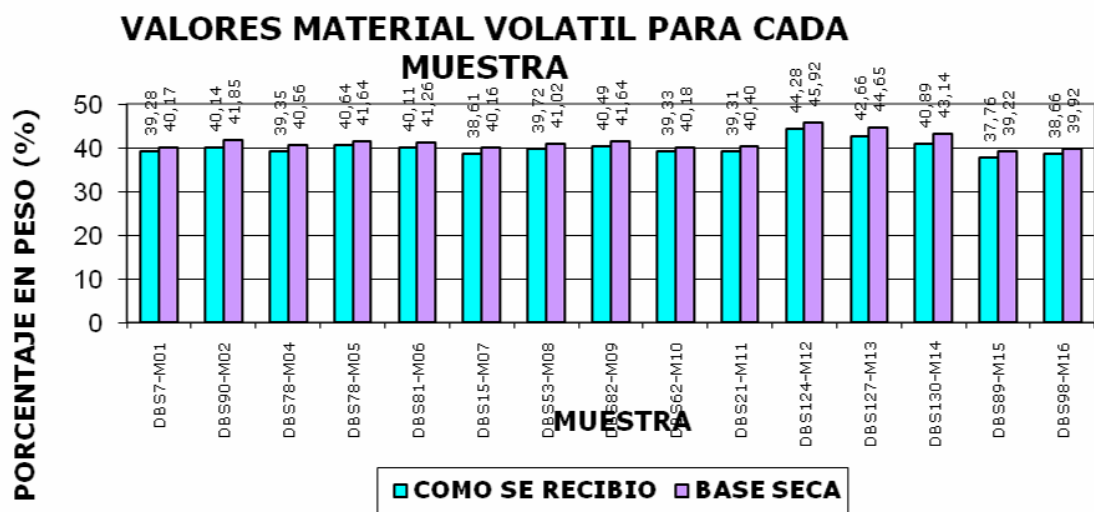


Figura 62. Grafico que muestra los valores obtenidos de material volátil para cada muestra analizada

5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CARBONES

Para conocer la clasificación de estos carbones se tuvo en cuenta la propuesta por la ASTM (American Society for Testing and Materials), que como ya se mencionó los parámetros a evaluar son el carbono fijo, la materia volátil y el poder calorífico. Para este caso, se debe tener en cuenta que el carbono fijo y la materia volátil se presentan en base libre de humedad y materia mineral (Slmm), mientras que el poder calorífico se presenta en base húmeda libre de materia mineral (hlm.m).

5.1.1. Resultados Ensayos Próximos Completos

Los resultados obtenidos para cada muestra se pueden revisar en el anexo 9.

Al analizar los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta los parámetros evaluados, se puede concluir lo siguiente:

Para la humedad total, se tiene en cuenta la “base como se recibió”, es decir, que se determina la humedad de la muestra sin haberle removido la humedad superficial. Para este caso la humedad total oscila entre 2.1% y 5.2%, en general presentan un promedio de 3.3%. Estos valores dan cuenta de la influencia atmosférica que tienen estos afloramientos de carbón y del estado de meteorización que pueden tener.

Las cenizas, se analizaron en “base como se recibió” y “base seca”. Este es uno de los parámetros más importantes en los análisis del carbón. Los resultados obtenidos presentan un valor mínimo de 1.5% y un máximo de 14%, con un promedio de 4.9%.

El azufre, analizado también en “base como se recibió” y “base seca”, presenta un valor mínimo de 0.6% y un máximo de 2.2% y un promedio de 1.2%. Se debe tener en cuenta, que a pesar de ser muestras de afloramiento no presentan valores tan altos como se esperaría, sin embargo se debe tener en cuenta estos datos para los mantos con altos contenidos de azufre.

El poder calorífico, se analizó en “base como se recibió” y en “base seca”, obteniendo valores altos, teniendo en cuenta que se tratan de carbones aflorantes. El valor mínimo obtenido fue de 12.000 Btu/lb, el máximo fue de 15.000 Btu/lb. Estos valores dan indicios de la calidad térmica de estos carbones.

De igual forma para el carbono total se tuvieron resultados en “base como se recibió” y en “base seca”. El valor mínimo obtenido fue de 42.3% y el máximo fue de 58.5%, con un promedio de 52%.

La materia volátil, analizada en “base como se recibió” y en “base seca”, reportó los siguientes resultados: el valor mínimo de 37.7% y el máximo de 45.9%, el promedio fue de 41%.

5.1.2. Clasificación

Como se ha mencionado se pretende clasificar los carbones según la norma ASTM (American Society for Testin and Materials), teniendo en cuenta los parametros antes mencionados.

Según estas indicaciones de la norma, los carbones del Proyecto Carbonífero Dos Bocas, corresponden a la clase Bituminoso grupo Alto Volátil B.

6. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RESERVAS

De acuerdo a la información geológica que se tiene del Proyecto Carbonífero Dos Bocas, se pueden calcular reservas indicadas, según los lineamientos establecidos por el INGEOMINAS (ECOCARBON, 1996):

Las Reservas Indicadas, están dentro del rango de Reservas Básicas, y junto con las reservas medidas constituyen las Reservas Demostradas.

Las Reservas Indicadas son reservas cuya calidad y cantidad se han definido por medio de análisis de muestras y mediciones, además de proyecciones e interpretaciones geológicas razonables.

6.1. METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN PRELIMINAR DE RESERVAS EN EL PROYECTO CARBONÍFERO DOS BOCAS

Método geométrico (ECOCARBON, 1996)

1. Continuidad lateral de los niveles de carbon
(RESERVAS INDICADAS MAXIMO 500 m)
2. Potencia de los niveles carboniferos
3. Densidad del carbon (1,3 ton/m³)

6.1.1. Definición de las áreas potenciales (Reservas Indicadas)

- Distancias entre puntos de control
- Análisis Próximos Completos realizados
- Proyecciones e interpretaciones geológicas a las que hubo lugar en cada

caso.

- Identificación y selección de bloques carboníferos potenciales (Bloque Norte y Bloque Sur)

6.1.2 Calculo de reservas de carbón

El tonelaje se obtiene de la siguiente forma:

$$t = a * e * d / \coseno (\alpha)$$

Donde:

t= toneladas

a= área carbonífera potencial de cada bloque

e= potencia total de los niveles identificados por bloques (> 0,60 m)

d= densidad del carbón

α = inclinación promedio de los niveles de carbón identificados

Anotaciones:

1. Se asume la continuidad lateral de los niveles de carbón identificados
2. El cálculo que se hace es de tonelaje efectivo de los mantos de carbón cartografiados en cada bloque, teniendo en cuenta la inclinación promedio de los niveles de carbón.

6.1.3. Consideraciones generales

- Para el cálculo de reservas se tuvo en cuenta los niveles cuyos espesores son mayores o iguales a 0,60 m.
- Para cada bloque carbonífero se considero una potencia total (sumatoria de espesores para cada nivel o manto de carbón).
- Se asume un ángulo de buzamiento promedio para cada manto o nivel

6.2. ESTIMATIVO DE RESERVAS INDICADAS BLOQUE NORTE

NUMERO DE MANTOS DEFINIDOS POR BLOQUE	POTENCIA DE ESPESORES POR BLOQUE
2 (DOS)	3.21 m
RESERVAS INDICADAS TOTALES PARA EL BLOQUE NORTE: 19.956.642,02 t	

6.3. ESTIMATIVO DE RESERVAS INDICADAS BLOQUE SUR

NUMERO DE MANTOS DEFINIDOS POR BLOQUE	POTENCIA DE ESPESORES POR BLOQUE
8 (OCHO)	8,71 m
RESERVAS INDICADAS TOTALES PARA EL BLOQUE SUR: 98.524.250,69 t	

Reservas Bloque Norte + Reservas Bloque Sur = Total de reservas indicadas
 $19.956.642,02 \text{ t} + 98.524.250,69 \text{ t} = 118.480.892,7 \text{ t}$.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El área presenta dos grandes unidades geomorfológicas: La unidad estructural erosional y la unidad agradacional, conformada por los diversos tipos de depósitos cuaternarios siendo los aluviales recientes los más representativos en cuanto a superficie se refiere, seguidos por los aluviales de terraza, y los coluviones en tercer lugar.

Aunque el área se localiza preferencialmente en la zona de vida Bosque húmedo tropical, los valores climatológicos regionalizados de las estaciones cercanas muestran una zona de transición con el bosque seco tropical, esto implica que en las labores de restauración y plan de manejo la caracterización botánica es clave para establecer o identificar las mejores especies para la re-conformación paisajística, la restauración y la compensación ambiental.

Las formas netamente estructurales presentan una serie de alineamientos paralelos al sistema de fallas de la salina, generando facetas triangulares, escarpas de falla y poniendo en contacto rocas con granulometrías diferentes que se traducen en patrones hídricos diferentes fácilmente observables en las aerofotografías.

Los principales procesos erosivos son de tipo hídrico y de movimientos de ladera, las fuertes pendientes y los usos inadecuados del suelo son los principales detonantes, es importante considerar y caracterizar detalladamente los fenómenos erosivos para establecer en el marco del plan de manejo las medidas necesarias para controlar la erosión y favorecer las labores de minería.

El río oponcito presenta una dinámica normal para las características de su lecho, se calcula una rata máxima de 5.2m/año para su divagación lateral, es necesario considerar este valor para establecer medidas correctivas (en el diseño ingenieril de control de orillas) si cerca a la vega baja o inundable se realizan labores mineras. Es importante mencionar que los procesos erosivos laterales del río se acrecientan por la falta de vegetación en las riberas del lecho.

Desde el punto de vista espacial la conectividad vial entre la troncal del Magdalena medio y las vías veredales del área de trabajo son muy ineficientes, la centralidad de los centros de embarque o puertos con relación a los posibles frentes de explotación se ve disminuida tanto por la sinuosidad de los trazos como por el estado de la vía.

Una vez se empiece a construir el plan de manejo para cada uno de los bloques de trabajo es necesario considerar programas de control de la erosión en sus tres facetas más representativas: hídrica, movimientos en masa y erosión lateral de los ríos.

Plantear restauración de áreas degradadas de tal manera que la compensación ambiental sea efectiva y no se restrinja a reforestaciones con especies comerciales que a la larga se talaran nuevamente.

Teniendo como referente la norma ASTM, los carbones del Proyecto Carbonífero Dos Bocas, corresponden a la clase Bituminoso grupo Alto Volátil B.

Se calcularon reservas básicas inferidas, según la norma establecida por ECOCARBON, dando como resultado 19.956.642,02 T para el bloque norte y 98.524.250,69 T para el bloque sur.

Se requiere de una segunda fase de exploración, más detallada para cada bloque

potencial, que permita definir de una forma más clara la continuidad lateral de los mantos, y de esta forma diseñar el Plan de Trabajos y Obras a ejecutar.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO, G. y GRANADOS, A. (1974). Reconocimiento de los carbones de la cuenca Lebrija – San Vicente de Chucurí, Departamento de Santander. Informe 1664.
- BOLÓS, M. (1992). Escuelas y tendencias actuales en la Ciencia del Paisaje. En: Manual de ciencia del paisaje. M. Bolós (Ed.). Barcelona, Ed. Masson S.A.
- BOTERO, PEDRO. (1999) Paisajes Fisiográficos de Orinoquía – Amazonía (ORAM) Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en Análisis geográficos No. 27-28.
- CASTRO, E. & GÓMEZ, F. (1988). Reconstrucción del ambiente de depositación del Miembro Superior de la Formación Umir en el Sinclinal de los Andes, Departamento de Santander. Bucaramanga.
- CER-UIS, (2000). Equipo investigador Centro de Estudios Regionales. Prediagnóstico y Zonificación de los Humedales del Magdalena Medio Santandereano. Bucaramanga.
- COOPER, *et al.* 1995. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera and Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG Bulletin Vol. 79/10, p. 1424-1443, 20 figs.
- DURAN, *et al.* (1976). Informe No. 1700 Geología y Recursos Carboníferos del Área de San Luis (Santander). INGEOMINAS, Bogotá.

- ECOCARBON, (1996). El Carbón. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- ETAYO, F. et al. (1983). Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Informe del proyecto cooperativo INGEOMINAS - USGS. Pub. Geol. Esp. No.14 Ingeominas, pp. 1 - 235. Efect. Bogotá.
- FLOREZ, ANTONIO (2003). Colombia Evolución de sus relieves y modelados. Universidad Nacional de Colombia. Red de estudios de Espacio y territorio RET. Bogotá.
- GILART, R. (2005). Informe de los trabajos Geofísicos (Estudios Geoeléctricos) para complementar la exploración de carbón en áreas del proyecto Dos Bocas. Geoinvestigaciones, Bogota.
- HOLDRIDGE, L.R. & TOSSI, J.A., (1972). The world life Zone classification System And forestry research. Facsimile. Series No. 2 Tropical Science Center. San José de Costa Rica.
- IGAC (1977). Espinel y Montenegro. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia.
- IGAC (1996).Diccionario Geográfico de Colombia. 3°. ed. (revisada y aumentada), Tomo I, pp. 288 - 294, Bogotá.
- INGEOMINAS. (1987). Recursos Minerales de Colombia, segunda Edición, Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS. (2004). El Carbón en Colombia: Recursos y Reservas, Bogotá. 2004

- JULIVERT, M., *et al.* (1968). Lexique Stratigraphique International. vol. V, fas. 4a, (Premiere Partie), 651 pp., París.
- MARIÑO, J., BALLÉN, H., GORDILLO, C., (2006). Informe Geológico Proyecto Minero Dos Bocas. C.I. Carbones de Santander S.A. Bogotá.
- MORALES, L. *et al.* (1958). General Geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. Habitat of Oil, Symposium Am. Ass. Petr. Geol. Tulsa
- PABA, F. (1948). Informe No. 627 Segundo informe de los carbones del Municipio de San Vicente de Chucurí, Departamento de Santander. INGEOMINAS, Bogotá.
- PÉREZ, F. J. (2003). Glosario de términos Geomorfológicos (en Prensa), Santafé de Bogotá.
- PÉREZ, F. J. (2003). Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de San Vicente de Chucurí – Santander.
- ROYERO, J. M. & CLAVIJO, J. (2001). Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000. INGEOMINAS, Centro operativo de Bucaramanga.
- ROYÓ y Gómez, J. 1942. Informe No. 328 Combustibles minerales sólidos del departamento de Santander. INGEOMINAS, Bogotá.
- TOUSSAINT, JEAN-FRANÇOIS. (1993). Evolución geológica de Colombia. Precámbrico –Paleozoico. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

- VAN DER HAMMEN, T., (1957) .Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos. Bol. Geol. vol VI, No. 1-3, p 67-128, o Informe No. 1279 Servicio Geológico Nacional, Bogotá.
- VILLOTA HUGO, (1993) Geomorfología aplicada al levantamiento edafológicos. IGAC. Bogotá.
- VILLOTA HUGO, (1997) Una nueva aproximación a la clasificación Fisiográfica del terreno. En Revista CIAF. Vol. 15 No. 1. IGAC. Bogotá.
- WARD, *et al.* Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona. Departamento de Santander. Bol. Geol. No. 21, Bogotá.
- ZUIDAM, ROBERT A. VAN, (1985). Aerial Photo – Interpretation in terrain analysis and geomorphologic map. International Institute for aerospace Survey and Earth Sciences. Netherlands.