

**DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA
DE CARBONES EN LA FORMACIÓN UMIR DENTRO DE UN ÁREA
DEL MUNICIPIO DE GIRÓN (DEPARTAMENTO DE SANTANDER)**

**ELABORADO POR
FREDDY HUMBERTO GALLO LANCHEROS
DIEGO ANDRÉS TORRES CORONADO**

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

2007

**DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA
DE CARBONES EN LA FORMACIÓN UMIR DENTRO DE UN ÁREA
DEL MUNICIPIO DE GIRÓN (DEPARTAMENTO DE SANTANDER)**

**ELABORADO POR
FREDDY HUMBERTO GALLO LANCHEROS
DIEGO ANDRÉS TORRES CORONADO**

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

**Director
MARIO GARCÍA GONZÁLEZ
Geólogo M.Sc. Ph.**

**Codirector
PEDRO ARZ MADIEDO
Geólogo**

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

2007

DEDICATORIA

A Dios, por estar vivo y haberme ayudado a culminar una de mis metas.

A mi madre Flor María, por el amor, el apoyo incondicional y por fortalecerme en los tiempos difíciles,..... eternamente gracias.

A mis hermanos, por la colaboración y empeño que tuvieron al no dejar desfallecer la familia.

A mi padre, porque encontrarlo es mi siguiente meta,.....donde quiera que estés, siempre estarás vivo para mí.

FREDDY

Dedico mi participación en este trabajo a Dios por ser el autor directo de la realización de mis sueños.

A mi madre María Helena por su cariño, comprensión, paciencia y apoyo y porque no habrá en la vida como compensarla por los sacrificios que ha hecho por mí.

A mis familiares y allegados a mi hogar por haberme apoyado económica y moralmente.

A María Ximena porque se presentó en mi vida oportunamente.

En general a todos aquellos que en el transcurrir de la realización como geólogo me apoyaron con sus buenos ánimos.

DIEGO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestros agradecimientos a:

El Geólogo Pedro Arz Madiedo, tutor y codirector, por su aporte de conocimientos y experiencias en el desarrollo de esta práctica, además de la entera confianza que nos brindó para hacer parte de su grupo de trabajo.

Al Geólogo Vicente Valderrama por ser un gran amigo y colaborador en la ejecución de este proyecto.

El profesor Jorge Rubiano, porque fue pieza clave en la defensa de esta práctica y en la culminación de este libro.

El Doctor Mario García González, director de este proyecto, por su apoyo y valiosa asesoría durante la ejecución de esta experiencia.

Al grupo de docentes de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, porque de una u otra forma aportaron al crecimiento personal y profesional de los autores.

A todos nuestros amigos y compañeros, porque de cada uno de ustedes se aprende algo nuevo cada día.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.....	4
1.2 HIDROGRAFÍA, FISIOGRAFÍA, CLIMA Y VEGETACIÓN.....	5
1.2.1 Clima	8
1.2.2 Vegetación.....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.4 ESTUDIOS GEOLÓGICOS ANTERIORES	12
1.5 OBJETIVOS	14
1.5.1 Objetivo General.....	14
1.5.2 Objetivos Específicos	14
1.6 METODOLOGÍA	15
1.6.1 Fase Preliminar.....	15
1.6.2 Fase de Campo	15
1.6.3 Fase de Oficina.....	16
2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	18
2.1 ESTRATIGRAFÍA	18
2.1.1 Sistema Cretáceo.....	18
2.1.1.1 Formación La Luna (Ksl).....	19
2.1.1.2 Formación Umir (Ksu).....	20
2.1.2 Sistema Paleógeno.....	23
2.1.2.1 Formación Lisama (Tpl)	23
2.1.3 Depósitos Cuaternarios.....	24
2.2 ESTRUCTURAS REGIONALES	25
2.2.1 Pliegues	26
2.2.1.1 Sinclinal de Nuevo Mundo	28
2.2.2 Fallas.....	28
2.2.2.1 Sistema de Fallas Bucaramanga - Santa Marta	28

2.2.2.2	Sistema de Fallas La Salina	29
2.2.2.3	Falla Lebrija.....	29
2.2.2.4	Falla San Vicente.....	30
3.	GEOLOGÍA LOCAL	31
3.1	GENERALIDADES	31
3.2	ESTRATIGRAFIA.....	31
3.2.1	Formación La Luna	31
3.2.2	Formación Umir	32
3.2.2.1	Miembro inferior (Ksu1).....	33
3.2.2.2	Miembro medio (Ksu2)	34
3.2.2.3	Miembro superior (Ksu3).....	37
3.2.3	Depósitos Cuaternarios.....	40
3.3	ESTRUCTURAS	41
3.3.1	Pliegues	41
3.3.1.1	Anticlinal Capitancitos	42
3.3.2	Fallas.....	43
3.3.2.1	Falla San Vicente	43
3.3.2.2	Falla Lebrija.....	44
3.3.2.3	Falla La Leona	45
3.3.2.4	Falla Capitancitos.....	45
3.3.2.5	Falla Mata de Cacao.....	46
3.3.2.6	Falla Capitanes.....	46
3.3.2.7	Falla Trigueros.....	47
3.3.2.8	Falla Volcanera.....	47
3.4	TRABAJOS DE EXPLORACIÓN.....	49
3.4.1	Generalidades.....	49
3.4.2	Geología de superficie.....	49
3.4.2.1	Cartografía geológica detallada	49
3.4.2.2	Características de los carbones.....	50

3.4.3	Geología del Subsuelo	56
3.4.3.1	Excavaciones existentes.....	56
3.4.3.2	Pozos exploratorios	56
4.	GEOLOGIA ECONÓMICA.....	64
4.1	BLOQUES Y MANTOS EXPLOTABLES	64
4.2	EVALUACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE CARBÓN	64
4.2.1	Criterios y Parámetros de Evaluación.....	64
4.2.2	Metodología.....	65
4.2.2.1	Definición áreas de cálculo.....	66
4.2.2.2	Cálculo reservas de carbón	67
4.3	RESERVAS BÁSICAS	67
4.3.1	Reservas Básicas Medidas	68
4.3.2	Reservas Básicas Indicadas	68
4.3.3	Reservas Básicas Inferidas	69
4.4	CALIDAD DE LOS CARBONES.....	69
4.4.1	Muestreo de Mantos	72
4.4.2	Localización de Muestras	72
4.4.3	Análisis y Calidad de los Mantos	73
4.4.4	Clasificación de los Carbones.....	74
4.4.5	Resultados	77
5.	CONCLUSIONES	78
6.	RECOMENDACIONES	81
6	. BIBLIOGRAFÍA.....	82

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa Político del Departamento de Santander, escala gráfica (tomado del IGAC, 2005) y foto satelital del área de estudio (recuadro blanco), tomada del programa GOOGLE EARTH, a una altura aproximada de 9.30 kilómetros. 5
- Figura 2. Foto tomada desde las coordenadas X: 1278273; Y: 1080152, en un camino que conduce de la Quebrada Volcanera hasta la Quebrada Mata de Cacao. Panorámica de la Cuenca del Río Sogamoso, subcuenca Sogamoso Medio Medio, confluencia del Río Chucurí y las Quebradas Aguablanca y Seca..... 6
- Figura 3. Columna Estratigráfica Generalizada del Valle Medio del Magdalena (Clavijo y Royero, Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander, 2001)..... 21
- Figura 4. Esquema estructural del Departamento de Santander. Fuentes: Vargas (1979); León (1986, 1991); Clavijo, et; al. (1993). 27
- Figura 5. Panorámica de La Formación Umir vista desde el Filo Capitancitos sobre las coordenadas X: 1276348; Y: 1082611. Se diferencian los tres Miembros de esta Formación, inferior (Ksu1), medio (Ksu2) y superior (Ksu3)..... 33
- Figura 6. Afloramiento de limolita gris plomo intercalada con capas de limolita ferruginosa con bajo ángulo de buzamiento de aproximadamente 4 metros de espesor, perteneciente al Miembro medio de la Formación Umir. Localizado sobre la quebrada Volcanera en las coordenadas X: 1276451; Y: 1080572 a una altura de 220 metros sobre el nivel del mar. 35
- Figura 7. Intercalaciones de arcillolita gris y limolita con nivel de arenisca de grano fino a muy fino color crema, oxidada de aproximadamente 0,50 metros de espesor (indicado con la flecha amarilla), sobre la quebrada Volcanera con coordenadas X: 1277635; Y: 1080492 a una altura de 459 metros sobre el nivel del mar. 36
- Figura 8. Afloramiento de areniscas grises y amarillas de grano muy fino, bandeadas; se aprecia un volcamiento de los estratos debido a fallamiento de la zona. Recuadro blanco martillo de escala. Localización costado derecho aguas arriba de la quebrada

Volcanera en las coordenadas X: 1278262; Y: 1080734 a una altura de 584 metros sobre el nivel del mar.	37
Figura 9. Estratos de areniscas de geometría tabular, de grano fino a muy fino, color amarillo a crema con marcas de corriente, con un espesor de 25 metros aproximadamente, pertenecientes al Miembro superior de la Formación Umir. Localización sobre la parte alta de la quebrada Volcanera con coordenadas X: 1278465; Y: 1080520 a una altura de 655 metros sobre el nivel del mar.	38
Figura 10. Detalle de estructuras de la arenisca de la figura 9. Arenisca de grano muy fino con laminación ondulosa (marcas de corriente) de color amarillo a gris, con niveles de oxidación de color rojizo; láminas entre 0.10 y 1.00 cm. de espesor, sobre el Miembro superior de la Formación Umir. Localización afloramiento sobre la parte alta de la quebrada Volcanera con coordenadas X: 1278465; Y: 1080520 a una altura de 655 metros sobre el nivel del mar.	39
Figura 11. Areniscas de color verde y crema (señalados dentro de las líneas amarillas) dentro de shales intercalados con limolitas de un espesor aproximado de 8 metros sobre Umir superior. Afloramiento ubicado con coordenadas X: 1278861; Y: 1080314 a una altura de 772 metros sobre el nivel del mar.	39
Figura 12. Terrazas Aluviales situadas en el costado derecho aguas abajo de quebrada Seca, en la Vereda Capitanes, aproximadamente 500 metros abajo de la confluencia de las quebradas Mata de Cacao y Volcanera. Coordenadas de X: 1274478; Y: 1080459 a una altura de 220 metros sobre el nivel del mar.	41
Figura 13. Foto satelital del área de estudio (recuadro blanco) y sus principales estructuras. Tomada del programa GOOGLE EARTH, a una altura aproximada de 9.30 Km.	42
Figura 14. Panorámica de la Falla Trigueros, de tipo inverso, vista sobre el costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera con coordenadas X = 1277865; Y = 1080645, a una altura de 515 metros sobre el nivel del mar. Obsérvese el cabalgamiento del bloque derecho sobre el izquierdo.	47

Figura 15. Mapa geológico escala 1:10.000, fotointerpretación de estructuras del área de estudio y elipsoide de deformación (Modificado de Rosello, E. 2001). Sistemas Cizallantes, Relación de esfuerzos y estructuras deformativas relacionadas.	48
Figura 16. Galería en el costado izquierdo de la vía Bucaramanga – Barrancabermeja, donde se observa el manto de dos metros de espesor, coordenadas X: 1277503, Y: 1081258, a una altura de 529 msnm.	51
Figura 17. Taladro de perforación tipo Long Year 38.	57
Figura 18. Tuberías y cajas de aluminio para almacenamiento de núcleos de perforación.	58
Figura 19. Formato para programas de perforación, Keystone Minería de Colombia...	59
Figura 20. Equipo Mount Sopris MGM-II (Grúa), utilizado para la toma de registros Gamma Ray y Densidad.	62
Figura 21. Registros Gamma Ray y Densidad tomados para el Pozo Exploratorio No. 1 a escala 1:50.	63
Figura 22. Resultados análisis fisicoquímicos de la muestra de carbón tomada del punto de control No. 15, realizado por INTERLABCO LTDA. Julio 12 de 2006.	73
Figura 23. Panorámica del área de estudio tomada desde quebrada Seca, con coordenadas X: 1274478; Y: 1080459 a una altura de 220 metros sobre el nivel del mar. Afloramientos de la Formación Umir sobre la quebrada Volcanera, hacia la derecha de la parte alta de la fotografía, junto a esta se observa la misma Formación sobre la quebrada Mata de Cacao, hacia la izquierda.	87
Figura 24. X: 1276806; Y: 1080538; altura: 348 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento de aproximadamente 15 metros de espesor sobre el costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera de shales intercalados con limolita ferruginosa con 4 cintas de carbón entre 0,10 y 0,60 metros de espesor.	87
Figura 25. X: 1276881, Y: 1080483; altura: 414 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento de aproximadamente 20 metros de espesor sobre el costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera de arcillolita gris plomo con capas de limolita,	

con bloque de carbón de 1,70 metros de espesor, bloque desprendido del afloramiento.	88
Figura 26. X: 1277839; X: 1080628; altura: 513 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre la quebrada Volcanera de aproximadamente 40 metros de espesor de shales intercalados con limolita, 2 capas de carbón que alcanzan a observarse con un espesor aproximado de un metro.	88
Figura 27. X: 1277839; Y: 1080628; altura: 513 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento fallado sobre la quebrada Volcanera de aproximadamente 15 metros de espesor de limolita gris verdosa, se presentan dos cintas de carbón separadas por 1,80 m de shales carbonosos.	89
Figura 28. X: 1277360; Y: 1081041; altura: 583 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre el costado derecho del Anticlinal Capitancitos de 1,20 metros de espesor de arcillolitas de color morado a negro con 2 cintas de carbón de 0,15 metros de espesor cada una, separadas por 0,70 metros de arcillolita amarillenta.	89
Figura 29. X: 1277416; Y: 1080914; altura: 529 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre el costado izquierdo del Anticlinal Capitancitos con manto de carbón de dos (2) metros de espesor aproximadamente, posiblemente coquizable por presencia de aglomeración en manto quemado.	90
Figura 30. X: 1277865; Y: 1083061; altura: 448 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre el costado izquierdo de un camino que va desde la vía La Renta – San Vicente hasta la Hacienda Capitancitos, el cual consta de limolita con un manto de carbón que presenta alto contenido de azufre y un espesor mayor a un (1) metro.	90
Figura 31. Fotografía Cajas No. 1 y 2.	91
Figura 32. Fotografía Cajas No. 3 y 4.	91
Figura 33. Fotografía Cajas No. 5 y 6.	92
Figura 34. Fotografía Cajas No. 7 y 8.	92
Figura 35. Fotografía Cajas No. 9 y 10.	93
Figura 36. Fotografía Cajas No. 11 y 12.	93
Figura 37. Fotografía Cajas No. 13 y 14.	94
Figura 38. Fotografía Cajas No. 15 y 16.	94

Figura 39. Fotografía Cajas No. 17 y 18.	95
Figura 40. Fotografía Cajas No. 19 y 20.	95
Figura 41. Fotografía Cajas No. 21 y 22.	96
Figura 42. Fotografía Cajas No. 23 y 24.	96
Figura 43. Fotografía Cajas No. 25 y 26.	97
Figura 44. Fotografía Cajas No. 27 y 28.	97
Figura 45. Fotografía Cajas No. 29 y 30.	98
Figura 46. Fotografía Cajas No. 31 y 32.	98
Figura 47. Fotografía Cajas No. 33 y 34.	99
Figura 48. Fotografía Cajas No. 1 y 2.	100
Figura 49. Fotografía Cajas No. 3 y 4.	100
Figura 50. Fotografía Cajas No. 5 y 6.	101
Figura 51. Fotografía Cajas No. 7 y 8.	101
Figura 52. Fotografía Cajas No. 9 y 10.	102
Figura 53. Fotografía Cajas No. 11 y 12.	102
Figura 54. Fotografía Cajas No. 13 y 14.	103
Figura 55. Fotografía Cajas No. 15 y 16.	103
Figura 56. Fotografía Cajas No. 17 y 18.	104
Figura 57. Fotografía Cajas No. 1 y 2.	105
Figura 58. Fotografía Cajas No. 3 y 4.	105
Figura 59. Fotografía Cajas No. 5 y 6.	106
Figura 60. Fotografía Cajas No. 7 y 8.	106
Figura 61. Fotografía Cajas No. 9 y 10.	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuencas, subcuencas y microcuencas del Municipio de Girón.....	7
Tabla 2. Precipitación total anual y mensual, Girón 1998.....	9
Tabla 3. Puntos de Control Mata de Cacao – La Renta.....	52
Tabla 4. Reservas Básicas Medidas.....	68
Tabla 5. Reservas Básicas Indicadas.....	68
Tabla 6. Reservas Básicas Inferidas.....	69
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de los carbones del área de estudio.....	74
Tabla 8. Clasificación A.S.T.M (American Society for Testing and Materials), de Carbones por rango.....	75
Tabla 9. Formulas para la conversión de los valores de base como se analizó (seca al aire) a otras bases.....	76
Tabla 10. Cálculo de Carbono Fijo y Poder Calorífico.....	77

LISTA DE ANEXOS

[Anexo 1. Mapa geológico en escala 1:10.000 \(bolsillo\)](#)

[Anexo 2. Mapa geológico en escala 1:5.000 \(bolsillo\)](#)

[Anexo 3. Columna Litoestratigráfica Pozo No. 1 Escala 1:200](#)

[Anexo 4. Columna Litoestratigráfica Pozo No. 2 Escala 1:200](#)

[Anexo 5. Columna Litoestratigráfica Pozo No. 3 Escala 1:200](#)

[Anexo 6. Perfiles Geológicos](#)

RESUMEN

Título: DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA DE CARBONES EN LA FORMACIÓN U MIR DENTRO DE UN ÁREA DEL MUNICIPIO DE GIRÓN (DEPARTAMENTO DE SANTANDER).¹

Autor (es): Gallo Lancheros, Freddy H.; Torres Coronado, Diego A.²

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

El presente trabajo presenta la metodología y los resultados de un programa geológico de exploración, llevados a cabo en un área de 15 Km², localizada a 20 Km del municipio de Girón en la Cuenca del Magdalena Medio. La sección estratigráfica que aflora en el área de estudio es la siguiente: Formaciones La Luna y Umir de edad Cretáceo Superior; seguidas por la Formación Lisama de edad Paleoceno, y depósitos cuaternarios que las cubren.

Estructuralmente esta zona hace parte del flanco oriental del Sinclinal del Nuevo Mundo, observándose el predominio de buzamientos hacia el noroeste. Este flanco se encuentra afectado tectónicamente por las Fallas de Lebrija y San Vicente, las cuales producen plegamientos menores como el Anticlinal Capitancitos. Regionalmente esta área es afectada por La Falla La Salina.

En el área de estudio se encontraron dos mantos de carbón, de 1.4 y 0.6 m de espesor, dentro del Miembro medio de la Formación Umir. Los resultados de los análisis proximales e índice de hinchamiento, permitieron clasificar el rango de los carbones presentes en el área de estudio, como del grupo Bituminoso alto en volátiles A, con propiedades coquizables, haciendo de esta área un buen prospecto económico para la producción de carbón.

El cálculo de recursos medidos, indicados e inferidos de carbón, se realizó por el método geométrico propuesto por ECOCARBON (1995). Para esta área se calcularon reservas básicas medidas de 275.563 toneladas, reservas básicas indicadas de 276.295 toneladas y reservas básicas inferidas de 1'101.484 toneladas, para un total de 1'653.342 toneladas.

¹ Proyecto de Grado, Modalidad Práctica Empresarial

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director, Geólogo M.Sc. Ph.D Mario García González; Codirector y Tutor, Geólogo Pedro Arz Madiedo.

ABSTRACT

Title: DEVELOPMENT OF A GEOLOGICAL PROGRAM FOR COAL EXPLORATION IN THE UMIR FORMATION, GIRON, SANTANDER COLOMBIA.³

Author (s): Gallo Lancheros, Freddy H.; Torres Coronado, Diego A.⁴

Keywords: Umir Formation, La Salina Fault, Coal, Reserves.

This undergraduate thesis presents the methodology and results of a geological exploration program carried out in an area of 15 km², located 20 km west of the Giron Town in the Middle Magdalena basin. The stratigraphic section that outcrops in the area of study is the following Formations: La Luna and Umir Formations of upper Cretaceous age; followed by the Lisama Formation of Paleocene age, and Quaternary deposits.

Structurally this area is located on the eastern flank of the Nuevo Mundo syncline. This flank is affected by the Lebrija and San Vicente thrust Faults, which created local folding such as the Capitancitos anticline. Regionally this area is also affected by the wrench Salina Fault.

Two coal seams, of 1.4 and 0.6 m of thickness, were found in the study area. The proximal analysis indicates the presence of a high volatile bituminous coal A. The FSI results indicate that these two coal seams present good cooking properties, making this area a good prospect for economic coal production.

Coal resource and reserve calculations resulted in the following figures: 1) measures reserves 275.563 tons, 2) indicated reserves 276.295 tons and 3) inferred reserves of 1'101 .484 tons. The total coal resource of 1'653.342 tons.

³ Proyecto de Grado, Modalidad Práctica Empresarial

⁴ Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director, Geólogo M.Sc. Ph.D Mario García González; Codirector y Tutor, Geólogo Pedro Arz Madiedo.

1. INTRODUCCIÓN

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

El carbón es el combustible más seguro de transportar y el que da la mayor garantía de suministro por sus amplias reservas, extendidas por todo el mundo, en comparación con el petróleo y gas cuyas reservas, en más del 70%, se encuentran en el Medio Oriente y en los países de la ex Unión Soviética (World Coal Institute, 2000).

Observando las principales cifras de oferta y demanda mundial de carbón, se encuentra que su producción ha crecido más del 50% en los últimos 25 años; el carbón es el segundo energético en importancia en el mundo después del petróleo, pues cerca del 23% de la energía primaria que se consume proviene de este recurso y es el combustible más importante en la generación de electricidad, donde participa con el 39% de su producción. En la industria metalúrgica cerca del 70% de la producción de acero depende del carbón. Colombia es, actualmente, el cuarto exportador mundial de carbón térmico y en los últimos años participó con más del 5% de las exportaciones mundiales (UPME, 2003).

Este panorama, favorable a nivel mundial, contrasta con las cifras a nivel nacional, donde el carbón, a pesar de ser el energético más abundante, afortunadamente participa con el 8% del consumo de energía primaria y se ubica después del petróleo, el gas y la biomasa.

Colombia, en los últimos 20 años, ha experimentado un crecimiento sostenido y sin precedente de la industria carbonífera del país, lo que le ha permitido pasar de una producción de 8,9 millones de toneladas de carbón, en el año 1985, a 49,5 millones de toneladas en el año 2003, de las cuales se pasó de exportar 3,5 millones de toneladas a 45,6 millones de toneladas, en el mismo periodo. Es importante resaltar como en las décadas de los años 70, 80 y 90 se incrementaron, de manera sustancial, la exploración y los estudios de factibilidad de los principales yacimientos carboníferos del país, mediante la iniciativa de capital estatal a través de sus empresas industriales y comerciales.

En efecto, en el año de 1976 se fundó Carbocol S.A con el fin de administrar los recursos carboníferos y por ende, el más importante yacimiento, El Cerrejón, localizado en la Zona Carbonífera de la Guajira, que con su potencialidad, calidad y ubicación estratégica constituye el mayor desarrollo minero a cielo abierto del país. Posteriormente, y con la entrada en operación de las minas del Cerrejón Norte y Central, Carbocol, Ecocarbón y Minercol en sus respectivas épocas, iniciaron un plan integral de exploración para el resto de zonas y áreas carboníferas del país que les permitiera, en pocos años, convertirse en una plataforma importante de exportación de carbón, mediante la apertura de un portafolio de proyectos de inversión en minería de carbón. Este plan consideró las siguientes zonas carboníferas: Guajira, Cesar y Córdoba-Norte de Antioquia. Paralelamente al desarrollo del plan de exploración de carbón, el INGEOMINAS como principal instituto de investigación geológica de Colombia y las empresas de consultoría privada del sector minero, fueron las encargadas de llevar a cabo el plan trazado.

Una vez estudiados los principales yacimientos donde se han definido carbones para exportación, ubicados en la Costa Caribe Colombiana, se procedió con la exploración de otras áreas carboníferas, tanto de carbones térmicos como coquizables, localizadas principalmente en el interior del país, con el fin presentar al empresario privado las oportunidades de inversión en los proyectos Carbo-eléctricos y de coquización a través

de estudios de normalización e integración de áreas en explotación. Este programa cubrió las zonas carboníferas de Antioquia - Antiguo Caldas, Valle del Cauca - Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander.

El anterior proceso evolutivo permitió que, hoy en día, el carbón sobrepase el valor de las exportaciones de café y oro, ubicándose como el segundo producto de las exportaciones colombianas, con US\$ 1.420 millones en el año 2003 (Minercol, 2004).

En el Departamento de Santander los carbones se presentan sobre dos grandes superficies localizadas, una en el borde occidental de la Cordillera Oriental y la otra sobre el Macizo de Santander. Las formaciones portadoras de mantos de carbón que afloran en las dos localidades corresponden a las denominadas Formación Umir, al occidente y las Formaciones Colón - Mito Juan, Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera, al oriente (Morales, 1958; Ward, et al., 1973).

1.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de trabajo está ubicada en jurisdicción del Municipio de Girón, al oeste de la Provincia de Sotomayor (Departamento de Santander), región de la Cordillera Oriental, al norte del Río Sogamoso.

Según la cartografía topográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el área de trabajo se localiza dentro de la plancha 120-I-B a escala 1:25.000, y el polígono de la zona de estudio se tiene entre las coordenadas:

$$X_1 = 1.279.000; Y_1 = 1.080.000$$

$$X_2 = 1.279.000; Y_2 = 1.083.000$$

$$X_3 = 1.274.000; Y_3 = 1.083.000$$

$X_4 = 1.274.000; Y_4 = 1.080.000$; para un área total de 15 km² (ver mapa político de Santander, figura 1 y mapas geológicos, anexos 1 y 2).

El acceso al área de estudio se realiza por la vía que de Bucaramanga conduce a Barrancabermeja, carretera pavimentada en buen estado, a 50 Km. de distancia desde la ciudad de Bucaramanga, a la altura de la Hacienda Capitancitos y el puente de la quebrada Volcanera. De esta vía principal parten algunos carreteables, en las haciendas de la zona y caminos de herradura que recorren el área hacia el norte y hacia el sur; además de quebradas y caños que se encuentran dentro de las haciendas vecinas.

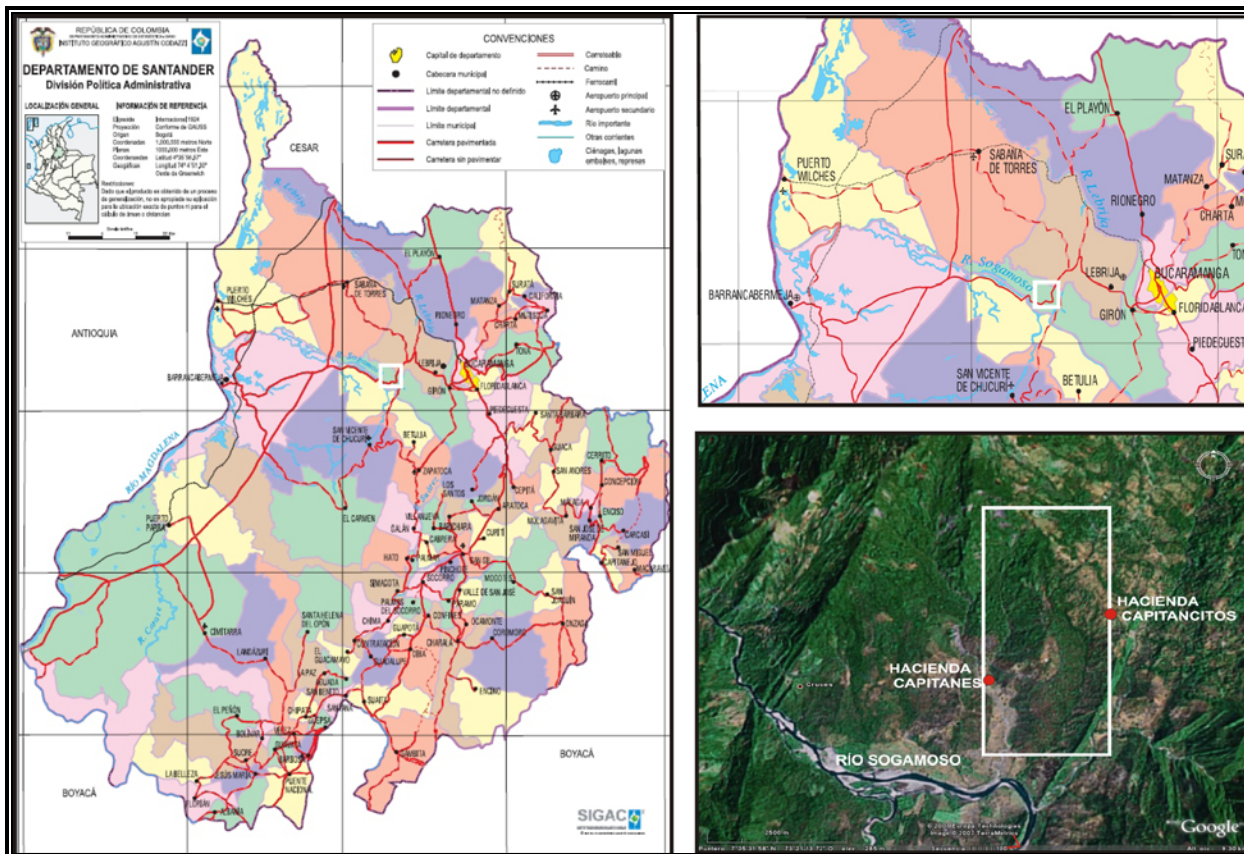


Figura 1. Mapa Político del Departamento de Santander, escala gráfica (tomado del IGAC, 2005) y foto satelital del área de estudio (recuadro blanco), tomada del programa GOOGLE EARTH, a una altura aproximada de 9.30 kilómetros.

1.2 HIDROGRAFÍA, FISIOGRAFÍA, CLIMA Y VEGETACIÓN

El municipio de Girón se encuentra limitado por la cuenca superior del Río Lebrija y la cuenca media del Río Sogamoso (ver panorámica del Río Sogamoso, figura 2).

En la cuenca superior del Río Lebrija se encuentran las subcuencas de Lebrija Alto y Río de Oro. La subcuenca de Lebrija Alto esta compuesta por la microcuenca de La Angula dentro de la cual se encuentran las submicrocuencas de la Angula Alta y Puente Nave; en la subcuenca del Río de Oro se encuentran las microcuencas Oro Bajo y Río Frío. En la microcuenca Oro Bajo las submicrocuencas son Oro Bajo Bajo,

Oro Bajo Medio, Oro Bajo Alto, Ruitoque, El Palmar y La Grande; en la microcuenca Río Frío las submicrocuencas son Frío Bajo y Aranzoque.

La cuenca del Río Sogamoso posee la subcuenca del Sogamoso Medio y de ella forman parte las microcuencas Sogamoso Medio Alto, Sogamoso Medio Medio y Sogamoso Medio Bajo; en Sogamoso Medio Alto las submicrocuencas son Los Fríos y Sogamoso Medio Alto; para Sogamoso Medio Medio las submicrocuencas son Aguablanca y La Seca; mientras que para Sogamoso Medio Bajo las submicrocuencas son La Colonia y Río Sucio (ver tabla 1).

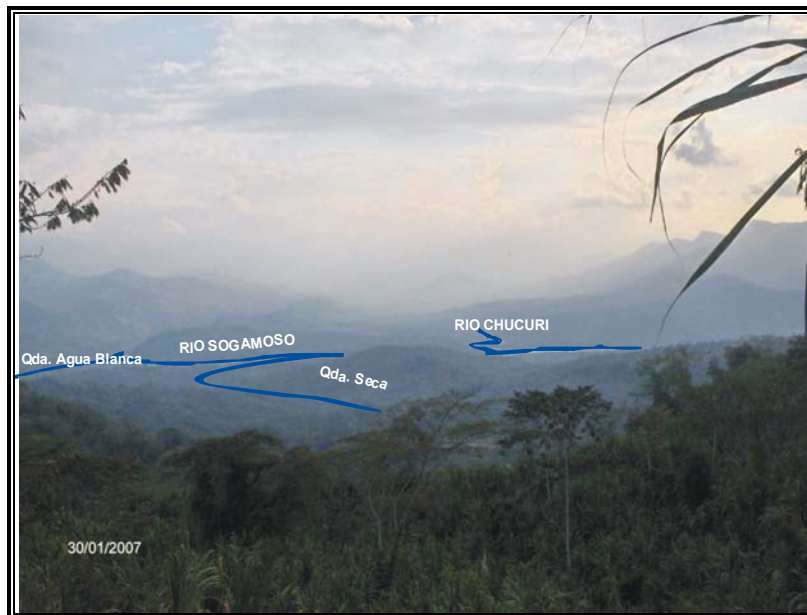


Figura 2. Foto tomada desde las coordenadas X: 1278273; Y: 1080152, en un camino que conduce de la Quebrada Volcanera hasta la Quebrada Mata de Cacao. Panorámica de la Cuenca del Río Sogamoso, subcuenca Sogamoso Medio Medio, confluencia del Río Chucurí y las Quebradas Aguablanca y Seca.

El Municipio de Girón se encuentra fisiográficamente ubicado en el costado occidental de la Cordillera Oriental, entre el piedemonte cordillerano y el Valle del Magdalena Medio santandereano, lo cual le permite poseer terrenos en el valle intermontano (aluvio - diluvial de Bucaramanga), donde se localiza el casco del municipio; la zona de mesas (Ruitoque y Lebrija), y el Valle del Magdalena Medio Santandereano. Debido a

esta situación el municipio posee terrenos con una gran variedad de fisiografías, litologías, fauna y flora.

La zona de mayor pendiente del municipio se localiza sobre el escarpe de La Mesa de Lebrija; la zona más plana se localiza sobre el valle del Río de Oro y las zonas onduladas predominan en la Mesa de Lebrija. Estas zonas a su vez se subclasifican de acuerdo con su geomorfología: la zona de valle intermontano está conformada por áreas onduladas y planas; La Mesa de Ruitoque se divide en mesa y escarpe de Ruitoque; La Mesa de Lebrija se divide en mesa y escarpe de Lebrija; además de una pequeña parte que se localiza en el piedemonte de la Cordillera Oriental en límites con el Valle del Magdalena Medio.

Tabla 1. Cuencas, subcuencas y microcuencas del Municipio de Girón

CUENCA	SUB CUENCA	MICRO CUENCA	SUBMICROCUENCAS	CAUDAL (L/Sg)	ÁREA INFLUEN. (Ha)	AFLUENTES	USO					
							ACUE		AGROP		D-RIEG	
							S	N	S	N	S	N
RÍO SOGAMOSO	Sogamoso Medio	Sogamoso medio Alto	Los Fríos			Q. Los Fríos Q. Del Monte						
			Sogamoso medio Alto			Z. del Carbón Q. El Potrero Q. La Hondurera Q. Paramera						
		<u>Sogamoso medio medio</u>	<u>Agua Blanca</u>	<u>0.39 A</u>	<u>2892</u>	<u>Q. Guapuchero</u> <u>Q. Volcán</u>		*	*			*
				<u>0.38 A</u>	<u>3561</u>	<u>Agua Blanca</u> <u>Pujamana</u>		*	*			*
			<u>Seca</u>	<u>0.43 A</u>	<u>3155</u>	<u>Q. Mata de Cacao</u> <u>Q. Volcanera</u> <u>Q. Seca</u>		*	*			*
						<u>Caño Capitancitos</u>						
						<u>Q. La Balconera</u>						
						<u>Q. Santa María</u>						
		Sogamoso medio bajo	Sogamoso medio bajo (La Colonia)			Q. La Colonia C. Colorado						
			Río Sucio	0.42 A	5233	Río Sucio R. Sogamoso		*	*			*

Fuente: CDMB 1999 Y UMATA Girón 1996.

Piedemonte Cordillera Oriental. Se localiza entre el escarpe occidental de la Mesa de Lebrija y el Valle Medio del Magdalena; está constituida por las formaciones Cretáceas y Terciarias. Está dividido en dos zonas: una montañosa constituida por la Serranía de la Paz y otra zona plana a ondulada correspondiente a la confluencia del Río Sogamoso con el Río Sucio; esta zona se encuentra cubierta por zonas boscosas y áreas de producción agropecuaria, las cuales se intensifican hacia la zona más plana.

Zona montañosa del Piedemonte: Localizada entre la Quebrada Aguablanca y las estribaciones de la Serranía de La Paz, esta zona presenta serios problemas de inestabilidad geológica en el sector entre la Quebrada Aguablanca y la Santa María, donde se presentan fenómenos de remoción en masa (reptación de suelos), acelerados por la saturación de agua de los depósitos coluviales; la afectación de este fenómeno se evidencia en la destrucción de la Escuela La Giralda, localizada en cercanías de la Quebrada La Leona, límite entre los Municipios de Girón y Lebrija. Otra zona de afectación es la vía Bucaramanga – Barrancabermeja con hundimiento o desprendimiento de la calzada en inmediaciones de Quebrada Seca.

Los factores climáticos en el municipio están determinados por su topografía quebrada debida la posición fisiográfica que ocupa entre el Valle del Magdalena Medio santandereano y el Macizo de Santander, y por su altitud, que oscila entre los 150 y 1.500 metros sobre el nivel del mar. El valle del Río Sogamoso se caracteriza por una gran concentración de humedad, producto de la influencia del Valle del Magdalena Medio santandereano, por su clima favorable, por el estado de su vegetación natural y porque tiene una gran disposición de agua en el suelo.

1.2.1 Clima

La subdivisión más elemental del clima en el municipio de Girón son los pisos térmicos cuya distribución es la siguiente: piso térmico cálido con una temperatura promedio de 24°C y alturas entre 150 - 1.200 msnm; piso térmico templado con temperatura

promedio de 18°C y alturas entre los 1.200 y los 1.500 msnm. En general la cabecera municipal de Girón se encuentra ubicada a una altura de 777 msnm., el clima es cálido con una temperatura promedio de 24.5°C; se suceden dos periodos lluviosos y dos secos: el lluvioso comprende los meses de marzo, abril y mayo, para la primera época y octubre y noviembre para la segunda; las épocas secas están determinadas por los meses de diciembre, enero y febrero y los meses de junio, julio y agosto.

Pluviosidad. Los vientos Alisios provenientes de centros localizados fuera del continente, en los océanos Atlántico y Pacífico, son los responsables de la aparición de los periodos lluviosos en el Departamento de Santander; su paso hacia el norte por la Serranía de La Paz determina la primera temporada de lluvias en el año, que tiene lugar entre los meses de abril y junio, mientras que el regreso de éstos al sur, en los meses de septiembre a noviembre, determina la segunda estación lluviosa del año. Los datos de precipitación se muestran en la tabla 2; para las Veredas Capitanes y Capitancitos, se tomó como punto de control de precipitación la estación La Parroquia.

Tabla 2. Precipitación total anual y mensual, Girón 1998

Estación El Pantano													
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	anual
Med	32.4	56.1	109.4	106.2	94.8	60.1	74.4	77.4	92.5	129.8	101.5	37.6	972.0
Max	103.0	131.0	250.0	203.0	202.0	134.0	133.0	151.0	175.0	223.0	230.0	153.0	1226.0
Min	0.0	0.0	3.0	35.0	43.0	20.0	21.0	34.0	15.0	40.0	32.0	0.0	692.0
Estación Llano Grande													
Med	32.3	48.5	94.9	114.3	94.6	71.8	78.5	79.6	82.4	121.6	83.5	31.6	933.6
Max	109.3	113.3	233.2	183.6	148.1	150.4	154.9	148.2	131.2	209.5	174.4	153.8	1203.1
Min	3.8	7.4	13.1	29.1	30.5	22.8	24.3	40.3	27.5	37.9	19.9	0.4	752.6
Estación La Parroquia													
<i>Med</i>	<i>79.2</i>	<i>118.3</i>	<i>183.5</i>	<i>197.9</i>	<i>154.2</i>	<i>77.4</i>	<i>85.5</i>	<i>109.1</i>	<i>156.4</i>	<i>245.2</i>	<i>186.7</i>	<i>95.6</i>	<i>1689.3</i>
<i>Max</i>	<i>191.0</i>	<i>245.0</i>	<i>425.0</i>	<i>344.0</i>	<i>334.0</i>	<i>266.0</i>	<i>185.0</i>	<i>250.0</i>	<i>280.0</i>	<i>647.0</i>	<i>377.0</i>	<i>227.0</i>	<i>2043.2</i>
<i>Min</i>	<i>0.0</i>	<i>10.0</i>	<i>41.0</i>	<i>53.0</i>	<i>50.0</i>	<i>17.0</i>	<i>20.0</i>	<i>22.0</i>	<i>57.0</i>	<i>30.0</i>	<i>73.0</i>	<i>0.0</i>	<i>1233.0</i>
Estación Aeropuerto de Palonegro													
Med	48.4	69.0	126.3	147.7	116.9	78.6	86.5	90.9	94.3	145.4	118.4	54.8	1177.2
Max	145.3	140.1	235.2	326.2	195.9	196.7	149.8	183.9	130.3	301.3	263.5	192.1	1569.4
Min	4.3	5.4	34.4	49.9	72.3	49.9	21.8	23.5	35.4	41.7	45.5	12.6	954.4

Fuente: Caracterización climática subcuena Angula. Duarte E., Jaime E.1997.CDMB.

Humedad relativa. De acuerdo con los registros de las estaciones meteorológicas del área, la humedad relativa en promedio para el Municipio es de 85%, con variación del promedio mensual entre el 80 y el 89%. Los valores máximos de humedad relativa se presentan en los meses de octubre a noviembre y los mínimos, durante los meses de enero y febrero. La evapotranspiración en el área varía entre los 59,14 y los 61,29 mm/mes con un promedio de 726,28 mm/año, lo cual define un balance de agua a favor del suelo.

Temperatura. La temperatura anual del municipio es de 24.58°C, el gradiente de temperatura es de 0,7°C por cada 100m que se asciende. Los factores como el tipo de suelo, la vegetación, la proximidad de centros poblados y los cuerpos de agua afectan también la temperatura. De acuerdo con estos aspectos el municipio presenta dos pisos térmicos (cálido y templado), con predominio de temperaturas altas, correspondientes a su latitud y altitud bajas. Esto lo ubica en la zona ecuatorial, región en la cual estas temperaturas varían poco durante el año. Los meses más cálidos para la región son febrero y marzo; junio es el menos cálido del año.

El área de estudio presenta un *clima tropical cálido húmedo*, el cual está influenciado por el Valle del Magdalena Medio, debido a que se encuentra entre los 150 y 1.250 msnm y corresponde a la zona del Valle Medio del río Sogamoso; su temperatura varía entre los 23 y 36°C; el brillo solar está comprendido entre las isolíneas 1.000 y 1.400 hora/año; la humedad relativa es superior al 80% y los índices de aridez son cercanos a cero. Es la zona de transición de las lluvias de tipo convectivo a orográfico.

1.2.2 Vegetación

Selva inferior. Llamada selva tropical de tierra baja, se extiende desde el nivel del mar hasta unos 1.000 msnm por las llanuras aluviales. Está constituida por árboles de distintos tamaños, los más corpulentos alcanzan una altura de 30 - 40 m y un diámetro

de un metro. Muchos árboles presentan típicas raíces, zancos o grandes estribos tabulares en la base. El sotobosque está formado por numerosas especies de arbolitos de 8-10m, grandes arbustos y hierbas gigantes como las *Escitamineas* y *Aráceas*. Abundan bejucos leñosos de grueso tronco y epífitas (criptógamas, monocotiledóneas, plantas leñosas). También son frecuentes las plantas caulifloras o ramifloras.

La vegetación predominante comprende especies como laurel amarillo, guásimo, yarumos, palmas de vino, achiote, ceibas, balso blanco, guamo, cedro, cedrillo, platanillo, cucharo, caña brava, guamo, nacedero, nacuma, chachafruto, manchador, gaque, cordoncillo, paragonia, higuerón, guayacán, caracolí, marañón, gallinero, aráceas, helechos, sotobosque de las especies arbóreas entre otras.

1.3 JUSTIFICACIÓN

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

El Departamento de Santander cuenta con grandes recursos carboníferos con estudios preliminares en las áreas carboníferas de San Luís y San Vicente de Chucurí, próximas al área donde se realizará este trabajo, la cual no presenta una cartografía a detalle. Para el estudio de exploración a desarrollar se elaborará una cartografía geológica con base topográfica a escala 1:5.000.

Ingeominas firmó un contrato de exploración con el Sr. David Moreno C. Radicado como CG -1-121 en el cual se encuentra el área de estudio, y se cuenta con su permiso para los trabajos de exploración puesto que son de su interés para la elaboración del PEG (Programa de Exploración Geológica), que debe presentar al Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas) con el fin de reportar un cálculo preliminar de reservas carboníferas para su aprovechamiento. Este proyecto surge con la necesidad de apoyar las actividades de exploración del geólogo Pedro Arz Madiedo, quien es el responsable de la elaboración del P.E.G. para dar cumplimiento a esta solicitud.

1.4 ESTUDIOS GEOLÓGICOS ANTERIORES

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

Ward, et al., 1973, elabora la cartografía del cuadrángulo H-12, mostrando el paso de la Formación Umir a través del Departamento de Santander, y sus respectivos contactos con las formaciones adyacentes (La Luna y Lisama).

Durán, et al. 1976, en su informe 1700 de Ingeominas que lleva por título “Geología y Recursos Carboníferos del Área de San Luís”, delimitó los Miembros de la Formación Umir con sus respectivos espesores, además de mencionar que los Miembros portadores de mantos de carbón son el medio y superior.

Carboriente realizó en la década de los 80's estudios exploratorios en el Municipio de El Carmen de Chucurí, en el Cerro de Los Andes, a través de sus trabajos de exploración, definieron la geología del subsuelo por medio de perforaciones. De estos trabajos cabe resaltar las actividades de apoyo realizadas por Castro y Gómez (1988) en su tesis de grado titulada "Reconstrucción del ambiente de depósito del Miembro superior de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, Departamento de Santander". En ella, se define el ambiente de depositación y el espesor del Miembro superior, junto con la correlación de los mantos de carbón presentes en este intervalo estratigráfico.

Tchegliakova, 1993, define una edad para la Formación Umir, ubicándola en el Cretácico superior hacia el Maestrichtiano, con base en el reconocimiento bioestratigráfico de foraminíferos colectados sobre la Quebrada La Julia al norte del Departamento de Santander.

Durán y Suárez, 2006, en su trabajo de grado realizaron una caracterización de mantos de carbón sobre la quebrada Mata de Cacao (al oeste de la zona del presente proyecto), definiéndolos como bituminosos altos en volátiles B y C de tipo térmico. En este trabajo la exploración geológica con énfasis en los mantos de carbón se desplazó hacia el norte de zonas ya estudiadas como las de San Luís y El Carmen.

Jaimes y Quijano, 2006, realizaron igualmente sobre la Quebrada Mata de Cacao, un estudio exploratorio con la finalidad de cuantificar las reservas carboníferas de este sector, además de clasificar estos carbones como bituminosos medio volátiles, resultado diferente a lo reportado por Durán y Suárez, 2006.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Cartografía geológica y cálculo preliminar de recursos carboníferos correspondientes al Miembro medio de la Formación Umir en un área de 15 Km² en la Vereda Capitanes del Municipio de Girón (Departamento de Santander).

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar la cartografía geológica del área de estudio con base topográfica a escalas 1:10.000 y 1:5.000.
- Levantar columnas litoestratigráficas detalladas a escala 1:200, para realizar la correlación de los mantos de carbón presentes en los Miembros medio y superior de la Formación Umir, localizados en el área de estudio.
- Determinar bloques y mantos de carbón económicamente explotables a partir de criterios geológicos y mineros localizados en el área de influencia.
- Caracterizar mantos de carbón con base en la interpretación fisicoquímica de los resultados arrojados por los análisis de laboratorio.
- Estimar las reservas carboníferas en la zona de estudio de acuerdo a los criterios planteados por los sistemas nacionales e internacionales de clasificación de recursos y reservas de carbones.

1.6 METODOLOGÍA

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

1.6.1 Fase Preliminar

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

Con el propósito de preparar los trabajos de campo, se recopiló la siguiente información: a) el mapa geológico preliminar de la plancha H-12 a escala 1:100.000, publicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS); b) la plancha topográfica 120-I-B, a escala 1:25.000, realizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Gauss con origen X:1.000.000 y Y:1.000.000, ubicado en Bogotá D.C.; c) las imágenes satelitales disponibles del área de trabajo (ver figura 1, imagen tomada de la base de datos del programa Google Earth) y; d) las fotografías aéreas de los vuelos C-2587 (fotos 123-124-125-126 y 133-134-135) del IGAC.

El trabajo de fotointerpretación de las fotografías aéreas se desarrolló en el laboratorio de Fotogeología de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, utilizando un estereoscopio de espejos marca Carl Zeiss Jena.

1.6.2 Fase de Campo

El trabajo de campo se realizó de acuerdo al énfasis establecido en los objetivos, se dividió en dos etapas: una primera etapa se centró en geología superficial cuyas labores consistieron en el reconocimiento de la zona, contrastar la información

obtenida de la fotointerpretación (ver figura 15), jornadas de búsqueda de afloramientos de roca o mantos de carbón para la toma de información estructural, la cual se desarrolló utilizando materiales como martillo geológico Estwing, brújula Brunton, GPS Etrex Garmin de tipo barométrico y cinta métrica.

Para la zona de estudio, el titular del área contrató la realización de una topografía a escala 1:5.000, a partir de restitución de las aerofotografías del vuelo C-2587, fotos 123-124-125-126, tomadas a una escala aproximada de 1:48.050; y fotos 133-134-135, tomadas a una escala aproximada de 1:44.300; en enero 26 de 1996, por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (ver figura 15), tomada como base para la construcción del mapa geológico del área de trabajo.

La segunda etapa permitió establecer parte de la geología del subsuelo por medio de la perforación en puntos localizados luego de analizar los datos obtenidos en la primera etapa, con el fin de localizar en profundidad los mantos de carbón apreciados en afloramiento. De estas perforaciones (cuyas profundidades fueron, para el Pozo 1 de 92.30 m., para el Pozo 2 de 46.50 m. y para el Pozo 3 de 25 m.) se obtuvieron núcleos y se tomaron registros Gamma Ray y de Densidad (ver figura 55); a partir de esta información se elaboraron columnas litoestratigráficas a escala 1:200 que se presentan en los planos 3, 4 y 5.

Cabe anotar que se corrieron registros únicamente en el Pozo 1, dado que no fue aconsejable realizar otra inspección de este tipo, ya que de los otros dos pozos no se encontraron indicios del manto principal de dos metros, ni de otros que se pudieran haber encontrado.

1.6.3 Fase de Oficina

Se realizó a partir de la información recolectada en las fases anteriores; tuvo como finalidad el desarrollo de los objetivos propuestos y los resultados se presentaron en

un informe final, que contiene texto, mapa geológico y columnas estratigráficas; una vez aprobado por la empresa y el director del proyecto, se entregó a la dirección de Escuela de Geología como memorias para ser avalados como practica empresarial y optar al título de Geólogo.

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 ESTRATIGRAFÍA

Las rocas expuestas en la zona de estudio comprenden las Formaciones Luna y Umir del Cretácico; y la Formación Lisama del Terciario, que no está incluida dentro del área de estudio, pero que para efectos de cartografía es necesario definir su contacto con la infrayacente Formación Umir, y depósitos Cuaternarios que incluyen coluviones y aluviones (ver mapas geológicos, anexos 1 y 2 y columna estratigráfica general, figura 3).

Se describen a continuación las Formaciones aflorantes en el área de estudio, en forma particular la Formación Umir, en orden cronológico desde lo más antiguo hasta lo más joven.

2.1.1 Sistema Cretáceo

Comprende rocas sedimentarias estratificadas que han sido datadas del Cretácico Superior, ampliamente distribuidas en el territorio Santandereano y pertenecen a las cuencas del Valle Medio del Magdalena (ver columna estratigráfica del VMM, figura 3) y Catatumbo-Maracaibo. Las rocas sedimentarias que afloran en esta región han sido agrupadas en la unidad Turoniano-Maastrichtiano (Kcom) del Mapa Geológico de Santander (INGEOMINAS, 1999) y comprenden las Formaciones Areniscas de Chiquinquirá, La Luna y Umir; siendo las dos últimas las que afloran en el área de estudio.

El origen de la secuencia Cretácica está marcado por eventos de ambientes marinos de plataforma, costeros y continentales. Según Fabre (1993) esta secuencia

sedimentaria fue depositada en un graben supracontinental, bordeado por paleofallas normales, con subsidencia a causa de una tectónica de bloques. Las unidades tanto Cretácicas como Terciarias tienen una evolución temporal en sentido este - oeste. Las unidades Cretácicas que se encuentran discordantes bajo el periodo Terciario, buzan al occidente, lo cual sugiere una tendencia de elevación de basamento hacia el oriente, manifiesta aún desde el Cretácico (Clavijo, J. y Royero, J.M., 2001).

2.1.1.1 Formación La Luna (Ksl)

Designada por Garner en 1926 y su nombre procede de la Quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulia (Venezuela). El término fue introducido en Colombia para el área de Concesión Barco por Notestein, et al. (1944) y Richards (1968), geólogos de la Caribbean Petroleum Company; también ha sido utilizado en la nomenclatura estratigráfica del Valle Medio del Magdalena.

La unidad está constituida por calizas grises oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas, lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior. El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m. El contacto de la Formación La Luna con la infrayacente Formación Simití es concordante. Entre las formaciones La Luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica. Morales, et al. (1958) en el Valle Medio del Magdalena le asigna una edad del Turoniano al Santoniano.

En el Valle Medio del Magdalena, Wheeler (1935) y Morales *et al.* (1958) subdividieron la Formación La Luna en tres miembros así: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galembo.

Miembro Salada. Es el miembro inferior y consiste de calizas de color gris oscuro a negro, con capas de arcillolita gris al tope y con concreciones de caliza y pirita que contienen fósiles de amonites.

Miembro Pujamana. Conformado por shales gris oscuros calcáreos, intercalados con capas de caliza, gris conteniendo ligeros niveles de fosfatos al tope.

Miembro Galembo. Representa la parte superior de la Formación La Luna, siendo de gran importancia económica debido a su alto contenido de capas fosfáticas. Consiste de una intercalación de shales grises calcáreos ligeramente fosfáticos, con capas de fosforita calcárea de color marrón amarillento. Según Ward y Goldsmith, este miembro tiene cristales de apatito en los niveles de fosforita; también existen niveles de asphaltita que se presentan a través de fracturas las cuales cortan oblicuamente los estratos.

Esta unidad representa la base de la ladera occidental de la Meseta de Lebrija, a través de las veredas La Cabaña, Lisboa, Angelinos y La Cútiga. El mejor afloramiento de la Formación La Luna se localiza a través de la quebrada La Sorda, la cual tributa al Río Sucio, considerándose esta unidad como un importante potencial económico para el municipio, debido a la presencia de niveles fosfáticos y asphaltita en el correspondiente Miembro Galembo. Es necesario destacar la intensa actividad estructural sufrida por los shales de los Miembros Salada y Galembo, que ha permitido que estos estratos de shales sean empleados como fuente de material de “recebo” en la elaboración de vías locales.

2.1.1.2 Formación Umir (Ksu)

Nombrada por Huntley en 1917 y redefinida por T. A. Link en 1925, descrita por Huntley (en Julivert, et al., 1968); la localidad tipo se encuentra en la quebrada Umir al oriente del cerro del mismo nombre en el Departamento de Santander; es indicadora de una etapa de regresión marina representando el registro final del gran ciclo

sedimentario marino, iniciado a principios del Cretácico en la Gran Cuenca del Oriente Colombiano reflejado en el solapamiento gradual de facies desarrolladas en ámbitos fuertemente transicionales sobre facies de origen marino, todo lo cual permite pronosticar la llegada de condiciones totalmente continentales, ámbitos que habrían de prevalecer durante todo el Terciario en la proximidad de la zona de estudio y que se evidencia con la presencia de shales y mantos de carbón de la parte superior de esta unidad.

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

Figura 3. Columna Estratigráfica Generalizada del Valle Medio del Magdalena (Clavijo y Royero, Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander, 2001).

La Formación Umir consta de tres miembros: Miembro inferior (Ksu1), Miembro medio (Ksu2) y Miembro superior (Ksu3) (Durán *et al.*, 1976). Julivert en 1968 describe esta formación reposando en ligera discordancia sobre el Miembro Galembó de La Formación La Luna y encima se encuentra concordantemente la Formación Lisama (Paleoceno); sin embargo ECOCARBÓN (1996, inédito), como parte de una exploración carbonífera en el área de San Luís, estudió la Formación Umir encontrándola depositada concordantemente sobre la Formación La Luna, con un espesor total de 1400 metros.

El *Miembro inferior (Ksu1)* consta de una alternancia rítmica de arcillolitas de colores gris plomo, gris oscuro y negro, blandas y físciles y limolitas ferruginosas; sin presencia de mantos de carbón. Es común observar intercalaciones locales de shales carbonosos y areniscas de grano medio con abundante materia orgánica. Durán *et al.*, le asignan a este Miembro un espesor aproximado de 400 metros.

El *Miembro medio (Ksu2)*, también tiene alternancia rítmica de arcillolitas de colores gris plomo, gris oscuro y negro, blandas y físciles y limolitas ferruginosas; presenta intercalaciones de areniscas y limolitas ferruginosas, y se caracteriza por la presencia de mantos de carbón entre los 0,60 y cinco (5) metros de espesor; ECOCARBÓN (1996) definió el inicio de este miembro (contacto con el Miembro inferior) a partir de la primera capa de carbón. Durán *et al.* (1976), han calculado un espesor aproximado de 400 metros para este miembro.

El *Miembro superior (Ksu3)*. Se caracteriza por una alternancia rítmica de arcillolitas de colores gris plomo, gris oscuro y negro, blandas y físciles y limolitas ferruginosas; es frecuente la presencia de laminación ondulada, presenta en su porción superior areniscas duras de grano fino a medio de colores amarillos y verdosos, y en menor proporción limolitas grises y shales gris oscuros. Se observa también la presencia de mantos de carbón hasta de 2,50 metros de espesor. INGEOMINAS (2004) define el inicio de este Miembro (contacto con el Miembro medio) a partir de una arenisca, que

sirve de guía, y con un espesor de seis (6) metros que localmente son 12 metros. INGEOMINAS (2004), le asigna un espesor al Miembro superior de Umir de 600 metros aproximadamente.

A la Formación Umir se le asigna una edad Campaniano-Maestrichtiano (Morales et al 1958), con base en el hallazgo de una abundante asociación micro faunística representada principalmente por foraminíferos y en menor proporción por ostrácodos, algas calcáreas y dientes de peces (ubicados en la sección quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena: Tchegliakova, 1993).

2.1.2 Sistema Paleógeno

Las rocas Terciarias afloran en las regiones oriental y occidental del Departamento de Santander, donde ocupan grandes extensiones. Estas sedimentitas han sido agrupadas en las unidades Terciario inferior (2Ti, Tpe, Teo, Tom), y Terciario superior (Tmp) (Clavijo y Royero, 2001).

Para el área de trabajo, comprende la Formación Lisama (Tpl), la cual se encuentra dentro del Terciario inferior, Paleoceno – Eoceno inferior (Tpe).

2.1.2.1 Formación Lisama (Tpl)

Fue descrita originalmente por Link (en MORALES, et al., 1958) y publicada por primera vez por Wheeler (en DE PORTA, et al., 1974). Esta unidad aflora al occidente de Santander y su sección de referencia está en la quebrada Lisama, afluente del Río Sogamoso.

La unidad se encuentra constituida por una secuencia de lutitas abigarradas, alternadas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y algunas

capas delgadas de carbón. El depósito de estos sedimentos ocurrió en un ambiente bajo condiciones lagunares deltáicas. El espesor alcanza hasta 1225 metros.

Esta unidad presenta un contacto normal y transicional con la infrayacente Formación Umir. El contacto superior con la formación La Paz, está determinado por una discordancia regional bien marcada. La edad es Paleoceno (VAN DER HAMEN, 1958). Se le ha correlacionado con las Formaciones Barco y Los Cuervos de la Cuenca del Catatumbo – Maracaibo.

2.1.3 Depósitos Cuaternarios

En el Departamento de Santander, los depósitos cuaternarios son variados en su origen y se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de los valles de los principales ríos y quebradas.

Entre los depósitos de mayor extensión se diferencian tres unidades predominantes. La Unidad TQ está constituida por areniscas, limolitas y conglomerados débilmente consolidados y considerados como depósitos de origen fluvial, los cuales están representados por el Grupo Mesa y la Unidad Meseta de Bucaramanga, de edad Pliocena-Pleistocena; la Unidad Q_{tf} se encuentra compuesta por depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas, es considerada de edad Pleistoceno, y la Unidad Q_{al} está conformada por depósitos no consolidados de aluvión, coluvión, derrubios, glaciares, fluvio-glaciares, que son considerados del Holoceno (Clavijo y Royero, 2001). Estas dos últimas unidades se presentan en la zona de estudio, pero para el trabajo de exploración se han definido como: depósito coluvial (Q_c) y depósito aluvial (Q_{al}).

2.2 ESTRUCTURAS REGIONALES

El segmento de la Cordillera Oriental comprendido entre Tunja y Bucaramanga está limitado por fallas inversas al occidente cuya traza se observa sobre el costado oriental del Valle Medio del Magdalena. La provincia tectónica del Valle Medio del Magdalena corresponde a la región occidental estructural del Departamento de Santander (Clavijo, et al., 1993) hundida y moderadamente deformada (ver mapa estructural de Santander, figura 4). Se encuentra representada por rocas Cretácicas, Terciarias y está cubierta por sedimentos recientes (ver mapa geológico, anexos 1 y 2). Esta provincia se encuentra limitada al oriente por la Falla La Salina y al occidente (fuera del área del Departamento de Santander) por las Fallas Mulatos y Morales. En la evolución tectónica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena pueden considerarse dos estilos tectónicos: a) Tectónica de bloques, reconocida por Acosta (1984), Andrade (1979) y Ward (1979) y que está afectando sedimentos pre-eocénicos y producto de la orogenia del Cretáceo Sub-Paleoceno y b) Tectónica de compresión, representada por las fallas inversas (La Salina, Payoa, San Fernando, etc.), producto de la Orogenia Andina.

Bartok (1983) y Asamera (1985) señalan que el tren de fallas inversas presenta cambios de orientación como consecuencia del rejuvenecimiento de fallas de basamento con tren noroeste - sureste, y que coinciden con fallas transcurrentes observadas en superficie en las áreas de Opón y Las Monas.

El costado oriental del Valle Medio del Magdalena está caracterizado por pliegues suaves de eje N20-30E en rocas sedimentarias del Terciario. El río Magdalena, por su parte, está confinado al occidente del valle. Estas características estructurales sugieren la existencia de fallas inversas “ciegas” de dirección norte-noreste con vergencia al occidente, situadas bajo el Valle Medio y responsables del levantamiento y plegamiento del costado oriental del valle. Estas fallas representan el frente de deformación de la Cordillera Oriental (Taboada, et al., 1998).

2.2.1 Pliegues

El territorio santandereano se caracteriza por presentar tres estilos estructurales diferenciables, los cuales identifican tres regiones estructuralmente bien definidas del departamento (ver mapa estructural de Santander, figura 4): uno de fallamiento en bloques en la región oriental; otro de plegamientos en la región central, y el graben del Magdalena en la región occidental (Clavijo, J. y Royero, J., 2001); limitándose solo a la descripción de la región central debido a que en esta se encuentra la zona de estudio. Sin embargo las estructuras principales de las cuales existe material bibliográfico no son nuestro principal objetivo de estudio y por lo tanto solo se hace una pequeña referencia como marco regional estructural dándole una mayor importancia a las estructuras menores que afectan el área de estudio y que carecen de información.

La región central está localizada entre la Falla de Bucaramanga - Santa Marta al oriente y la Falla La Salina al occidente (ver mapa estructural de Santander, figura 4). Geográficamente conforma la cadena montañosa de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, en donde se destacan estructuras anticlinales y sinclinales amplios, limitadas por fallas inversas y de cabalgamiento con inclinación hacia el oriente (Clavijo, J. y Royero, J., 2001).

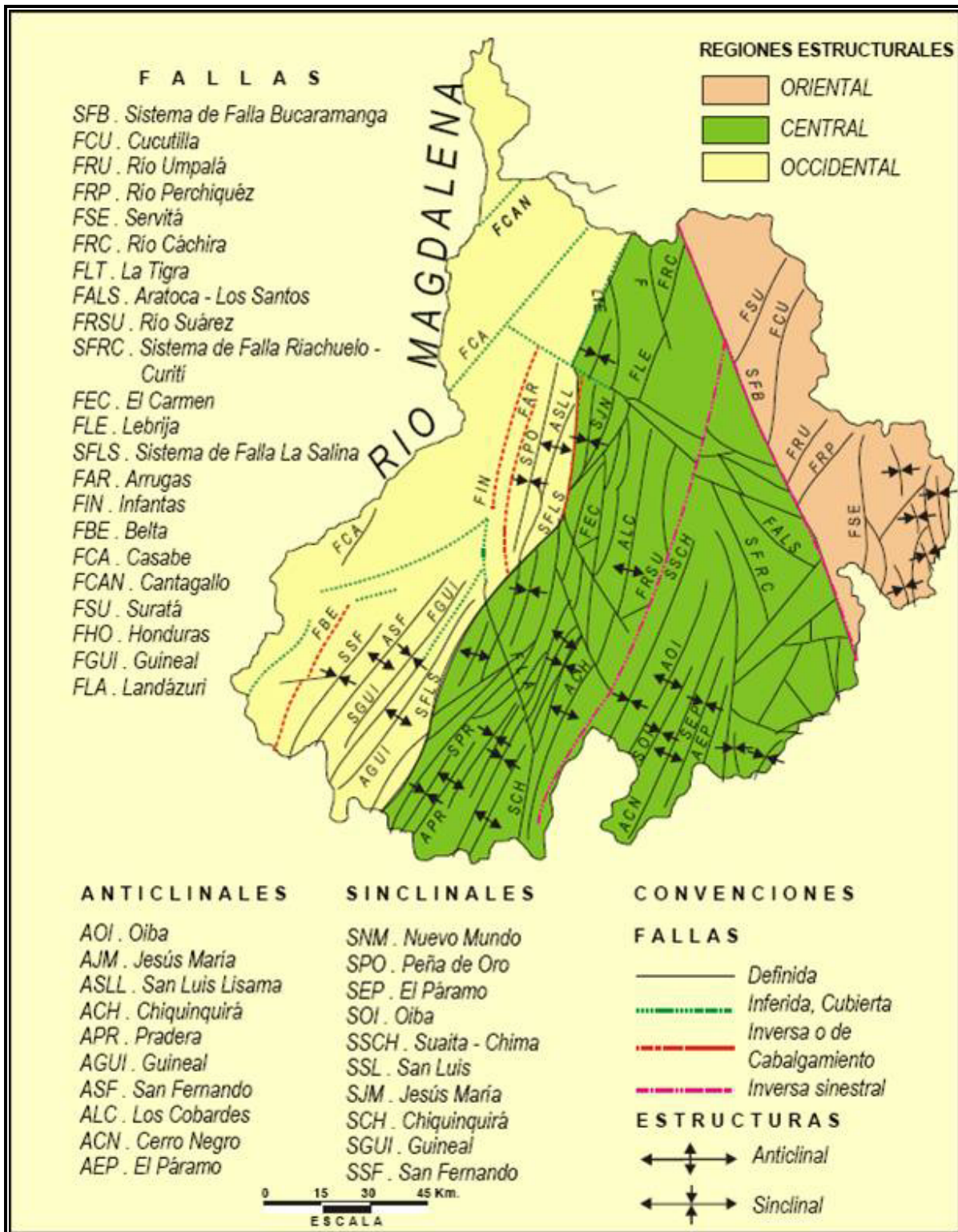


Figura 4. Esquema estructural del Departamento de Santander. Fuentes: Vargas (1979); León (1986, 1991); Clavijo, et; al. (1993).

2.2.1.1 Sinclinal de Nuevo Mundo

Es una estructura amplia, ligeramente asimétrica, cuyo eje está recargado hacia su flanco occidental, probablemente como resultado del fuerte levantamiento a lo largo del lado oriental de la Falla La Salina, la cual marca su límite occidental. El eje de este sinclinal al sur del Río Sogamoso está desplazado 4 – 5 kilómetros de su posición normal, desplazamiento que sugiere una falla de dirección oriente-occidente a lo largo del Río Sogamoso; en el sur de nuestra zona de estudio este desplazamiento no es evidente, ya que pasa normalmente el contacto Lisama - Umir por el Río Sogamoso. Entre 3 y 7 kilómetros al norte del área de estudio se presenta una estructura sinclinal denominada Los Naranjos, entre las fallas de San Vicente, al este y Lebrija, al oeste.

2.2.2 Fallas

2.2.2.1 Sistema de Fallas Bucaramanga - Santa Marta

Este sistema aunque no está situado precisamente en el municipio es tenido en cuenta por la influencia que ejerce sobre toda el área como estructura regional; se localiza al oriente de la zona de estudio y es uno de los rasgos más evidentes y de mayor extensión que cruza el área. Su dirección general es N 20 W y su trazo rectilíneo es claramente visible en las fotografías aéreas e imágenes de satélite.

La Falla de Bucaramanga es considerada como un sistema de fallas de rumbo (Cambell, 1965; León, A. 1991; Vargas y Niño, 1992; Clavijo, et al., 1993 y Clavijo, 1994a), con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Cambell (1965 et al.) en unos 100 a 110 kilómetros; tiene una componente vertical importante, según Julivert (1958, 1961), por lo cual se comporta en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional como de cabalgamiento (Boinet, 1989; Ulloa, 1990).

2.2.2.2 Sistema de Fallas La Salina

Es un conjunto de fallas de dirección promedio N 30 E y buzamiento moderado (30SE), el cual constituye la prolongación norte de los segmentos de Bituima-Alto del Trigo.

La Falla de La Salina se encuentra localizada al occidente del Departamento de Santander; su dirección regional es noreste - suroeste, pero localmente varía a norte - sur y noroeste, pudiéndose reconocer su longitud desde su límite con Boyacá al sur hasta el norte del departamento; es una falla inversa de ángulo alto, inclinada al oriente y también tiene desplazamiento de rumbo lateral derecho (INGEOMINAS, 1988), la cual constituye el límite entre el Valle Medio del Magdalena y la Cordillera Oriental (JULIVERT, 1961). Al oriente de su trazo se presentan rocas del Cretácico superior y al occidente está en contacto con rocas terciarias; se calcula un salto hasta de unos 1200 metros en el contacto entre las Formaciones Umir y Lisama, según Ward, et al. (1973). Hacia el sur del Departamento de Santander esta falla está desplazada hacia a la izquierda por la Falla de Landázuri.

2.2.2.3 Falla Lebrija

Se localiza aproximadamente a 1,70 kilómetros al occidente del corregimiento de Vanegas y se proyecta desde la cabecera de la quebrada Salamaga (Vereda Montevideo), con un rumbo sinuoso en dirección nor-noroeste, hasta llegar al municipio de Rionegro.

Es una falla de desplazamiento vertical, con un ligero desplazamiento sobre los shales de la Formación Umir en el sector de la Quebrada Salamaga; su principal desplazamiento se aprecia en el Municipio de Rionegro donde pone en contacto unidades Terciarias con la formación Bocas. Debido a que los depósitos cuaternarios que la cubre no registran actividad reciente, esta falla no establece factores de

neotectónica. Los estratos hundidos del sector occidental del plano de falla, registran un buzamiento hacia el oeste al igual que los estratos del lado este (CDMB, 2003).

La actividad de esta falla ocasionó los buzamientos verticales de las Formaciones Lisama y Umir, en el sector norte de los flancos oriental y occidental del filo La Paz, conformando un paisaje de espinazo o “Hog Back” y laderas monoclinales en Chevron (CDMB, EOT 2003).

La Falla de Lebrija atraviesa de sur a norte la zona de estudio en su parte central, evidenciándose por fotografías aéreas y mapas topográficos; con una dirección Noreste, afecta la Formación Lisama y hacia el Sur pasando por el Río Sogamoso presenta un cambio de dirección Norte - Sur.

Dentro del área de trabajo se presenta un fallamiento longitudinal, debido a la acción de la Falla Lebrija, que afecta la Formación Umir principalmente en los Miembros medio (Ksu2) y superior (Ksu3) (objetos de este estudio).

2.2.2.4 Falla San Vicente.

Se considera como una falla regional ya que de acuerdo al mapa geológico del Departamento de Santander a escala 1: 300.000 (1999), se aprecia un lineamiento proveniente desde el municipio de San Vicente de Chucurí hacia la zona de estudio y exhibe un comportamiento inverso, con el plano de falla buzando hacia el sureste, ya que superpone el bloque Oriental (Formación La Luna) sobre el bloque Occidental (Miembro inferior de la Formación Umir), cubriéndolo en gran parte.

3. GEOLOGÍA LOCAL

3.1 GENERALIDADES

El Municipio de Girón se divide geomorfológicamente en tres zonas: zona de mesas (Ruitoque, Navarra y Lebrija), zona de valle intermontano aluvio – diluvial y zona del piedemonte Cordillera Oriental, siendo éstas dos últimas las presentes en el área de estudio.

Las geoformas en el sector norte de Capitancitos se caracterizan por exhibir escarpes de ladera donde aflora la Formación Umir; colinas alargadas y suaves en la dirección del rumbo de los estratos donde aparece en contacto Formación La Luna - Formación Umir en el sector del Filo de Capitancitos, y hacia el sector sur del área de estudio sobre quebrada Seca a la altura de la hacienda Capitanes, se observan llanuras de inundación y terrazas aluviales, las cuales alcanzan espesores de más de tres metros y están formados por lentes de arena, arcilla y gravas de colores amarillentos a blancos, cabe destacar, también en quebrada Seca, que se encontraron fragmentos de carbón triturado que fueron depositados por las corrientes de las Quebradas Mata de Cacao y Volcanera.

3.2 ESTRATIGRAFIA

3.2.1 Formación La Luna

La Formación La Luna aflora hacia el sector sureste del área de estudio (ver mapa geológico, anexos 1 y 2) donde forma una faja que la cruza de suroeste a noreste, sus estratos muestran un rumbo preferencial Noreste y buzcan hacia el noroeste. Hacia el

Filo Capitancitos aflora un paquete de calizas arcillosas de color pardo a gris oscuro, sobre las que se tomó el siguiente dato estructural N30E / 54NW, sobre las coordenadas X: 1275754, Y: 1082577.

La Formación La Luna se encuentra en contacto fallado con los Miembros inferior y medio de la Formación Umir a lo largo de La Falla San Vicente y sufre desplazamientos en la horizontal, apreciables en el Filo Capitancitos, debido a la acción de pequeñas fallas de rumbo transversales a La Falla San Vicente.

3.2.2 Formación Umir

Esta Formación aflora en casi todo el área de estudio excepto por un importante coluvión que se sitúa en el centro y noreste de la zona de estudio, y que cubre gran parte de la Formación (ver mapas geológicos, anexos 1 y 2); los depósitos aluviales cubren la Formación Umir a la altura de los cursos de las quebradas Volcanera, Capitancitos y Seca.

En la zona de estudio se diferenció la Formación Umir en sus tres miembros: Umir inferior (Ksu1), Umir medio (Ksu2) y Umir superior (Ks3), sin llegar a definir su espesor de forma directa debido a que no se obtuvo una buena exposición de la secuencia, ya que esta se encuentra cubierta o interrumpida por fallas, coluviones y deslizamientos (ver figura 5 y mapas geológicos, anexos 1 y 2).

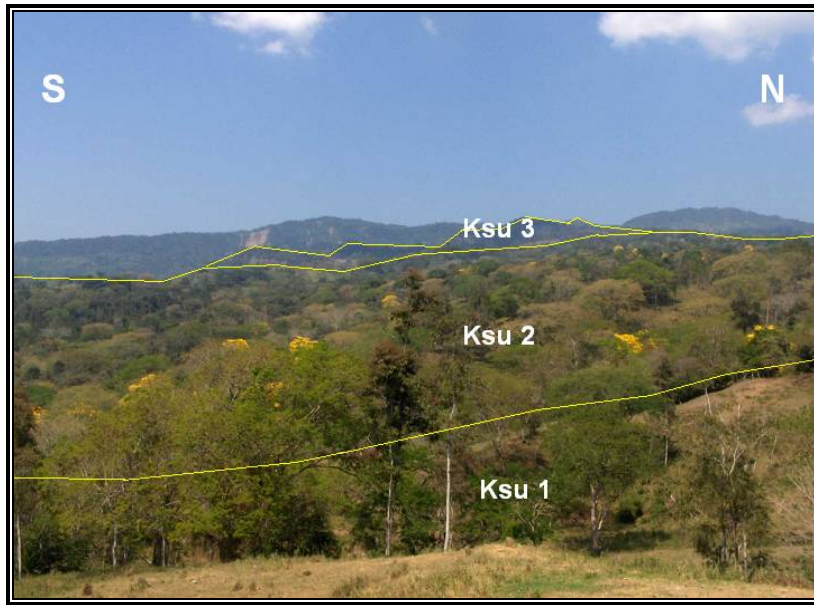


Figura 5. Panorámica de La Formación Umir vista desde el Filo Capitancitos sobre las coordenadas X: 1276348; Y: 1082611. Se diferencian los tres Miembros de esta Formación, inferior (Ksu1), medio (Ksu2) y superior (Ksu3).

3.2.2.1 Miembro inferior (Ksu1)

Localizado hacia el costado derecho del área de estudio (ver mapas geológicos, anexos 1 y 2) sobre la Vereda Capitancitos y cerca del costado derecho de la quebrada del mismo nombre.

En campo afloran litologías como arcillolitas micáceas, blandas y físiles de color gris a gris plomo, con intercalaciones de limolitas ferruginosas de color amarillento, y en algunos sectores en menor proporción intercalaciones de limolitas. Se observaron repliegues sobre este Miembro en las coordenadas X: 1276348, Y: 1082348, donde se presenta un cambio de buzamiento en los estratos desde sureste a noroeste. Su principal característica es la ausencia de mantos de carbón.

El espesor de este Miembro no se determinó en este estudio ya que se presenta cubierto por coluviones y deslizamientos, lo cual hace que la secuencia se encuentre oculta, así mismo no se pudo establecer el contacto con la Formación La Luna sobre el

terreno pero se definió morfológicamente hacia la base del costado izquierdo del Filo Capitancitos como un contacto fallado.

Ascendiendo estratigráficamente la sección, encontramos el posible contacto con Umir medio al localizar un primer manto de carbón hacia el costado izquierdo de la vía que de Bucaramanga conduce a Barrancabermeja sobre las coordenadas X: 1277503, Y: 1081258 a una altura de 529 metros sobre el nivel del mar; así mismo se localizó una primera capa de carbón sobre la quebrada Volcanera en la coordenada X: 1276054, Y: 1080433 a una altura de 290 metros sobre el nivel del mar. Con estos datos, y sobre el mapa topográfico, podríamos trazar un posible contacto con el Miembro medio de Umir, el cual tendría una dirección noreste - suroeste.

3.2.2.2 Miembro medio (Ksu2)

El Miembro medio cubre la mayor parte del área y está cubierto por depósitos coluviales y aluviales de gran extensión por lo que se estudió en mayor detalle sobre los afloramientos expuestos en la quebrada Volcanera y el Anticlinal Capitancitos; este último presenta antecedentes de explotación artesanal.

Sobre la quebrada Volcanera se presenta una secuencia de arcillolitas grises intercaladas con areniscas limosas; intercalaciones de arcillolitas verdosas, limolitas y areniscas de grano muy fino a fino de color gris y crema; limolitas gris plomo con intercalaciones de limolitas ferruginosas (ver figura 6) con lentes de shales carbonosos; shales de color gris oscuro a negro y shales carbonosos blandos y físilos (que en algunos puntos se observan como respaldo de los mantos de carbón) intercalados con capas de limolita ferruginosa; capas y cintas de carbón que varían de espesor desde 0.05 hasta 0.60 metros (ver figura 24).



Figura 6. Afloramiento de limolita gris plomo intercalada con capas de limolita ferruginosa con bajo ángulo de buzamiento de aproximadamente 4 metros de espesor, perteneciente al Miembro medio de la Formación Umir. Localizado sobre la quebrada Volcanera en las coordenadas X: 1276451; Y: 1080572 a una altura de 220 metros sobre el nivel del mar.

La primera lámina de carbón (0.05 m) se localiza sobre las coordenadas X: 1276054, Y: 1080433 en la cota 290, costado izquierdo aguas arriba de la quebrada Volcanera.

El primer nivel de arenisca se encontró sobre las coordenadas X: 1277635, Y: 1080492 a una altura de 459 metros sobre el nivel del mar, en la quebrada Volcanera, con un espesor aproximado de 0.50 metros (ver figura 7) y como característica principal de estas areniscas es el aumento de su espesor a medida que se asciende estratigráficamente, así como también va aumentando su tamaño de grano (muy fino a fino), con estructuras masivas y laminación plano paralela. El techo de este Miembro (contacto con Umir superior) se ha ubicado sobre las coordenadas X: 1278262, Y: 1080734 a una altura de 584 metros sobre el nivel del mar donde se presenta una arenisca gris (arenisca guía) de aproximadamente 12 metros de espesor (ver figura 8).



Figura 7. Intercalaciones de arcillolita gris y limolita con nivel de arenisca de grano fino a muy fino color crema, oxidada de aproximadamente 0,50 metros de espesor (indicado con la flecha amarilla), sobre la quebrada Volcanera con coordenadas X: 1277635; Y: 1080492 a una altura de 459 metros sobre el nivel del mar.

El sector donde se dispone el repliegue Anticlinal Capitancitos, se caracteriza por la presencia de capas y mantos de carbón de 0.15 hasta dos metros de espesor con respaldos de arcillolitas y shales carbonosos. Presenta intercalaciones de arcillolita y limolita ferruginosa con algunos lentes de shales carbonosos.

Se localizaron las perforaciones en este sector para obtener una secuencia litológica y sus columnas litoestratigráficas, con la ubicación de los mantos de carbón.

En el Miembro medio de la Formación Umir se sitúan la mayoría de los lineamientos y fallas (La Leona, Capitancitos, Trigueros, Mata de Cacao, Capitanes y Volcanera) las cuales hacen que este Miembro se localice en una zona compleja estructuralmente; en la literatura geológica han calculado un espesor aproximado de 400 metros para este Miembro.

3.2.2.3 Miembro superior (Ksu3)

Los mejores afloramientos de este grupo de rocas se encuentran ubicados hacia la parte noroeste del área de estudio en el sector norte de la Vereda Capitancitos, básicamente en el nacimiento de la quebrada Volcanera.

Este Miembro se identifica por la presencia en su base de la arenisca guía de 12 metros de espesor, dura, de color gris y con una laminación plano paralela, fallada y diaclasada (ver figura 8).



Figura 8. Afloramiento de areniscas grises y amarillas de grano muy fino, bandeadas; se aprecia un volcamiento de los estratos debido a fallamiento de la zona. Recuadro blanco martillo de escala. Localización costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera en las coordenadas X: 1278262; Y: 1080734 a una altura de 584 metros sobre el nivel del mar.

Así mismo este Miembro presenta paquetes de areniscas tabulares de grano fino, color amarillo de hasta 25 metros de espesor (ver figura 9), que exhiben laminación

ondulosa de color rojizo producto de la composición de minerales de hierro y su oxidación (ver figura 10); areniscas de color verde y crema de grano muy fino dentro de shales intercalados con limolitas (ver figura 11); capas y mantos de carbón entre 0.10 y 0.80 metros de espesor con respaldos de shales gris oscuro, shales carbonosos o areniscas de color crema de grano fino a medio las cuales se les observa en afloramiento barras de canal.

El contacto con la Formación Lisama no se ilustró debido a que se encuentra fuera del área de trabajo. Se le asigna un espesor al Miembro superior de Umir de 600 metros aproximadamente.



Figura 9. Estratos de areniscas de geometría tabular, de grano fino a muy fino, color amarillo a crema con marcas de corriente, con un espesor de 25 metros aproximadamente, pertenecientes al Miembro superior de la Formación Umir. Localización sobre la parte alta de la quebrada Volcanera con coordenadas X: 1278465; Y: 1080520 a una altura de 655 metros sobre el nivel del mar.



Figura 10. Detalle de estructuras de la arenisca de la figura 9. Arenisca de grano muy fino con laminación ondulosa (marcas de corriente) de color amarillo a gris, con niveles de oxidación de color rojizo; láminas entre 0.10 y 1.00 cm. de espesor, sobre el Miembro superior de la Formación Umir. Localización afloramiento sobre la parte alta de la quebrada Volcanera con coordenadas X: 1278465; Y: 1080520 a una altura de 655 metros sobre el nivel del mar.



Figura 11. Areniscas de color verde y crema (señalados dentro de las líneas amarillas) dentro de shales intercalados con limolitas de un espesor aproximado de 8 metros sobre Umir superior. Afloramiento ubicado con coordenadas X: 1278861; Y: 1080314 a una altura de 772 metros sobre el nivel del mar.

3.2.3 Depósitos Cuaternarios

Los depósitos coluviales (Qc) se localizan sobre las laderas medias y bajas en gran parte del área de estudio cubriendo los Miembros medio y superior de la Formación Umir. Estos depósitos están constituidos por bloques angulares de arenisca rodados de la Formación Lisama, acumulados por medio de los fenómenos de remoción en masa; así mismo se presentan conglomerados compuestos de areniscas de tonos amarillentos y arcillolitas limosas micáceas englobados en una matriz arcillosa de tonos amarillentos. Estos depósitos no muestran gran espesor según lo observado en afloramientos y en lo registrado por las perforaciones y que no sobrepasan los cinco metros en esta área.

Los depósitos aluviales (Qal), cubren los miembros inferior y medio de la Formación Umir y dominan el recorrido de las quebradas (La Leona, Volcanera, Capitancitos y Seca); se caracterizan por ser depósitos no consolidados que van desde bloques de areniscas redondeados a subredondeados, hasta limos y arcillas provenientes de la Formación Umir; también se encuentran fragmentos de carbón triturado (0.25 metros de espesor) provenientes de los miembros medio y superior, erodados por las corrientes invernales de las quebradas Mata de cacao y Volcanera, y que han sido depositados por la corriente de quebrada Seca. Como característica sobresaliente de estos depósitos, es la acumulación de estos materiales en forma de terrazas aluviales (ver figura 12) y barras puntuales como producto de migración de meandros los cuales se sitúan sobre Quebrada Seca.



Figura 12. Terrazas Aluviales situadas en el costado derecho aguas abajo de quebrada Seca, en la Vereda Capitanes, aproximadamente 500 metros abajo de la confluencia de las quebradas Mata de Cacao y Volcanera. Coordenadas de X: 1274478; Y: 1080459 a una altura de 220 metros sobre el nivel del mar.

3.3 ESTRUCTURAS

3.3.1 Pliegues

Estructuralmente el área de estudio hace parte del flanco oriental del Sinclinal del Nuevo Mundo, ya que predominan los buzamientos hacia el noroeste.

Este flanco se encuentra afectado tectónicamente por las fallas de Lebrija y San Vicente; produciendo en la zona plegamientos menores como el Anticlinal de Capitancitos y fallas transversales y longitudinales, las cuales se localizaron principalmente sobre las quebradas Mata de Cacao, La Leona, Capitanes, Capitancitos y Volcanera (las cuatro últimas objeto del estudio, ya que se encuentran dentro del polígono de trabajo y afectan tectónicamente la Formación Umir, ver mapas geológicos, anexos 1, 2 y perfiles geológicos, anexo 6).

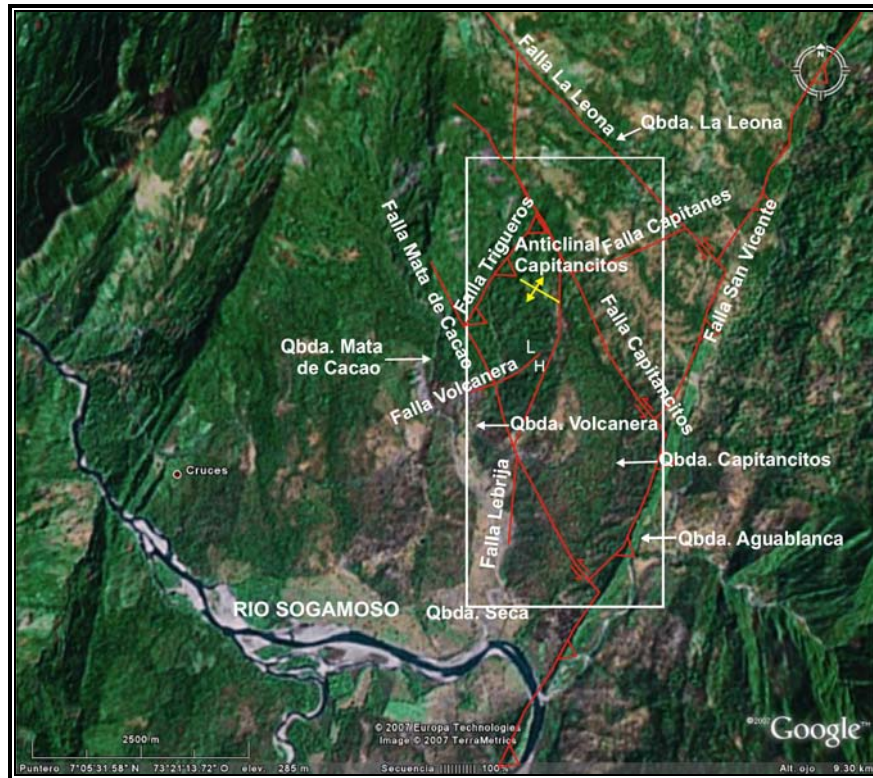


Figura 13. Foto satelital del área de estudio (recuadro blanco) y sus principales estructuras. Tomada del programa GOOGLE EARTH, a una altura aproximada de 9.30 Km.

3.3.1.1 Anticlinal Capitancitos

Es una estructura simétrica detectada en el presente estudio, cuyo eje principal tiene una dirección noroeste - sureste, localizado entre las quebradas Volcanera y Capitancitos, con coordenadas aproximadas entre X: 1277450 - X: 1277510 y Y: 1080700 - Y: 1081100; a una cota que oscila entre los 450 y 550 metros. Este anticlinal se encuentra totalmente limitado por fallas inversas (Falla Trigüeros), rumbo-deslizantes (Fallas Capitancitos y Mata de Cacao) y verticales (Falla Lebrija), y su origen es debido al desplazamiento de estas (ver foto satelital, figura 13 y mapas geológicos, anexos 1, 2 y perfiles geológicos, anexo 6).

Otras estructuras menores, como pliegues apretados, se observan sobre el Miembro inferior de la Formación Umir cerca al contacto con la Formación La Luna, a la altura

del Filo Capitancitos entre las cotas 350 y 450. Así mismo, se aprecian repliegues sobre la quebrada Volcanera entre las coordenadas X: 1276054, Y: 1080433 y X: 1276100, Y: 1080481 a una altura aproximada de 295 metros, producto de la acción de las Fallas Capitancitos y Volcanera ya que allí confluyen en un sentido transversal (la primera) y longitudinal (la segunda).

3.3.2 Fallas

Fallas de tipo longitudinal y transversal, con respecto al principal tren de fallamiento regional del Sistema de Falla de La Salina, han sido inferidas del análisis de los mapas topográficos a escala 1:5.000, de las fotografías aéreas y de las observaciones hechas en campo, ya que se presentan deflexiones y alineamientos de drenajes, depresiones topográficas sobre la vía principal Bucaramanga - Barrancabermeja, cerros alineados en una dirección preferencial, así como también a escala de afloramiento se tienen planos de falla, superficies de fricción, zonas de cizalla y otros elementos deformacionales.

Las fallas descritas a continuación afectan las Formaciones La Luna y Umir e influyen en la variación de sus espesores reales. Estas fallas son descritas de acuerdo a su relación espacio-temporal, donde primero ocurre un fallamiento longitudinal principal que da origen a las fallas San Vicente y Lebrija y posterior a este ocurre un fallamiento transversal que es representado por las fallas La Leona, Capitancitos y Mata de Cacao.

3.3.2.1 Falla San Vicente

Falla inversa determinada por mapas topográficos y fotos aéreas, debido a que morfológicamente es apreciable su continuidad por la presencia de colinas y depresiones alineadas (ver figura 13 y mapas geológicos, anexos 1, 2 y perfiles geológicos, anexo 6). Franquea la parte Sureste del área de estudio con una dirección

Noreste - Suroeste afectando las Formaciones La Luna y Umir; así mismo se identificó una serie de repliegues apretados sobre el Miembro inferior de la Formación Umir cerca de la Hacienda Capitancitos sobre la coordenada X: 1'276.348, Y: 1'082.611 a una altura de 411 metros hacia el costado occidental del Filo Capitancitos, producto de la tectónica compresiva en el área.

Esta falla pone en contacto la Formación La Luna, que en esta zona se compone principalmente de calizas de color amarillo claro, con arcillolitas de color gris claro intercaladas de limolita de color gris plomo y capas delgadas de limolita ferruginosa del Miembro inferior de la Formación Umir, por tanto el espesor de este miembro se ve afectado y no se pudo cuantificar.

3.3.2.2 Falla Lebrija

Es la principal estructura de falla presente en el área de estudio (costado izquierdo) ya que cruza toda la zona de trabajo afectando la Formación Umir en su totalidad; inferida en los mapas topográficos y morfológicamente se observa que controla la dirección de las quebradas Volcanera y Seca (ver figura 13 y mapas geológicos, anexos 1, 2 y perfiles geológicos, anexo 6).

Falla vertical que ingresa por el sur del área de estudio con una dirección noreste - suroeste y debido al control ejercido por los esfuerzos presentes en la zona, toma una dirección norte - sur, cortando la Formación Umir cuyos estratos presentan un rumbo preferencial noreste – suroeste. Se encuentra afectada por fallas transversales que han sido identificadas en campo debido a los planos de falla, zonas de cizalla o espejos de fricción y cambios bruscos de la actitud de los estratos a lado y lado del trazo. A continuación se detallan estas fallas de norte a sur:

3.3.2.3 Falla La Leona

Falla transversal localizada hacia la parte noreste del área de estudio; determinada por fotografías aéreas y cuyo trazo presenta una dirección noroeste - sureste (ver figura 13 y mapa geológico, anexo 1). Morfológicamente el trazo de la falla es observable ya que controla parte del recorrido de la quebrada que lleva su mismo nombre, así como también se presenta una fuerte depresión sobre la vía Bucaramanga - Barrancabermeja adelante de la Quebrada La Leona a la altura del kilómetro 45 con coordenadas X: 1278315, Y: 1082078.

En campo se determinó como una falla de rumbo, de tipo sinestral, ya que ha puesto en contacto mantos de carbón del Miembro medio, con el Miembro inferior de la Formación Umir, además de ser evidentes los cambios de rumbo y buzamiento en cercanías al trazo.

3.3.2.4 Falla Capitancitos

Falla transversal, paralela a la Falla La Leona, delineada por mapas topográficos y fotografías aéreas sobre la quebrada que lleva su mismo nombre y que morfológicamente controla la parte norte de su curso desviándola hacia una dirección noroeste, definiéndose así como una falla de rumbo sinestral (ver figura 13 y mapas geológicos, anexos 1, 2 y perfiles geológicos, anexo 6). En campo se evidencia por el cambio en el rumbo y buzamiento sobre un manto de carbón de dos metros que aflora sobre el costado oriental de la vía Barrancabermeja - Bucaramanga en la coordenada X: 1'277.503, Y: 1'081.258, a una altura de 529 msnm y por el desplazamiento que afecta a la Falla San Vicente y la Formación La Luna, lo cual sugiere que esta falla sea posterior a las fallas longitudinales Lebrija y San Vicente.

3.3.2.5 Falla Mata de Cacao

Falla transversal de rumbo de tipo sinistral (ver figura 13 y mapas geológicos, anexos 1 y 2) la cual se observa sobre la quebrada que lleva su mismo nombre y que controla el curso de las quebradas Mata de Cacao y Volcanera (esta última sobre las coordenadas X: 1276053, Y: 1080433), presentes en la zona de estudio.

Esta falla se encuentra entre las cotas 200 y 450; secciona y desplaza las fallas de Lebrija y San Vicente hacia la parte sur del área de estudio cerca a las quebradas Volcanera y Capitancitos respectivamente.

Así mismo se cartografiaron otras fallas menores observadas en campo por datos estructurales tomados en afloramiento, estas fallas son:

3.3.2.6 Falla Capitanes

Esta falla ocurre como consecuencia del juego de fallas conformadas por las fallas La Leona y Capitancitos (ver figura 13 y mapas geológicos, anexos 1, 2 y perfiles geológicos, anexo 6), actuando como falla antitética en respuesta al esfuerzo de cizalla que genera las anteriores fallas. Es una falla de doble componente, transversal al sistema de fallas principales Lebrija y San Vicente, que corre paralela a la vía principal Bucaramanga – Barrancabermeja en el lugar donde se realizaron las perforaciones 2 y 3 del contrato de exploración. La dirección de esta falla es noroeste – sureste y a través de su plano ocurre un desplazamiento tanto en la vertical como en la horizontal “falla dextral”, la cual se comprobó por la pérdida en profundidad del manto de carbón identificado sobre la vía principal que esperaba encontrarse en las perforaciones antes mencionadas de acuerdo a los datos estructurales tomados en afloramiento.

3.3.2.7 Falla Trigueros

Observada sobre las coordenadas $X = 1277865$, $Y = 1080645$; donde se tomó el siguiente dato estructural sobre el plano de falla: $N36E / 46SE$ (ver figura 13, mapas geológicos, anexos 1, 2 y perfiles geológicos, anexo 6). Esta falla se ha interpretado como inversa, con plano inclinado hacia el sureste y a lo largo de este se ha levantado el bloque oriental cabalgando sobre el bloque occidental (ver figura 14). Por imagen satelital y fotografías aéreas se ha considerado una prolongación de esta falla de unos 900 metros hacia el suroeste, la cual se aprecia afectando el curso de la quebrada Mata de Cacao.



Figura 14. Panorámica de la Falla Trigueros, de tipo inverso, vista sobre el costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera con coordenadas $X = 1277865$; $Y = 1080645$, a una altura de 515 metros sobre el nivel del mar. Obsérvese el cabalgamiento del bloque derecho sobre el izquierdo.

3.3.2.8 Falla Volcanera

Localizada sobre las coordenadas $X = 1276519$, $Y = 1080577$; costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera (ver figura 13 y mapas geológicos, anexos 1 y 2), y del cual se tomó dato estructural del plano de falla: $N53E / 65SE$. Con una extensión

visual aproximada de 50 metros, se ha interpretado como una falla de tipo normal, con el bloque norte levantado y el bloque sur hundido, donde el plano de falla buza hacia el sureste.

Debido a la alta complejidad estructural de esta zona no se pudo establecer la continuidad vertical de la secuencia estratigráfica mediante los trabajos de exploración de superficie, sin embargo, se definieron unas áreas potenciales para llevar a cabo la fase de exploración del subsuelo que se centraron en las labores de perforación sobre el Anticlinal Capitancitos buscando seguir la continuidad de un manto quemado, observado desde la coordenada X: 1'277.416, Y: 1'080.914 sobre el flanco occidental del anticlinal, hasta la coordenada X: 1'277.503, Y: 1'081.258 en el costado oriental del anticlinal.

Lo anterior se desarrolló con ayuda de la fotointerpretación estructural del área de trabajo (ver figura 15) y los datos estructurales en la fase de exploración superficial.

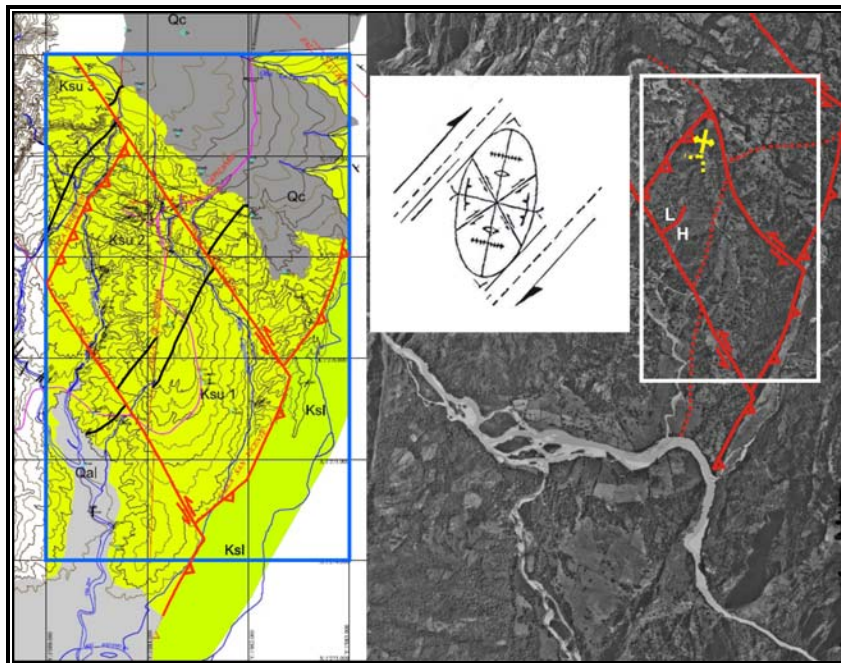


Figura 15. Mapa geológico escala 1:10.000, fotointerpretación de estructuras del área de estudio y elipsoide de deformación (Modificado de Rosello, E. 2001). Sistemas Cizallantes, Relación de esfuerzos y estructuras deformativas relacionadas.

3.4 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN

3.4.1 Generalidades

Este trabajo se realizó utilizando la topografía restituida en 1975 a escala 1: 25.000, por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi consignada en la plancha topográfica 120-I-B y restitución aerofotogramétrica a escala 1: 5.000 realizadas por la firma Terrenos Digitales de Bogotá.

Durante el análisis de la topografía se pudo establecer, que con respecto a la litología presente en el área, las curvas de nivel suavizadas corresponden a niveles blandos como shales, arcillolitas y limolitas; las llanuras de inundación y terrazas aluviales presentan zonas semiplanas a planas, mientras que las curvas de nivel apretadas pertenecen a escarpes propios de litologías más resistentes, como areniscas para la Formación Umir y calizas para la Formación La Luna.

3.4.2 Geología de superficie

3.4.2.1 Cartografía geológica detallada

Para la zona de trabajo se realizó, por parte del contratista del estudio exploratorio, una restitución aerofotogramétrica a escala 1: 5.000, y sobre la cual se ha desarrollado la cartografía geológica detallada. Allí se encuentran diferenciadas las Formaciones La Luna y Umir a partir de observaciones de satélite, fotografías aéreas y control estructural de campo (ver anexo 1, archivo fotográfico y datos estructurales de campo con en el listado de puntos de control de la tabla 3). Igualmente se delimitaron los depósitos cuaternarios, diferenciados en coluvión y aluvión.

Los puntos de control se tomaron sobre litología ó en carbones (por intensa búsqueda de datos estructurales) en un terreno muy cubierto por coluviones, suelo y vegetación, por lo que los datos registrados son muy escasos.

Las estructuras cartografiadas y la estratigrafía ya fueron descritas en los apartes 3.2 y 3.3 respectivamente de este capítulo.

3.4.2.2 Características de los carbones

Los carbones del área de trabajo se presentan en los Miembros medio y superior de la Formación Umir, localizados en el sector centro y norte respectivamente de la zona de estudio.

En cuanto a la apariencia de los carbones en afloramiento, se caracterizan por la presencia de manchas verde amarillentas propios de carbones con alto contenido de azufre, así como también se aprecian carbones pesados debido a su alto contenido de cenizas, especialmente sobre la quebrada Volcanera; son opacos, pero sobre el Anticlinal Capitancitos se pueden ver carbones brillantes y de gran espesor que hacen de ellos buenos prospectos económicos para una posterior explotación y para ello se proyectaron inicialmente dos pozos de perforación. En cuanto a su espesor, son carbones que van desde láminas (espesores entre 0.10 a 0.29 metros) hasta mantos (espesores ≥ 0.60 metros) y su ubicación en el área de estudio se detallará a continuación (ver tabla 3):

En la parte noreste del área se reportaron dos mantos de carbón de 0.80 y un metro de espesor. El primero sobre la Quebrada La Leona y el segundo sobre el camino que conduce desde la vía La Renta - San Vicente hacia la Hacienda Capitancitos (ver figura 30).

En el sector noroeste del área, sobre la parte alta del nacimiento de la Quebrada Volcanera, se reportaron dos capas de carbón de 0.45 y 0.50 metros de espesor. En cercanía del nacimiento de la quebrada Capitancitos (y antigua zona de explotación minero artesanal), se reportaron dos láminas de 0.15 metros y un manto superior a un metro de espesor. También se observa sobre la vía Bucaramanga - Barrancabermeja hacia el costado izquierdo una galería con un manto de dos metros de espesor aproximadamente (ver figura 16).



Figura 16. Galería en el costado izquierdo de la vía Bucaramanga – Barrancabermeja, donde se observa el manto de dos metros de espesor, coordenadas X: 1277503, Y: 1081258, a una altura de 529 msnm.

El resto de los mantos y cintas de carbón se encuentran dispuestos sobre la quebrada Volcanera (ver figuras 24, 25, 26 y 27), pero también se localizaron algunos hacia la parte norte fuera del área de trabajo, sobre la vía al sector denominado La Azufrada (ver tabla 3, P. Control 67, 68, 69 y 70). En la tabla 3 se registran los datos tomados en el área de estudio; los puntos de control son aquellos en los que se tomaron datos estructurales en estratos y mantos de carbón, y los datos de coluvión, casas y carreteras están dispuestos al final de la tabla.

Tabla 3. Puntos de Control Mata de Cacao – La Renta.

	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	Y	X	Z	
P. CONTROL 1 TRINCHERA 1	1080912	1277408	512	DESLIZAMIENTO
P. CONTROL 2 TRINCHERA 2	1080933	1277423	512	CARBON 0.90 N70E/7SE
P. CONTROL 3 TRINCHERA 3	1081050	1277365	535	CARBON 0.75 N60W/30NE
P. CONTROL 4 TRINCHERA 4	1080009	1275261	260	CARBON 0.20 N43E/25NW
P. CONTROL 5 TRINCHERA 5	1080083	1277725	497	CARBON 0.45 + 0.60 N25W/15NE
P. CONTROL 6 TRINCHERA 6	1078237	1277042	591	CARBON 1.50 A 2.50m N23E/57NW VAGON
P. CONTROL 7 TRINCHERA 7	1079301	1275358	281	CARBON 0.10 Sin dato estructural
P. CONTROL 8 APIQUE 1	1079944	1275827	268	CARBON 0.20 N45E/23NW FALLA
P. CONTROL 9 APIQUE 2	1079941	1278134	610	CARBON 0.20 N60W/12NE
P. CONTROL 10 APIQUE 3	1080008	1277806	540	CARBON 0.30 N20W/8NE
P. CONTROL 11 APIQUE 4	1080095	1277676	470	CARBON 0.30 N30W/7NE
P. CONTROL 12 APIQUE 5	1079721	1276136	290	CARBON 0.20 N40E/25NW
P. CONTROL 13	1080719	1277429	421	CARBON 0.20 Sin dato estructural
P. CONTROL 14	1080936	1277578	548	ROCA NS/70W
P. CONTROL 15	1081258	1277503	529	CARBON 2.00 N70W/65SW POZO CARRETERA
P. CONTROL 16	1080766	1275368	290	ROCA N55E/27NW
P. CONTROL 17	1080425	1275258	252	CARBON 0.02 N70E/30NW
P. CONTROL 18	1079976	1275817	268	CARBON 0.05 N42E/23NW
P. CONTROL 19	1079984	1277173	450	CARBON 0.30 N50E/67NW FALLA

P. CONTROL 20	1078234	1277015	589	CARBON 0.35 N45E/15NW
P. CONTROL 21	1081160	1277482	677	TRINCHERA – POZO
P. CONTROL 22	1081306	1276450	470	LIMOLITA FERRUGINOSA N40E / 10N
P. CONTROL 23	1084293	1281774	683	ARCILLOLITA GRIS N10E / 30NW
P. CONTROL 24	1081041	1277360	583	0.15C + 0.75E + 0.15C N35E / 14NW
P. CONTROL 25	1080914	1277416	529	ARCILLOLITA GRIS CLARO N30E / 40N
P. CONTROL 26	1079619	1275272	458	LIMOLITA GRIS N40E / 25NW
P. CONTROL 27	1080497	1275470	298	LODOLITA GRIS N80E / 15N
P. CONTROL 28	1080734	1278262	584	ARENISCA GRIS (12 m) N19W / 21NE / N43W / 25NE
P. CONTROL 29	1080520	1278465	655	ARENISCA GRIS (25 m) N35E / 6NW
P. CONTROL 30	1080898	1275396	338	LIMOLITA GRIS N15E / 33NW
P. CONTROL 31	1080627	1275435	314	LIMOLITA GRIS N25E / 24NW
P. CONTROL 32	1080330	1275880	284	SHALE CARBONOSO N57E / 19NW
P. CONTROL 33	1080377	1275908	257	LIMOLITA GRIS N77E / 18NW
P. CONTROL 34	1080433	1276054	290	0.13C + 0.40E + 0.05C N14E / 13NW
P. CONTROL 35	1080481	1276100	298	0.20C + 1.0 SHALE + 0.2C N18E / 44SE
P. CONTROL 36	1080529	1276167	293	0.12C + 0.80E + 0.15C N25E / 34SE
P. CONTROL 37	1080597	1276306	305	LIMOLITA GRIS N33E / 14NW
P. CONTROL 38	1080572	1276451	320	LIMOLITA GRIS PLOMO N20E / 12NW
P. CONTROL 39	1081177	1277078	480	CARBON 0.10 N54W / 19NE
P. CONTROL 40	1081622	1277563	544	LIMOLITA MARRON N36E / 19NW
P. CONTROL 41	1080645	1277862	522	LIMOLITA GRIS N54E / 8NW PLANO DE FALLA N36E / 46SE
P. CONTROL 42	1080628	1277839	513	0.30C + 2.0 SHALE + 0.40C N53E / 15NW
P. CONTROL 43	1081000	1277487	541	CARBON 0.35 N16E/ 24NW

P. CONTROL 44	1080420	1278894	706	ARENISCA VERDE N63W / 6SW
P. CONTROL 45	1080314	1278861	785	ARENISCA VERDE AMARILLA EW / 13S
P. CONTROL 46	1080621	1278566	710	ARENISCA AMARILLA N73W / 2SW
P. CONTROL 47	1079182	1278219	707	CARBON 0.45 N45E / 10NW
P. CONTROL 48	1079852	1278287	716	0.50C + 5.0 AREN. + 0.45C N51E / 9NW
P. CONTROL 49	1082533	1276597	412	ARCILLOLITA ABIGARRADA DESLIZAMIENTO NS / 26E
P. CONTROL 50	1082611	1276348	408	ARCILLOLITA GRIS PLOMO N17E / 43NW
P. CONTROL 51	1082577	1275754	397	CALIZAS FM. LUNA N30W / 54NW
P. CONTROL 52	1082131	1275574	335	LIMOLITA FERRUGINOSA N45E / 27NW
P. CONTROL 53	1082072	1275555	352	ARCILLOLITA GRIS PLOMO N35E / 24NW
P. CONTROL 54	1080459	1274478	241	CARBON 0.25 NS / 4W
P. CONTROL 55	1080671	1274346	231	ARCILL. GRIS + LIMOL. FER. N72E / 2SE – N29E / 31NW REPLIEGUE
P. CONTROL 56	1083061	1277875	469	CARBON 1.0 CONFIRMAR N39W / NE
P. CONTROL 57	1083235	1278465	431	SHALE + LIMOL. FERRUG N38E / 42NW
P. CONTROL 58	1083193	1278624	408	CARBON 0.75 N38E / 40SE
P. CONTROL 59	1080574	1276494	317	ARCILLOLITA GRIS PLOMO N47E / 9NW
P. CONTROL 60	1080577	1276519	321	ARC. GRIS + LIMOL. FERR. N34E / 16NW PLANO FALLA N53E / 65SE
P. CONTROL 61	1080554	1276736	348	SHALE + LIMOL. FERRUG. N55E / 17NW
P. CONTROL 62	1080538	1276806	355	0.20C+ 2.0ARC. + 0.30C + 5.0 ARC.LIM. + 0.50C + 1.0ARC. + 0.60C N27E / 16NW
P. CONTROL 63	1080483	1276881	369	ARC. GRIS + LIMOL. FERR. N65E / 18NW

P. CONTROL 64	1080492	1277635	459	ARC GRIS + LIM FER + AREN N64E / 11NW 50 m. ADELANTE N40E / 10SE
P. CONTROL 65	1080491	1277667	471	CARBON 0.30 N29E / 9SE
P. CONTROL 66	1079613	1280786	1075	ARENISCA BLANCA N29E / 30NW 5 m ADEL. 0.10C N33E / 36NW
P. CONTROL 67	1079597	1280810	1098	CARBON 0.50 N32E / 38NW
P. CONTROL 68	1079502	1280960	1144	CARBON 0.20 N33E / 36NW
P. CONTROL 69	1079826	1281267	1147	0.60C + 0.35 SHALE + 0.30C N26E / 34NW 15m ADEL 0.80C N14E / 27NW
P. CONTROL 70	1079908	1281361	1157	ARC CARB + 0.40C + 5.0 AREN + 0.30C + ARC N29E / 23NW 10m ADEL 0.30C N32E / 26NW
P. CONTROL 71	1081780	1282513	1040	ARC. NEGRA CARBONOSA
P. CONTROL 72	1082080	1282323	997	ARENISCA AMARILLA N14E / 10SE
P. CONTROL 73	1082034	1277962	584	Qc
P. CONTROL 74	1081531	1275846	394	COLUVION ESPESOR (5 m)
P. CONTROL 75	1081550	1275756	376	Qc (6 m)
P. CONTROL 76	1081223	1276338	453	Qc
P. CONTROL 77	1080771	1277882	542	Qc
P. CONTROL 78	1082040	1277410	520	Qc
P. CONTROL 79	1082362	1276854	456	Qc
P. CONTROL 80	1081842	1275489	324	Qc / Deslizamiento
P. CONTROL 81	1080369	1274946	236	Qc
P. CONTROL 82	1080692	1274133	232	Qc
P. CONTROL 83	1080609	1279757	851	Qc
P. CONTROL 84	1079744	1280796	1055	Qc

P. CONTROL 85	1081301	1278219	497	Qc
P. CONTROL 86	1081533	1277852	680	Qc
P. CONTROL 87	1080920	1278680	790	Qc
FINCA EL REPOSO	1083962	1281531	690	SALIDA DE RAMAL
ALBERTO	1085581	1282349	788	CASA
REINALDO PEREZ	1080650	1278942	811	CASA
LA RENTA	1083153	1280913	619	RESTAURANTE
ABELARDO SERRANO	1082663	1276563	434	CASA
HDA. CAPITANES	1080139	1275337	261	CASA
ELI NORIEGA	1083012	1278427	457	CASA

3.4.3 Geología del Subsuelo

3.4.3.1 Excavaciones existentes

Dentro del área de estudio y principalmente en el polígono del contrato de exploración, anteriormente se realizaron trabajos de explotación artesanal y esas galerías antiguas al momento se encuentran derrumbadas, con excepción del pozo a borde de carretera (ver P. control 15 en tabla 3 y figura 15) en donde se observó un manto de aproximadamente dos metros de espesor. Cálculos de reservas y análisis de calidad de los mantos inferidos, no se han realizado hasta el momento en este sector.

3.4.3.2 Pozos exploratorios

Los trabajos de exploración del subsuelo se centraron sobre el Miembro medio de la Formación Umir, portadora de mantos de carbón (Carboriente 1986, Castro y Gómez, 1988; ECOCARBÓN, 1996; Jaimes y Quijano, 2006; Durán y Suárez, 2006) y lugar donde se observa un manto coquizable de dos metros que aflora a borde de carretera

sobre el flanco oriental del Anticlinal Capitancitos con coordenadas X: 1'277.503, Y: 1'081.258 a una cota de 529 msnm y que aflora también en el flanco occidental de este anticlinal con coordenadas X: 1'277.416, Y: 1'080.914 a una cota de 529 msnm (con un espesor mayor a 0.90 metros), así mismo se esperaba cruzar una capa de 0.60 metros que se encontraba topográficamente 50 metros al sur del primer manto, que se le observó continuidad en campo. Para ello se proyectaron tres pozos exploratorios con la finalidad de verificar la continuidad de este manto y además identificar la presencia de niveles de carbón infrayacentes.

Para el trabajo de perforación, se contactó la empresa TERRAMUNDO DRILLING INC., el cual utilizó taladros tipo Long Year 38 (ver figura 17), los cuales para la extracción de los núcleos se manejó tubería de 2.54", con barrenos de hasta 3 metros con avance de hasta 1.50 metros (ver figura 18).



Figura 17. Taladro de perforación tipo Long Year 38.



Figura 18. Tuberías y cajas de aluminio para almacenamiento de núcleos de perforación.

La metodología para la descripción de núcleos de perforación fue la siguiente:

- El núcleo recuperado se ubicaba sobre un canal de tubo PVC.
- Lavado y limpieza del núcleo.
- Descripción de las características predominantes como litología, buzamiento, porcentaje de recobro y RQD.
- Llenado de formato con los anteriores ítems, el cual además contiene el número del contrato, coordenadas del pozo, localización del área de estudio, fechas de inicio y culminación del pozo, profundidad del mismo y persona encargada de la descripción del núcleo (ver figura 19).

- Capa de carbón de 0.30 metros, con una profundidad de techo de 16.15 metros y de base 16.45 metros; carbón moderadamente opaco con fractura irregular, presencia de láminas y costras de pirita y un buzamiento de 5°.
- Lámina de carbón de 0.20 metros, con una profundidad de techo de 17.23 metros y de base 17.43 metros; carbón moderadamente opaco con fractura irregular, presencia de costras de pirita y un buzamiento de 5°.
- Capa de carbón de 0.30 metros, con una profundidad de techo de 41.95 metros y de base 42.25 metros; carbón moderadamente opaco a moderadamente brillante con fractura irregular y del cual no se tiene dato de buzamiento ya que los respaldos y el mismo carbón se encuentran muy triturados.
- Lámina de carbón de 0.15 metros, con una profundidad de techo de 43.11 metros y de base 43.26 metros; carbón moderadamente opaco a moderadamente brillante con fractura irregular y una intercalación de arcillolita de color gris verdoso de 0.03 metros, no se tiene dato de buzamiento ya que los respaldos y el mismo carbón se encuentran muy triturados.
- Lámina de carbón de 0.22 metros, con una profundidad de techo de 82.10 metros y de base 82.22 metros; carbón opaco a moderadamente opaco con fractura laminar y un buzamiento de 10°.

De lo observado en los núcleos de perforación, no se obtuvo registro del manto coquizable que se pretendía cruzar debido a los siguientes razonamientos:

- Estos carbones se pudieron perder debido a interdigitación entre los mantos de carbón y la roca caja, como consecuencia de la depositación en un ambiente transicional.
- Debido al alto fracturamiento del material rocoso en la zona, estos carbones pudieron desplazarse a una mayor profundidad de la calculada en los cortes geológicos y los métodos geométricos desarrollados.

Pozo exploratorio 2: Esta perforación se localizó al costado derecho de la vía principal que conduce de Bucaramanga a Barrancabermeja, el cual tiene por coordenadas. X: 1'277.565, Y: 1'081.348, cota: 535 msnm (ver mapas geológicos, anexos 1, 2 y columna litoestratigráfica, plano 4). El propósito de esta perforación era la de cruzar el manto indicado como punto de control 15 en tabla 3, cuyo espesor es de dos metros.

Al igual que el primer pozo perforado, en este no se encontró el manto esperado debido a la presencia de la Falla Capitanes que junto con la Falla Capitancitos han desplazado este manto a una profundidad desconocida, ya que no se tiene un dato directo de los planos de fallamiento. Sin embargo en el registro litológico se apreció una lámina de carbón de 0.23 metros, con una profundidad del techo de 14.30 metros y de base 14.53 metros, cuya característica es la de un carbón moderadamente brillante con fractura irregular, con buzamiento de 5°. La perforación se detuvo a una profundidad de 46.50 metros. La secuencia estratigráfica obtenida de esta perforación se describe en el plano 4.

Pozo exploratorio 3: Perforación ubicada en el costado derecho de la vía Bucaramanga – Barrancabermeja, aproximadamente 100 metros adelante del Pozo 2 y que tiene por coordenadas X: 1'277.559, Y: 1'081.239 y una cota: 537 msnm (ver mapas geológicos, anexos 1, 2 y columna litoestratigráfica, anexo 5).

Perforación a la cual se llegó a una profundidad de 25 metros, debido al mismo planteamiento del Pozo 2. En los núcleos se observan algunas laminillas de carbón de hasta 0.02 metros las cuales tienen como característica la de ser carbones semibrillantes con fractura irregular. La sección estratigráfica obtenida de este pozo se presenta en el anexo 5.

Posteriormente se corrieron registros de Gamma Ray y Densidad sobre el Pozo No.1 (ver figura 21) hasta una profundidad de 56.80 metros, ya que el manto

económicamente esperado se debería encontrar a una profundidad máxima de 50 metros.

El equipo utilizado para la toma de registros es Sonda Mount Sopris modelo MGX-II (ver figura 20), con la sonda corriéndose dentro de un tubo PVC; con una velocidad del registro de 2 mm/min., y una distancia emisor – receptor de 0.50 metros y una fuente radiactiva de Cesio 137.

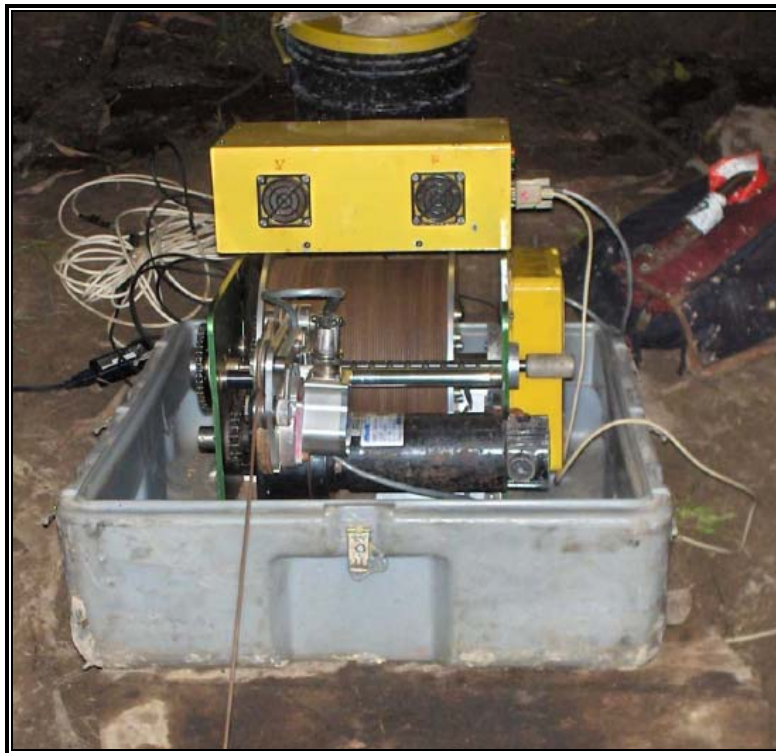


Figura 20. Equipo Mount Sopris MGM-II (Grúa), utilizado para la toma de registros Gamma Ray y Densidad.

De los resultados se observa que aparece una respuesta de carbón a una profundidad de tope aproximadamente de 41.42 m., con un espesor de 1.28 m. y que comparándolo con los núcleos perforados a esa profundidad se tienen, una capa de carbón de 0.30 m. (parte superior) el cual se encuentra separado de unas láminas de carbón de 0.26 m. (parte inferior) por arcillolitas grises de un espesor de 0.75 m., lo cual se podría pensar que sufrió una interdigitación entre la roca caja (arcillolitas) y el manto de carbón de 1.28 m.

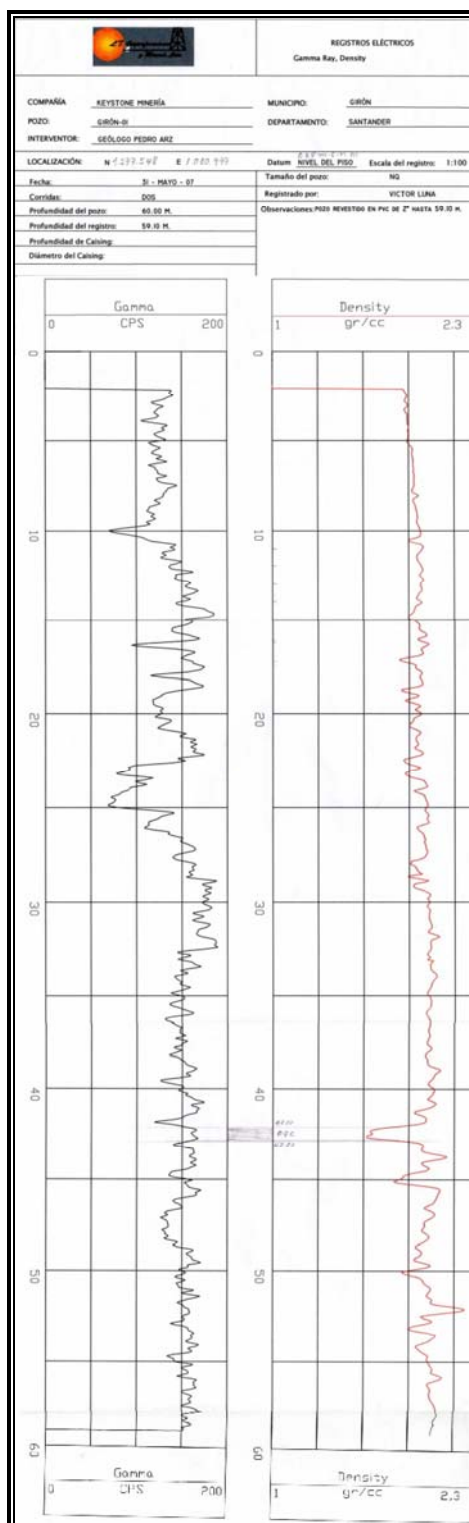


Figura 21. Registros Gamma Ray y Densidad tomados para el Pozo Exploratorio No. 1 a escala 1:50.

4. GEOLOGIA ECONÓMICA

4.1 BLOQUES Y MANTOS EXPLOTABLES

En el área de trabajo pudo establecerse un solo bloque minero limitado por las fallas Capitancitos y Mata de Cacao para un único manto de dos metros de espesor (espesor promedio de 1.40 metros) contenido en el Miembro medio de la formación Umir (ver mapas geológicos, anexos 1 y 2). Este manto se caracteriza por presentar propiedades coquizables que se comprobaron mediante la observación de muestras aglomeradas y arcillolitas quemadas debido a la autocombustión de este carbón, producido por efectos de sobrepresión en la zona (ver PC-1 y PC-2 en mapas geológicos, anexos 1 y 2).

4.2 EVALUACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE CARBÓN

4.2.1 Criterios y Parámetros de Evaluación

Para caracterizar, evaluar y cuantificar los carbones Colombianos se siguen los conceptos y la terminología utilizados por Ingeominas como Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas y planteadas por la Empresa Colombiana de Carbón (ECOCARBON) en su libro “El Carbón” publicado en el año de 1996.

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

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

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

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

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

4.2.2 Metodología

Para el cálculo de reservas del carbón presentes en las zonas de estudio se utiliza el método geométrico (ECOCARBON, 1996), teniendo en cuenta los límites del área del contrato y los datos obtenidos para los mantos de carbón.

Se deben considerar los siguientes parámetros:

- a. Continuidad lateral de los mantos de carbón que dependen de sus características estratigráficas (acuñamiento, interdigitaciones, etc.) y estructurales (estructuras y fallas) y ayudan a establecer los bloques mineros. Esta continuidad depende del tipo de reserva (medida, indicada e inferida) a calcular:

Medidas: Los puntos de información distan hasta 500 metros uno del otro; esto equivale a una distancia de 250 metros contados a partir de un punto de información.

Indicadas: Los puntos de información distan 500 y 1500 metros uno del otro; esto equivale a una distancia de hasta 500 comprendida entre los 250 y 750 metros contados a partir de un punto de información.

Inferidas: Los puntos de información distan 1500 Y 4500 metros uno del otro; esto equivale a una distancia de hasta 1500 comprendida entre los 750 y 2250 metros contados a partir de un punto de información.

- b. Espesor del manto en cada Bloque.
- c. Densidad promedio del carbón (1.3 ton/m³).

4.2.2.1 Definición áreas de cálculo

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

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

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

Para este trabajo se realizará el cálculo del tonelaje efectivo de solo un manto de carbón encontrado y con análisis fisicoquímicos en el área de estudio, otros mantos menores no se les comprobaron continuidad ni se les realizó análisis

4.2.2.2 Cálculo reservas de carbón

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

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

Donde,

a = área

e = espesor promedio del manto

d = densidad del carbón

α = inclinación del manto

t = toneladas

4.3 RESERVAS BÁSICAS

El cálculo de los reservas se realizó teniendo en cuenta de la existencia de un solo manto de carbón del cual se tiene certeza de su continuidad en el bloque minero definido con anterioridad.

Para los cálculos de reservas se tuvo en cuenta el buzamiento promedio de los datos tomados sobre el manto y sus respaldos, asumiendo que el manto no se repliega en profundidad.

4.3.1 Reservas Básicas Medidas

Son los recursos comprobados, que tienen el más alto grado de confiabilidad geológica y que han sido evaluados a nivel de apreciación inicial.

Para esta categoría se requiere un conocimiento geológico espacial del carbón, delimitado en tres dimensiones por labores subterráneas o por perforación.

Tabla 4. Reservas Básicas Medidas

RBM	AREA (m²)	ESPESOR (m)	DENSIDAD TON/M³	BUZAMIENTO PROMEDIO	TOTAL (ton)
RESERVAS	75.250	2.0	1.3	45° COS=0.71	275.563

4.3.2 Reservas Básicas Indicadas

En esta categoría están los volúmenes identificados de carbón, que tienen un grado moderado de certeza geológica y que han sido evaluados a nivel de apreciación inicial. Aquí se han limitado hasta la falla de Capitancitos, por el este y la falla de Trigueros al oeste, lo que da solo 500 metros en el rumbo.

Tabla 5. Reservas Básicas Indicadas

RBInd	AREA (m²)	ESPESOR (m)	DENSIDAD TON/M³	BUZAMIENTO PROMEDIO	TOTAL (ton)
RESERVAS	75.450	2.0	1.3	45° COS=0.71	276.295

4.3.3 Reservas Básicas Inferidas

Esta categoría de recursos son volúmenes identificados de carbón, que tienen un bajo grado de certeza geológica y han sido evaluados a nivel de apreciación inicial. Aquí se han limitado hasta la falla de Capitancitos, por el este y la falla de Trigueros al oeste, lo que da solo 100 metros en el rumbo.

Tabla 6. Reservas Básicas Inferidas

RBIInf	AREA (m²)	ESPESOR (m)	DENSIDAD TON/M³	BUZAMIENTO PROMEDIO	TOTAL (ton)
RESERVAS	300.790	2.0	1.3	45° COS=0.71	1'101.484

4.4 CALIDAD DE LOS CARBONES

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

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

- Humedad Residual

Es el contenido de agua que permanece en el carbón después de un secado generalmente a unos 10 o 15° C por encima de la temperatura ambiente. Esta humedad es el nivel al cual son determinados los otros parámetros (Duran et al, 1981).

- Cenizas

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

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

- Materia Volátil

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

- Carbono Fijo

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

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

- Azufre

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

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

- Poder Calorífico

El poder calorífico del carbón expresa su valor como combustible. Se puede considerar como la suma de los valores de combustión de los materiales combustibles (hidrogeno y azufre), menos el calor de descomposición de los materiales carbonáceos y mas o menos algunas reacciones menores exotérmicas o endotérmicas que pueden ocurrir entre impurezas (Duran et al, 1981). Este es pues uno de los más importantes parámetros en el análisis de un carbón cuyo uso será con fines térmicos.

- Índice de hinchamiento

Este ensayo es de gran utilidad para indicar las propiedades aglomerantes del carbón. Cabe indicar que no refleja necesariamente sus verdaderas propiedades de coquización. El índice me puede definir una serie de perfiles, patrones, magnitud y forma del carbón producido cuando se calienta a un rango de temperatura de manera

que pueda expandirse libremente en una dirección perpendicular a la superficie de calentamiento (Duran et al, 1981).

4.4.1 Muestreo de Mantos

Por la imposibilidad de encontrar más mantos de carbón en el área de estudio, se procedió a realizar el muestreo del pozo, a bordo de carretera, en donde aflora un manto de dos metros de espesor. Se realizó un canal de 0.20 metros de ancho por 10 de profundidad, de techo a piso.

Posteriormente se realizó un cuarteo para dejar solo 5 kilos de muestra, que fue lo que se envió al laboratorio.

La muestra se presentó fresca, limpia, sin presencia de óxidos ni arcillas que la contaminaran, tampoco fue visible pirita ni otras formas de azufre.

4.4.2 Localización de Muestras

La muestra fue tomada de un pozo que se abrió a bordo de la carretera Bucaramanga-Barrancabermeja, como producto de un derrumbe de trabajos antiguos, realizados hace unos 20 años, de minería artesanal y que fueron abandonados al chocar el manto contra zona de falla y desaparecer. Corresponde al punto de control 15 en las coordenadas $X= 1.277.503$; $Y=1.081.258$ hacia la cota 529. El manto presenta allí un espesor de dos metros y un rumbo de $N70^{\circ}W / 65SW$, en pleno cruce de la falla Capitanes, marcada en el presente estudio por lo que el manto sale adelgazado con rumbo $N10^{\circ}E / 9NW$ para desaparecer al otro lado de la carretera.

4.4.3 Análisis y Calidad de los Mantos

Los análisis próximos completos fueron realizados por el laboratorio **INTERLABCO LTDA.** (ver tabla 7 y figura 22) en el municipio de San Diego de Ubaté del Departamento de Cundinamarca, a una muestra extraída del manto de carbón de dos metros (ver P. control 15 en la tabla 3).



 INTERLABCO LTDA. INTERNATIONAL LABORATORIES OF COAL INSPECTION SERVICES QUALITY CONTROL LABORATORIO QUÍMICO INTERNACIONAL			
			Código: FT034/V01 Página: 1 de 1 Vigente desde: 12-Dic-2005
Villa de San Diego de Ubaté, Julio 12 de 2006 REF 15931			
SEÑOR PEDRO ARZ MADIEDO Ciudad			
CERTIFICADO DE CALIDAD <i>¡Mejoramos continuamente en función de nuestros clientes!</i> Nosotros INTERLABCO LTDA. certificamos que hemos Analizado una MUESTRA de CARBON, recibida el día 21 de Junio de 2006 a las 11:40 horas y los resultados obtenidos son los siguientes según normas ASTM.			
IDENTIFICACION LUGAR FECHA DE MUESTREO	P.A. 1 LA RENTA (SANTANDER) 16 DE JUNIO DE 2006		
RESULTADOS			
DETERMINACION	COMO SE RECIBE	BASE SECA	METODO ASTM
HUMEDAD TOTAL, %	1,20		D 3302-02a
CENIZAS, %	3,29	3,33	D 3174-04
MATERIA VOLATIL, %	48,30	48,89	D 3175-02
CARBONO FIJO, %	47,21	47,78	D 3172
AZUFRE TOTAL, %	5,25	5,32	D 4239-04a
P. CALORIFICO Kcal/Kg	7654	7747	D 2015
INDICE DE HINCHAMIENTO		8,1/2	D 720-91 (2004)
NOTA: Los resultados analíticos corresponden única y exclusivamente a la muestra traída al LABORATORIO y no otra de la misma procedencia.			
I.Q. EDELMIRA PEÑA DE ARCO Gerente General MP 1354		 FLOR EMILCE CARRILLO Gerente Administrativa Firma Autorizada	
LINEA DE ATENCIÓN AL CLIENTE: SUGERENCIAS, QUEJAS Y RECLAMOS. CEL.: (300) 2190875 / (312) 3503309 GERENCIA GENERAL			
Análisis de Carbón, Coke, Minerales, Suelos, Lácteos, Alimentos, Análisis Foliar, Aguas, Grasas Y Productos Químicos en General. Asesorías y Consultorías en todo lo relacionado con el ramo. Calle 5 No. 8 - 37 - Tels.: (091) 889 03 89 - Telefax: (091) 855 36 44 / 889 13 49 - Celular: 312 350 33 09 - 300 219 08 75			

Figura 22. Resultados análisis fisicoquímicos de la muestra de carbón tomada del punto de control No. 15, realizado por INTERLABCO LTDA. Julio 12 de 2006.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de los carbones del área de estudio.

ANÁLISIS EN BASE COMO SE ANALIZA (csa)	PORCENTAJES
Humedad Total	1,20%
Cenizas	3,29%
Materia Volátil	48,30%
Carbono Fijo	47,21%
Azufre Total	5,25%
Poder Calorífico (Btu/Lb)	13.777
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	7.654
ANÁLISIS EN BASE SECA	PORCENTAJES
Cenizas	3,33 %
Materia Volátil	48,89 %
Carbono Fijo	47,78 %
Azufre Total	5,32%
Poder Calorífico (Btu/Lb)	13.945
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	7.747
Índice de Hinchamiento	8,1/2

4.4.4 Clasificación de los Carbones

La clasificación a utilizar es la propuesta por la A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials). Esta clasificación tiene en cuenta parámetros como carbono fijo, materia volátil y poder calorífico (ver tabla 8).

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

Bituminoso, por medio del examen del residuo del crisol, resultante de la determinación de materia volátil.

Tabla 8. Clasificación A.S.T.M (American Society for Testing and Materials), de Carbones por rango.

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

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

Slm.m: Base seca libre de materia mineral; hlm.m: Base húmeda libre de materia mineral

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

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

- b) Carbones en Carbono Fijo $\geq 69\%$, se clasifican de acuerdo a este, sin tener en cuenta el poder calorífico.
- c) Puede haber variedades no aglomerantes.

El rango de carbón se calcula utilizando las instrucciones tomadas de las especificaciones estándar para la clasificación del carbón por rango (ASTM D-388-77), en las cuales el carbono fijo y el poder calorífico se deben calcular en base libre de materia mineral y en base seca (ver tabla 9), de acuerdo a las fórmulas de Parr (ver tabla 10):

Tabla 9. Formulas para la conversión de los valores de base como se analizó (seca al aire) a otras bases.

BASE DE ANALISIS	FORMULA DE CONVERSION
Base Seca (bs)	$X_{bs} = (X_{csa} \times 100) / (100 - HR)$
Base seca libre de cenizas (bslcz)	$X_{slcz} = (X_{csa} \times 100) / [100 - (HR + Cz)]$
Base seca libre de materia mineral (bslmm)	$X_{slmm} = (X_{csa} \times 100) / [100 - (HR + 1.08Cz + 0.55S)]$ $CF_{slmm} = [(CF_{csa} - 0.15S) \times 100] / [100 - (HR + 1.08Cz + 0.55S)]$
Poder Calorífico Base húmeda libre de materia mineral (bhmm)	$PC_{hlmm} = (PC_{csa} - 50S \times 100) / [100 - (1.08Cz + 0.55S)]$

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

Csa: Como se analizó

X: Parámetro

Bs: Base seca

slcz: Base seca libre de cenizas

slmm: Base seca libre de materia mineral

hlmm: Base húmeda libre de materia mineral

HR: Porcentaje de humedad residual

Cz: Porcentaje de cenizas

S: Porcentaje de azufre total

MV: Porcentaje de Materia volátil

CF: Porcentaje de Carbono Fijo

PC: Poder Calorífico (cal/gr)

Tabla 10. Cálculo de Carbono Fijo y Poder Calorífico.

RECALCULO DE CARBONO FIJO Y PODER CALORIFICO	
Carbono Fijo SLMM (%)	50.88
Poder Calorífico Hlmm (Cal/gr)	8024.44

4.4.5 Resultados

Los resultados, principalmente el de llevar el poder calorífico a la base húmeda libre de la materia mineral, se cotejaron con la tabla de clasificación de rangos del carbón según las normas A.S.T.M; obteniéndose índices para clasificar el carbón como Bituminoso alto en volátiles A, con características aglomerantes.

5. CONCLUSIONES

- La elaboración de la cartografía geológica detallada a escalas 1:10.000 y 1:5.000, permitió definir los contactos entre las formaciones La Luna y los Miembros inferior, medio y superior de Umir; los depósitos cuaternarios coluviales presentes en el área de estudio, presentan una menor extensión en el área de estudio que lo cartografiado en el Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12 de Bucaramanga a escala 1:100.000 y el Mapa Geológico del Departamento de Santander a escala 1:300.000.
- Se estableció un estilo tectónico para la zona de estudio cuyo principal fallamiento es longitudinal (con respecto al sistema regional de Fallas La Salina) caracterizado por las fallas de Lebrija que atraviesa en sentido Norte – Sur la parte central del polígono de trabajo y San Vicente que cruza el sector sureste de la zona de estudio en dirección Noreste – Suroeste; así como también se determinaron fallas transversales a las anteriores, sintéticas y antitéticas que se observaron en mapas topográficos, fotografías aéreas y destapes del subsuelo realizados con buldózer donde principalmente se pudo apreciar la Falla Capitanes.
- Se encontraron dos mantos de carbón en el área de influencia localizados en el Anticlinal Capitancitos, el primero de espesor promedio de 1.40 metros y que por los resultados físico-químicos, correspondería al manto de dos metros que se encuentra fuera del bloque minero aflorando a bordo de la vía Bucaramanga – Barrancabermeja, y un segundo manto, que dentro del bloque minero, se encuentra topográficamente 50 metros al sur del primero, con un espesor de 0.60 metros.

- Se demarcó un bloque minero limitado por las fallas Trigueros, Capitancitos, Lebrija y Mata de Cacao en donde se observó la continuidad de un manto de 1.70 de espesor y que aunque en el flanco oeste del Anticlinal Capitancitos el carbón se presenta quemado, los resultados de índice de hinchamiento obtenidos (8.5%) del manto de dos metros a bordo de carretera (fuera del bloque minero), permiten pensar que es el mismo.
- Se realizaron columnas litoestratigráficas escala 1:200 a partir de los núcleos de perforación ya que no se pudo efectuar el levantamiento de una columna estratigráfica de la Formación Umir, debido a la falta de información expuesta en superficie y el tectonismo presente en la zona de estudio, que la afecta en su espesor; además, al no obtener un datum estratigráfico mediante las perforaciones, no se estableció una correlación de las secuencias obtenidas en los tres pozos exploratorios.
- La proyección de los pozos exploratorios y el porcentaje de recuperación de núcleos corazonados (máximo de 92.30 m.), permitió detallar la litología en parte del Miembro medio de la Formación Umir (anexos 3, 4 y 5), y principalmente establecerse la presencia de un manto de carbón de un espesor de 0.70 metros en el subsuelo con el pozo exploratorio No. 1 sobre el Anticlinal Capitancitos.
- Se determinó el alto riesgo económico de la realización de una mina a cielo abierto ya que de los trabajos exploratorios, incluyendo los tres pozos, no se pudo establecer la continuidad del nivel de carbón de dos metros que se observó en proximidades al área de perforación, debido a que las capas presentan un buzamiento noroeste de acuerdo con la principal estructura regional (Sinclinal del Nuevo Mundo) y se sumergen topográficamente hacia el norte del área, lo cual la relación de descapote es muy alta.

- De acuerdo a los resultados del análisis fisico-químico de una muestra extraída del manto de dos metros (ver tabla 3, P. de control 15), se observó un alto contenido de azufre y una característica anormal en el sentido de tener un alto índice de hinchamiento y a la vez ser muy alto en volátiles, caracterizándose como Bituminoso Alto en Volátiles A con carácter aglomerante.

6. RECOMENDACIONES

- Intensificar los trabajos de exploración del subsuelo, con miras a una posible minería subterránea en pequeña escala; con el seguimiento del manto de dos metros localizado en varios puntos; pozo y mantos quemados para verificar la continuidad de este manto de carbón. y conocer más a fondo el comportamiento estructural de la zona. Así mismo, se recomienda continuar los trabajos exploratorios hacia el sureste del manto coquizable de dos metros, para así determinar otro posible bloque minero, ya que la complejidad estructural puede ser mucho menor hacia este sector.
- Localizado este manto y otros posibles se deben realizar análisis próximos para determinar el rango del carbón, así como análisis petrográficos y de plasticidad para comprobar la calidad coquizable del carbón.

6 . BIBLIOGRAFIA

ARZ M. PEDRO, 2007. Programa de Exploración Geológica de Carbones (P.E.G.) del contrato CG 1-121, para Keyston Minería. Bucaramanga.

ARZ M. PEDRO, 2007. Experiencias y resultados del Programa de Exploración Geológica de Carbones (P.E.G.) del Proyecto San Luis., Sinclinal de Los Andes en el Departamento de Santander; comunicación Verbal. Bucaramanga.

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

BOINET, T., 1989. La Falla de Bucaramanga (Colombia), su Función Durante la Orogenia Andina. Geología Norandina (11): 3-10. Bogotá.

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

CLAVIJO, Jairo y ROYERO, José María, 2001. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander (escala 1:400.000) (memoria explicativa). Informe presentado al INGEOMINAS. Centro operativo de Bucaramanga- Colombia.

CDMB, EOT 2003. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Esquema de Ordenamiento Territorial.

DURÁN, *et al.*, 1976. Geología y Recursos Carboníferos del Área de San Luis (Santander), Informe 1700, 25 p. INGEOMINAS, Bogotá.

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

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

—, 1995. Estudio de la Optimización de la Exploración geológica en el Área de San Luis, Departamento de Santander. Fase I. Informe Final. Reporte Interno.

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

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

GOVEA, C. y AGUILERA H, 1985. Cuencas Sedimentarias de Colombia. Memorias II Simposio Bolivariano: Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Vol II, p 1-85.

JAIMES, J: y QUIJANO, F. 2006. Exploración y Cuantificación Preliminar de Reservas Carboníferas, en los Miembros Medio y Superior de la formación Umir, en la Parte Baja de las Cuencas de los Ríos Opón y Sogamoso. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander.

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

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

MORALES, L., *et al.*, 1958. General Geology and oil Occurrence of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In Habitat of Oil a Symposium American Association of Petroleum Geologists Bulletin: 641-695. Tulsa.

NOTESTEIN, F., *et al.*, 1944. Geology of the Barco Concession Republic of Colombia S. A. Geol. Soc. y Sm. V. 55, p. 1165-1216.

RICHARDS, H., 1968. Cretaceous Section in Barco Area of Northeastern Colombia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52 (12): 2324-2326. Tulsa.

TABOADA, A. *et al.* 1998. Sismotectónica de Colombia: Deformación Continental Activa y Subducción. Física de la Tierra, No. 10, p 111-147.

TCHEGLIAKOVA, N. 1993. Los Foraminíferos y Minerales autógenos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de una Laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maestrichtiano). Boletín Geología Colombiana, No. 18, p 107-117, 1 Plancha, Bogotá.

UPME, 2003. Unidad de Planeación Minero Energética

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

http://www.cdm.gov.co/mapas/lebrija/dctos/DComponente%20Fisicobiotico.doc#_Toc52771299

<http://www.cdmb.gov.co/mapas/giron/dctos/D1.%20FISICO-BIOTICO.doc>

http://www.igac.gov.co:8080/igac_web/UserFiles/File/mapas_pdf/departamentos/santanderseq.pdf

ARCHIVO FOTOGRAFICO



Figura 23. Panorámica del área de estudio tomada desde quebrada Seca, con coordenadas X: 1274478; Y: 1080459 a una altura de 220 metros sobre el nivel del mar. Afloramientos de la Formación Umir sobre la quebrada Volcanera, hacia la derecha de la parte alta de la fotografía, junto a esta se observa la misma Formación sobre la quebrada Mata de Cacao, hacia la izquierda.



Figura 24. X: 1276806; Y: 1080538; altura: 348 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento de aproximadamente 15 metros de espesor sobre el costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera de shales intercalados con limolita ferruginosa con 4 cintas de carbón entre 0,10 y 0,60 metros de espesor.



Figura 25. X: 1276881, Y: 1080483; altura: 414 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento de aproximadamente 20 metros de espesor sobre el costado derecho aguas arriba de la quebrada Volcanera de arcillolita gris plomo con capas de limolita, con bloque de carbón de 1,70 metros de espesor, bloque desprendido del afloramiento.



Figura 26. X: 1277839; X: 1080628; altura: 513 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre la quebrada Volcanera de aproximadamente 40 metros de espesor de shales intercalados con limolita, 2 capas de carbón que alcanzan a observarse con un espesor aproximado de un metro.



Figura 27. X: 1277839; Y: 1080628; altura: 513 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento fallado sobre la quebrada Volcanera de aproximadamente 15 metros de espesor de limolita gris verdosa, se presentan dos cintas de carbón separadas por 1,80 m de shales carbonosos.



Figura 28. X: 1277360; Y: 1081041; altura: 583 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre el costado derecho del Anticlinal Capitancitos de 1,20 metros de espesor de arcillolitas de color morado a negro con 2 cintas de carbón de 0,15 metros de espesor cada una, separadas por 0,70 metros de arcillolita amarillenta.



Figura 29. X: 1277416; Y: 1080914; altura: 529 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre el costado izquierdo del Anticlinal Capitancitos con manto de carbón de dos (2) metros de espesor aproximadamente, posiblemente coquizable por presencia de aglomeración en manto quemado.

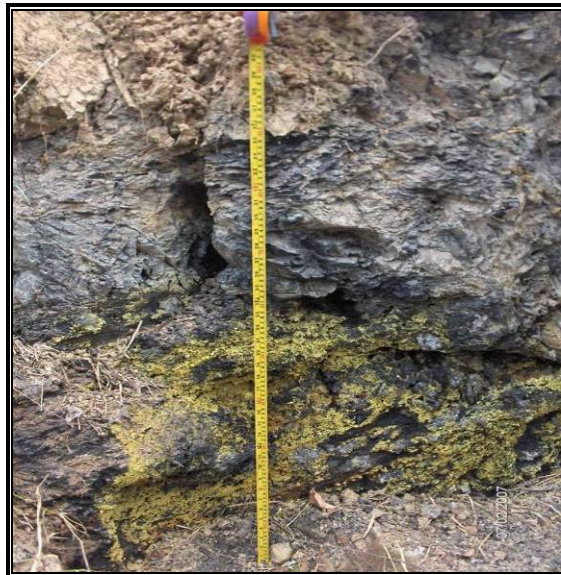


Figura 30. X: 1277865; Y: 1083061; altura: 448 metros sobre el nivel del mar. Afloramiento sobre el costado izquierdo de un camino que va desde la vía La Renta – San Vicente hasta la Hacienda Capitancitos, el cual consta de limolita con un manto de carbón que presenta alto contenido de azufre y un espesor mayor a un (1) metro.

Fotografías núcleos de perforación Pozo No.1



Figura 31. Fotografía Cajas No. 1 y 2.



Figura 32. Fotografía Cajas No. 3 y 4.



Figura 33. Fotografía Cajas No. 5 y 6.



Figura 34. Fotografía Cajas No. 7 y 8.



Figura 35. Fotografía Cajas No. 9 y 10.



Figura 36. Fotografía Cajas No. 11 y 12.



Figura 37. Fotografía Cajas No. 13 y 14.



Figura 38. Fotografía Cajas No. 15 y 16.



Figura 39. Fotografía Cajas No. 17 y 18.



Figura 40. Fotografía Cajas No. 19 y 20.



Figura 41. Fotografía Cajas No. 21 y 22.



Figura 42. Fotografía Cajas No. 23 y 24



Figura 43. Fotografía Cajas No. 25 y 26.



Figura 44. Fotografía Cajas No. 27 y 28.



Figura 45. Fotografía Cajas No. 29 y 30.



Figura 46. Fotografía Cajas No. 31 y 32.



Figura 47. Fotografía Cajas No. 33 y 34.

Fotografías núcleos de perforación Pozo No. 2



Figura 48. Fotografía Cajas No. 1 y 2.



Figura 49. Fotografía Cajas No. 3 y 4.



Figura 50. Fotografía Cajas No. 5 y 6.



Figura 51. Fotografía Cajas No. 7 y 8.



Figura 52. Fotografía Cajas No. 9 y 10.



Figura 53. Fotografía Cajas No. 11 y 12.



Figura 54. Fotografía Cajas No. 13 y 14.



Figura 55. Fotografía Cajas No. 15 y 16.



Figura 56. Fotografía Cajas No. 17 y 18.

Fotografías núcleos de perforación Pozo No. 3



Figura 57. Fotografía Cajas No. 1 y 2.

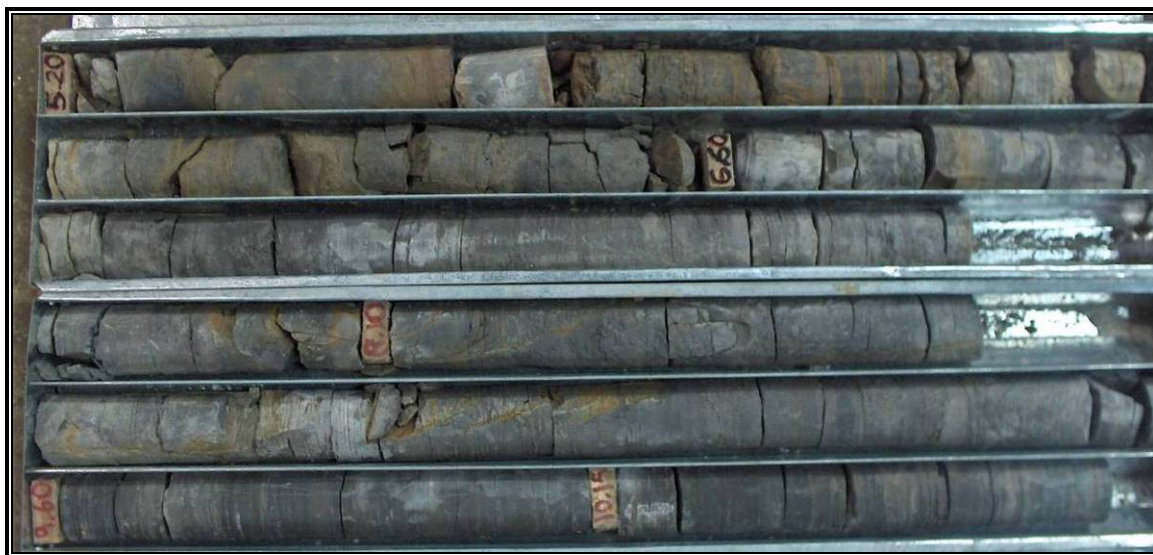


Figura 58. Fotografía Cajas No. 3 y 4.



Figura 59. Fotografía Cajas No. 5 y 6.



Figura 60. Fotografía Cajas No. 7 y 8.



Figura 61. Fotografía Cajas No. 9 y 10.